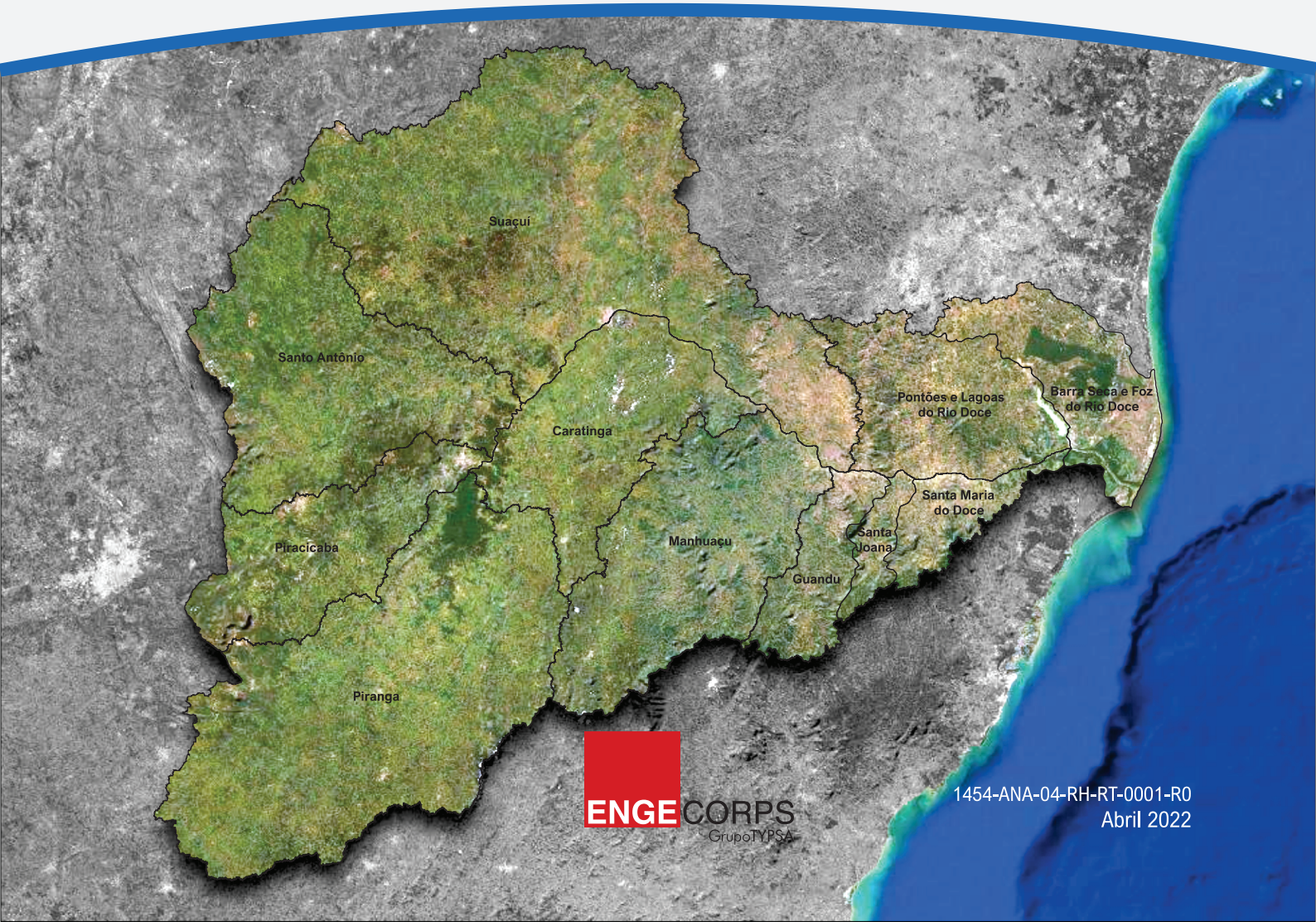
PIRH
BACIA DO RIO DOCE

Revisão e Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce), Incluindo seus Respectivos Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRHs) / Planos de Ações de Recursos Hídricos (PARHs), e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da Bacia em Classes segundo os Usos Preponderantes e Atualização do Enquadramento dos Cursos d'Água da Bacia do Rio Piracicaba

PP04

PROGNÓSTICO E ALTERNATIVAS DE ENQUADRAMENTO



ENGECORPS
GrupoTYPSA

1454-ANA-04-RH-RT-0001-R0
Abril 2022

PIRH
BACIA DO RIO DOCE

Igam
Instituto Mineiro de Gestão das Águas

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

agerh
Agência Estadual de Recursos Hídricos

CBH-DOCE
Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

CBH-BARRA SECA E FOZ DO RIO DOCE/ES
CBH-CARATINGA/MG
CBH-GUANDU/ES
CBH MANHUAÇU/MG
CBH-PIRACICABA/MG
CBH-PIRANGA/MG
CBH-PONTÕES E LAGOAS DO RIO DOCE/ES
CBH-SANTA JOANA/ES
CBH-SANTA MARIA DO DOCE/ES
CBH-SANTO ANTÔNIO/MG
CBH-SUAÇUÍ/MG

AGEDOCE
Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP

ENGECORPS
GrupoTYPSA

Engecorps Engenharia S.A.

Alameda Tocantins 125, 12º andar - cj.1202 - 06455-020 - Alphaville - Barueri - SP - Brasil

Tel: (11) 2135-5252 | e-mail: comercial@engecorps.com.br

www.engecorps.com.br

ANA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO

REV.	DATA	MODIFICAÇÃO	VERIFICAÇÃO	APROVAÇÃO
0	12/04/2022	Emissão Inicial	A.P.A.	A.P.A

ENGECORPS
GrupoTYPSA

Revisão e Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce), Incluindo seus Respectivos Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRHs)/Planos de Ações de Recursos Hídricos (PARHs), e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da Bacia em Classes segundo os Usos Preponderantes e Atualização do Enquadramento dos Cursos d'Água da Bacia do Rio Piracicaba

PP04
PROGNÓSTICO E ALTERNATIVAS DE ENQUADRAMENTO

ELABORADO: A.P.A.; D.A.T.; F.Y.T; E.M.H; L.F.A.;F.R.T; M.F.S		APROVADO: Marcos Oliveira Godoi ART Nº 28027230211006409 CREA Nº 0605018477-SP		
VERIFICADO: A.P.A.		COORDENADOR GERAL: Danny Dalberson de Oliveira ART Nº 28027230210999944 CREA Nº 0600495622-SP		
Nº (CLIENTE):		DATA:	12/04/2022	FOLHA:
Nº ENGECORPS:	1454-ANA-04-RH-RT-0001-R0	REVISÃO:	R0	1/434

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

ANA

Revisão e Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce), Incluindo seus Respectivos Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRHs)/Planos de Ações de Recursos Hídricos (PARHs), e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da Bacia em Classes segundo os Usos Preponderantes e Atualização do Enquadramento dos Cursos d'Água da Bacia do Rio Piracicaba

PP04

PROGNÓSTICO E ALTERNATIVAS DE ENQUADRAMENTO

ENGECORPS ENGENHARIA S.A.

1454-ANA-04-RH-RT-0001-R0

Abril / 2022

ÍNDICE

1. APRESENTAÇÃO....7

2. ADEQUAÇÕES E COMPLEMENTAÇÕES DO DIAGNÓSTICO....9

2.1 ASPECTOS QUANTITATIVOS....9

2.1.1 Demandas Hídricas Consuntivas....9

2.1.2 Balanços Hídricos....11

2.2 ASPECTOS QUALITATIVOS....19

2.2.1 Campanhas Complementares para Coleta de Dados de Qualidade das Águas....19

2.2.2 Revisão da Estimativa de Cargas Poluentes....21

2.2.2.1 Adequações da Metodologia de Cálculo....21

2.2.2.2 Refinamento da Calibração do Modelo para o Ano Hidrológico....25

2.2.3 Classes Atendidas para as Vazões de Referência no Ano Hidrológico....27

2.2.3.1 Simulações para o Período Seco....30

2.2.3.2 Simulações para o Período Úmido....33

2.2.3.3 Análise Comparativa dos Resultados – Períodos Seco e Úmido....36

2.3 TEMAS COMPLEMENTARES....37

2.3.1 Dragagem de Rejeitos Depositados na UHE Risoleta Neves (Antiga Candonga)....37

2.3.2 Ressuspensão de Sedimentos na Bacia em Períodos Chuvosos....39

3. CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS....52

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA....52

3.1.1 Fatores Endógenos....55

3.1.2 Fatores Exógenos....56

3.1.3 Construção dos Cenários....56

3.1.4 Prognósticos de Referência....59

3.2 SEMENTES DE FUTURO....61

3.2.1 Tendências de Peso....61

3.2.2 Incertezas Críticas....62

3.2.3 Alterações no Regime Hidrológico....64

3.2.3.1 Análise de Dados Climáticos Observados....64

3.2.3.2 Mudanças do Clima....70

3.2.4 Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo....97

3.2.4.1 Macrodinâmica de Crescimento Econômico....97

3.2.4.2 Conjuntura Econômica....100

3.2.5 Ampliações no Capital Fixo 104
3.2.5.1 Transportes e Logística 104
3.2.5.2 Energia 108
3.2.5.3 Saneamento Básico 114
3.2.5.4 Movimentos Demográficos 116
3.3 PROSPECÇÕES SETORIAIS 119
3.3.1 Abastecimento Humano e Esgotamento Sanitário 120
3.3.1.1 Perspectivas Exógenas para as Populações Urbana e Rural 121
3.3.1.2 Perspectivas Endógenas do Abastecimento Humano no Meio Urbano 126
3.3.1.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas para o Abastecimento Humano no Meio Urbano 134
3.3.1.4 Perspectivas Endógenas do Abastecimento Humano no Meio Rural 136
3.3.1.5 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas para o Abastecimento Humano no Meio Rural 138
3.3.1.6 Perspectivas Endógenas do Esgotamento Sanitário 139
3.3.1.7 Perspectivas Exógenas para a Área Ocupada pela Mancha Urbana 148
3.3.2 Agricultura e Agricultura Irrigada 149
3.3.2.1 Perspectivas Exógenas para as Áreas de Agricultura 150
3.3.2.2 Perspectivas Endógenas para as Áreas de Agricultura 155
3.3.2.3 Perspectivas Exógenas para a Agricultura Irrigada 156
3.3.2.4 Perspectivas Endógenas para a Agricultura Irrigada 162
3.3.2.5 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 165
3.3.3 Silvicultura 175
3.3.3.1 Perspectivas Exógenas 176
3.3.3.2 Perspectivas Endógenas 178
3.3.3.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 178
3.3.4 Criação Animal 179
3.3.4.1 Perspectivas Exógenas 179
3.3.4.2 Perspectivas Endógenas 186
3.3.4.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 190
3.3.5 Aquicultura 192
3.3.5.1 Perspectivas Exógenas 193
3.3.5.2 Perspectivas Endógenas 195
3.3.5.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 195

3.3.6 Mineração 196
3.3.6.1 Perspectivas Exógenas 197
3.3.6.2 Perspectivas Endógenas 204
3.3.6.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 205
3.3.7 Indústria 207
3.3.7.1 Perspectivas Exógenas 209
3.3.7.2 Perspectivas Endógenas 219
3.3.7.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 221
3.3.8 Geração de Energia Termoelétrica 223
3.3.8.1 Perspectivas Exógenas 223
3.3.8.2 Perspectivas Endógenas 226
3.3.8.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas 226
3.4 RISCOS HIDROLÓGICOS À LUZ DAS MUDANÇAS DO CLIMA 227
3.4.1 Riscos de Inundações e Enxurradas 227
3.4.2 Riscos do Rompimento de Barragens 233
3.5 REPERCUSSÕES DAS PERSPECTIVAS DE FUTURO NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO DOCE 234
3.6 SÍNTESE DA CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS 242
3.6.1 Considerações Iniciais 242
3.6.2 Análises por Setor Usuário de Recursos Hídricos 244
3.6.3 Modificações no Uso e Ocupação do Solo 246
3.6.4 Quadro-Resumo da Construção dos Cenários 247
4. REBATIMENTOS DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS NAS DEMANDAS HÍDRICAS E CARGAS POLUENTES FUTURAS 249
4.1 DEMANDAS HÍDRICAS CONSUNTIVAS FUTURAS 249
4.2 BALANÇOS HÍDRICOS QUANTITATIVOS 276
4.3 DEMANDAS HÍDRICAS NÃO CONSUNTIVAS FUTURAS 291
4.4 CARGAS POLUENTES FUTURAS 292
4.4.1 Critérios Adotados para Estimativa e Alocação Espacial das Cargas 292
4.4.2 Estimativas de Cargas Poluentes por Cenários e Bacias Afluentes 293
4.4.3 Análise Complementar dos Resultados 317
5. OS CENÁRIOS DO PIRH DOCE 2022-2042 320
5.1 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS, CAUSAS E PERSPECTIVAS FUTURAS 320
5.2 LEITURA INTEGRATIVA DO CENÁRIO TENDENCIAL E DAS COMBINAÇÕES ALTERNATIVAS 331

5.2.1 Situações de Atenção para o Aspecto Quantitativo 332
5.2.2 Situações de Atenção para o Aspecto Qualitativo 341
5.2.3 Situações de Atenção para os Aspectos Quali-Quantitativos 348
5.3 CENÁRIOS DO PLANO 350
5.3.1 Cenário do Plano para o Componente Quantitativo 351
5.3.2 Cenário do Plano para o Componente Qualitativo 355
5.3.3 Cenário do Plano Quali-Quantitativo 359
6. ESTUDOS ESPECÍFICOS PARA O ENQUADRAMENTO 361
6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL DO ENQUADRAMENTO NO PROGNÓSTICO 361
6.2 SIMULAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA – CENÁRIO-BASE DO PROGNÓSTICO E CENÁRIO TENDENCIAL 362
6.2.1 Considerações Iniciais 362
6.2.2 Cenário-Base do Prognóstico 363
6.2.3 Cenário Tendencial 368
6.2.3.1 Horizonte do Ano 2027 370
6.2.3.2 Horizonte do Ano 2032 375
6.2.3.3 Horizonte do Ano 2042 379
6.3 PROPOSTA PARA SELEÇÃO DOS PARÂMETROS DE REFERÊNCIA PARA O ENQUADRAMENTO 383
6.4 CONSIDERAÇÕES PARA A SELEÇÃO DE VAZÕES DE REFERÊNCIA 390
6.5 DIRETRIZES ADOTADAS PARA O ENQUADRAMENTO E CURSOS D'ÁGUA A SEREM ENQUADRADOS 393
6.5.1 Diretrizes e Procedimentos Adotadas 393
6.5.2 Síntese dos Cursos d'Água a Serem Enquadrados 397
7. TEMAS A SEREM DISCUTIDOS NA SEGUNDA RODADA DE OFICINAS E CONSULTAS PÚBLICAS 401

APÊNDICE I – CALIBRAÇÃO REALIZADA COM OS DADOS DAS COLETAS DE ÁGUA COMPLEMENTARES 403
APÊNDICE II – BALANÇOS HÍDRICOS QUANTITATIVOS COM AS VAZÕES $Q_{7,10}$ E $Q_{90\%}$ 418
APÊNDICE III – SÍNTESE DOS CURSOS D'ÁGUA A SEREM ENQUADRADOS 429

1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório constitui o Produto Parcial 04 – Prognóstico e Alternativas de Enquadramento, previsto no Contrato nº 009/2021/ANA, celebrado entre a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e a ENGECORPS Engenharia S.A., para a elaboração da **Revisão e Atualização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Doce (PIRH Doce), Incluindo seus Respectivos Planos Diretores de Recursos Hídricos (PDRHs)/Planos de Ações de Recursos Hídricos (PARHs), e Proposta de Enquadramento dos Corpos de Água da Bacia em Classes segundo os Usos Preponderantes e Atualização do Enquadramento dos Cursos d'Água da Bacia do Rio Piracicaba.**

Em síntese, tal como previsto no Projeto Básico (Termo de Referência) que orienta o desenvolvimento do presente trabalho, este relatório apresenta os estudos realizados para a construção de cenários futuros para a bacia do rio Doce, de curto, médio e longo prazos, bem como estudos específicos para subsidiar a proposta de alternativas de enquadramento dos corpos d'água em classes de usos preponderantes mais restritivos.

Vale lembrar que os estudos de revisão do PIRH Doce estão sendo desenvolvidos em paralelo com os estudos para o Enquadramento e que, a partir do presente relatório, serão consubstanciados em relatórios distintos, para abordagem, respectivamente, das atividades desenvolvidas para subsidiar o Plano de Ações do PIRH e para embasar o Programa de Efetivação do Enquadramento, atendendo ao fluxograma de etapas metodológicas ilustrado na Figura 1.1.

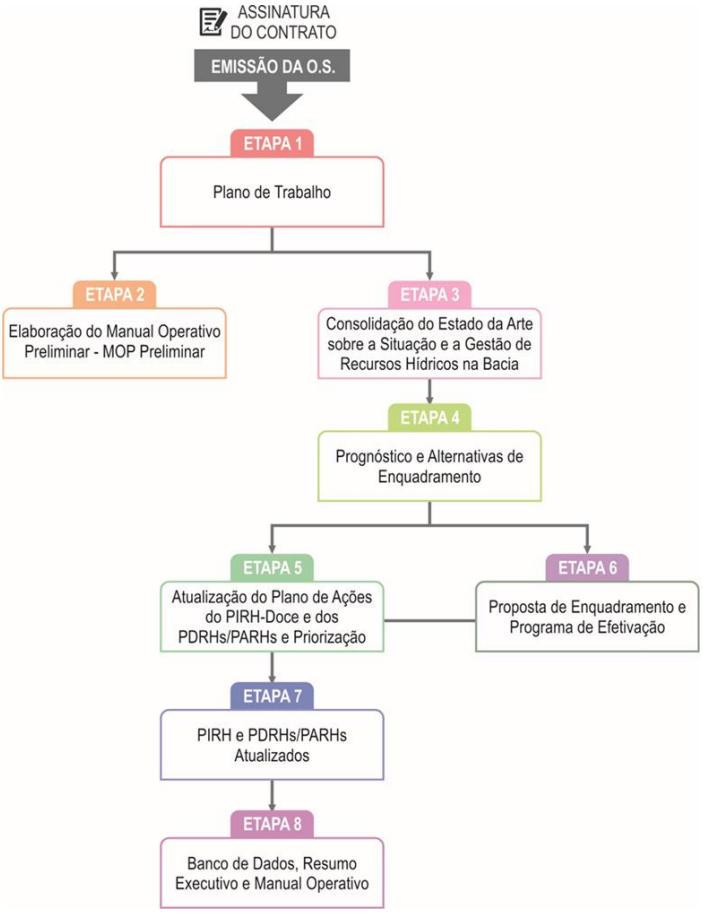


Figura 1.1 – Etapas Metodológicas da Revisão do PIRH Doce e Enquadramento dos Corpos d'Água da Bacia

Entretanto, como visto na figura acima, a construção dos cenários futuros para a bacia do rio Doce, em horizontes de curto (ano de 2027), médio (2032) e longo prazo (2042) é a base fundamental tanto para o Plano de Ações como para a conclusão do Enquadramento, materializada no seu Programa de Efetivação.

Dessa forma, o Produto Parcial 04 está organizado de modo a atender aos seus objetivos, quais sejam o de construir os cenários futuros alternativos para a bacia do rio Doce, irradiando os fundamentos do Plano de Ações do PIRH e, ao mesmo tempo, endereçando as leituras da bacia necessárias à estruturação do Enquadramento dos seus corpos d'água em classes de usos preponderantes mais restritivos.

Tendo em vista que os estudos seguem um desenrolar contínuo, desde o Produto Parcial 01 (Plano de Trabalho), o presente relatório apresenta, também, um capítulo inicial dedicado a adequações do Diagnóstico, realizadas após a finalização do Produto Parcial 03 (Consolidação do Estado da Arte sobre a Situação e a Gestão de Recursos Hídricos na Bacia, ou seja, o Diagnóstico da bacia), como fruto de avanços empreendidos a partir da análise de novos dados obtidos. Apresenta, ainda, um último capítulo, dedicado à descrição dos temas que serão discutidos na 2ª Rodada de Oficinas e Consultas Públicas. Após, esse capítulo, são apresentados três Apêndices com elementos complementares dos capítulos 2, 4 e 6.

Assim, após esta Apresentação, o PP 04 está estruturado nos seguintes capítulos:

- ✓ Capítulo 2: Adequações e Complementações do Diagnóstico;
- ✓ Capítulo 3: Construção dos Cenários Alternativos;
- ✓ Capítulo 4: Rebatimentos dos Cenários Alternativos nas Demandas Hídricas e Cargas Poluentes Futuras;
- ✓ Capítulo 5: Os Cenários do PIRH Doce 2022-2042;
- ✓ Capítulo 6: Estudos Específicos para o Enquadramento; e
- ✓ Capítulo 7: Temas a Serem Discutidos na Segunda Rodada de Oficinas e Consultas Públicas.

Cabe salientar que a presente versão do relatório PP 04 ("revisão zero") será complementada após a realização das Oficinas e Consultas Públicas previstas para discussão da etapa de Prognóstico e Alternativas de Enquadramento, quando será emitida a "revisão 1".

Os complementos previstos para a revisão 1 incluem: relato dos eventos de participação pública e resultados obtidos das discussões realizadas, voltadas, predominantemente a: validação de cenários e resultados obtidos; construção de uma matriz de enquadramento a partir da definição dos usos futuros pretensos; proposta das alternativas de enquadramento a serem consolidadas no PP 06 ("Proposta de Enquadramento e Programa de Efetivação", a ser editado de forma individualizada para as bacias afluentes e bacia do rio Doce). Também serão abordados em capítulos específicos: apresentação dos indicadores-síntese do Prognóstico; e conclusões e próximos passos, incluindo a definição das bases para o Plano de Ações do PIRH, PDRHs/PARHs e para o Programa de Efetivação do Enquadramento.

2. ADEQUAÇÕES E COMPLEMENTAÇÕES DO DIAGNÓSTICO

Neste capítulo, apresentam-se algumas adequações do relatório PP 03, emitido em 29/11/2021.Tais adequações decorrem de novos dados recebidos e/ou de novas análises realizadas, visando refinar as informações sobre o cenário atual dos recursos hídricos da bacia do rio Doce e se aplicam exclusivamente às águas superficiais, tendo em vista que não foram obtidos novos dados acerca das águas subterrâneas.

Abordam-se, em continuação, aspectos quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos superficiais, adequando e complementando temas relevantes à configuração do Diagnóstico da bacia do rio Doce.

2.1 ASPECTOS QUANTITATIVOS

2.1.1 Demandas Hídricas Consuntivas

Conforme descrito no item 6.1.2 do Produto PP 03, para a estimativa das demandas cadastradas foram inventariados os cadastros com vencimento a partir de 2019, sem considerar as outorgas em processo de renovação com vencimento anterior a 2019. Visto que o empreendedor continua a retirar água até a conclusão da análise do seu processo de renovação de outorga, estas foram inseridas no banco de cadastros e consideradas no cenário atual.

Ao todo, foram inseridas 14 outorgas em processo de renovação na porção mineira, estando duas na DO1, oito na DO2, duas na DO3 e as duas restantes nas DO4 e DO6. Quanto à vazão de retirada, houve um incremento de 2,56 m³/s, sendo 97% para uso industrial.

O Quadro 2.1 apresenta a totalização da demanda média apresentada no PP03 e o Quadro 2.2, os valores revisados na presente adequação. Os valores foram alterados por conta da entrada dos novos registros de outorgas estão realçados em verde.

QUADRO 2.1 – DEMANDAS DA REVISÃO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DA BACIA DO RIO DOCE APRESENTADAS NO PP03 – DIAGNÓSTICO (M³/S)

Bacia Afluente	Abastecimento Urbano	Abastecimento Rural	Aquicultura	Dessedentação Animal	Industrial	Irrigação	Mineração	Termoelétrica	Outros	Total
DO1	1,41	0,28	0,16	0,79	0,46	0,93	0,67	0,00	0,38	5,08
DO2	2,01	0,05	0,03	0,10	2,91	0,76	2,09	1,76	0,45	10,16
DO3	0,36	0,08	0,05	0,28	1,66	0,57	0,19	0,00	0,17	3,35
DO4	1,05	0,18	0,05	0,81	1,07	2,22	0,05	0,00	0,45	5,89
DO5	0,65	0,09	0,10	0,28	0,03	1,26	0,03	0,00	0,33	2,77
DO6	0,61	0,16	0,09	0,31	0,25	2,02	0,04	0,00	0,25	3,72
UA7 I	0,11	0,03	0,00	0,06	0,01	1,55	0,00	0,00	0,01	1,77
UA7 II	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	1,14	0,00	0,00	0,02	1,22
UA7 III	0,01	0,02	0,00	0,05	0,03	1,83	0,03	0,00	0,01	1,97
UA8	0,78	0,08	0,01	0,11	0,05	13,64	0,01	0,00	0,03	14,70
UA9	0,12	0,04	0,00	0,08	3,46	9,22	0,00	0,00	0,01	12,93
Total	***7,13***	***1,03***	***0,49***	***2,88***	***9,94***	***35,14***	***3,11***	***1,76***	***2,10***	***63,58***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: ENGECORPS, 2021, PP03 – Quadro 6.9

QUADRO 2.2 – DEMANDAS DA REVISÃO E ATUALIZAÇÃO DO PLANO DA BACIA DO RIO DOCE REVISADAS NO PROGNÓSTICO (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Aquicultura*	*Dessedentação Animal*	*Industrial*	*Irrigação*	*Mineração*	*Termoelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,41	0,28	0,16	0,79	0,62	0,93	0,67	0,00	0,38	5,23
DO2	2,01	0,05	0,03	0,10	4,44	0,76	2,09	1,76	0,46	11,70
DO3	0,36	0,08	0,05	0,28	2,35	0,57	0,19	0,00	0,17	4,05
DO4	1,05	0,18	0,05	0,81	1,24	2,22	0,05	0,00	0,45	6,06
DO5	0,65	0,09	0,10	0,28	0,03	1,26	0,03	0,00	0,33	2,77
DO6	0,60	0,16	0,09	0,31	0,25	2,02	0,04	0,00	0,25	3,72
UA7 I	0,11	0,03	0,00	0,06	0,01	1,55	0,00	0,00	0,01	1,77
UA7 II	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	1,14	0,00	0,00	0,02	1,22
UA7 III	0,01	0,02	0,00	0,05	0,03	1,83	0,03	0,00	0,01	1,97
UA8	0,78	0,08	0,01	0,11	0,05	13,64	0,01	0,00	0,03	14,70
UA9	0,12	0,04	0,00	0,08	3,46	9,22	0,00	0,00	0,01	12,93
Total	7,07	1,03	0,49	2,88	12,48	35,14	3,11	1,76	2,11	66,09

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração: ENGECORPS, 2022

Em relação aos grandes usuários da bacia, observou-se um aumento de 73 para 80 usuários, correspondendo a 59% da demanda total cadastrada, conforme relacionado no Quadro 2.3 e distribuição espacial ilustrada na Figura 2.1.

QUADRO 2.3 – QUANTIFICAÇÃO DOS GRANDES USUÁRIOS DA BACIA DO RIO DOCE – REVISADA NO PROGNÓSTICO

Finalidade	*N° de Usuários*	*Vazão Média Anual Cadastrada (m³/s)*	*% da Demanda Total Cadastrada*
Industrial	27	15,19	30,6
Abastecimento rural	12	2,91	5,9
Abastecimento urbano	20	5,01	10,1
Mineração	6	2,17	4,4
Irrigação	11	3,72	7,5
Outras	3	0,42	0,8
Dessedentação animal	1	0,10	0,2
Total	***80***	***29,52***	***59,4***

Elaboração: ENGECORPS, 2022

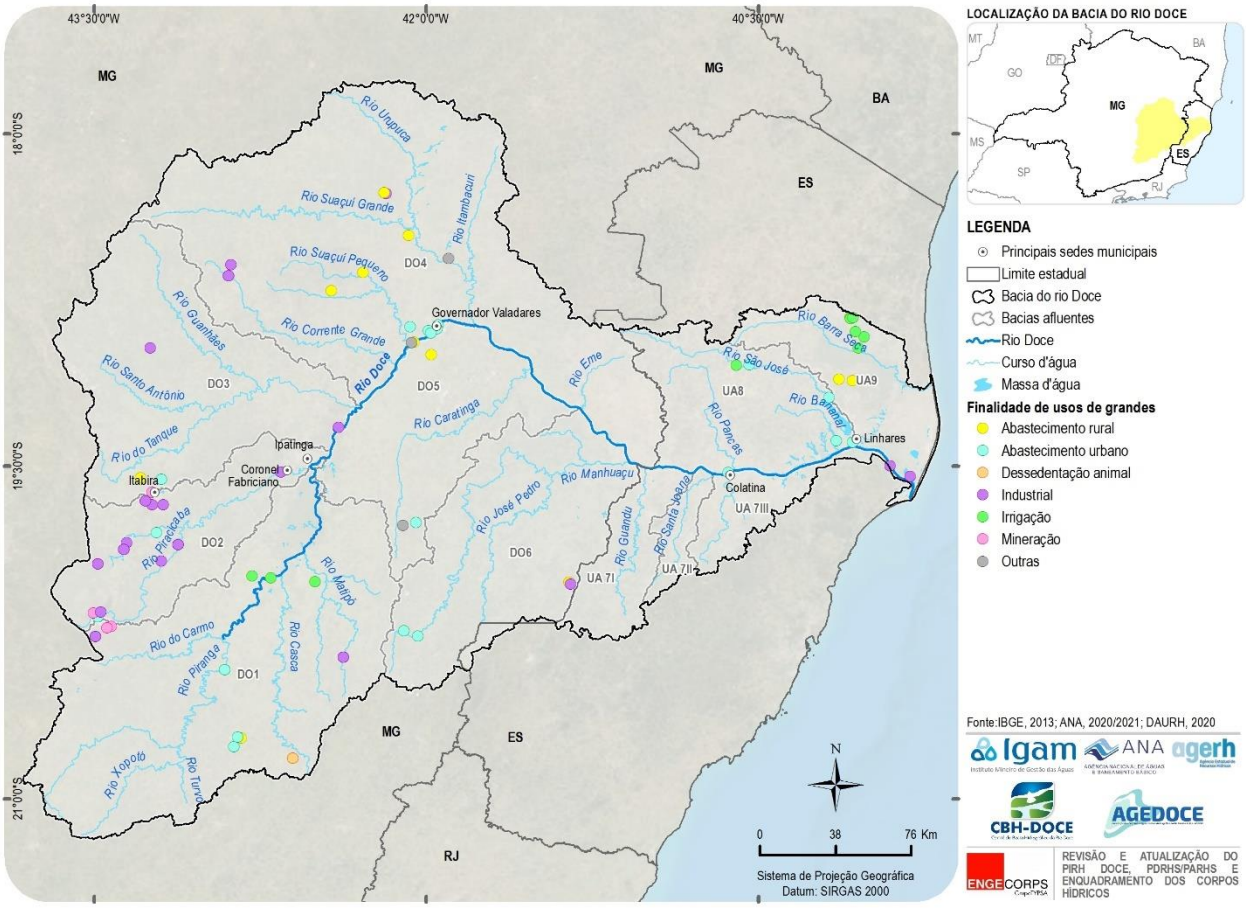


Figura 2.1 – Distribuição Espacial dos Grandes Usuários de Recursos Hídricos na Bacia do Rio Doce – Adequação do Prognóstico

2.1.2 Balanços Hídricos

Tendo em vista as revisões das demandas hídricas consuntivas, resultantes da atualização de outorgas do IGAM para indústrias, abastecimento urbano e outros usos, foram refeitos os balanços hídricos quantitativos.

As mudanças observadas foram semelhantes para as três vazões de estiagem consideradas, sendo elas a $Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, e apresentaram-se pouco significativas, como se pode verificar nas Figuras 2.2 a 2.7, que comparam os resultados do Diagnóstico com os da presente adequação.

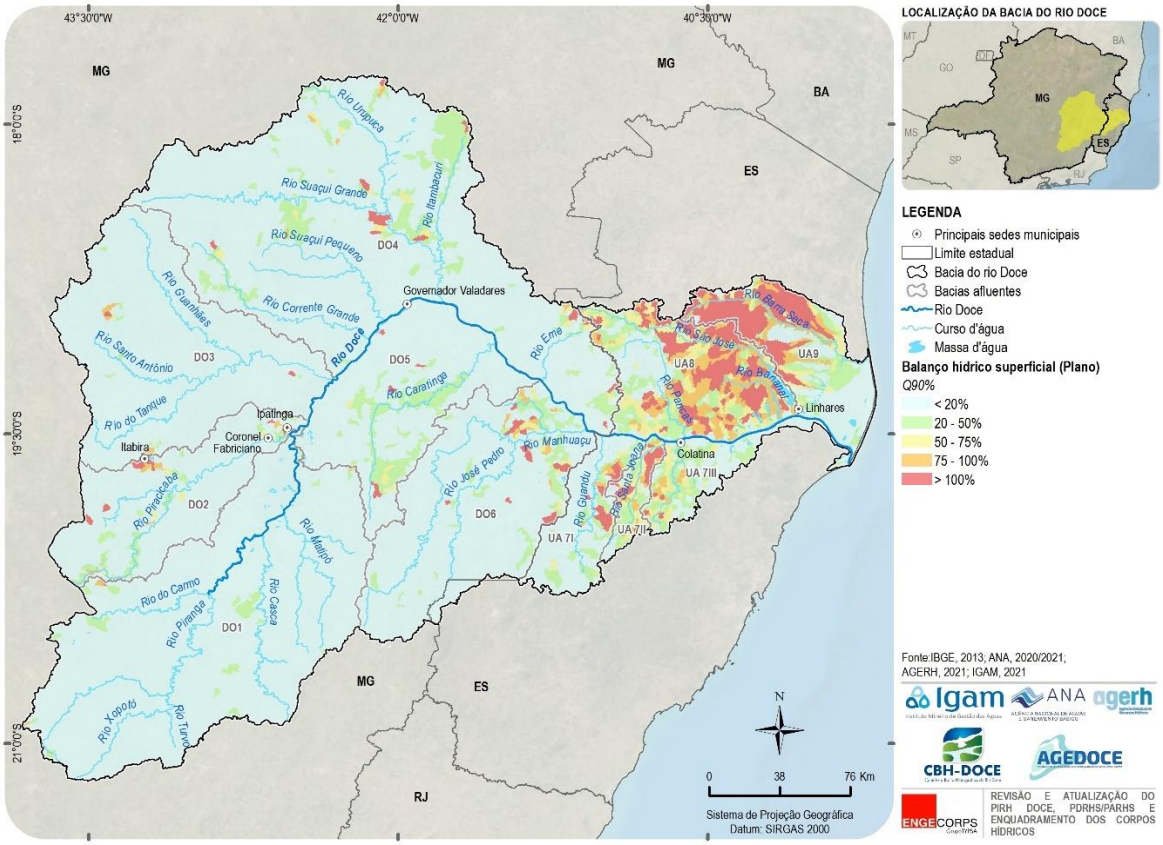


Figura 2.2 – Balanço Hídrico Quantitativo com Demandas do Plano e Disponibilidade $Q_{90\%}$ - Dados do PP03 – Diagnóstico

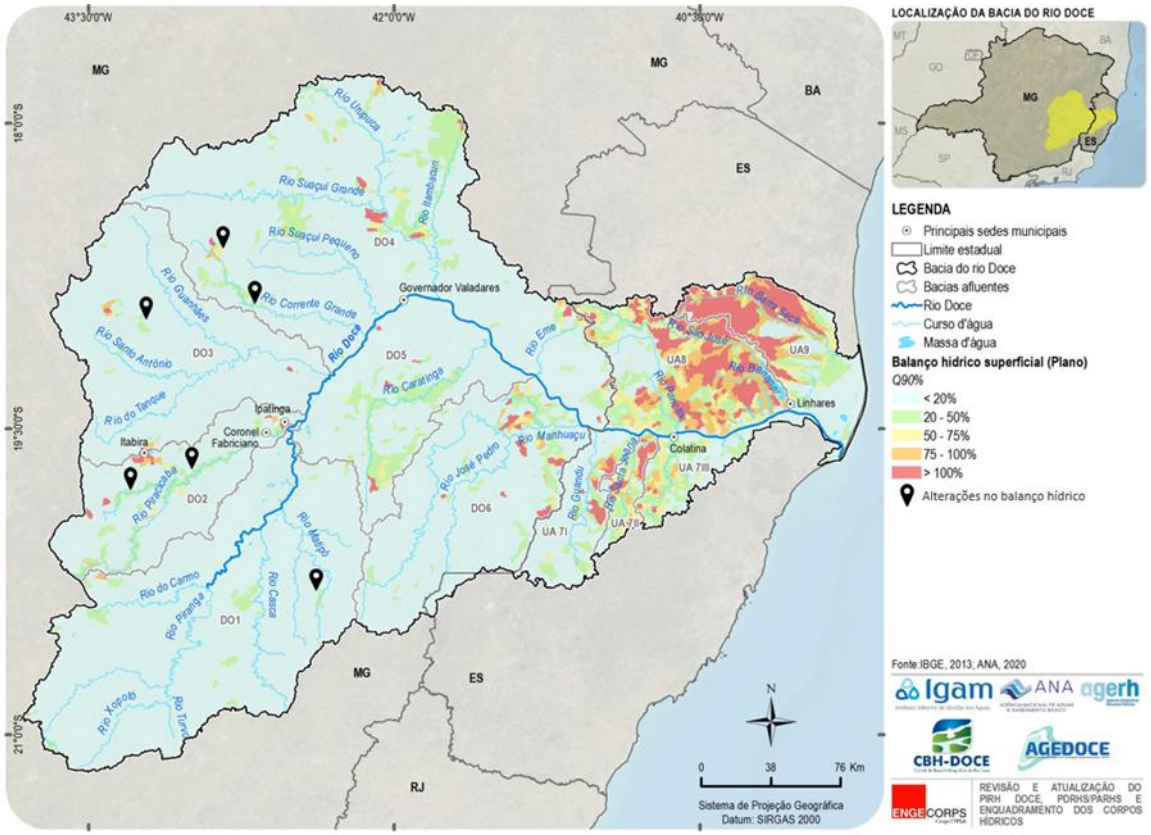


Figura 2.3 - Balanço Hídrico Quantitativo com Demandas do Plano e Disponibilidade $Q_{90\%}$ - Adequação no Prognóstico

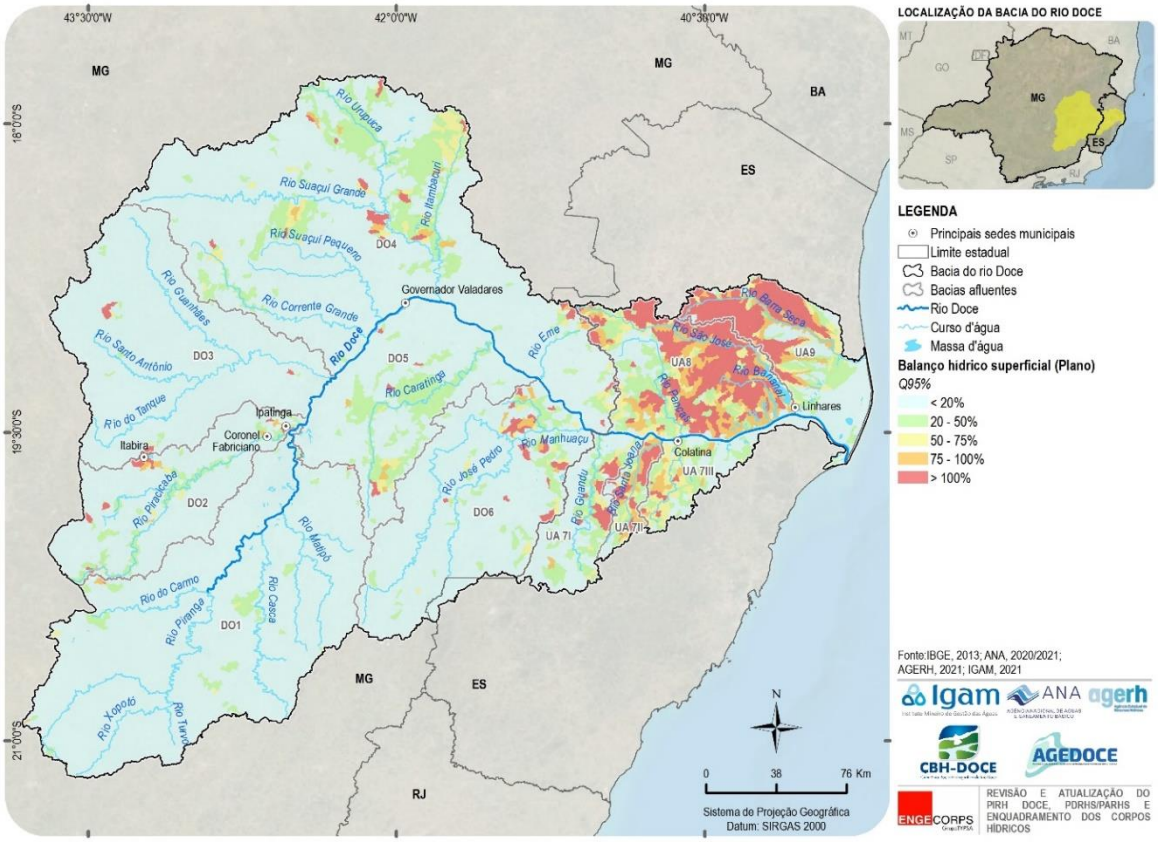


Figura 2.4 – Balanço Hídrico Quantitativo com Demandas do Plano e Disponibilidade $Q_{95\%}$ - Dados do PP03 – Diagnóstico

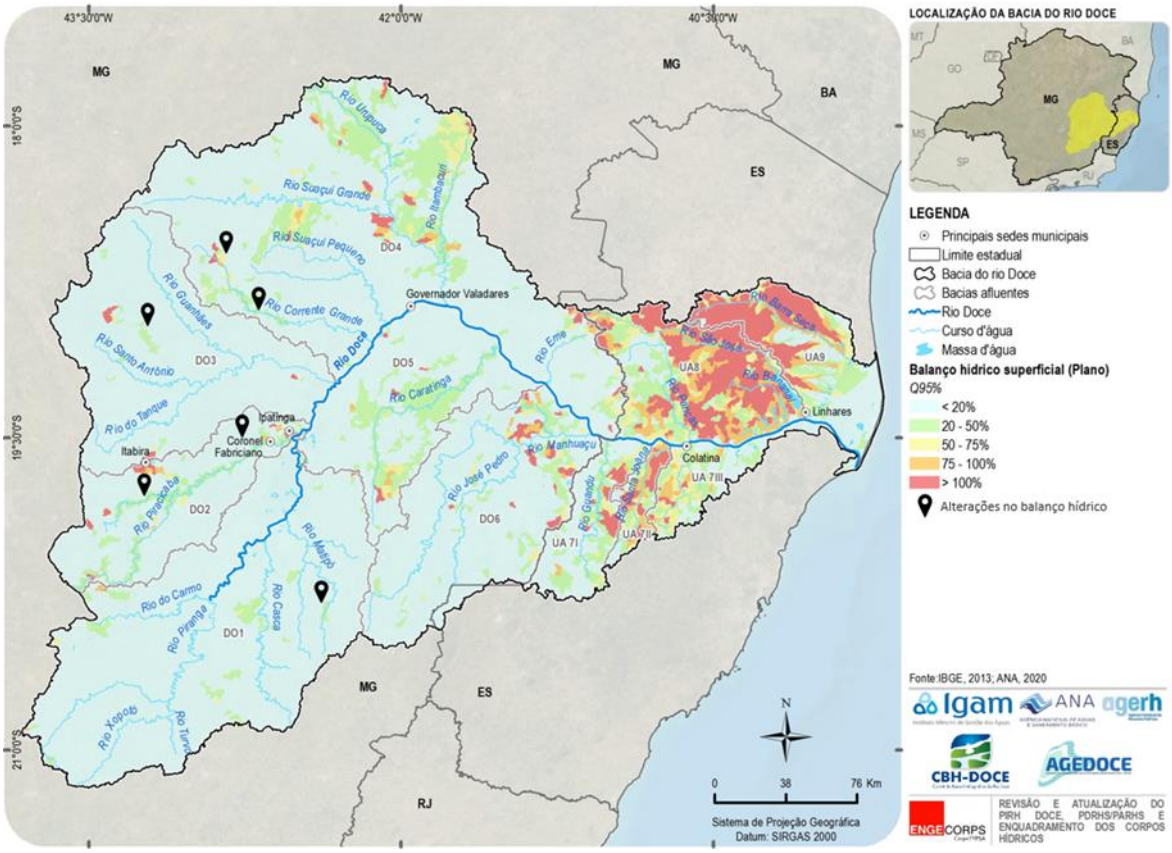


Figura 2.5 - Balanço Hídrico Quantitativo com Demandas do Plano e Disponibilidade $Q_{95\%}$ - Adequação no Prognóstico

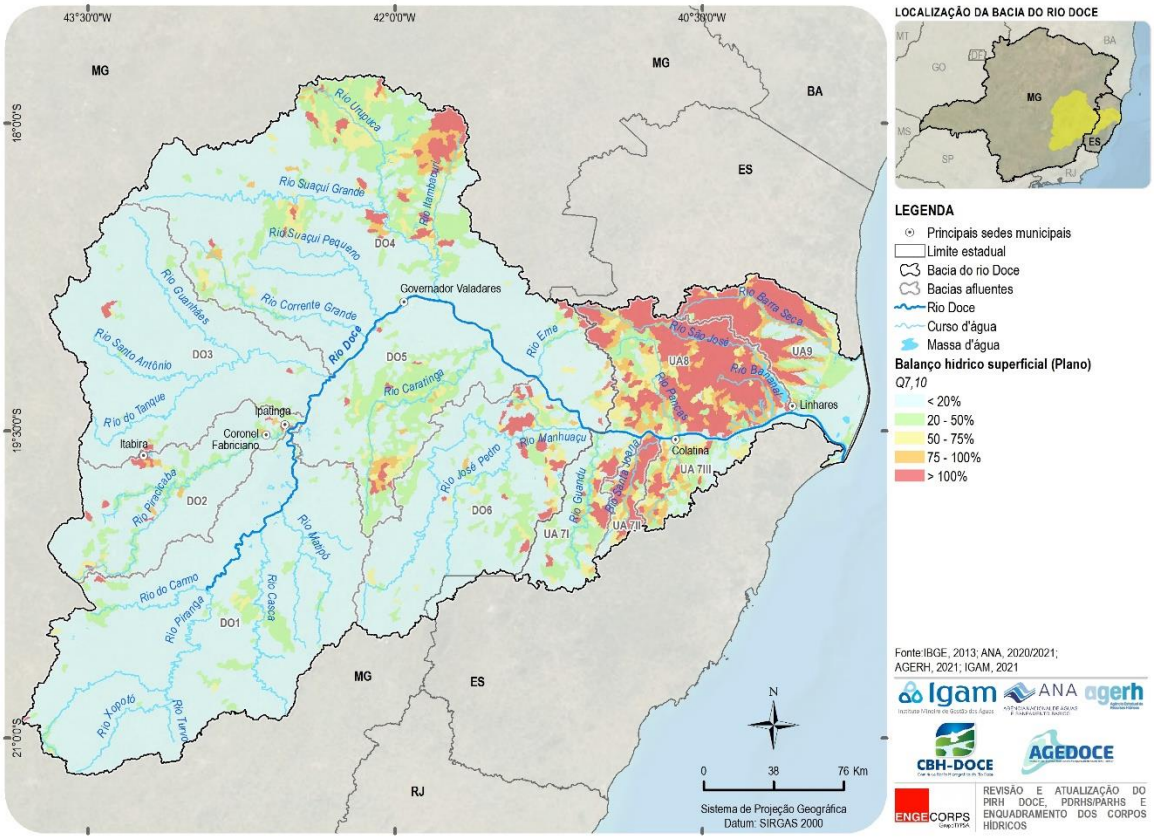


Figura 2.6 – Balanço Hídrico Quantitativo com Demandas do Plano e Disponibilidade $Q_{7,10}$ - Dados do PP03 – Diagnóstico

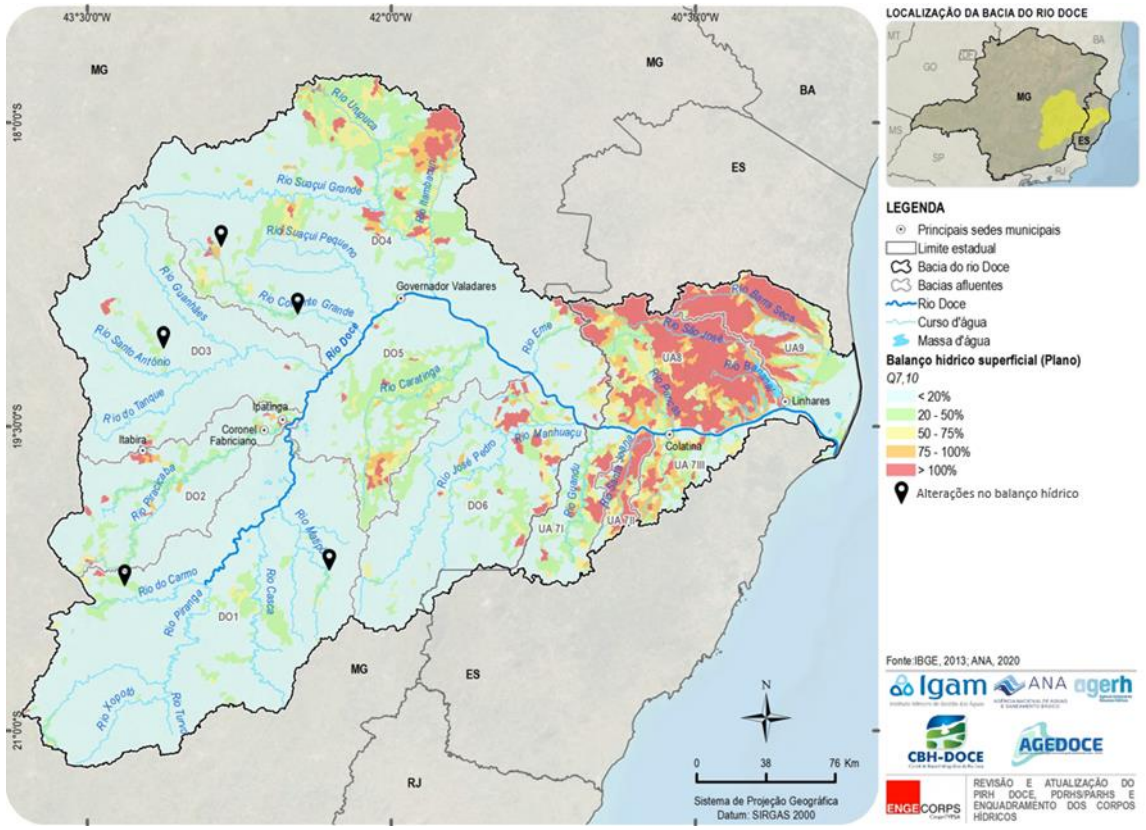


Figura 2.7 - Balanço Hídrico Quantitativo com Demandas do Plano e Disponibilidade $Q_{7,10}$ – Adequação no Prognóstico

As principais alterações nos balanços hídricos foram observadas nas bacias afluentes DO1 – Piranga, DO2 – Piracicaba, DO3 - Santo Antônio e DO4 - Suaçuí. As maiores alterações identificadas localizam-se na região entre os municípios de Sabinópolis, São João Evangelista e Ganhães, causadas pela adição de uma outorga para o abastecimento industrial, o que causou uma piora de dois níveis na classificação do balanço hídrico nas ottobacias afetadas.

Também se observa uma piora para a categoria amarela (comprometimento da disponibilidade hídrica entre 50 e 75%) nas regiões dos municípios de Ouro Preto e Matipó, causada pela incorporação de novas demandas industriais, porém, apenas quando o balanço é feito com a vazão $Q_{7,10}$.

Para o restante das regiões que sofreram alguma atualização observa-se apenas a mudança da categoria azul (comprometimento menor do que 25% da disponibilidade hídrica) para a categoria verde (comprometimento da disponibilidade hídrica entre 25 e 50%) em regiões esparsas, com destaque para a bacia afluente DO2, que teve um número maior de ottobacias com classificação alterada, principalmente ao longo do rio Piracicaba.

Com relação às áreas críticas resultantes da revisão do balanço hídrico, também não se observam grandes mudanças.

Destacaram-se novas áreas críticas na DO4, na região entre os municípios de Sabinópolis, São João Evangelista e Ganhães, causadas pela incorporação de novas demandas industriais. Novas áreas críticas também apareceram na DO1, na região dos municípios de Ouro Preto e Matipó, causadas mais uma vez pelas novas demandas industriais, porém, neste caso, apenas para o caso da vazão $Q_{7,10}$.

Os mapas com a localização de áreas críticas na bacia estão apresentados a seguir, nas Figuras 2.8 a 2.13, que mostram uma comparação entre os resultados do Diagnóstico e da sua presente adequação.

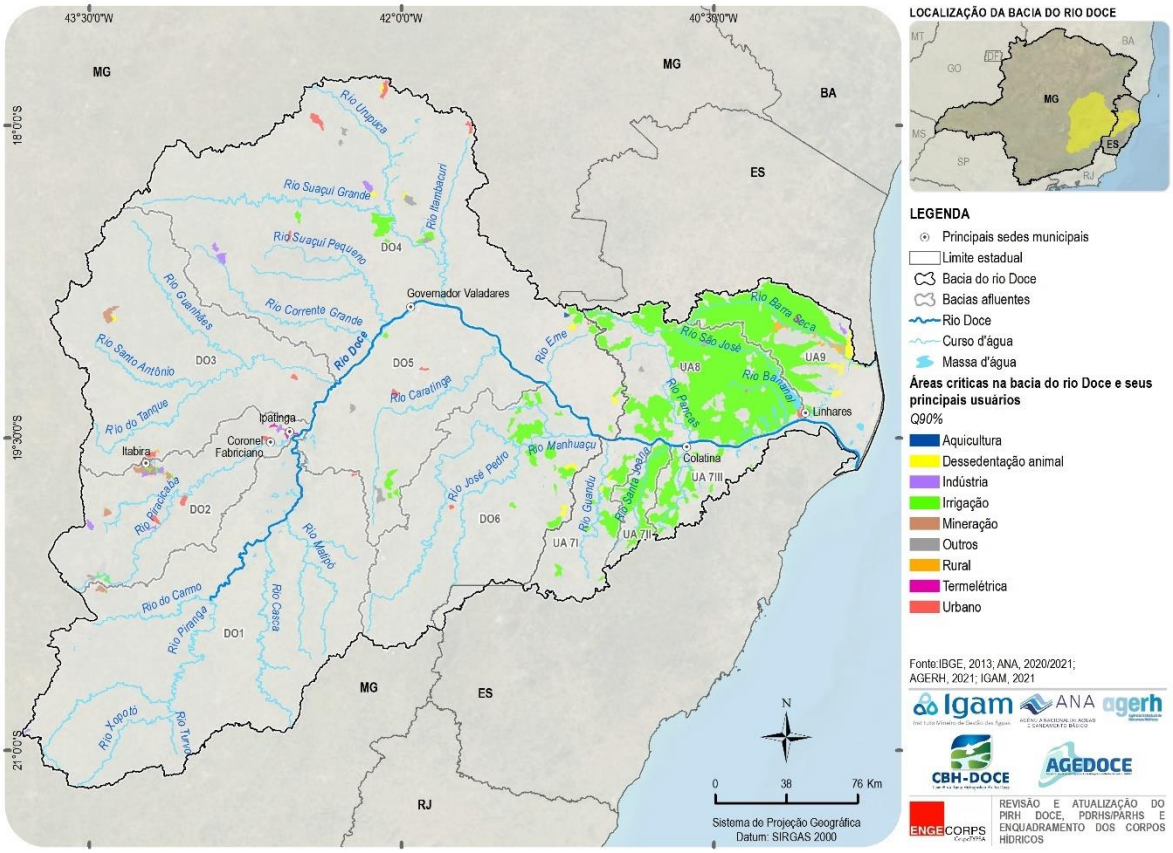


Figura 2.8 – Áreas Críticas na Bacia do Rio Doce – Dados do Diagnóstico – Vazão $Q_{90\%}$

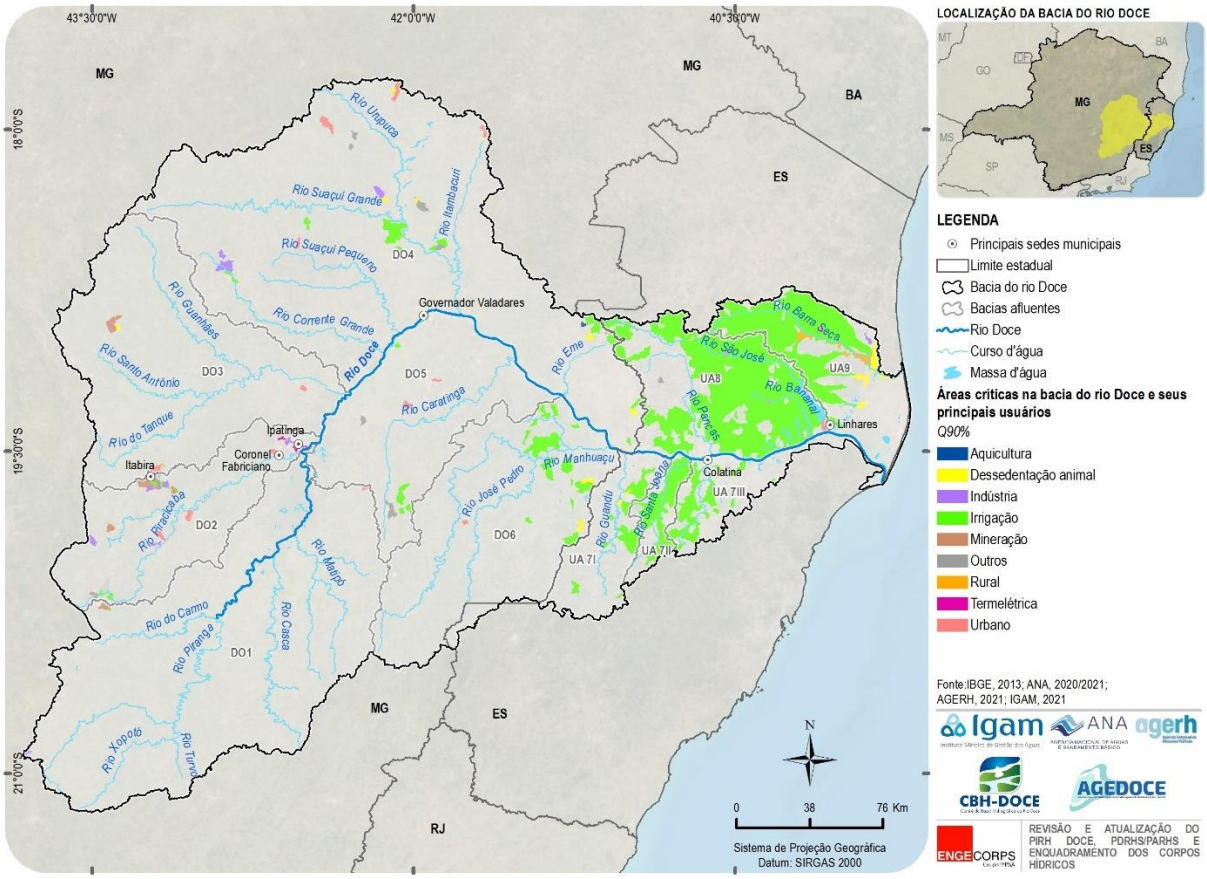


Figura 2.9 - Áreas Críticas na Bacia do Rio Doce – Adequação no Prognóstico – Vazão $Q_{90\%}$

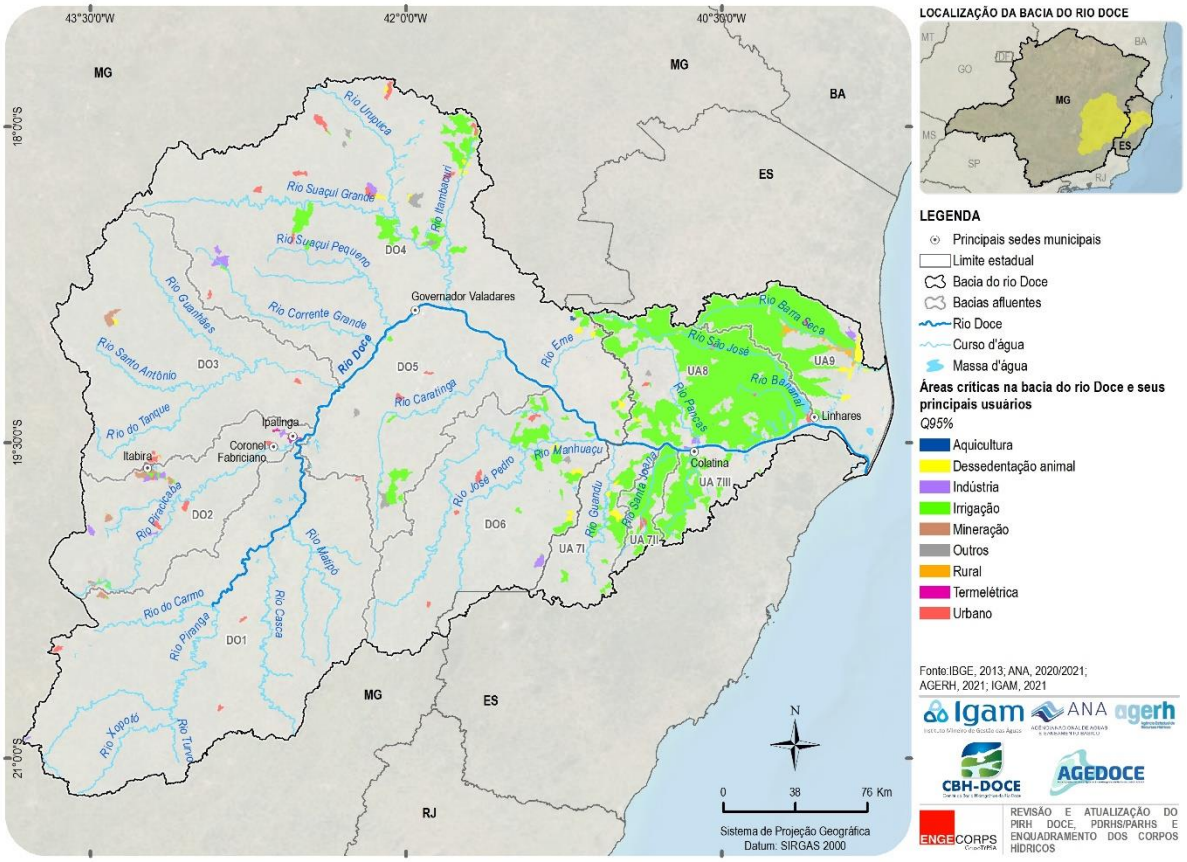


Figura 2.10 - Áreas Críticas na Bacia do Rio Doce – Dados do Diagnóstico – Vazão $Q_{95\%}$

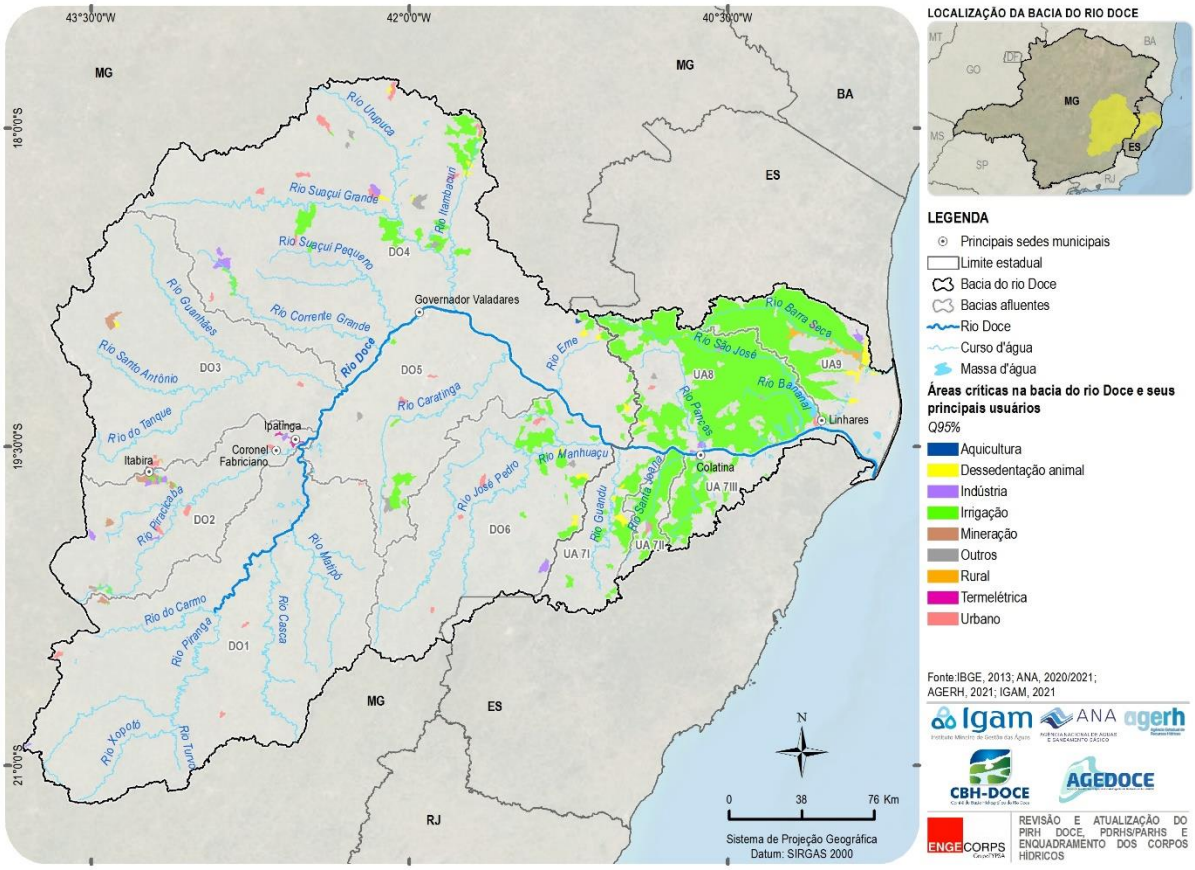


Figura 2.11 - Áreas Críticas na Bacia do Rio Doce – Adequação no Prognóstico – Vazão $Q_{95\%}$

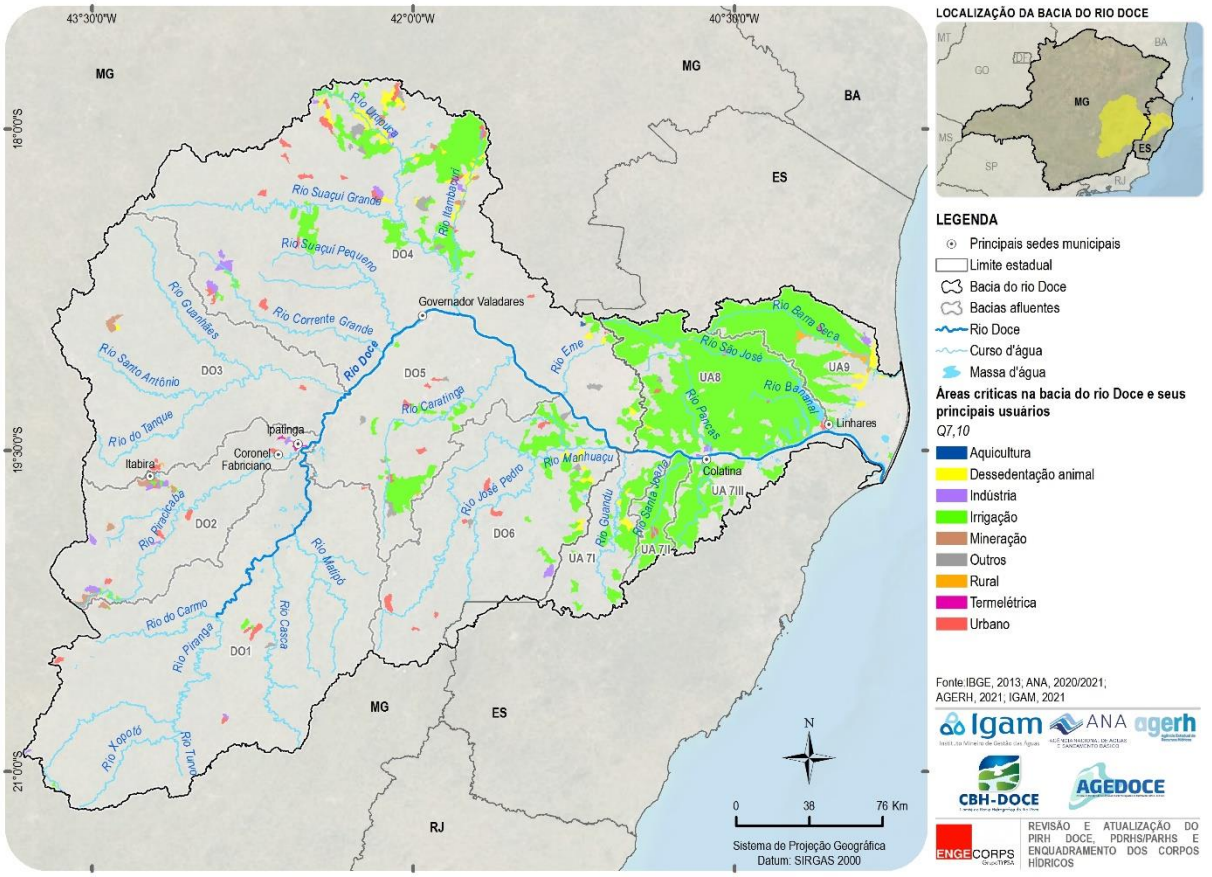


Figura 2.12 - Áreas Críticas na Bacia do Rio Doce – Dados do Diagnóstico – Vazão $Q_{7,10}$

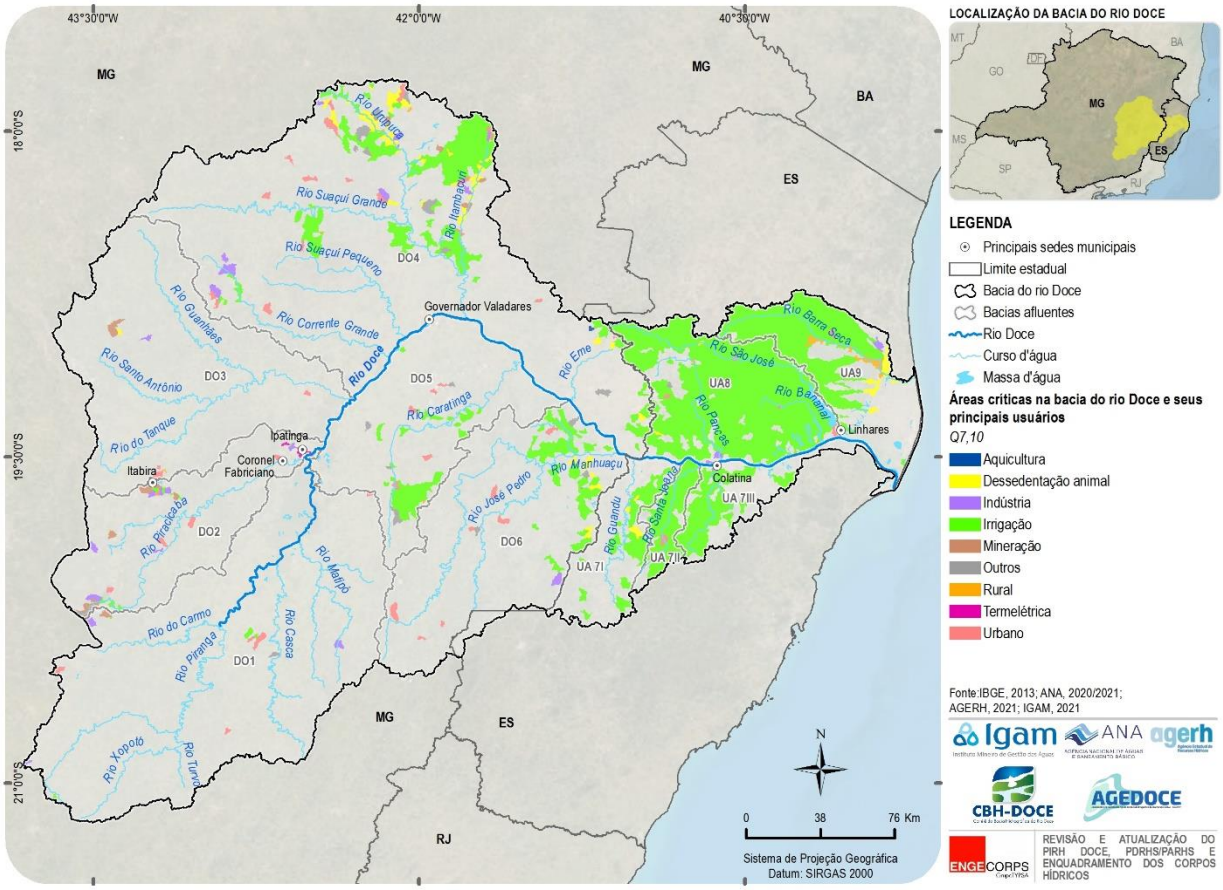


Figura 2.13 - Áreas Críticas na Bacia do Rio Doce – Adequação no Prognóstico – Vazão $Q_{7,10}$

2.2 ASPECTOS QUALITATIVOS

2.2.1 Campanhas Complementares para Coleta de Dados de Qualidade das Águas

Para o refinamento da calibração do modelo matemático foram realizadas coletas complementares em 18 estações de monitoramento preexistentes e na nova estação instalada no rio Maquiné (PIRH02). Os dados foram coletados em outubro de 2021 para as 18 estações preexistentes, enquanto para a estação PIRH02, nos meses de outubro e novembro, início do período chuvoso.

O mapa da Figura 2.14 ilustra a localização dessas estações.

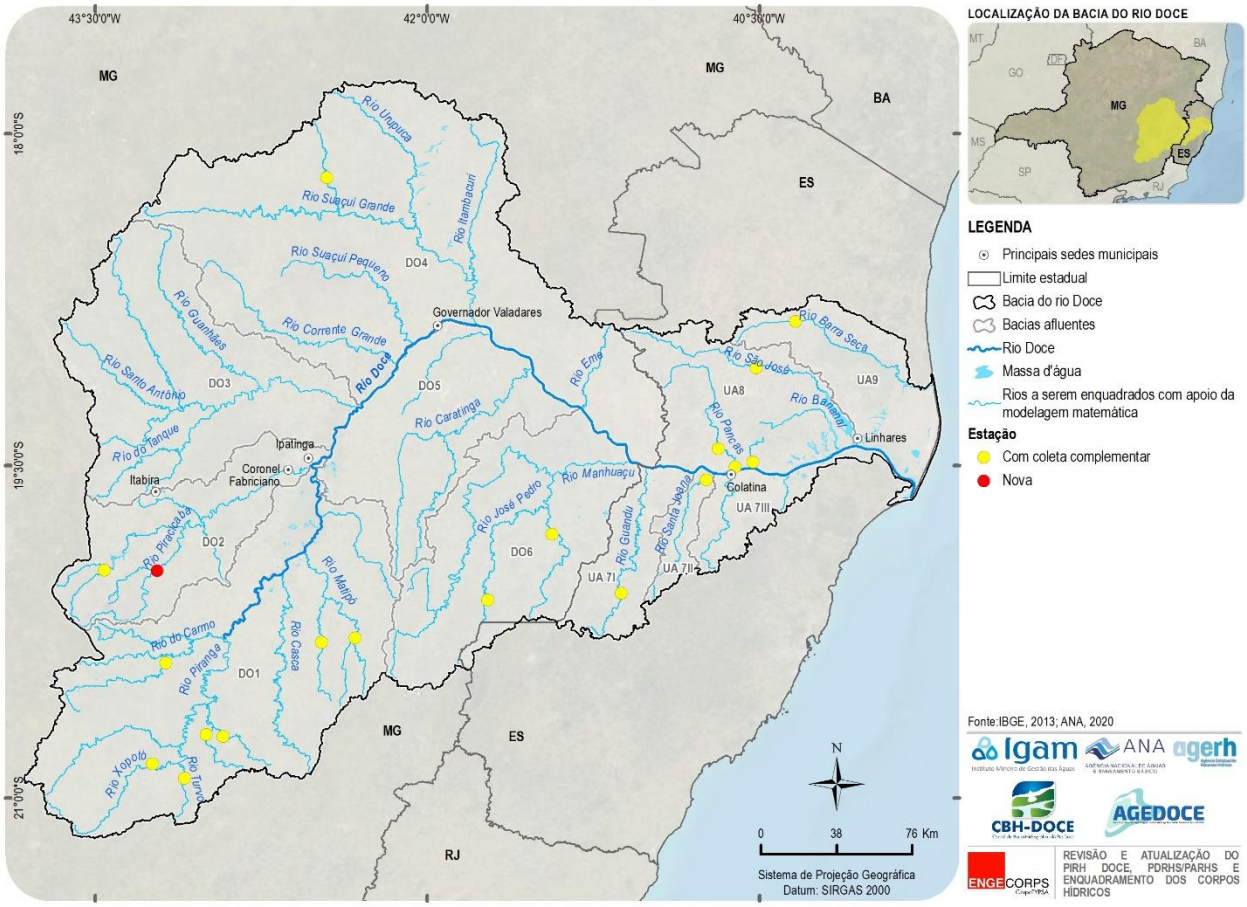


Figura 2.14 – Localização das Estações em que Foram Realizadas Coletas Complementares

As médias dos dados coletados estão apresentadas no Quadro 2.4.

QUADRO 2.4 - MÉDIAS DOS RESULTADOS DAS COLETAS COMPLEMENTARES

Ponto	Nome do Rio	Bacia Afluente	Arsênio total (mg/L)	Chumbo total (mg/L)	Condutividade elétrica (µS/cm) (1)	DBO (mgO2/L)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Ferro dissolvido (mg/L)	Fosforo total (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	OD (mg/L)	pH	Nitrato (mg/L)	Turbidez (NTU)	Temperatura da água (°C) (1)
PIRH02	Rio Maquiné	DO2	0,001	0,005	43,25	2,00	2.053,50	0,52	0,07	0,01	0,53	7,85	6,25	0,31	87,95	23,35
Ponto 1	Rio São Félix	DO4	0,001	0,005	66,3	2,00	1,00	1,64	0,10	0,00	0,10	8,06	7,55	0,25	13,70	24,9
Ponto 2	Rio Barra Seca	UA9	0,001	0,005	191,1	2,30	2,00	1,07	0,09	0,01	0,19	7,33	6,66	1,13	20,20	25,9
Ponto 3	Rio Pancas	UA8	0,001	0,005	92,5	2,00	2,00	9,08	0,17	0,01	0,62	7,25	6,89	0,24	15,60	26,7
Ponto 4	Rio São Manuel	DO6	0,001	0,006	71,7	3,30	2.420,00	3,32	0,44	0,02	0,98	7,20	6,53	0,35	699,00	23,9
Ponto 5	Rio Guandu	UA7	0,001	0,005	71,1	2,00	2.420,00	2,80	0,19	0,02	0,10	8,60	7,28	0,46	231,00	20,9
Ponto 6	Rio José Pedro	DO6	0,001	0,005	36,1	2,00	53,00	4,40	0,33	0,01	0,10	6,21	6,95	0,66	142,00	18,9
Ponto 7	Rio Matipó	DO1	0,001	0,005	46	2,00	25,00	2,21	0,16	0,00	0,43	8,90	7,13	0,34	218,00	19
Ponto 8	Rio Santana	DO1	0,001	0,005	52,9	2,00	2.420,00	0,75	0,09	0,02	0,55	8,55	7,21	1,47	72,60	20,6
Ponto 9	Rio Gualaxo do Sul	DO1	0,001	0,005	30,1	2,00	81,00	1,98	0,04	0,01	0,10	8,39	6,74	0,13	28,50	22
Ponto 10	Rio Turvo Sujo	DO1	0,001	0,005	139,7	3,70	2.420,00	2,77	0,24	0,16	2,46	4,06	6,93	0,72	38,50	23,1
Ponto 11	Rio Turvo	DO1	0,001	0,005	44,7	2,00	1.300,00	2,74	0,12	0,01	0,10	7,96	6,95	0,13	35,10	21,2
Ponto 12	Rio Turvo Limpo	DO1	0,001	0,005	58	2,00	816,00	2,09	0,10	0,00	0,10	7,72	7,06	0,40	35,90	23
Ponto 13	Rio Xopotó	DO1	0,001	0,005	50,6	2,00	7,00	0,30	0,10	0,00	0,10	7,81	6,88	0,87	24,30	22,5
Ponto 14	Ribeirão Caraça	DO2	0,001	0,005	121,6	2,00	1,00	0,77	0,04	0,03	0,13	7,35	6,71	1,01	3,34	23,1
Ponto 15	Rio São José	UA8	0,000	0,001	66,8	3,00	1.600,00	(2)	0,02	0,05	0,12	7,98	7,2	0,20	10,29	26,05
Ponto 16	Rio Liberdade	UA8	0,001	0,001	155,9	3,00	70,00	(2)	0,11	0,07	0,02	5,15	6,8	0,86	67,58	22,73
Ponto 17	Rio Pancas	UA8	0,000	0,001	68,3	3,00	280,00	(2)	0,04	0,01	0,01	8,23	7,14	0,21	32,05	22,45
Ponto 18	Rio Santa Joana	UA7	0,000	0,001	56,9	22,00	79,00	(2)	0,01	0,01	0,09	6,07	6,2	0,26	16,80	25,28

Compatibilidade com as classes de Enquadramento:

Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4

(1) Parâmetro sem padrão máximo admissível na legislação

(2) Medidos apenas níveis de ferro total

Elaboração ENGECORPS, 2022

2.2.2 Revisão da Estimativa de Cargas Poluentes

2.2.2.1 Adequações da Metodologia de Cálculo

No que se refere aos aspectos qualitativos, a principal adequação realizada está relacionada com a utilização de coeficientes unitários para geração de cargas poluentes, com base em dados de bibliografia.

Na etapa de Diagnóstico, o modelo SWMM foi utilizado para simular a geração e o transporte de fluxos de escoamento, como também para estimar a produção de cargas poluentes associadas a tal escoamento. Para tanto, foram calculadas as cargas poluentes alocadas por ottobacias da bacia do rio Doce, separando-as em cargas difusas e pontuais.

As cargas difusas de fósforo total, nitrogênio total e DBO foram estimadas mediante aplicação de cargas unitárias recomendadas em literatura para diferentes padrões de uso e ocupação do solo na bacia (ver item 10.4.1.2 do PP03).

Recentemente, foi publicado um artigo no XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, realizado em novembro de 2021 (MAGALHÃES et. al., 2021)[1], que faz uma revisão e compara as cargas unitárias obtidas em estudos de diversos países, inclusive do Brasil. As cargas unitárias indicadas neste artigo foram comparadas com as cargas utilizadas em estudos recentes de modelagem matemática de qualidade da água do rio Pinheiros (FCTH/SABESP, 2021)[2], para os usos do solo "Reflorestamento/Vegetação Nativa" e "Agricultura", considerando o período completo (sem diferenciação de períodos úmido e seco).

Em relação ao uso "Reflorestamento/Vegetação Nativa", observa-se que as cargas unitárias utilizadas na modelagem do rio Pinheiros, além de estarem inseridas na faixa dos valores levantados no estudo de Magalhães et. al. (2021, *op. cit.),* representam valores observados no Brasil.

Assim, e por esse motivo, foi feita uma revisão nas cargas unitárias de fósforo total, nitrogênio total e DBO utilizadas no PP 03 (Diagnóstico), de forma a adotar os valores da modelagem do rio Pinheiros. Destaca-se que, para DBO, o Diagnóstico não previa originalmente estimativas de cargas unitárias difusas.

Para o uso agrícola, foram mantidas as cargas unitárias de fósforo total e nitrogênio total adotadas no Diagnóstico, calculadas com base em dados do IBGE para a região em estudo. Em relação à carga unitária de DBO, não prevista originalmente no Diagnóstico, foi adotado o valor dos estudos da FCTH/SABESP para o rio Pinheiros.

[1] MAGALHÃES, A., SCARATI, R., POZZAN, B., *et al*. "Export Coefficients Variability Analysis on Nonpoint Pollution Modeling", XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1–10, 2021.
[2] FCTH/SABESP. "Modelagem de Qualidade da Água do Rio Pinheiros", Relatório Final-R1: Modelagem hidrológica e Geração de cargas, São Paulo, julho de 2021.

Quanto às cargas difusas provenientes das atividades de mineração, foram desconsideradas as áreas de mineração cujos empreendedores informaram as Declarações de Carga Poluidora, adotadas como cargas pontuais, de forma a evitar cargas duplicadas.

O Diagnóstico estimou de forma indireta as cargas de coliformes termotolerantes aportantes aos corpos hídricos, a partir dos resultados da modelagem hidrológica e dos dados das medições de campo, correlacionando vazões e concentrações nos dias de medição, possibilitando o cálculo das cargas. Entretanto, Von Sperling (2014)[3], em seu livro "Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos", propõe uma faixa de valores para cargas unitárias de coliformes termotolerantes nos esgotos domésticos brutos de 10^8 a 10^{11} org/hab.dia.

Visando subsidiar o futuro programa de efetivação do enquadramento, quando abatimentos de cargas orgânicas terão que ser obrigatoriamente considerados, na presente adequação, decidiu-se adotar o coeficiente unitário de 10^8 org/hab.dia de carga bruta de coliformes termotolerantes.

Outro parâmetro que foi objeto de análise mais detalhada na atual etapa foram os sólidos suspensos totais (SST), cuja presença nas águas impacta os teores de turbidez, influenciando no tratamento das águas para consumo humano. Os SST podem ter sua carga abatida em ETEs, em níveis equivalentes aos obtidos para a DBO, aspecto importante quando se considera o futuro programa de efetivação do enquadramento que será elaborado. Von Sperling (2014, *op. cit.*) apresenta o valor típico de 60 g/hab.dia de SST no esgoto doméstico bruto; para cálculo dessa carga poluente, foram analisadas as ETEs existentes na bacia, a população atendida e os níveis de remoção de DBO obtidos nessas estações, mediante consulta ao Atlas Esgotos.

Destaca-se que não foram feitas alterações nas cargas unitárias referentes a rebanhos animais apresentadas no Diagnóstico. Além disso, a metodologia para a estimativa das cargas difusas referentes aos diversos usos também não sofreu modificação.

O Quadro 2.5 mostra os novos coeficientes unitários de DBO, fósforo total e nitrogênio adotados na presente adequação do Diagnóstico.

QUADRO 2.5 – COEFICIENTES UNITÁRIOS DE CARGAS POLUENTES REVISADOS PARA O PROGNÓSTICO

Fonte Geradora		***Parâmetros***					
		DBO	***Ntotal***	***Ptotal***	***Coliformes termotolerantes***	***SST***	***Pb_{total}***
População Urbana e Rural (1) (DBO/ Ntotal/ Ptotal/ SST - g/hab.dia) (Coliformes termotolerantes - organismos/dia)		54	8	2.5	10^8 (6)	60 (6)	
Rebanhos Animais (kg/cabeça.ano)(2)	Bovinos	200	60	12			
	Equinos	200	60	12			
	Ovinos	25	4,1	9,9			
	Suínos	32,9	7,3	2,3			
	Aves	1,6	3,6	0,1			
Áreas de Reflorestamento/Vegetação Nativa (kg/km² .dia) (3)		1,302 (6)	0,6 (6)	0,039(6)	-	-	

[3] Von Sperling, M. "Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de esgotos". 4 Ed. – Belo Horizonte, Editora UFMG, 2014.

Fonte Geradora	Parâmetros					
	DBO	Ntotal	Ptotal	Coliformes termotolerantes	SST	Pb_{total}
Áreas Agrícolas (DBO - kg/km² .dia) (3) (Ntotal/ Ptotal - kg/ha.ano) (4)	7,564 (6)	116,4	83,2	-	-	
Áreas de Mineração(kg/ac-yr) (5)	18	2,21	0,281			0,378

Fontes:

(1) - VON SPERLING. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte. Minas Gerais vol. 3 ed. 2005

(2): SEMA – SECRETARIA DE ESTADO E MEIO AMBIENTE. Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (perh-ms). campo Grande, MS: Editora UEMs, 2010.

(3) - FCTH/SABESP. "Modelagem de Qualidade da Água do Rio Pinheiros", Relatório Final-R1: Modelagem hidrológica e Geração de cargas, São Paulo, julho de 2021.

(4): IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Utilização de fertilizantes por unidade de área (kg/ha.ano). Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. Rio de Janeiro, 2012.

(5): HARPER, H.H: Stormwater Chemistry and Water Quality: Estimating Pollutant Loadings and Evaluation of Best Management Practices for Water Quality Improvements. Orlando, 1999.

(6) – Houve alteração nas cargas unitárias apresentadas em relação ao Diagnóstico do PIRH Doce.

O Quadro 2.6 apresenta as cargas poluentes difusas apresentadas no PP 03. O Quadro 2.7 mostra as novas cargas difusas estimadas na presente adequação, de acordo com a metodologia utilizada, distribuídas nas bacias afluentes, e totais da bacia do rio Doce.

QUADRO 2.6 – CARGAS DIFUSAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE (T/ANO) – DADOS DO PP03 - DIAGNÓSTICO

Bacia Afluente	DBO	Nitrogênio Total	Fósforo Total	Chumbo Total
DO1	162.201,95	112.100,90	1.016.986,18	2,61
DO2	34.783,02	30.681,12	552.039,74	9,92
DO3	62.603,30	56.846,54	995.816,23	3,40
DO4	197.471,37	113.259,88	1.413.453,13	0,01
DO5	72.312,97	36.028,42	231.893,20	0,05
DO6	74.241,67	56.769,00	495.503,90	0,00
UA7 I	15.852,07	14.567,43	164.325,09	0,05
UA7 II	4.964,07	6.088,27	57.599,18	0,00
UA7 III	9.335,43	10.253,50	81.158,71	0,09
UA8	28.543,48	41.009,03	226.290,15	0,04
UA9	5.264,06	25.822,94	193.269,99	0,00
Total	***667.573,38***	***503.427,03***	***5.428.335,49***	***16,17***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1– Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.

Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce

Fonte: ENGECORPS, 2021, PP03, Quadro 10.3.

QUADRO 2.7 – CARGAS DIFUSAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE (T/ANO) – REVISADAS NO PROGNÓSTICO

Bacia Afluente	*DBO*	*Nitrogênio Total*	*Fósforo Total*	*Chumbo Total*	*Coliformes Termotolerantes (organismos/ano)*	*SST*
DO1	58.441,57	26.015,45	4.656,66	0,16	1,97E+16	14.694,06
DO2	14.942,30	3.967,13	761,36	0,92	1,72E+16	11.310,04
DO3	12.788,46	4.460,79	721,84	0,22	3,44E+15	2.913,13
DO4	35.678,29	11.263,67	2.046,50	0,01	1,35E+16	9.940,25
DO5	16.665,71	4.808,73	1.317,23	0,05	1,04E+16	7.212,65
DO6	19.425,60	6.478,48	2.134,97	0,00	6,95E+15	5.715,68
UA7 I	4.450,51	1.646,39	477,24	0,05	1,42E+15	1.315,71
UA7 II	1.726,61	824,53	243,75	0,00	2,63E+14	328,73
UA7 III	3.481,67	1.440,83	468,94	0,09	1,28E+15	1.054,12
UA8	13.558,11	5.549,99	2.295,64	0,04	4,05E+15	3.420,87
UA9	6.763,14	2.691,67	1.491,66	0,00	1,23E+15	1.146,45
Total	***187.921,96***	***69.147,66***	***16.615,80***	***1,55***	***7,94E+16***	***59.051,34***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1– Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração: ENGECORPS, 2022

Comparando os resultados dos dois quadros acima, observa-se uma redução de todas as cargas difusas obtidas na presente adequação para os parâmetros DBO, nitrogênio total, fósforo total e chumbo total, uma vez que os novos coeficientes unitários são inferiores, principalmente os de nitrogênio e fósforo; em contrapartida, ocorre a inserção das cargas difusas de coliformes termotolerantes.

O Quadro 2.8 mostra os dados de cargas pontuais estimadas no Diagnóstico e o Quadro 2.9, as cargas revisadas na presente adequação.

QUADRO 2.8 – CARGAS PONTUAIS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE (T/ANO) - DADOS DO PP03 - DIAGNÓSTICO

Bacia Afluente	*DBO*	*Nitrogênio Total*	*Fósforo Total*	*Chumbo*	*Arsênio (1)*	*Ferro Dissolvido*
DO1	9.435,88	60,27	14,71	8,54	127,17	1.926,89
DO2	2.439,77	1.108,11	298,72	2,62	0,00	17,29
DO3	1.451,83	81,89	42,48	0,00	0,00	0,00
DO4	1.151,02	57,41	17,41	0,00	0,00	0,00
DO5	94,94	9,17	2,86	0,00	0,00	0,00
DO6	397,35	63,93	23,68	0,00	0,00	0,00
UA7 I	123,46	754,96	18,07	0,00	0,00	0,00
UA7 II	17,96	19,63	6,13	0,00	0,00	0,00
UA7 III	785,03	240,92	19,72	0,00	0,00	0,00
UA8	1.249,86	105,50	32,74	0,00	0,00	0,00
UA9	686,76	371,63	119,14	0,00	0,00	0,00
Total	***17.833,86***	***2.873,43***	***595,65***	***11,16***	***127,17***	***1.944,18***

(1) Valoers obtidos das Declarações de Cargas Poluidoras
Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1– Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: ENGECORPS, 2021, PP03, Quadro 10.4

QUADRO 2.9 – CARGAS PONTUAIS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE (T/ANO) - REVISADAS NO PROGNÓSTICO

Bacia Afluente	*DBO*	*Nitrogênio Total*	*Fósforo Total*	*Chumbo*	*Ferro Dissolvido*	*Arsênio (1)*	*Coliformes Termotolerantes (organismos /ano)*	*SST*
DO1	9.435,88	60,27	14,71	8,54	1.926,89	127,17	5,88E+14	78.147,07
DO2	2.439,77	1.108,11	298,72	2,62	17,29	0,00	1,12E+16	5.099,74
DO3	1.451,83	81,89	42,48	0,00	0,00	0,00	8,64E+14	1.941,02
DO4	1.151,02	57,41	17,41	0,00	0,00	0,00	6,96E+14	197,86
DO5	94,94	9,17	2,86	0,00	0,00	0,00	1,14E+14	58,97
DO6	397,35	63,93	23,68	0,00	0,00	0,00	7,58E+14	81,51
UA7 I	123,46	754,96	18,07	0,00	0,00	0,00	5,91E+14	78,52
UA7 II	17,96	19,63	6,13	0,00	0,00	0,00	2,45E+14	19,95
UA7 III	785,03	240,92	19,72	0,00	0,00	0,00	3,84E+14	121,56
UA8	1.249,86	105,50	32,74	0,00	0,00	0,00	1,25E+15	118,72
UA9	686,76	371,63	119,14	0,00	0,00	0,00	4,65E+15	456,41
Total	**17.833,86**	**2.873,43**	**595,65**	**11,16**	**1.944,18**	**127,17**	**2,14E+16**	**86.324,43**

(1) Valores obtidos das Declarações de Cargas Poluidoras

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1– Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.

Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do

Elaboração: ENGECORPS, 2022

Observa-se a inserção de cargas de coliformes termotolerantes e de SST no quadro de cargas pontuais estimadas na bacia do rio Doce, cabendo salientar que as cargas de DBO já haviam sido consideradas na modelagem matemática realizada na etapa de Diagnóstico, porém, calculadas de forma indireta, como já exposto. As cargas de SST também já haviam sido consideradas, mas sem inserir as cargas provenientes dos esgotos brutos, ora incluídas.

2.2.2.2 Refinamento da Calibração do Modelo para o Ano Hidrológico

O processo de calibração tem como objetivo demonstrar que o modelo represente satisfatoriamente a complexa rede de drenagem da bacia do rio Doce e suas condições de qualidade da água, indicando as diferenças de concentrações, a influência das entradas de carga e alterações de vazões ocorridas ao longo do rio. Para isso, os novos dados de medições de campo foram organizados em gráficos para comparar com os resultados da simulação, obtidos na calibração.

Durante o processo de calibração e validação do modelo, foi escolhido um ano hidrológico modal, ou seja, que represente as precipitações médias anuais na bacia, que tivesse ocorrido após o rompimento da barragem de Fundão para ser utilizado como condição de contorno do modelo de qualidade da água.

Dessa forma, a calibração/validação do modelo foi feita para um ano hidrológico completo, portanto, inclui períodos secos e úmidos e, por consequência, as cargas respectivas de cada período. Inclusive as medições dos pontos adicionais, que foram feitas em épocas de início de chuvas, auxiliaram a caracterizar o início dos picos dos polutogramas.

Conforme demonstrado no relatório de Diagnóstico, para a realização da calibração do modelo foram feitas análises estatísticas (máximas, médias, mediana, quartis e mínimas) das estações que tinham séries de dados completas para delimitar quais são as concentrações mais frequentemente encontradas nos rios. Os coeficientes do modelo foram ajustados para que as variações das concentrações dos constituintes durante o ano hidrológico se mantivessem dentro da faixa de medições mais frequentes (segundo e terceiro quartil), de forma que ficasse representada a situação estatisticamente mais encontrada no ambiente real.

No caso das coletas complementares não se tinha número de amostras suficiente para os cálculos estatísticos, portanto, os valores das medições foram comparados graficamente com os resultados da modelagem. As Figuras 2.15 a 2.19 são exemplos da calibração realizada com os dados das coletas de água complementares realizadas no rio Turvo, podendo-se notar que os resultados da modelagem estão compatíveis com os de campo, quando comparados com o mesmo período do ano. Outros resultados da calibração realizada estão apresentados no Apêndice I deste relatório.

Para a caracterização das cargas de lavagens afluentes aos rios é importante que seja calculado o percentual de chuva que se transforma em escoamento superficial, e qual é o potencial de arraste relativo a esse escoamento. Para o ano modal, isso foi feito pela aplicação do modelo hidrológico associado ao modelo de geração de cargas.

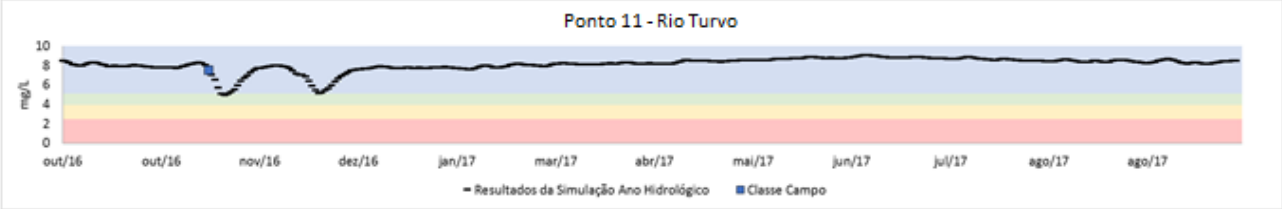


Figura 2.15 – Polutograma OD (out 2021)

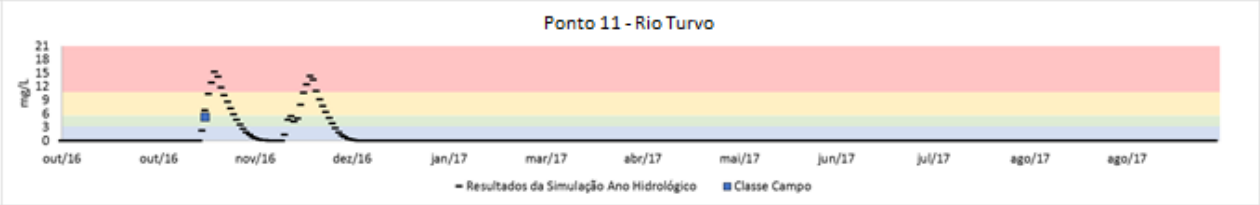


Figura 2.16 – Polutograma DBO (out 2021)

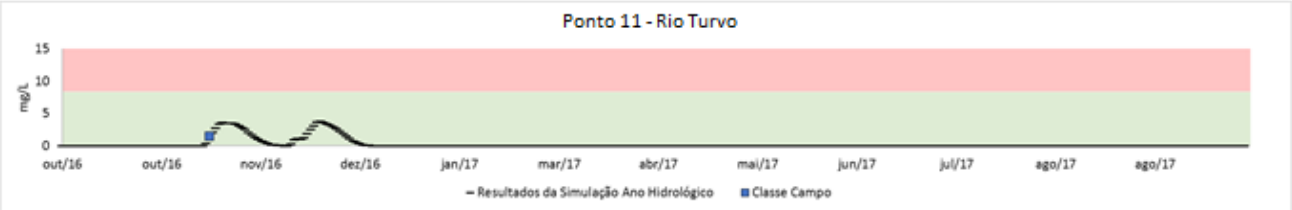


Figura 2.17 – Polutograma Nitrato (out 2021)

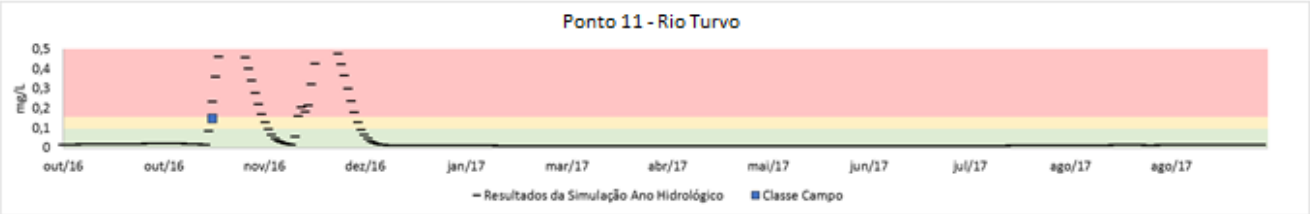


Figura 2.18 – Polutograma Fósforo (out 2021)

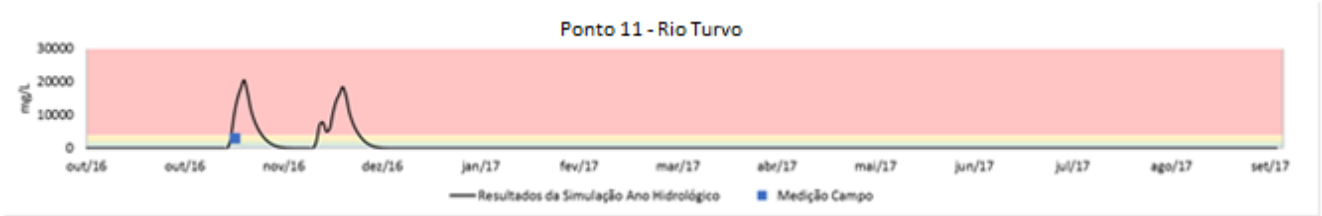


Figura 2.19 – Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021)

2.2.3 Classes Atendidas para as Vazões de Referência no Ano Hidrológico

Tal como realizado no Diagnóstico, as novas cargas poluidoras geradas na presente adequação foram distribuídas por ottobacias, de modo a possibilitar a simulação da qualidade das águas e identificação das classes de qualidade atualmente atendidas pelos cursos d'água modelados em um ano hidrológico completo, de acordo com a Resolução do CONAMA nº 357/2005.

Para esta etapa de calibração optou-se por trabalhar com um ano hidrológico completo visando demonstrar a influência das condições hidrológicas nas concentrações do constituinte. Vale recordar que esta representação só é possível tendo em vista que o programa (HEC-RAS) escolhido para este estudo é um modelo completo, que resolve o regime transiente baseado nas Equações de Saint-Vénant. Elas são computadas, no modelo, de seção a seção, obtendo os termos das equações de continuidade e de conservação da quantidade de movimento na forma de aproximação das diferenças finitas (HEC-RAS River Analysis System - User's Manual, 2016).

A modelagem de qualidade da água, por sua vez, é um módulo de análise acoplado ao de modelagem hidráulica, portanto, todas as condições simuladas no módulo hidráulico são exportadas e utilizadas como condição de contorno do modelo de qualidade. Esse acoplamento permite que o modelo em questão considere todas as relações dentro do ciclo de qualidade da água, inclusive os processos de sedimentação e ressuspensão (Figura 2.20).

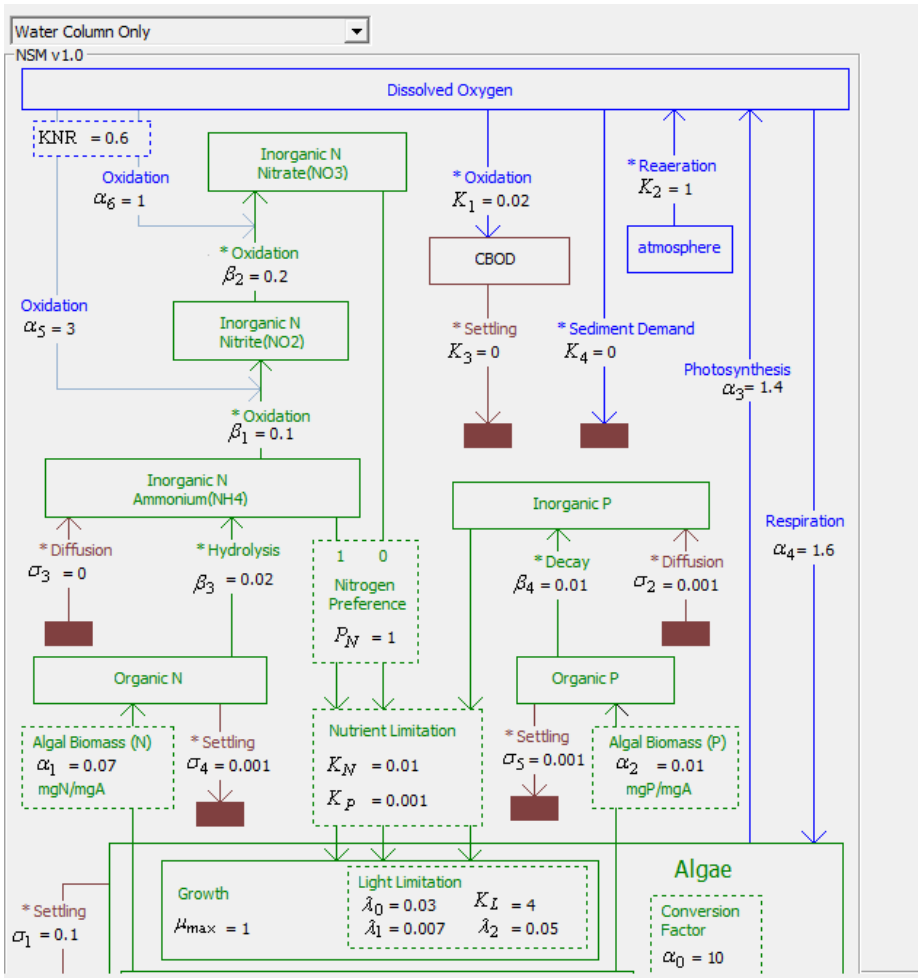


Figura 2.20 – Interface de usuário do módulo de qualidade da água HEC-RAS – Interrelação dos coeficientes e constituintes (dados em default)

A variação das concentrações dos constituintes durante o ano hidrológico pode ser observada nos exemplos de resultados das Figuras 2.21 a 2.24. Nota-se que quando se utiliza um acoplamento de modelos que são capazes de representar a contribuição da poluição advinda da carga de lavagem durante os eventos de chuva ficam representados os picos de concentrações dos constituintes durantes esses eventos.

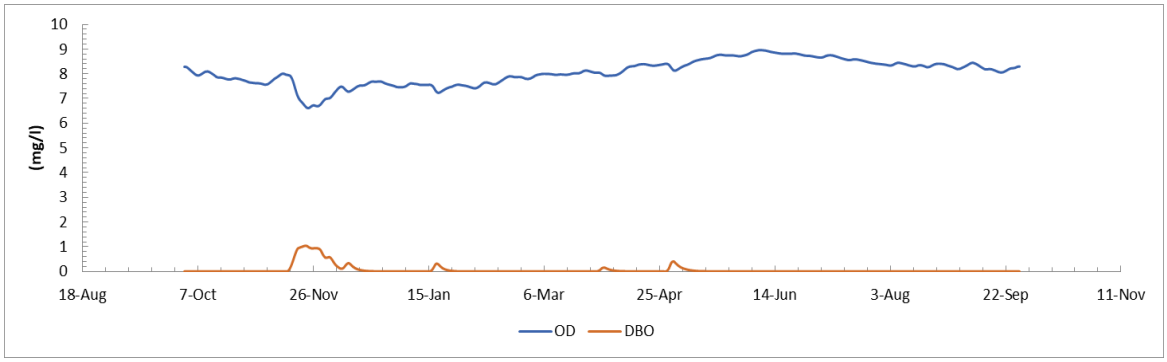


Figura 2.21 – Variação das concentrações de OD e DBO durante o ano hidrológico

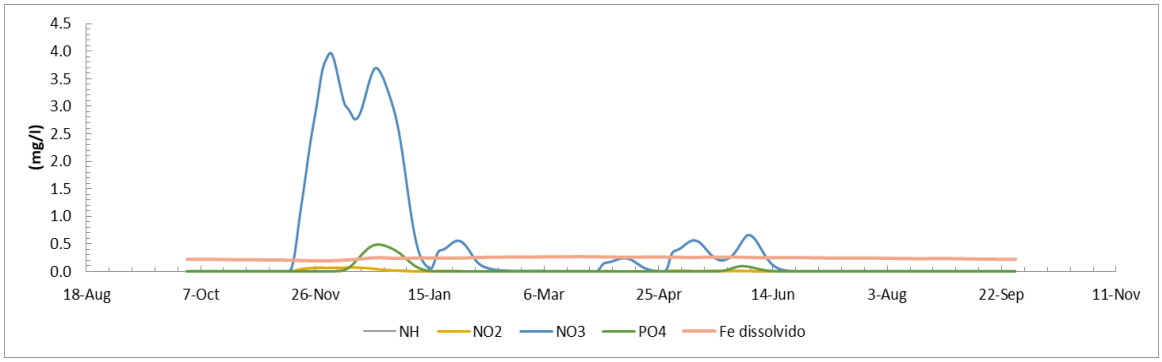


Figura 2.22 – Variação das concentrações da série de nitrogênio, fósforo e ferro dissolvido durante o ano hidrológico

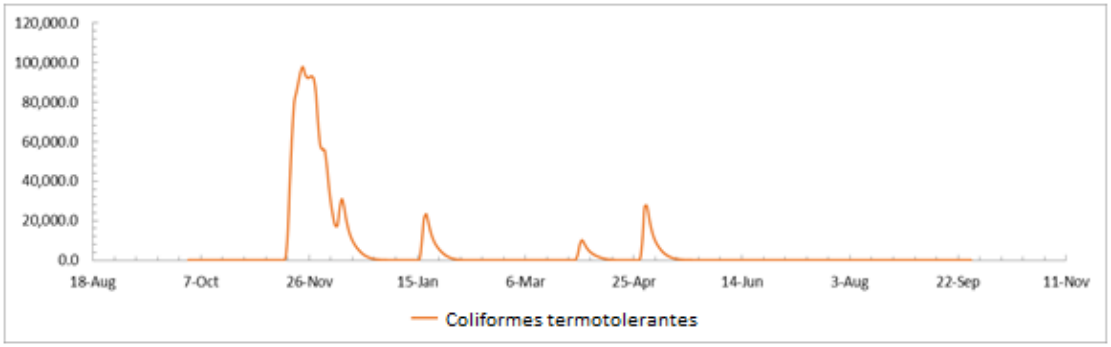


Figura 2.23 – Variação da concentração de coliformes termotolerantes durante o ano hidrológico

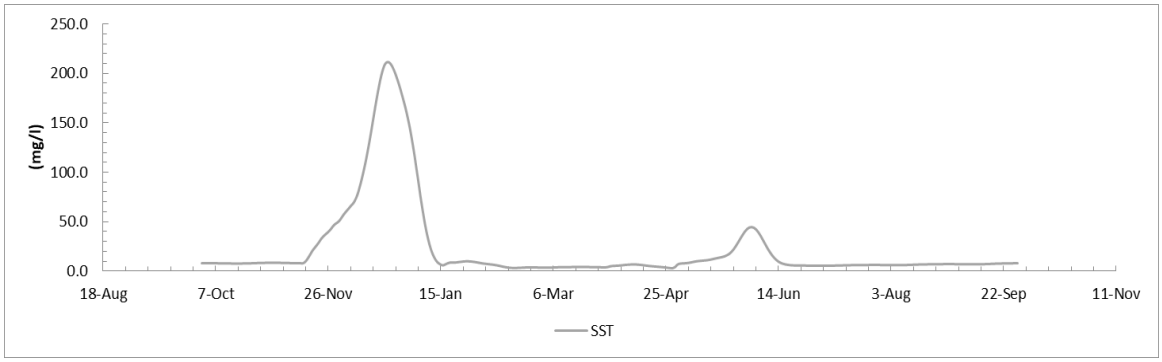


Figura 2.24 – Variação da concentração de sólidos dissolvidos durante o ano hidrológico

No período seco, a restrição em termos de disponibilidade hídrica reduz a massa de água disponível para a depuração dos constituintes que afluem aos canais, no entanto, neste momento, a contribuição de poluição difusa também é reduzida, sendo as fontes pontuais, como os esgotos e efluentes industriais ou de beneficiamento de materiais, as que mais contribuem para a geração das cargas poluentes que aportam aos cursos d'água.

De modo a verificar as condições da qualidade das águas da bacia do rio Doce em períodos de estiagem e chuvosos, foram realizadas simulações matemáticas para identificar as classes de qualidade atendidas em ambos os períodos do ano modal e os parâmetros responsáveis por essas condições.

2.2.3.1 *Simulações para o Período Seco*

A partir dos resultados da simulação de qualidade da água do ano modal, foram calculadas as classes de qualidade atualmente atendidas pelos cursos d'água da bacia considerando as vazões de referência utilizadas pelos órgãos gestores: um primeiro período, correspondente à ocorrência das vazões $Q_{90\%}$, seguido pelo período de ocorrência das vazões $Q_{95\%}$ e, por fim, pelo período de ocorrência das vazões $Q_{7\text{-}10}$ (Figuras 2.25 a 2.27). Já a Figura 2.28, mostra os parâmetros responsáveis pelas classes atendidas**.**

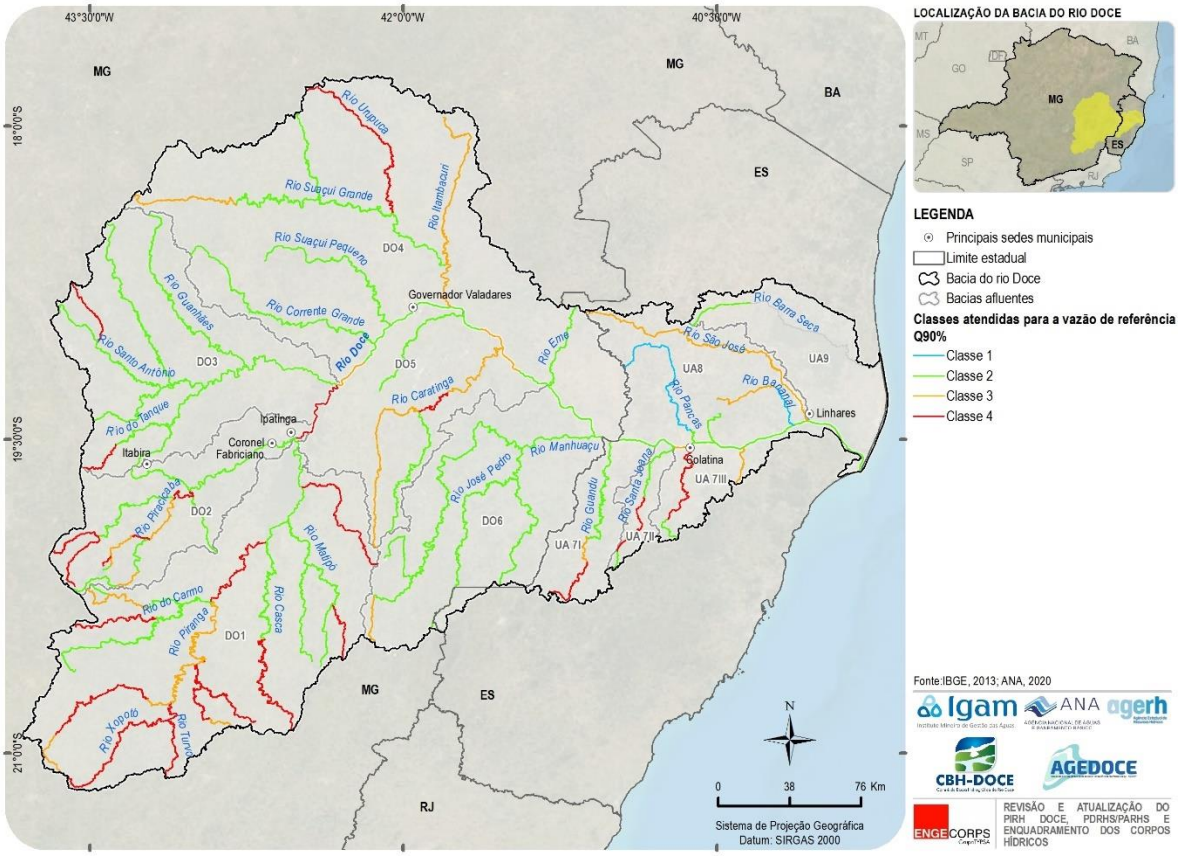


Figura 2.25 - Classes de Enquadramento Atendidas Atualmente pelos Rios Modelados em Condições de Vazão $Q_{90\%}$ – Período Seco do Ano Hidrológico - Adequação do Diagnóstico

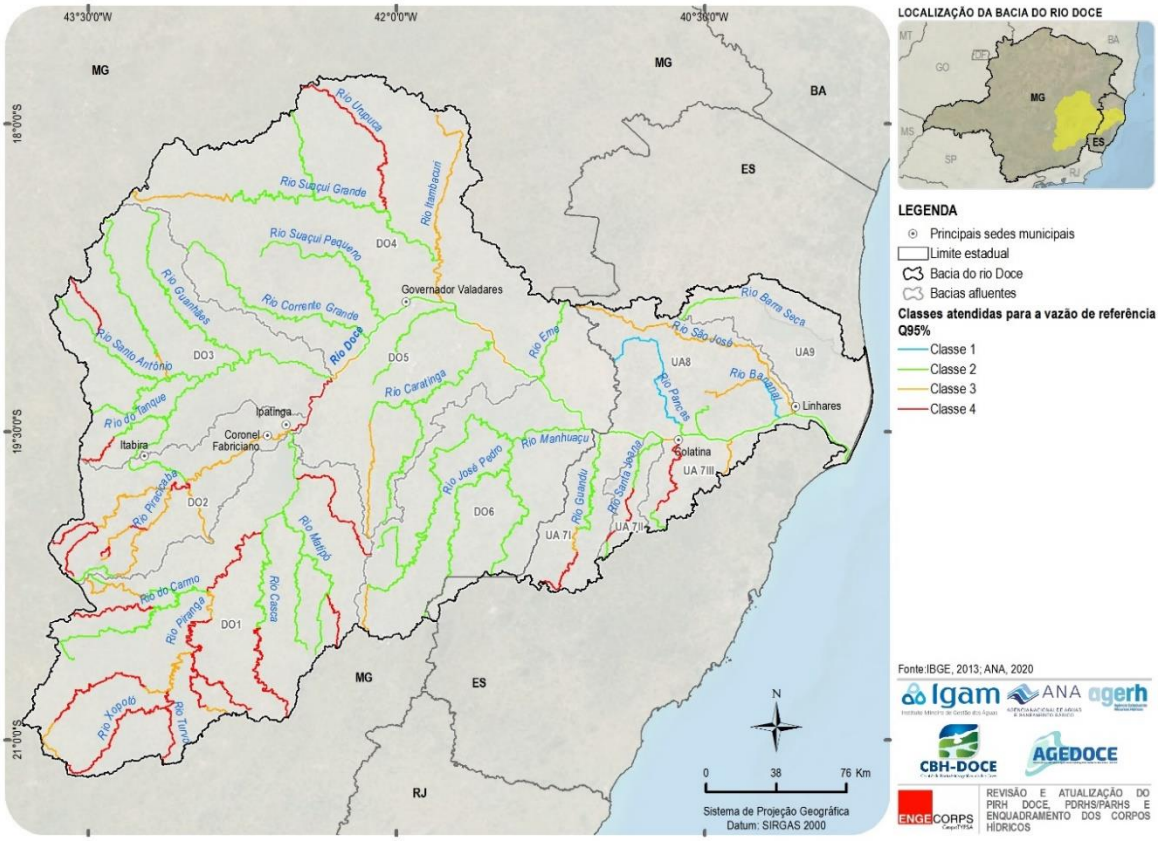


Figura 2.26 - Classes de Enquadramento Atendidas Atualmente pelos Rios Modelados em Condições de Vazão $Q_{95\%}$ – Ano Hidrológico - Adequação do Diagnóstico

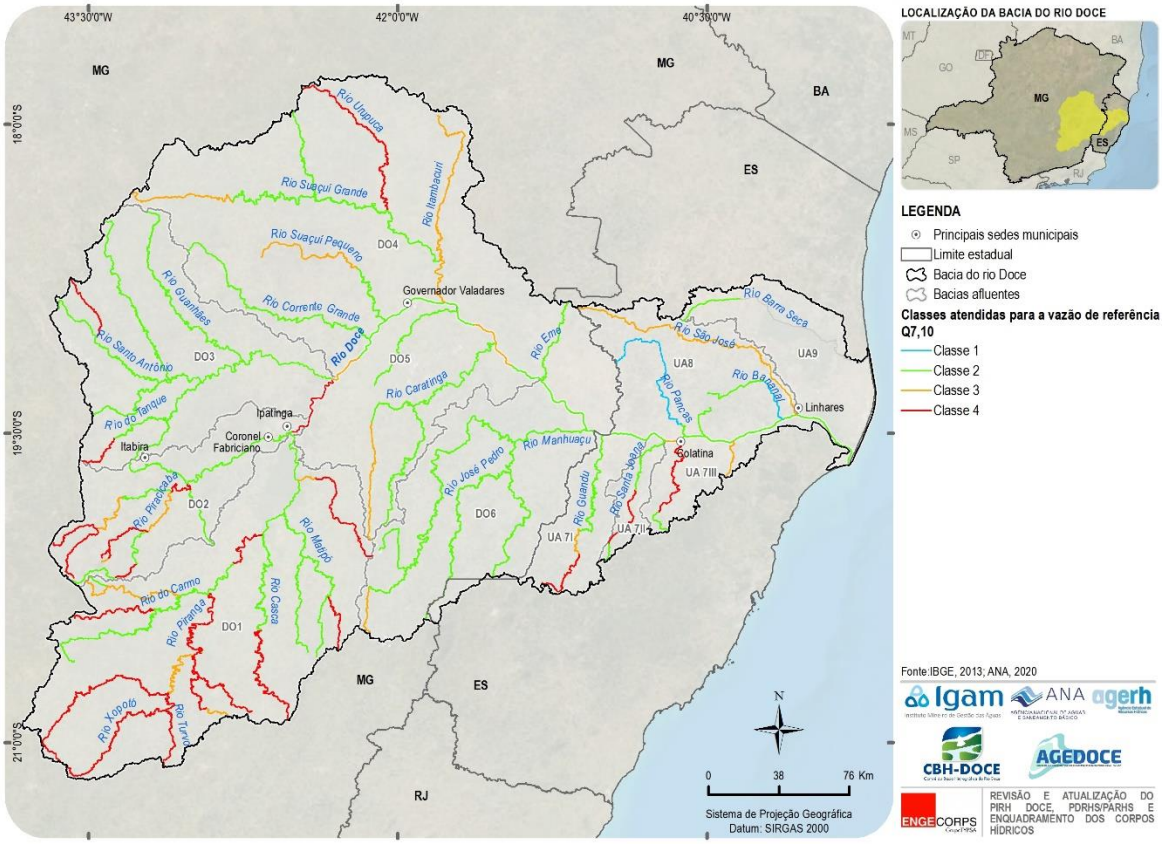


Figura 2.27 - Classes de Enquadramento Atendidas Atualmente pelos Rios Modelados em Condições de Vazão $Q_{7,10}$ – Período Seco do Ano Hidrológico - Adequação do Diagnóstico

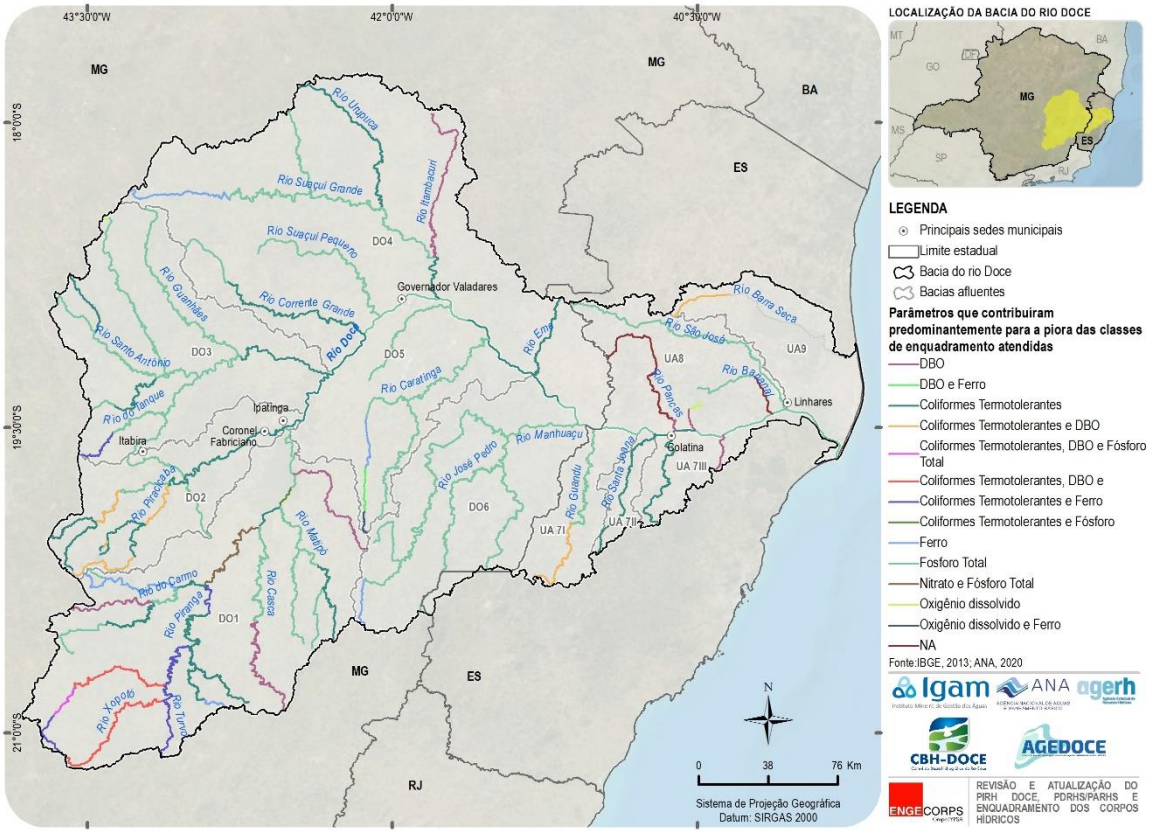


Figura 2.28 - Parâmetros que Contribuíram Predominantemente para a Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações com pelo Menos uma das Vazões – Período Seco do Ano Hidrológico - Adequação do Diagnóstico

De modo geral, a distribuição de classes, em extensão, nas três vazões de referência é semelhante, estando cerca de 2% dos trechos modelados em classe 1, 57% em classe 2, 19% em classe 3 e 22% em classe 4, para uma extensão total de, aproximadamente, 7 mil quilômetros de rios modelados.

Considerando os mananciais de domínio da União, rios Doce e José Pedro e seus formadores, para a vazão de referência $Q_{95\%}$, nenhum deles apresenta qualidade compatível com a Classe 1. Os resultados demonstram pontos de atenção para os rios Piranga, Xopotó e Doce, até o início da DO4, sendo os parâmetros que mais contribuem para classes de pior qualidade os coliformes termotolerantes, a DBO, o ferro dissolvido e o fósforo total. Destaca-se que as características naturais de rochas e solos da bacia proporcionam teores de ferro mais elevados nas águas, tema que terá uma abordagem mais detalhada no item 6.3 do Capítulo 6 deste relatório.

Na porção capixaba, para a vazão de referência $Q_{90\%}$, apenas os rios Pancas e a foz do rio Bananal atendem atualmente à Classe 1, que são formadores de lagoas utilizadas para abastecimento público. Os demais rios do Espírito Santo possuem problemas relacionados às atividades humanas (cargas elevadas de coliformes e DBO) e à poluição difusa, esta, representada pelos teores de fósforo total nas águas.

Quanto à porção mineira, os cursos d'água que atendem a classes de pior qualidade estão concentrados na DO1, DO2 e DO4, onde estão localizadas áreas de mineração e grandes aglomerados urbanos desprovidos de ETE, como Governador Valadares. Os coliformes, ferro

dissolvido, fósforo total e DBO são os parâmetros quem mais contribuem para classes de pior qualidade em Minas Gerais.

Os resultados também mostram que o modelo foi capaz de representar a influência da poluição difusa em algumas áreas da bacia, mais bem caracterizada em condições de vazão $Q_{90\%}$.

Identificam-se locais em que as simulações indicaram tal possibilidade no trecho de cabeceira do rio Piranga, região de predominância de pastagens em que as vazões ainda são baixas ($Q_{90\%}$= 8,57 m^3/s), por vezes, não sendo suficientes para diluir a carga difusa aportante. Essa situação também ocorreu no trecho do rio Doce, entre o município de Tumiritinga e a entrada do rio Caratinga, no qual tem-se, além do lançamento da ETE do município, a predominância de atividades de pastagens.

A presença de coliformes na água pode ser de procedência animal ou humana, sua principal fonte de entrada é o esgoto, sendo um indicativo do nível das condições de saneamento básico da região. A quantidade de microrganismos presentes no esgoto depende das condições socioeconômicas da população, das condições sanitárias, da região geográfica, da presença de indústrias agroalimentícias, e do tipo de tratamento a que o esgoto e o lodo são submetidos.

O fósforo total, por sua vez, pode ter origens variadas, naturais ou antropogênicas, estas associadas a despejos domésticos e industriais, detergentes, excrementos de animais e fertilizantes, portanto, é um constituinte presente na poluição difusa (lavagem de áreas agrícolas) e na poluição pontual (efluentes urbanos). Apesar de não apresentar problemas para águas de abastecimento, pode ser prejudicial em reservatórios e lagoas, uma vez que seu acúmulo pode causar eutrofização do ambiente e proporcionar a proliferação de algas nesses ambientes.

Os metais, tal qual o ferro, podem também ser de origem natural ou antropogênica, a primeira associada à dissolução dos compostos no solo e a segunda associada a atividades de extração mineral ou despejos industriais. No caso da bacia do rio Doce, nota-se que a presença deste parâmetro como responsável pela piora da classe atendida ocorreu em trechos de montante dos rios, o que pode indicar a ocorrência de fontes naturais de ferro. O tema foi melhor investigado e está discutido no item 6.3 do Capítulo 6 deste relatório.

Esse panorama indica que, nos períodos de estiagem, a principal fonte pontual de poluição na bacia hidrográfica é o esgoto doméstico, com altas cargas de matéria orgânica sendo depurada nos rios, aqueles que têm maior capacidade de suporte conseguem realizar a estabilização dessa carga sem prejudicar seus níveis de OD, aqueles que são menores e com menor fluxo de água não conseguem realizar a estabilização sem prejudicar a qualidade da água local.

2.2.3.2 Simulações para o Período Úmido

As figuras a seguir mostram os resultados das simulações matemáticas de qualidade da água realizadas para o período úmido do ano modal (ano hidrológico completo utilizado para a calibração dos modelos matemáticos).

O mapa da Figura 2.29 mostra as classes de qualidade atendidas no período úmido; o mapa da Figura 2.30, os parâmetros que mais contribuíram para as classes atendidas; e o mapa da Figura 2.31, simulação específica para o parâmetro turbidez, realizada na presente adequação tendo em vista que esse parâmetro passou a apresentar níveis mais elevados quando considerado o período úmido.

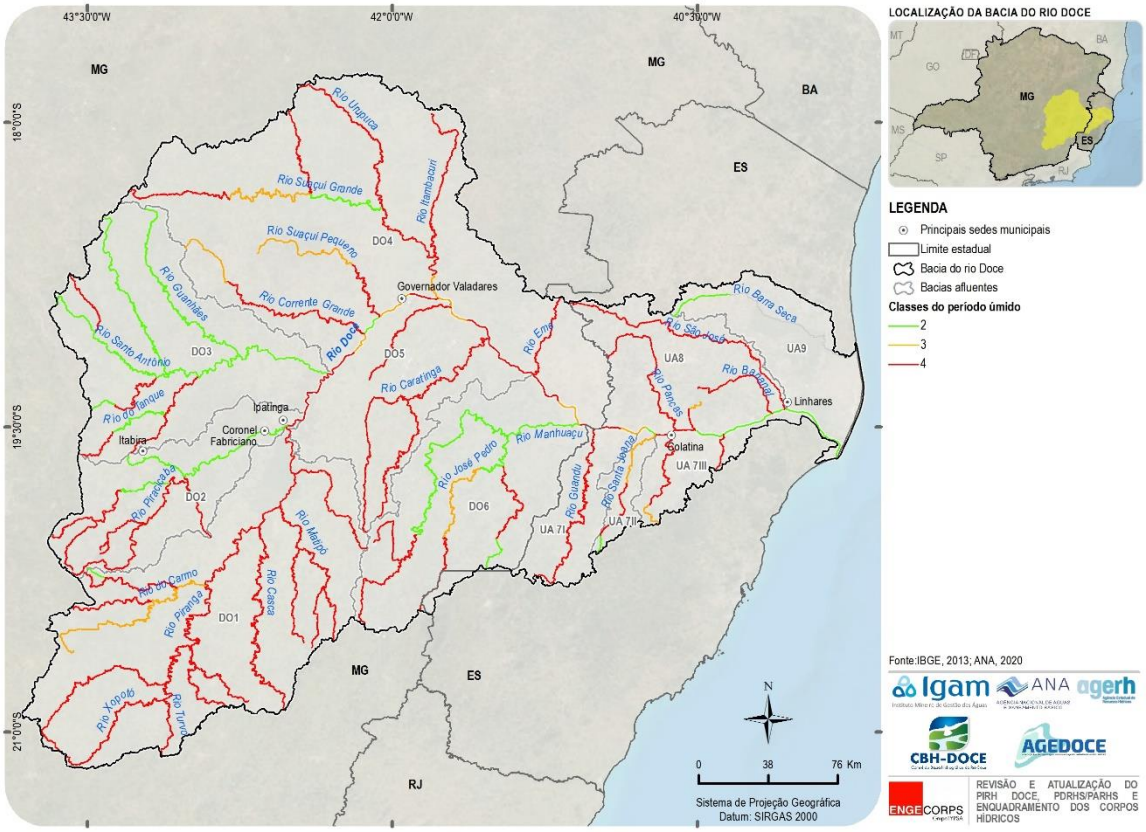


Figura 2.29 - Classes de Enquadramento Atendidas Atualmente pelos Rios Modelados no Período Úmido do Ano Hidrológico

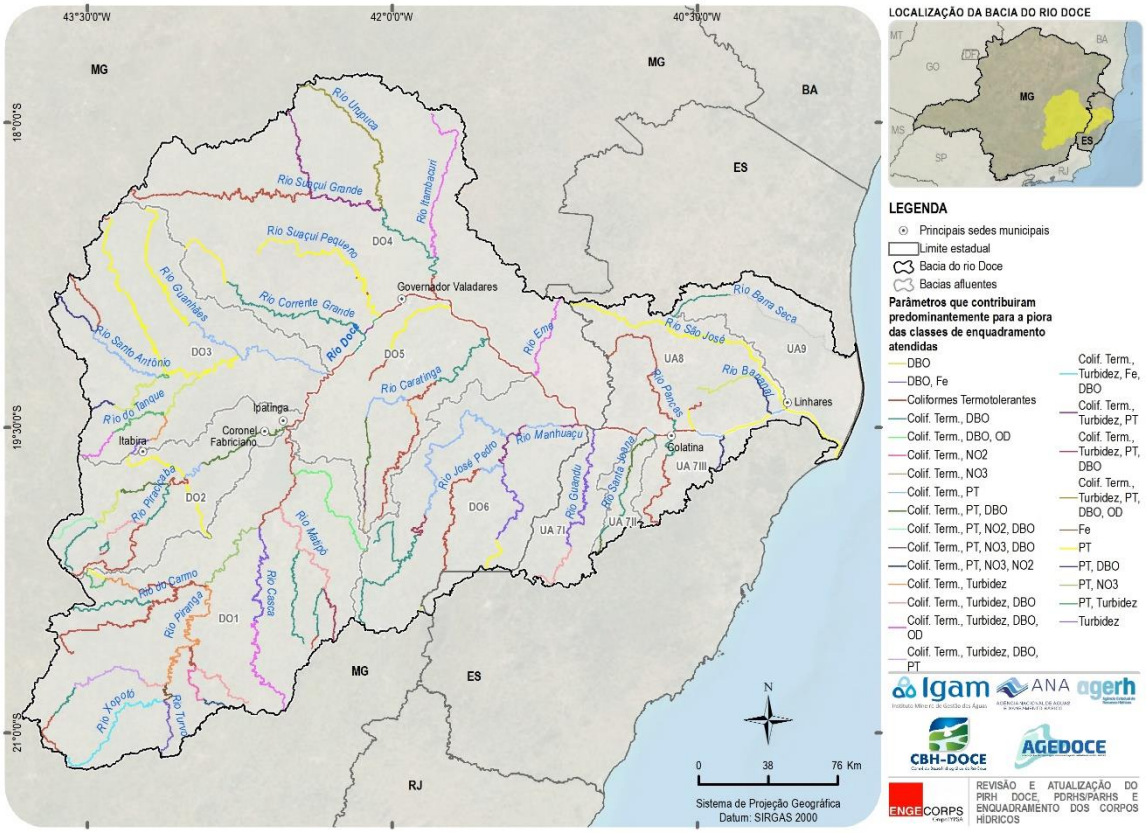


Figura 2.30 - Parâmetros que Contribuíram Predominantemente para a Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações no Período Úmido do Ano Hidrológico

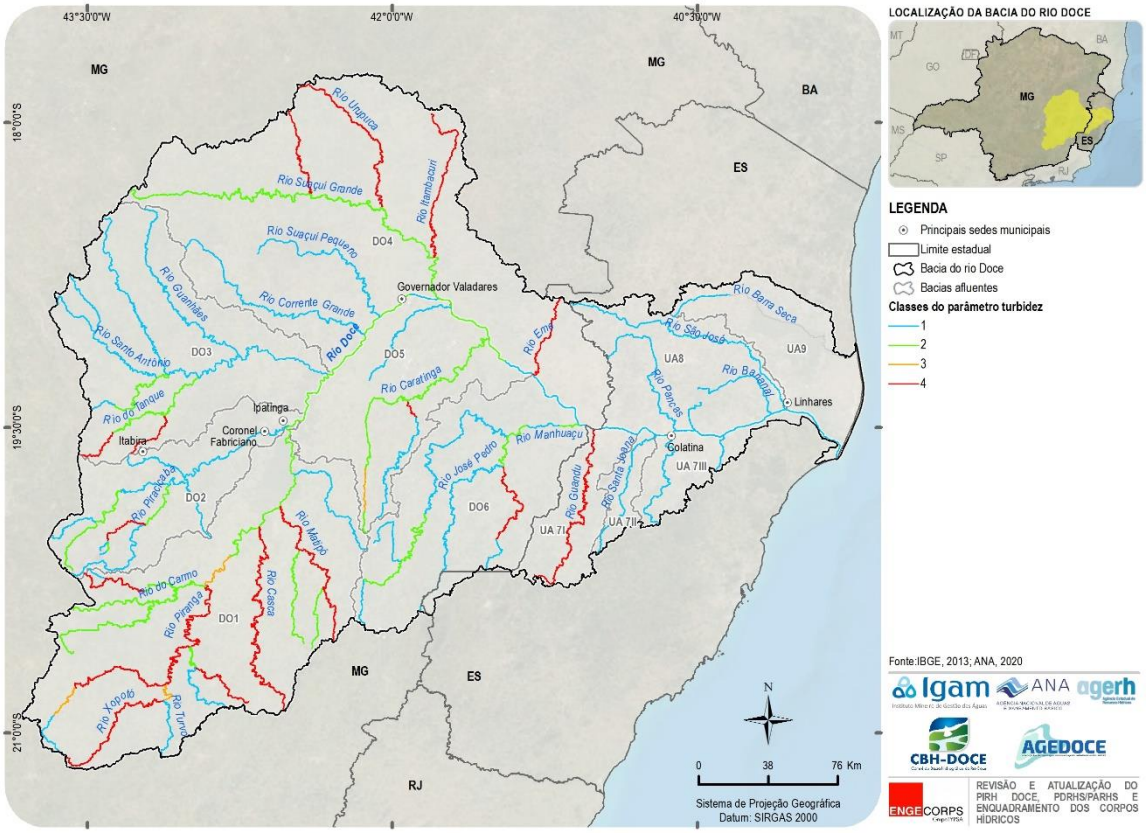


Figura 2.31 - Classes de Enquadramento Atendidas Atualmente pelos Rios Modelados no Período Úmido do Ano Hidrológico – Parâmetro Turbidez

No período úmido, é possível observar uma piora das classes, estando 21% dos trechos modelados na classe 2, 10% em classe 3 e 69% em classe 4, para uma extensão total de, aproximadamente, 7 mil quilômetros de rios modelados.

Conforme visto nos itens 4.3.4 (Usos e Ocupação do Solo) e 9.1 (Condição Atual da Qualidade das Águas Superficiais e Tendências) do PP 03 (Diagnóstico), cerca de 62% do território da bacia do rio Doce estão localizados em áreas rurais, ocupadas por agricultura, pastagem e silvicultura, e 37% por áreas com vegetação nativa, ressaltando a influência das cargas difusas na bacia.

Nos rios de domínio da União (rios Doce e José Pedro), os principais parâmetros que mais contribuem para classes de pior qualidade são os coliformes termotolerantes, turbidez e fósforo total, destacando-se os trechos do Alto e Médio Doce.

Nas bacias mineiras, os coliformes termotolerantes contribuíram em mais de 70% da extensão dos trechos modelados nas bacias DO1, DO2, DO4, DO5 e DO6 para a piora das classes; quanto à DO3, o parâmetro preponderante é o fósforo total, aparecendo em cerca de 75% da extensão dos rios modelados. Outros parâmetros que também afetam a alteração das classes são a DBO e a turbidez, com médias de 43% e 24%, respectivamente.

Em relação às bacias capixabas, a turbidez aparece como o principal responsável pela piora das classes na UA7 (100%); os coliformes termotolerantes e a DBO nas U7 II e UA9, ambos em 100% dos trechos, enquanto na UA 7III e UA 8, os parâmetros que mais contribuem são os coliformes e o fósforo total, respectivamente.

Destaca-se que a turbidez não havia constituído parâmetro responsável por classes atendidas de pior qualidade quando das simulações matemáticas realizadas com vazões do período seco.

2.2.3.3 Análise Comparativa dos Resultados – Períodos Seco e Úmido

Pelas figuras anteriores, observam-se as diferenças entre as classes de qualidade atendidas em períodos secos e úmidos, sendo também distintos os parâmetros que contribuíram predominantemente para essas condições.

Os gráficos da Figura 2.32 comparam o número de vezes em que um parâmetro aparece como um dos responsáveis pelo atendimento a classes no período seco e no período úmido.

Nota-se que no período seco aqueles poluentes presentes nos esgotos urbanos (coliformes termotolerantes, DBO e fósforo total) aparecem como protagonistas, assim como o ferro dissolvido.

Já no período úmido, os poluentes carreados nos eventos de chuva promovem um acréscimo nas concentrações de matéria orgânica (DBO) e de coliformes termotolerantes, pela lavagem das ocupações urbanas e áreas rurais, estas, ocupadas por agropecuária; pela contribuição das áreas rurais, têm-se também concentrações mais elevadas de nutrientes, como o nitrato (NO_3).

Um novo parâmetro responsável pelo atendimento às classes aparece no período úmido, a turbidez. O transporte advectivo produzido pelo aumento da vazão no período úmido causa o desprendimento dos sólidos, aumentando o aporte desse poluente aos cursos d'água.

Para um local com histórico de eventos como o rompimento da barragem de Fundão, parte do rejeito que ficou depositado no fundo e nas margens dos rios impactados é ressuspensa no período de chuvas, levando a uma piora da qualidade da água (ver também item 2.3.2 deste relatório).

Vale salientar que a avaliação aqui apresentada com relação às classes de qualidade atendidas pelo parâmetro turbidez pode ser aprimorada com a aplicação de um modelo de transporte de sedimentos, precedida de coleta de dados de campo (descarga sólida, seções batimétricas) em pontos adequados da bacia, considerando principalmente aqueles em que a turbidez apresenta concentrações mais elevadas, compatíveis com Classes 3 e 4.

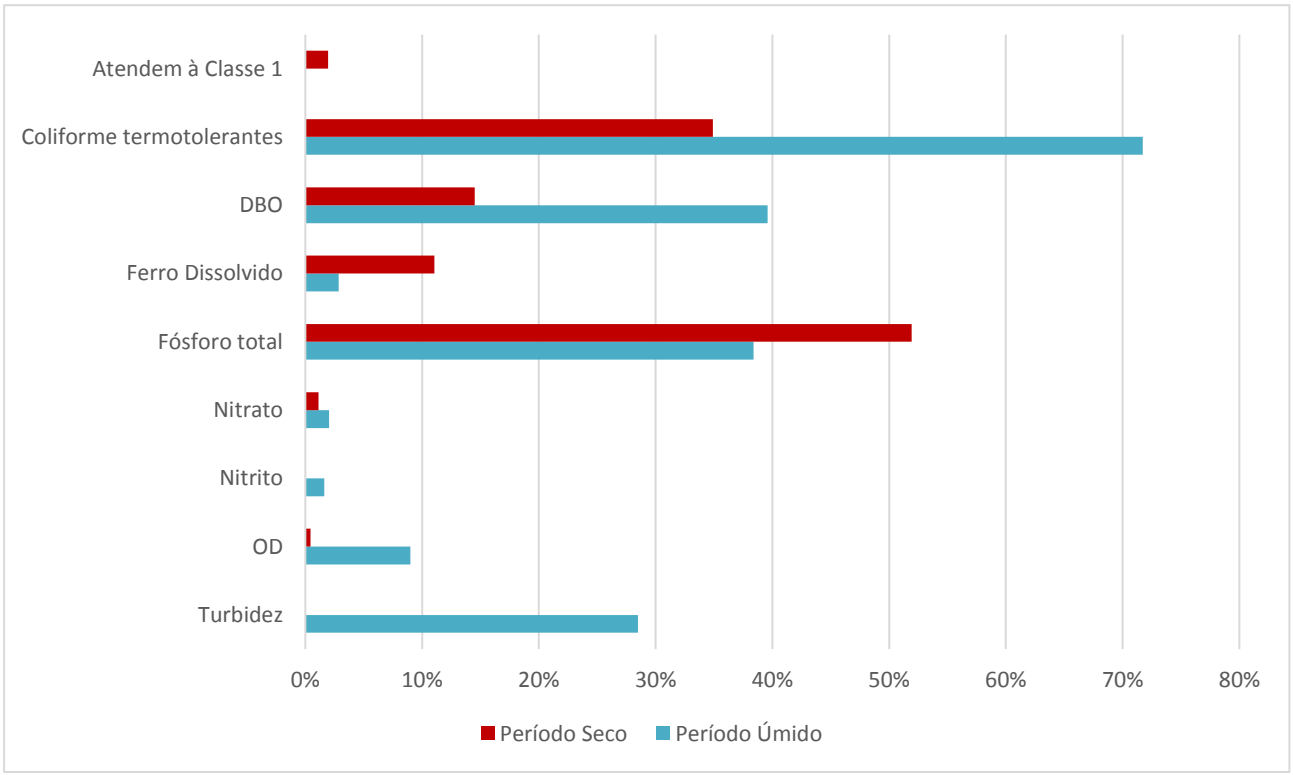


Figura 2.32 – Comparação do Percentual de Trechos para cada Parâmetro Responsável pela Piora das Classes no Período Seco e no Período Úmido

2.3 TEMAS COMPLEMENTARES

Neste item, abordam-se temas complementares sobre a bacia do rio Doce, que não foram descritos no PP 03, ou parcialmente descritos.

2.3.1 Dragagem de Rejeitos Depositados na UHE Risoleta Neves (Antiga Candonga)

Segundo consta do PP 03, no item 4.1.6 - *Impactos do Rompimento da Barragem de Fundão no Meio Físico*, mais especificamente na página 85, "Foi iniciada a dragagem dos rejeitos que

ficaram retidos na UHE Risoleta Neves/Candonga, porém, atualmente, essa atividade está paralisada."

Com relação às disponibilidades hídricas da bacia, não haverá impacto no balanço da quantidade de água na bacia do rio Doce decorrente da dragagem, tendo em vista que o reservatório opera a fio d'água.

Entretanto, embora a dragagem da UHE seja necessária, há uma preocupação com relação aos impactos da remoção dos rejeitos previstos nos usos múltiplos de jusante, durante a sua realização, uma vez que o material deverá se manter em suspensão na coluna d'água por um tempo que ainda não é conhecido.

A Figura 2.33 ilustra a localização da UHE na bacia do rio Doce, bem com os usos múltiplos das águas a jusante do empreendimento, sendo de especial atenção as captações para abastecimento humano existentes ao longo do trecho que poderá sofrer os impactos da dragagem.

Assim, é recomendação da revisão do PIRH Doce que os procedimentos de remoção dos rejeitos sejam implementados em curto espaço de tempo, precedidos de estudos adequados e acompanhados de monitoramento e de um plano de contingência referente ao atendimento aos diversos usos da água que poderão ser afetados.

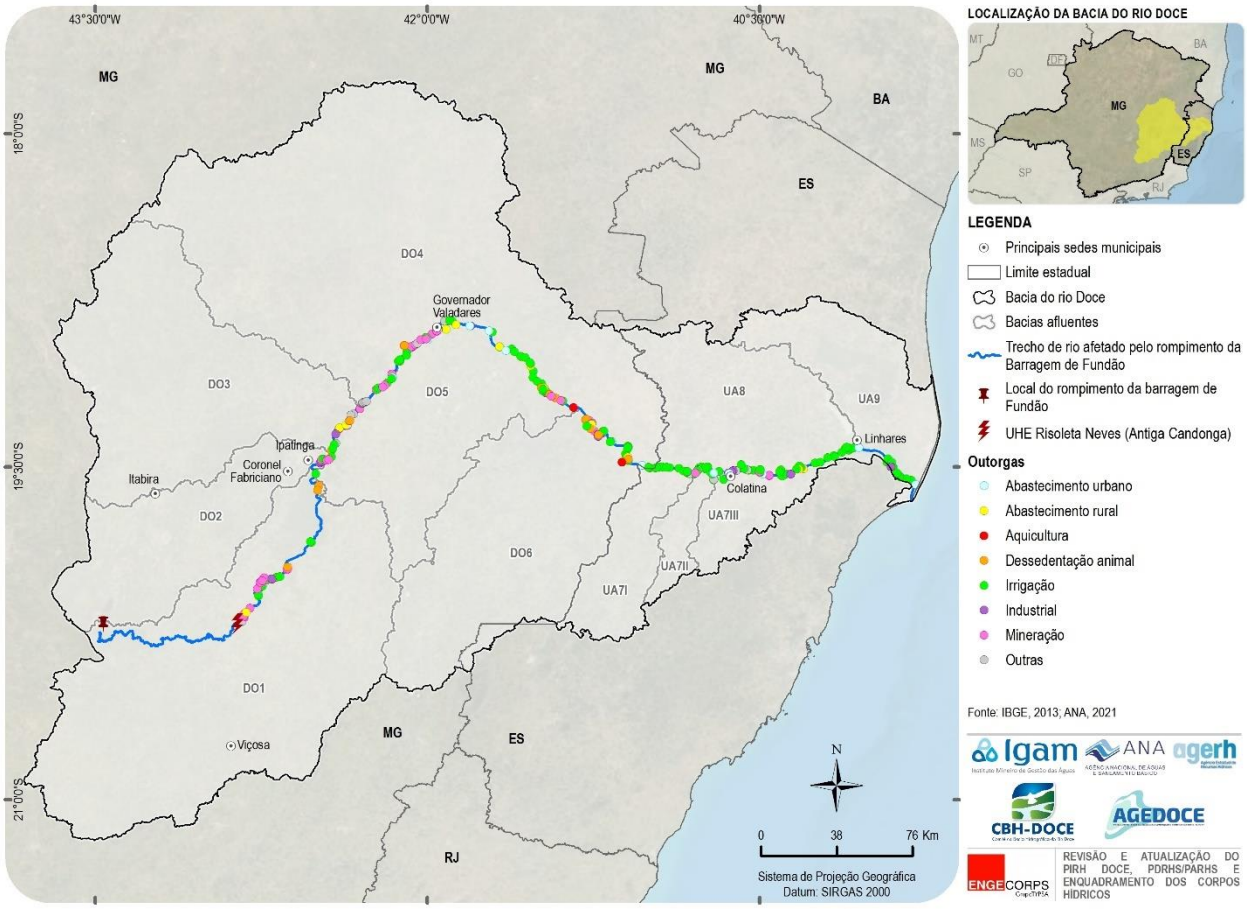


Figura 2.33 – Usos Múltiplos das Águas a Jusante da UHE Risoleta Neves

2.3.2 Ressuspensão de Sedimentos na Bacia em Períodos Chuvosos

Outra questão de interesse aos usuários dos recursos hídricos da bacia do rio Doce, particularmente, aos prestadores dos serviços de saneamento básico se refere ao fenômeno de ressuspensão dos sedimentos depositados na calha dos cursos d'água afetados diretamente pelo rompimento da barragem de Fundão, quando da ocorrência de chuvas.

Quando isso ocorre, além de aumentarem os níveis de turbidez das águas, também ficam em suspensão na coluna d'água metais pesados que se depositaram nos sedimentos. Alguns desses metais estão presentes naturalmente nos solos da bacia, mas suas concentrações nos sedimentos se elevaram após o rompimento da barragem.

Com efeito, estudo realizado pelos Institutos Lactec (INSTITUTOS LACTEC, 2017)[4] indica que, para garantir o controle da poluição e proteger a qualidade dos solos, foram estabelecidos valores orientadores, ou seja, concentrações de substâncias químicas ideais para o solo. O VRQ é a concentração de determinada substância no solo, que o define como "limpo".

Para o estado de Minas Gerais foi estabelecido o VRQ para cada um dos elementos a seguir, sendo estes expressos em mg/kg de solo seco: antimônio (0,5), arsênio (8), bário (93), boro (11,5), cádmio (<0,4), chumbo (19,5), cobalto (6), cobre (49), cromo (75), mercúrio (0,05), molibdênio (<0,9), níquel (21,5), prata (<0,45), selênio (0,5), vanádio (129) e zinco (46,5).

Para a bacia do rio Doce, o estudo citado verificou que a distribuição de alguns teores de metais, como alumínio, arsênio, boro, cromo, mercúrio e manganês ocorre de forma mais elevada na região do Quadrilátero Ferrífero, devido, sobretudo, às formações ferríferas bandadas, **naturalmente** ricas nesses elementos. Analisando, por exemplo, a distribuição de arsênio na bacia, identificou-se a sua ocorrência de forma mais elevada na porção sudoeste, e nas cabeceiras dos rios Piracicaba, Gualaxo do Norte e do Carmo, estando toda essa área acima do VRQ de 8 mg As/kg definido para o estado de Minas Gerais. Na bacia, ocorreram variações desde 0,61 a 51,93 mg As/kg de solo, destacando-se a variação espacial existente desse elemento. Tais variações são devidas aos fatores de formação do solo e das características geológicas existentes ao longo da bacia.

Dessa forma, esses metais já se encontram nos sedimentos das calhas dos cursos d'água, constituindo o que se denomina "níveis background" de uma determinada bacia hidrográfica.

Contudo, de modo a ampliar o conhecimento acerca do problema que pode ser causado para o abastecimento de cidades quando da ocorrência de chuvas, agravado após o rompimento da barragem de Fundão, consultaram-se outros relatórios do estudo dos Institutos Lactec.

[4] INSTITUTOS LACTEC. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce. Relatório de Linha-Base: Resumo Executivo. Curitiba, PR, nov/2017.

Assim, inicialmente, foi analisado outro relatório dos estudos elaborados por Lactec (INSTITUTOS LACTEC, 2020)[5], que teve o objetivo de diagnosticar os danos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, ao longo da bacia do rio Doce e da zona costeira adjacente, no período pré-rompimento (até 2015) e pós-rompimento (2016 a 2018). O estudo foi realizado com a aplicação de métodos tradicionais de avaliação de danos e adoção da abordagem ecossistêmica para entendimento global dos danos advindos do desastre.

A área do estudo compreendeu a extensão espacial que a lama de rejeitos percorreu e ficou depositada, denominada Área de Passagem e Deposição da Lama (APDL) e seu entorno, no trecho desde a barragem de Fundão, no município de Mariana (MG), até a foz do rio Doce (ES). Foram caracterizados três ambientes afetados pelo desastre: o primeiro foi denominado "Ambientes Aquáticos Continentais", que abrangeram o ambiente fluvial (rios), os quatro reservatórios hidrelétricos existentes ao longo da calha do rio Doce e os ambientes lacustres (lagoas costeiras próximas à foz do rio Doce no Espírito Santo).

O estudo definiu três compartimentos de análise: o Compartimento 1 (C1) foi definido como o trecho de corpos d'água atingidos, e seu entorno no ambiente terrestre, desde a barragem de Fundão até a UHE Risoleta Neves, onde grande parte do volume de rejeitos ficou retido. O Compartimento 2 (C2) abrange o trecho do rio Doce, e seu entorno no ambiente terrestre, desde a UHE Risoleta Neves até a UHE Mascarenhas, próximo à divisa entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Já o Compartimento 3 (C3) inicia-se na UHE Mascarenhas até o limite com o Compartimento 4 (C4), definido neste estudo como estuário do rio Doce.

Para classificação dos danos socioambientais foram considerados os seguintes atributos (Figura 2.34): abrangência, gravidade, reversibilidade e tendência. Para cada um dos atributos foram definidas classes padronizadas para caracterizar os danos.

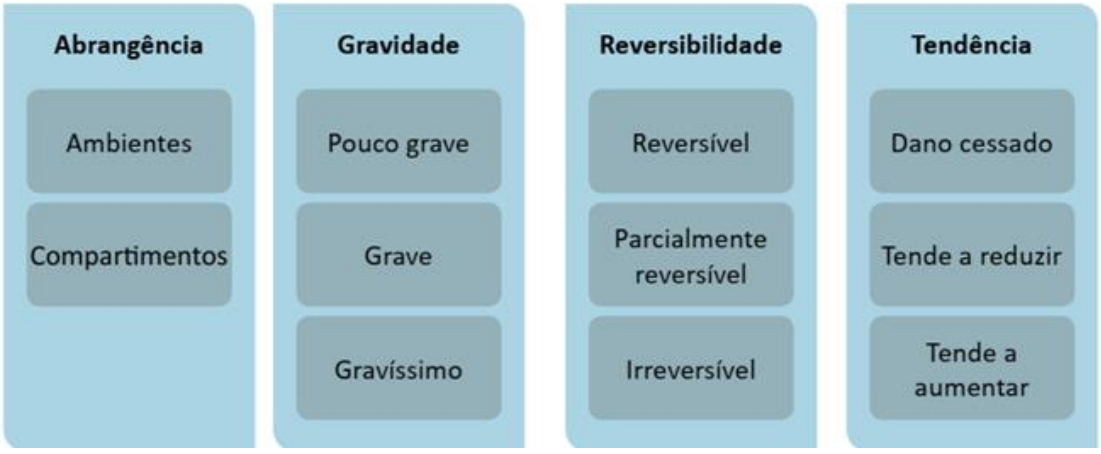


Figura 2.34 - Atributos de Classificação dos Danos Socioambientais (Fonte: LACTEC, 2020, op. cit.).

[5] INSTITUTOS LACTEC. Diagnóstico socioambiental dos danos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão na bacia do rio Doce e região costeira adjacente. TOMO II – AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS - Diagnóstico de Danos. Curitiba, PR, 2020.

Em relação aos danos associados ao transporte dos sedimentos, de interesse para avaliar os problemas associados à sua ressuspensão, o estudo se utilizou de duas abordagens: (1) avaliação do assoreamento do canal do rio; e (2) avaliação da alteração da dinâmica do transporte de sedimentos ao longo do rio Doce.

(1) Avaliação do assoreamento do canal do rio

A quantidade de rejeitos depositados nos rios e reservatórios, ou seja, o assoreamento resultante, foi medido conforme a região e a disponibilidade de dados pretéritos, utilizando-se dois métodos para avaliar o acúmulo de rejeitos na calha do rio. O primeiro método foi aplicado ao Compartimento 1 onde foram utilizados dados medidos em campo da espessura do rejeito. Para o segundo método, aplicado nos Compartimentos 2 e 3, foram utilizados os dados de levantamentos batimétricos em seções de controle ao longo do rio Doce.

No primeiro compartimento, pela proximidade com a barragem de Fundão, muito material ficou retido e a gravidade das condições observadas foi maior do que a identificada nos demais compartimentos ("Gravíssimo" no Compartimento 1 e "Grave" nos Compartimentos 2 e 3). O Dano no Compartimento 1 foi considerado "Gravíssimo" uma vez que o acúmulo foi maior do que 0,67 hm^3. No que diz respeito à "tendência", o dano foi classificado como "Tende a Reduzir" já que o sedimento tende a ressuspender, sendo propagado ao longo do rio e se acumulando em regiões de baixas velocidades como os reservatórios. Já o atributo de "reversibilidade" foi considerado "Parcialmente Reversível", dado que, segundo o estudo, existe uma complexidade muito grande para identificar e retirar o rejeito de toda a calha do rio.

(2) Avaliação da alteração da dinâmica do transporte de sedimentos ao longo do rio Doce

Para embasar a avaliação dos danos relacionados com a alteração da dinâmica do transporte de sedimentos ao longo do rio Doce o estudo utilizou três metodologias:

A ***primeira*** consistiu na análise gráfica e estatística de dados históricos pré e pós-rompimento de concentração de sedimentos em suspensão (CSS) e turbidez em pontos de monitoramento ao longo do trecho afetado;

A ***segunda*** consistiu na análise das alterações das relações entre descarga sólida e descarga líquida (curvas-chave de sedimentos) também nas situações pré e pós-rompimento; e

Na ***terceira*** foi utilizado o modelo hidrossedimentológico MGB-SED, calibrado para o período pré-rompimento da Barragem de Fundão (janeiro de 1980 a outubro de 2015) e simulado para condições futuras (2016 a 2018), considerando que não houve rompimento da barragem neste período. Esta simulação futura foi denominada de "condição natural da bacia" caso o rompimento não tivesse acontecido. Ao final, foram comparados os resultados da concentração de sedimentos do modelo no período de 2016 a 2018 (condição natural) com os dados históricos dos postos no trecho em análise. Esse resultado possibilitou avaliar os danos ao longo dos trechos estudados.

As principais conclusões do estudo após a aplicação das três metodologias foram as seguintes:

- ✓ A quantidade de sedimentos transportada pelo rio Doce logo após o rompimento apresentou valores significativamente acima daqueles observados pré-rompimento. Os estudos concluíram que a origem desse sedimento teve relação direta com os sedimentos aportados ao rio Doce devido ao rompimento;
- ✓ No período imediatamente pós-rompimento da barragem foi observado um padrão de redução da turbidez de montante para jusante;
- ✓ A partir do segundo semestre de 2016 até 2018 (período analisado) foi observado um padrão de diminuição temporal dos valores de concentração de sedimentos em suspensão e turbidez;
- ✓ Os resultados obtidos pela aplicação das curvas-chave de sedimentos aos dados da série histórica de vazões, mostram acréscimos importantes no aporte de sedimentos às estações, variando de 17,6% em Cachoeira dos Óculos a 1.695,3% em Colatina, com valores intermediários de 36,8% em Rio Dantas, 52,6% em Tumiritinga e 688,7% em Governador Valadares;
- ✓ Quando analisadas as anomalias observadas nas vazões e descargas sólidas totais, em relação às médias históricas do período pré-desastre, os dados mostram que houve grandes anomalias entre dezembro de 2015 e janeiro de 2016, reduzindo significativamente para valores próximos às condições históricas. De acordo com o estudo, isso indica claramente a tendência de restabelecimento das condições naturais. O dano foi considerado como "Grave" de acordo com a metodologia proposta e "Parcialmente Reversível".

Observa-se que o estudo em comento identifica a tendência de ressuspensão dos sedimentos e que esta é propagada ao longo dos trechos de jusante, podendo, inclusive, alcançar áreas do Baixo Doce, até o material ser depositado em trechos de menor velocidade, como o caso de reservatórios.

No entanto, não há um modelo da situação pós-rompimento de forma que se possa avaliar as situações de ressurgimento de sedimentos em épocas de cheia, e assim, definir possíveis ações para evitar problemas nas captações para abastecimento humano no trecho afetado. Seria necessário modelar novamente a bacia para a situação atual, considerando, portanto, as consequências do rompimento da barragem e seus impactos até o momento, de forma a prever/avaliar situações de risco futuras no abastecimento das cidades ribeirinhas dos rios afetados em épocas de cheia.

Assim, o modelo utilizado pelos Institutos Lactec, mesmo se estivesse disponível, não seria adequado para os objetivos de avaliação das concentrações de sedimentos no meio hídrico em situações de cheias na bacia, atualmente.

Recomenda-se, assim, que uma das ações a serem propostas pelo PIRH Doce seja a realização de um estudo e implantação de um modelo hidrossedimentológico para os trechos afetados pela ruptura da barragem de Fundão, que possa subsidiar a previsão de situações de risco no abastecimento futuro dos usuários ribeirinhos, com mais segurança.

Vale destacar ainda que o estudo utilizou dados até 2018, necessitando de complementações até a presente data para avaliar as tendências de assoreamento e transporte de sedimentos na bacia.

Contudo, para complementar o conhecimento sobre o tema em questão, com apoio em dados ora disponíveis, foi realizada uma análise da concentração de sólidos em suspensão no período seco e úmido, considerando antes e depois do rompimento da barragem de Fundão, a partir dos dados registrados nas estações de monitoramento da qualidade das águas.

Para isso, foram analisadas 48 estações com monitoramento de Sólidos Suspensos Totais (SST) nos rios afetados pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana, MG (rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce). O código e localização das estações consideradas estão apresentados no Quadro 2.10.

QUADRO 2.10 – ESTAÇÕES CONSIDERADAS

Estação	*Rio*		*Estação*	*Rio*
RD011	Rio Gualaxo do Norte		RD044	Rio Doce
RGN02	Rio Gualaxo do Norte		RD045	Rio Doce
RGN03	Rio Gualaxo do Norte		RD053	Rio Doce
RGN04	Rio Gualaxo do Norte		RD058	Rio Doce
RGN05	Rio Gualaxo do Norte		RD059	Rio Doce
RGN06	Rio Gualaxo do Norte		RD067	Rio Doce
RGN07	Rio Gualaxo do Norte		RD072	Rio Doce
RGN08	Rio Gualaxo do Norte		RD083	Rio Doce
RVD03	Rio Gualaxo do Norte		RDC1C005	Rio Doce
RVD04	Rio Gualaxo do Norte		RDO01	Rio Doce
RCA02	Rio do Carmo		RDO03	Rio Doce
RCA03	Rio do Carmo		RDO04	Rio Doce
RCA04	Rio do Carmo		RDO05	Rio Doce
RCA05	Rio do Carmo		RDO06	Rio Doce
RCA06	Rio do Carmo		RDO07	Rio Doce
RD071	Rio do Carmo		RDO08	Rio Doce
56338010	Rio Doce		RDO09	Rio Doce
ERD01	Rio Doce		RDO10	Rio Doce
LAL01	Lagoa Areal		RDO11	Rio Doce
LAO01	Lagoa Areao		RDO12	Rio Doce
LAO02	Lagoa Areao		RDO13	Rio Doce
RD019	Rio Doce		RDO14	Rio Doce
RD023	Rio Doce		RDO15	Rio Doce
RD033	Rio Doce		RDO16	Rio Doce

Elaboração ENGECORPS, 2022

Para comparação, foi feita a divisão da série histórica das estações em dois períodos: um de 3 anos antes do rompimento até o ano do rompimento (de 2012 a 2015), e outro depois do rompimento (2016 a 2021).

Para a série de dados de cada estação, foi calculada a média das concentrações de SST medidos e determinados os valores máximo e mínimos observados, para o período mais úmido (dezembro a fevereiro) e para o período mais seco (junho a agosto).

Os resultados obtidos para cada estação estão apresentados no Quadro 2.11. Pode-se observar que muitas estações só foram instaladas depois do rompimento.

QUADRO 2.11 – ESTATÍSTICAS POR ESTAÇÃO (CONCENTRAÇÕES DE SST EM MG/L)

Estação	Rio	Antes do Rompimento (2012 a 2015)						Depois do Rompimento (2016 a 2021)					
		Período Úmido			Período Seco			Período Úmido			Período Seco		
		Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo
RD011	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	196,8	776,0	6,0	11,7	29,0	2,0
RGN02	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	137,7	538,0	28,0	11,9	23,0	5,0
RGN03	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	281,3	1062,0	28,0	12,2	30,0	5,0
RGN04	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	197,3	866,0	5,0	16,1	100,0	5,0
RGN05	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	239,8	912,0	15,0	16,5	54,0	5,0
RGN06	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	208,6	564,0	19,0	11,7	45,0	5,0
RGN07	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	123,3	277,0	14,0	7,2	11,0	5,0
RGN08	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	189,4	758,0	15,0	7,4	10,0	5,0
RVD03	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	9,3	29,0	5,0	6,6	10,0	5,0
RVD04	Rio Gualaxo do Norte	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	11,2	30,0	5,0	7,1	10,0	5,0
RCA02	Rio do Carmo	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	103,5	578,0	5,0	8,8	19,0	5,0
RCA03	Rio do Carmo	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	90,5	921,0	5,0	11,4	26,0	5,0
RCA04	Rio do Carmo	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	35,3	109,0	5,0	8,4	11,0	5,0
RCA05	Rio do Carmo	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	68,3	249,0	5,0	9,0	15,0	5,0
RCA06	Rio do Carmo	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	68,4	307,0	5,0	7,3	10,0	5,0
RD071	Rio do Carmo	93,5	262,0	8,0	7,0	14,0	2,0	249,3	1692,0	6,0	39,1	294,0	2,0
56338010	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	874,7	5160,0	55,0	46,7	249,0	6,0
ERD01	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	91,7	1018,0	5,0	11,3	20,0	5,0
LAL01	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	16,9	99,0	5,0	10,6	25,0	5,0
LAO01	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	10,0	28,0	5,0	11,5	19,0	5,0
LAO02	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	11,2	24,0	5,0	17,5	49,0	5,0
RD019	Rio Doce	152,4	980,0	2,0	11,3	18,0	2,0	171,8	480,0	9,0	112,4	986,0	2,0
RD023	Rio Doce	233,9	1530,0	9,0	12,9	28,0	2,0	204,1	702,0	17,0	47,7	284,0	3,0
RD033	Rio Doce	414,1	2560,0	11,0	18,8	41,0	2,0	257,8	1180,0	17,0	36,1	102,0	2,0
RD044	Rio Doce	201,0	1600,0	9,0	7,4	18,0	2,0	410,3	2880,0	11,0	12,9	26,0	3,0
RD045	Rio Doce	241,8	1830,0	2,0	11,5	30,0	2,0	489,7	4432,0	9,0	14,5	36,0	6,0
RD053	Rio Doce	36,3	84,0	2,0	8,8	24,0	2,0	494,2	4712,0	10,0	9,9	36,0	2,0
RD058	Rio Doce	391,9	3100,0	9,0	11,2	28,0	2,0	411,9	3144,0	9,0	11,4	27,0	4,0

Estação	Rio	Antes do Rompimento (2012 a 2015)						Depois do Rompimento (2016 a 2021)					
		Período Úmido			Período Seco			Período Úmido			Período Seco		
		Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo
RD059	Rio Doce	224,4	1760,0	3,0	10,3	21,0	2,0	297,2	2652,0	3,0	13,8	32,0	2,0
RD067	Rio Doce	87,1	610,0	4,0	9,2	18,0	2,0	220,5	1889,0	2,0	12,3	30,0	4,0
RD072	Rio Doce	1116,8	9580,0	2,0	5,1	14,0	2,0	549,6	5160,0	5,0	58,1	317,0	6,0
RD083	Rio Doce	167,1	1220,0	4,0	11,4	26,0	2,0	219,2	1080,0	3,0	13,0	40,0	2,0
RDC1C005	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	294,0	825,0	10,0	39,0	39,0	39,0
RDO01	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	73,7	237,0	5,0	7,1	14,0	5,0
RDO03	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	44,0	128,0	5,0	11,5	29,0	5,0
RDO04	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	72,9	133,0	16,0	18,1	26,0	7,0
RDO05	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	72,1	223,0	7,0	11,1	17,0	5,0
RDO06	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	26,2	86,0	5,0	7,7	13,0	5,0
RDO07	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	93,9	244,0	5,0	17,4	76,0	5,0
RDO08	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	119,9	286,0	24,0	10,5	20,0	5,0
RDO09	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	121,2	519,0	28,0	10,0	31,0	5,0
RDO10	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	128,1	403,0	5,0	9,0	17,0	5,0
RDO11	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	92,3	391,0	5,0	8,2	17,0	5,0
RDO12	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	52,2	159,0	11,0	6,4	10,0	5,0
RDO13	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	33,9	184,0	5,0	8,7	14,0	5,0
RDO14	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	60,9	279,0	5,0	7,0	12,0	5,0
RDO15	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	64,5	336,0	10,0	9,4	24,0	5,0
RDO16	Rio Doce	-	0,0	0,0	-	0,0	0,0	100,3	594,0	9,0	7,8	14,0	5,0

Elaboração ENGECORPS, 2022

Para fins de sistematizar as análises, os dados foram agregados por rio e os resultados estão apresentados no Quando 2.12.

QUADRO 2.12 – DADOS DE SST AGREGADOS POR RIO (MG/L)

Rio Gualaxo do Norte				*Rio do Carmo*				*Rio Doce*		
	Antes	*Depois*			*Antes*	*Depois*			*Antes*	*Depois*
Período Úmido				***Período Úmido***				***Período Úmido***		
Média	-	163,5		Média	93,5	101,6		Média	299,6	161,9
Mínimo	-	5,0		Mínimo	8,0	5,0		Mínimo	2,0	2,0
Máximo	-	1.062,0		Máximo	262,0	1.692,0		Máximo	9.580,0	5.160,0
Período Seco				***Período Seco***				***Período Seco***		
Média	-	11,1		Média	7,0	14,9		Média	10,7	18,1
Mínimo	-	2,0		Mínimo	2,0	2,0		Mínimo	2,0	2,0
Máximo	-	100,0		Máximo	14,0	294,0		Máximo	41,0	986,0

Elaboração ENGECORPS, 2022

Para facilitar a visualização dos valores de SST das estações ao longo dos trechos afetados, foram elaborados mapas que permitem a comparação das concentrações no período úmido/período seco e antes/depois do rompimento. A Figura 2.35 apresenta as concentrações médias de SST das estações nos períodos seco e úmido **antes** do rompimento da barragem de Fundão e a Figura 2.36, as concentrações médias de SST das estações **depois** do rompimento em Mariana, MG.

A Figura 2.35 mostra uma diferença muito grande nas concentrações de SST entre os períodos úmido e seco, antes do rompimento. Observa-se que no período úmido, mesmo antes do rompimento da barragem, as concentrações de SST já eram elevadas, devido ao transporte de sedimentos que já ocorria na bacia.

Já as Figuras 2.37 e 2.38 mostram que realmente houve um aumento nas concentrações médias de SST principalmente no período úmido, após o rompimento da barragem de Fundão.

Esses resultados sugerem que há, de fato, uma ressuspensão de sedimentos no período úmido nos trechos de rios afetados pelo rompimento.

Dessa forma, recomenda-se que sejam estudadas ações que possam vir a atenuar os problemas de abastecimento de água causados pela ressuspensão de sedimentos nas épocas de cheia, por exemplo, migração para manancial subterrâneo ou mediante a interrupção temporária de captações nos rios afetados pelo rompimento de Fundão por parte dos prestadores de serviços de saneamento, evitando transtornos à operação das Estações de Tratamento de Água (ETAs) e à distribuição da água tratada às sedes urbanas.

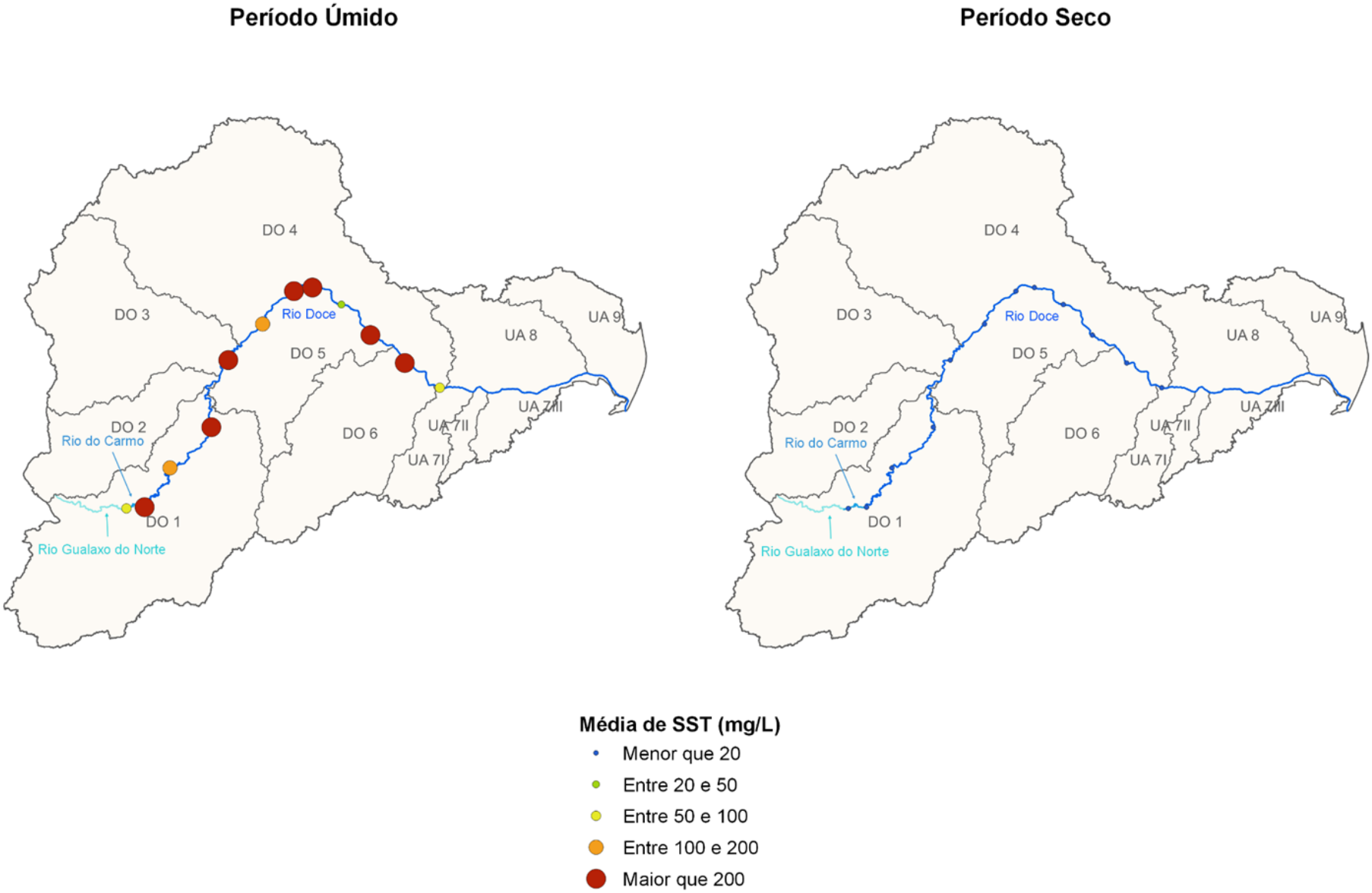


Figura 2.35 – Médias dos SST nas Estações Antes do Rompimento em Mariana, MG

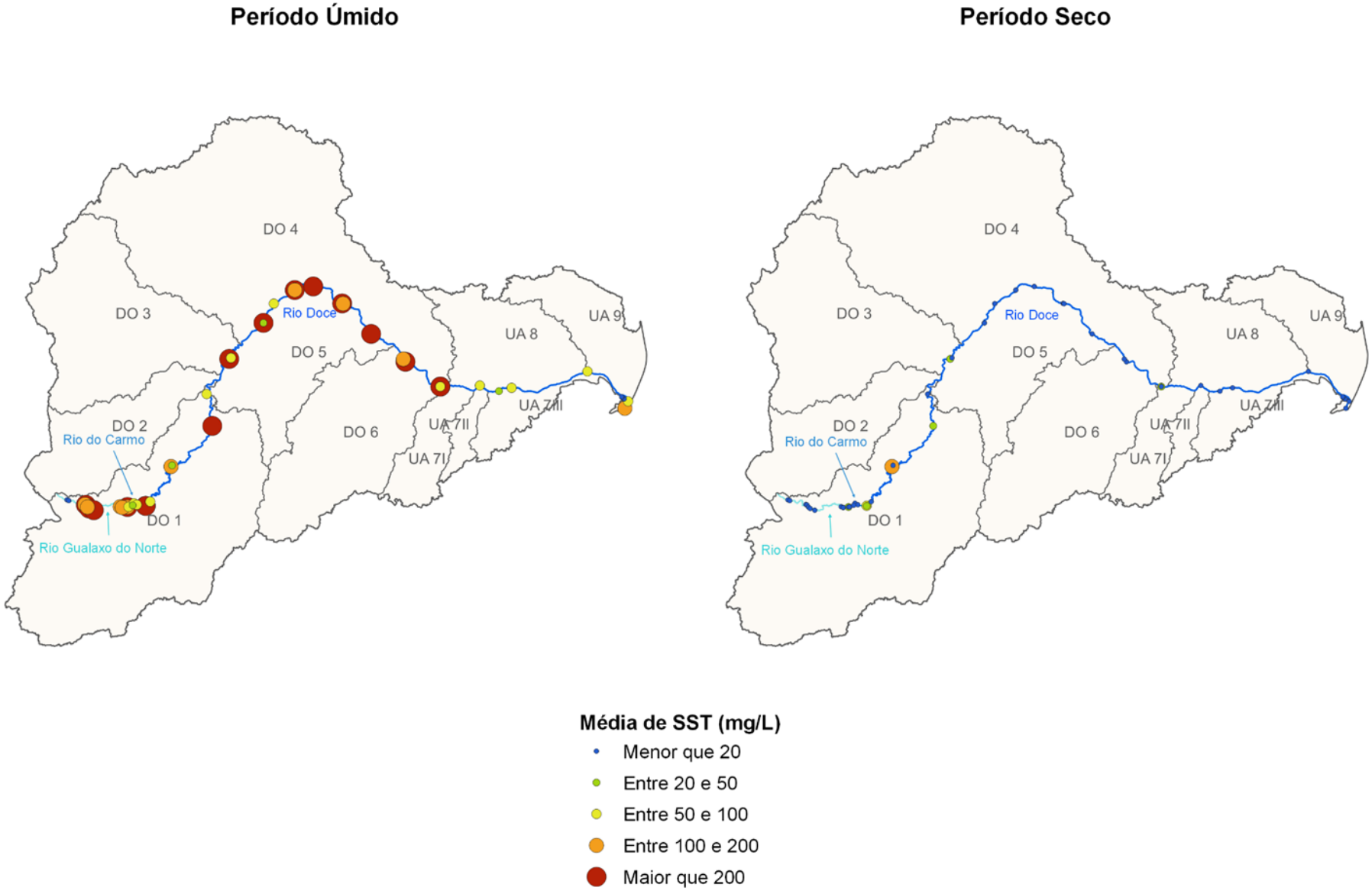


Figura 2.36 - Médias dos SST nas Estações <u>Depois</u> do Rompimento em Mariana, MG

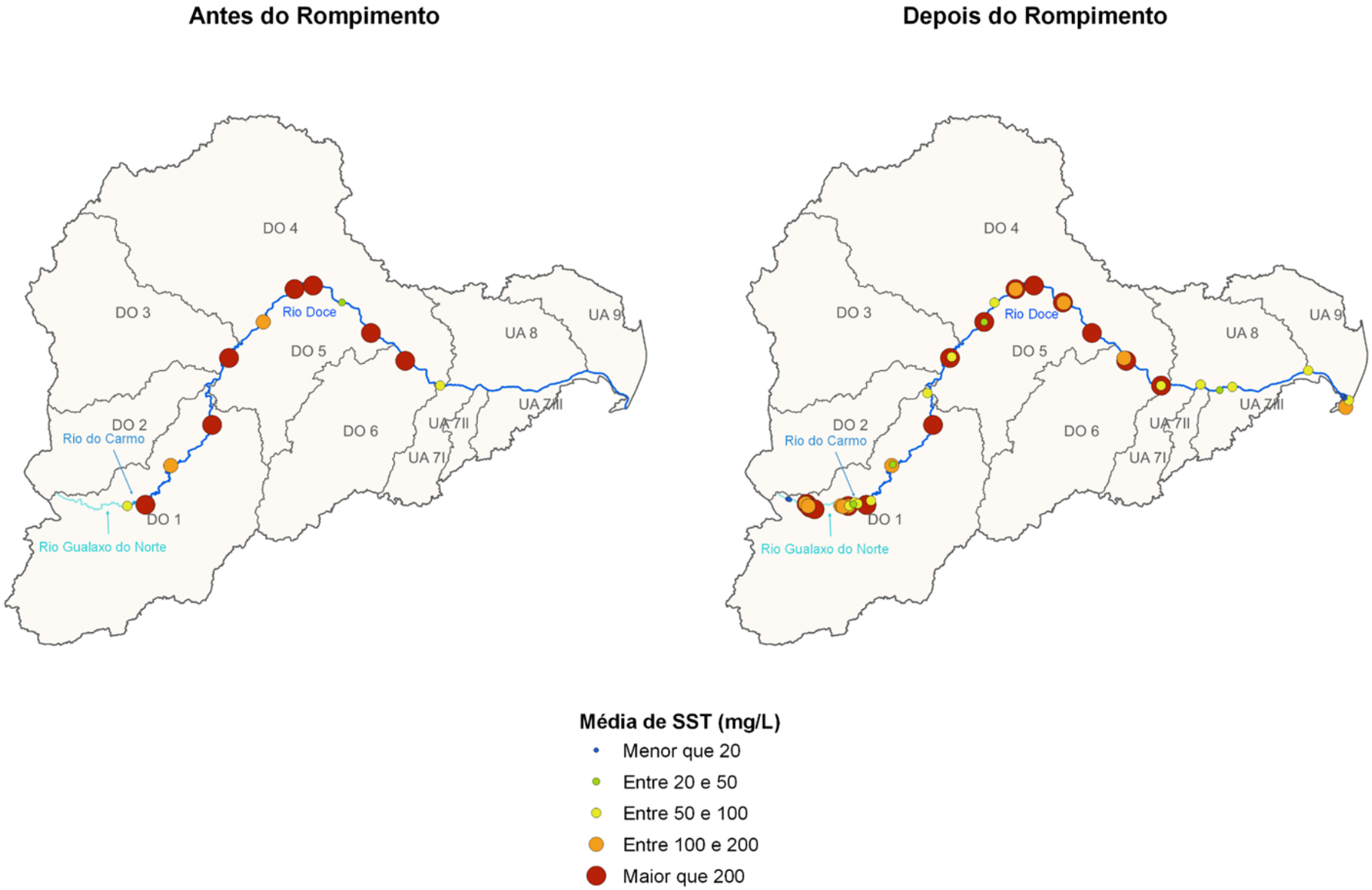


Figura 2.37 - Médias dos SST nas Estações no Período Úmido

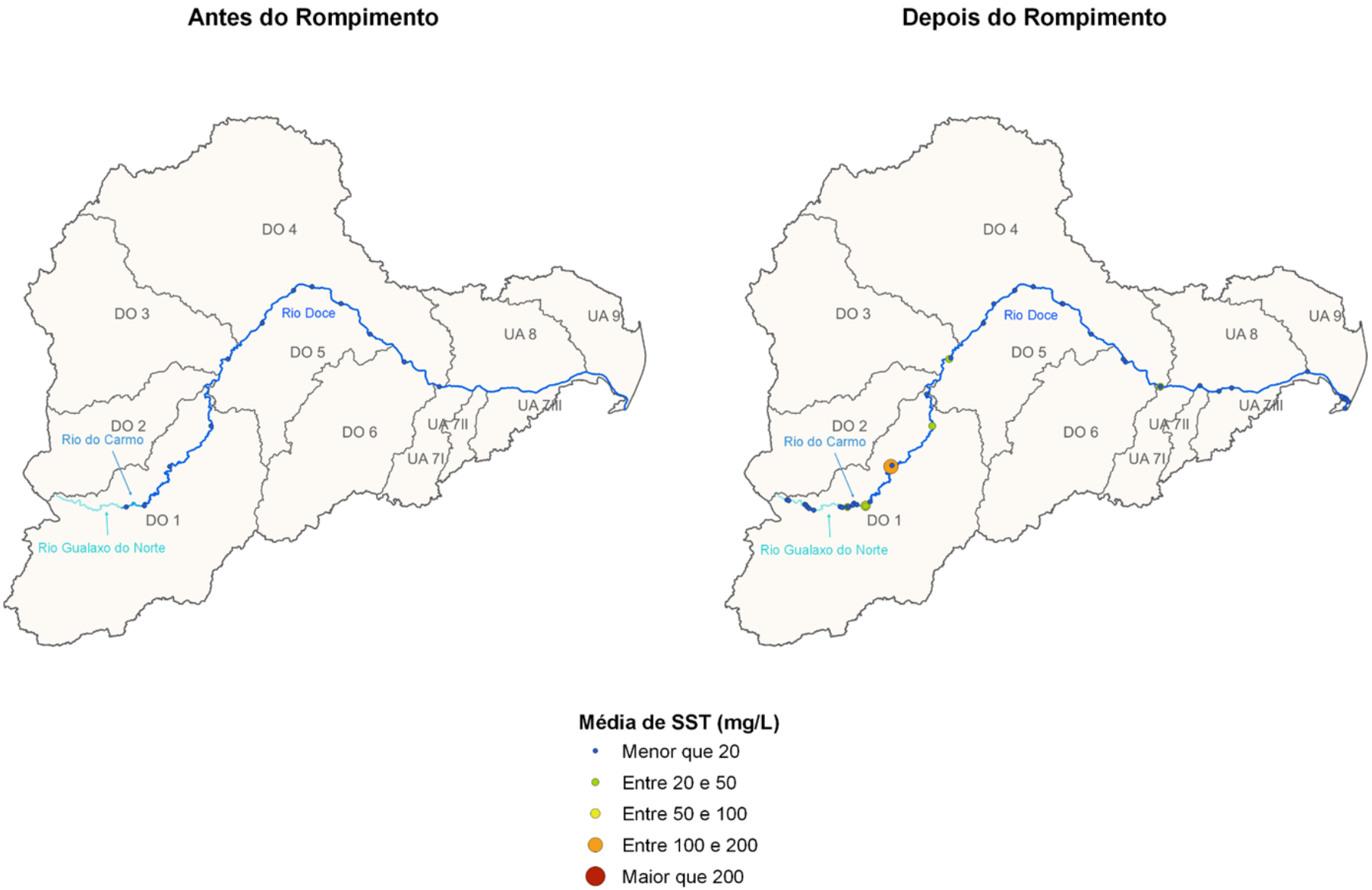


Figura 2.38 – Médias dos SST nas Estações no Período Seco

3. CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Este capítulo apresenta os estudos realizados para construção dos cenários alternativos futuros da bacia do rio Doce, considerando horizontes de curto (ano de 2027), médio (2032) e longo prazo (2042).

3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

A etapa de Prognóstico é intermediária no processo de atualização do PIRH Doce, uma vez que traz, como base de partida, o conhecimento sobre a cena atual da bacia e o seu histórico (Diagnóstico) e traça olhares de futuro, horizonte temporal no qual as ações do Plano de Ações serão realizadas. Para tanto, o Prognóstico deve articular os elementos mais importantes da situação atual para permitir identificar, no contraste das projeções, as lacunas, sinergias e sobreposições que dão base à construção de um Plano de Ações robusto o suficiente para lidar com a imprevisibilidade inerente ao futuro. Um plano robusto, então, pode lidar com quaisquer futuros que possam vir a ocorrer, pois suas estratégias, formas de controle e implementação consideram as variabilidades possíveis.

O Plano de Ações deve contemplar os objetivos de curto, médio e longo prazo, incluindo metas progressivas que serão definidas para materialização do enquadramento - metas essas que devem estar de acordo com a visão de futuro para a bacia hidrográfica do rio Doce, devidamente pactuada pelos usuários de suas águas. Eis que o futuro é uma prática de construção social e apenas observando sua transformação em realidade é que se terá certeza de seus desdobramentos - infelizmente, transformando-o em um novo presente onde o tempo hábil para a decisão permanecerá para sempre no passado. Ao mesmo tempo, o futuro é complexo e em grande parte imprevisível, como evidenciado pelo rompimento da barragem de Fundão no final de 2015 e pela pandemia decorrente da Covid-19.

Se a única constante é a mudança, o Plano de Ações do PIRH Doce deve: (i) estar preparado para lidar com agilidade sobre as mudanças que sejam iminentes; (ii) monitorar e reconhecer aquelas mudanças possíveis e que demandam ajustes e correções de estratégia; (iii) e estar preparado, contingencialmente, para aquelas mudanças de grande impacto que sejam plausíveis, ainda que pouco prováveis. O despreparo pode custar o sucesso do plano.

Estudos de prospecção, portanto, são insumos fundamentais ao planejamento estratégico. Como Buarque (2003)[6] define com propriedade:

> "*Os estudos prospectivos constituem parte importante do processo de planejamento, na medida em que oferecem uma orientação para as tomadas de decisões sobre iniciativas e ações para a construção do futuro almejado pela sociedade e pelas empresas. A própria atividade planejadora tem como pressuposto central o fato de o futuro não estar predeterminado e ser uma construção social, resultante, portanto, das ações e das decisões da sociedade.*"

[6] BUARQUE, S. (2003): Metodologia e Técnicas de Construção de Cenários Globais e Regionais. IPEA, Texto para Discussão 939, Brasília.

A robustez a ser incorporada ao PIRH Doce para o horizonte temporal que se estende pelos próximos vinte anos deverá ser obtida a partir da análise de diversos cenários futuros, mensurados em suas influências nos elementos centrais à gestão das águas (demandas quali-quantitativas). A técnica empregada para tal é a de cenarização, pela qual se entende: **a construção organizada e articulada de diferentes fatores, visões, estressores limitantes e trajetórias futuras que conformam diversos possíveis estados de mundo.**

O estado da arte do planejamento por cenários oscilou entre abordagens que favoreciam modelagens quantitativas (complexas e com necessidade de *hard data*, que invariavelmente criavam "caixas pretas" e deixavam pouca margem para interpretações qualitativas) e aquelas puramente qualitativas (que favoreciam linhas narrativas e interpretativas, mas que deixavam de lado as implicações quantitativas). Conforme pesquisadores como Klosterman (2013)[7] e Chermack (2005)[8], cada uma das abordagens traz vantagens e desvantagens, devendo-se adaptá-las de acordo com o instrumento e o contexto de planejamento em mãos. Para ambos os autores, metodologias híbridas passam a ser preferíveis conquanto tragam insumos quantitativos para embasar discussões qualitativas e permitir, assim, construir cenários que derivem suposições plausíveis sobre o futuro.

A metodologia adotada no presente estudo faz exatamente isso, gerando um conjunto de possibilidades quantitativas que, apoiadas em parâmetros e premissas plausíveis, passam a ser objeto de análise sob a ótica de alternativas de gestão desejadas, perfazendo a construção de um conjunto de cenários alternativos que devem conduzir a construção de um Plano de Ações robusto. Afinal, a modelagem com simulações quantitativas passa a ser mais útil quando se concentra em traduzir as incertezas mais impactantes e relevantes para o gerenciamento dos recursos hídricos, incorporando ações de gerenciamento realistas. Dessa forma, os resultados quantitativos são vistos como insumos (qualificados e ordenados) à discussão das alternativas de solução.

O reconhecimento da complexidade e imprevisibilidade do futuro que aguarda as demandas e ofertas hídricas e estratégias para a gestão das águas na bacia hidrográfica do rio Doce faz com que os cenários devam apresentar "mapas de contexto" dos quais se possa extrair as mais eficientes e eficazes estratégias de gestão. A cenarização, assim, deve criar modelos que embutam procedimentos lógicos e matemáticos explícitos para determinar as implicações que podem ser extraídas de informações limitadas sobre o passado e o presente, derivando-se suposições plausíveis sobre o futuro.

Ao Prognóstico cabe endereçar perguntas chave tais como:

- ✓ Quais das questões críticas, apontadas pelo Diagnóstico, tendem a se intensificar, se manter ou mesmo se arrefecer? As que tendem a se intensificar, deverão fazê-lo em qual temporalidade (ou seja, qual o prazo de resposta que é requerido)? Onde, no território, pode-se esperar a intensificação, manutenção ou arrefecimento?

[7] KLOSTERMAN, R. E. (2013). Lessons Learned About Planning. Journal of the American Planning Association. V. 79, pp 161-169.
[8] CHERMACK, T. J. (2005). Studying scenario planning: Theory, research suggestions and hypotheses. Technological Forecasting and Social Change, N. 72(1), pp. 59-73.

- ✓ Existem novas questões críticas que ainda não se manifestaram, mas poderão fazê-lo no horizonte do plano? Onde e com qual grau de intensidade elas devem se manifestar? Quais as ações de gestão e de controle que podem ser acionadas para que não se manifestem ou o façam de forma a serem menos críticas?
- ✓ Quais marcos portadores de futuro podem comprometer os objetivos do Plano, de forma a requerer endereçamento de gestão de risco no Plano de Ações?
- ✓ Qual é a intensidade requerida pelos instrumentos de gestão dos recursos hídricos para dar conta das maiores pressões antevistas?
- ✓ Quais as oportunidades que emergem das áreas que permanecem sem criticidade - para que assim permaneçam e para que possam ter seus recursos melhor aproveitados?
- ✓ Para as questões críticas que não conseguem ser plenamente endereçadas pela gestão dos recursos hídricos, quais as principais articulações requeridas com interfaces de gestão? Onde se manifestam mais intensas?

Dado o grau de resposta para as questões acima, a metodologia do Prognóstico pode ainda ser utilizada no auxílio à quantificação das ações correlatas, respondendo ao tamanho do efeito que se pode vislumbrar com uma determinada medida de gestão, ou ainda salientando a interface entre os atores que estão envolvidos com um determinado aspecto do problema sendo endereçado. O Prognóstico deve, enfim, reduzir a variabilidade do futuro para uma ordem prática que suscite a tomada de decisões mais eficiente e eficaz possível no âmbito de atuação do PIRH Doce.

Uma das formas de realizar tal simplificação qualificada é por meio do rebatimento e avaliação dos estados de mundo futuros nas implicações práticas para os recursos hídricos, notadamente em seus efeitos sobre as demandas hídricas, ofertas hídricas e seus aspectos qualitativos. Para tanto, a metodologia se debruça sobre oito grupos de setores usuários, quais sejam: abastecimento humano e esgotamento sanitário; agricultura e agricultura irrigada; indústria; mineração; criação animal; geração de energia termoelétrica; silvicultura e aquicultura.

Em resumo, o Prognóstico deve permitir que o Plano de Ações seja elaborado e calibrado em função: (i) da forma necessária de ação; (ii) da intensidade necessária de ação; (iii) do foco territorial de ação; e (iv) do grau de urgência de ação. Trabalha-se para tanto com os seguintes recortes temporais de planejamento: curto prazo (5 anos, até 2027), médio prazo (10 anos, até 2032) e longo prazo (20 anos, até 2042).

Para a elaboração do Prognóstico, adota-se uma adaptação das etapas de cenarização sugeridas por Avin (2007)[9], que se utiliza de uma combinação de futuros possíveis e desejados como base para a construção de cenários plausíveis. O ponto de partida do Prognóstico é o próprio Diagnóstico do PIRH Doce, orientado a problemas e alternativas de solução. A partir de então, a metodologia percorre dois caminhos paralelos que investigam os fatores endógenos e exógenos à realidade da bacia do rio Doce, detalhados a seguir. Esses caminhos voltam a se fundir quando

[9] AVIN, U. P. (2007). Using scenarios to make urban plans. In L. D. Hopkins & M. Zapata (Eds.), *Engaging our futures: Tools for effective planning practices*. Cambridge, MA: Lincoln Institute of Land Policy.

da construção dos cenários, que passam então a combinar os principais elementos de ambos, como ilustrado na Figura 3.1.

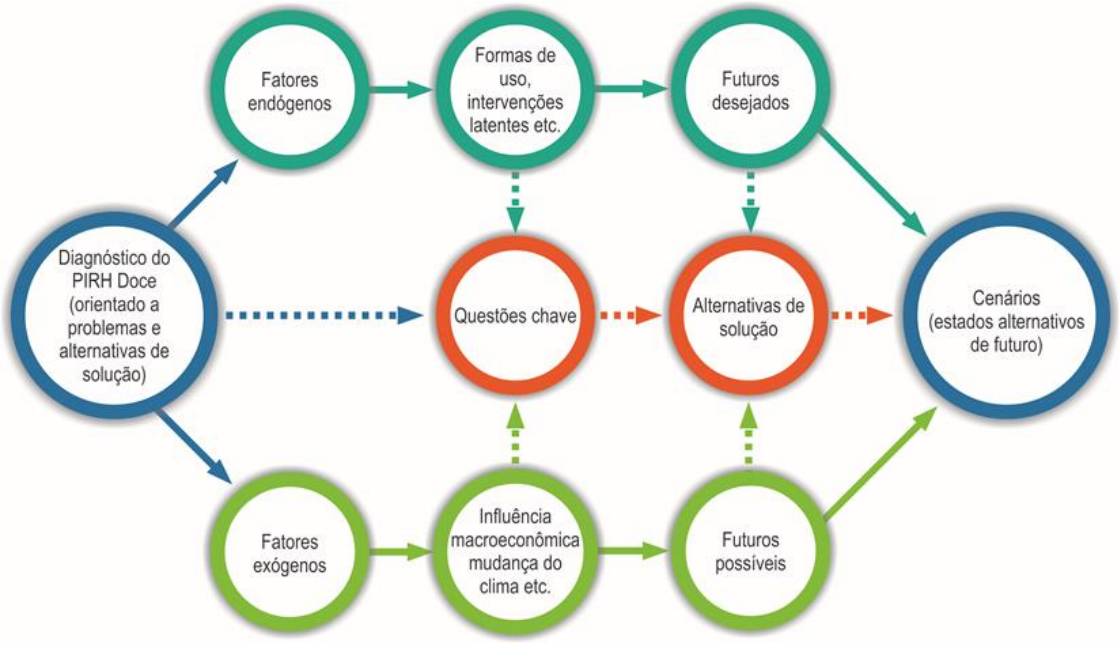


Figura 3.1 - Abordagem Metodológica para a Formação dos Cenários do PIRH Doce Atualizado

Na figura, a leitura das alternativas de solução emerge da interpretação das diversas combinações entre as projeções exógenas e endógenas, das quais são consideradas combinações (cenários) que ilustram os futuros alternativos e se apresentam como elementos facilitadores da compreensão da realidade (incerta) na qual o Plano de Ações deve se embasar.

3.1.1 Fatores Endógenos

Os fatores endógenos abordam os elementos de gestão dos recursos hídricos que estão, de alguma forma, sob o controle dos tomadores de decisão. As modificações nos padrões de uso das águas que podem ser conduzidas pela gestão e regulação têm seus efeitos avaliados, partindo-se das mudanças que já estão em curso, ou ainda que deverão ser promovidas por estratégias delineadas no presente e que estejam no âmbito de planos ou programas.

Três perspectivas de modificação serão articuladas para os fatores endógenos:

- ✓ *Business as usual* (BAU) – continuação das tendências de gestão passadas;
- ✓ Gestão moderada – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão;
- ✓ Gestão intensa – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão.

Estas perspectivas objetivam demonstrar os limites da gestão sobre os elementos exógenos, e são detalhadas para cada um dos setores abordados. As dinâmicas a serem articuladas a partir das mudanças na gestão dos recursos hídricos têm como elementos de alteração parâmetros de uso, controle ou fomento de adoção de tecnologias, dentre outros. Como exemplo, tem-se a gestão

do nível de perdas na distribuição de água pelo setor de saneamento básico, ação de gestão com rebatimento direto sobre a demanda hídrica.

3.1.2 Fatores Exógenos

Os futuros desejáveis, no entanto, não necessariamente serão possíveis de serem obtidos dadas as incertezas oriundas das influências dos fatores exógenos. A própria definição deste termo implica se tratar de elementos de natureza não controlável pelo tomador de decisão, tais como o crescimento demográfico ou os desenrolares econômicos. Os fatores exógenos têm dinâmicas cujas programações estão muito além da gestão dos recursos hídricos, embora criem suas expressões locais no território do rio Doce; são complexos e incertos, não cabendo ao exercício de cenarização seu escrutínio, mas sim, a interpretação de seus rebatimentos nas questões chave para o PIRH Doce. A ambiência em análise pode dificultar ou exacerbar o resultado dessa constante interrelação.

A identificação dos fatores exógenos que mais intensamente modificam os usos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos é realizada para cada um dos setores abordados, considerando os desdobramentos locais e seus limites de variação plausíveis.

Três perspectivas de modificação serão articuladas para os fatores exógenos:

- ✓ Tendencial – continuação das tendências passadas;
- ✓ Mais crescimento – intensificação da tendência, exacerbando a pressão sobre os recursos hídricos;
- ✓ Menos crescimento – arrefecimento da tendência, reduzindo a pressão sobre os recursos hídricos.

Essas perspectivas objetivam demonstrar os limites do que se pode esperar em termos de variação dos elementos exógenos, e são detalhadas para cada um dos setores abordados. As dinâmicas a serem articuladas partem de perspectivas históricas e setoriais, tal como as da demografia, que podem resultar em cidades mais ou menos adensadas.

Importante citar que os cenários exógenos, em suas três perspectivas, se alinham com os cenários macroeconômicos brasileiros descritos no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022-2040), respectivamente: *Tendencial* – cenário econômico base, associado aos cenários *Águas Cinzas*, *Águas Amarelas* e *Águas Verdes*; Mais crescimento – cenário econômico de alto crescimento, associado ao cenário *Águas Azuis*; e Menos crescimento – cenário econômico de baixo crescimento, associado ao cenário *Águas Vermelhas*.

3.1.3 Construção dos Cenários

Após a análise paralela dos fatores endógenos e exógenos, tem-se a construção dos cenários propriamente ditos. Estes emergem de diversas combinações entre as perspectivas, pois cada qual pode ocorrer independentemente da outra (Quadro 3.1). Como exemplo, pode-se ter uma ação de gestão intensa de combate às perdas na distribuição de água (endógeno) que ocorra em uma perspectiva de menor adensamento urbano (exógeno), o que resulta em um arrefecimento

maior das demandas de retirada da população urbana do que ocorreria sob a mesma perspectiva de gestão em uma perspectiva exógena de maior adensamento.

QUADRO 3.1 - MATRIZ DE RELAÇÕES ENTRE AS PERSPECTIVAS ENDÓGENAS E EXÓGENAS

		Perspectivas endógenas, sob controle da gestão dos Recursos Hídricos		
		Business as Usual (BAU)	***Gestão Moderada***	***Gestão Intensa***
Perspectivas exógenas, fora do controle da gestão dos Recursos Hídricos	Crescimento Tendencial	Combinação 1	Combinação 2	Combinação 3
	Mais crescimento	Combinação 4	Combinação 5	Combinação 6
	Menos crescimento	Combinação 7	Combinação 8	Combinação 9

Elaboração ENGECORPS 2022

A mecânica de compreensão e articulação entre perspectivas endógenas e exógenas se dá por setor usuário e/ou gerador de carga poluidora, sendo que todas as combinações são relevantes para a compreensão dos possíveis futuros. Não necessariamente, no entanto, todas as combinações precisam ser lidas como cenários no agregado de todos os setores. O intuito é ter, nos cenários, uma síntese de fácil comunicação em relação às situações tendencial e alternativas (limites) que a gestão/regulação deve enfrentar e para a qual deve se programar de forma proativa.

Os resultados dos cenários agregados são articulados em termos de balanço hídrico quantitativo (oferta *versus* demanda) e qualitativo (classes de qualidade atendidas de acordo com usos/cargas poluentes futuros), sendo eleitas as seguintes combinações que conseguem conceder a diversidade de respostas necessárias às questões chave ao Plano de Ações sem, no entanto, perder o caráter sintético e redutor das variabilidades futuras:

- ✓ **Combinação 1** (endógeno BAU, exógeno Tendencial): demonstra os efeitos da continuação do *status quo*, ou seja, crescimento tendencial das pressões exógenas sobre os recursos hídricos e grau *business as usual* de resposta, apresentadas para os horizontes temporais de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos;
- ✓ **Combinação 3** (endógeno Gestão intensa, exógeno Tendencial): demonstra os efeitos da gestão intensa sobre as condições tendenciais, permitindo isolar, no contraste com o resultado da combinação 1, o efeito da gestão. Apresentada para o horizonte de médio prazo (2032);
- ✓ **Combinação 4** (endógeno BAU, exógeno Mais crescimento): demonstra os efeitos de uma situação exógena de maior pressão sobre os recursos hídricos que não é acompanhada de maiores esforços de gestão. Apresentada para o horizonte de médio prazo (2032);
- ✓ **Combinação 5** (endógeno Gestão moderada, exógeno Mais crescimento): demonstra os efeitos de uma situação exógena de maior pressão sobre os recursos hídricos que é

acompanhada de esforços moderados de gestão. Em contraste com a combinação 4, permite isolar os efeitos da gestão. Apresentada para o horizonte de médio prazo (2032);

- ✓ **Combinação 6** (endógeno Gestão intensa, exógeno Mais crescimento): demonstra os efeitos de uma situação exógena de maior pressão sobre os recursos hídricos que é acompanhada de esforços intensos de gestão. Em contraste com as combinações 4 e 5, permite isolar e graduar os efeitos da gestão. Apresentada para o horizonte de médio prazo (2032);
- ✓ **Combinação 8** (endógeno Gestão moderada, exógeno Menos crescimento): demonstra os efeitos da gestão moderada sobre as condições de menor pressão sobre os recursos hídricos, permitindo graduar os esforços de gestão. Apresentada para o horizonte de médio prazo (2032); e
- ✓ **Combinação 9** (endógeno Gestão intensa, exógeno Menos crescimento): demonstra os efeitos da gestão intensa sobre as condições de menor pressão sobre os recursos hídricos, permitindo graduar os esforços de gestão nesta combinação que apresenta as melhores condições para os recursos naturais. Apresentada para o horizonte de médio prazo (2032).

As comparações entre as sete combinações destacadas permitem derivar uma ampla gama de conclusões, desde os estados de mundo que independem da gestão, ou seja, sobre os quais não se tem controle, quanto aqueles onde a gestão gera modificações desejadas. Mais do que isso, o contraste entre as perspectivas moderada e intensa de gestão permite graduar o esforço de gestão necessário, bem como identificar os limites plausíveis de sua influência.

Conforme a listagem acima, a Combinação 1 (endógeno BAU, exógeno Tendencial) é a única a ser modelada, quanto aos balanços hídricos quali-quantitativos, nos três intervalos temporais (2027, 2032 e 2042). A comparação temporal com essa referência tendencial e sem ações de gestão permitirá identificar as pressões sobre os recursos hídricos em sua evolução temporal. As demais seis combinações, no entanto, são realizadas apenas para o intervalo de médio prazo (dez anos, 2032).

Busca-se, com isso, otimizar o processamento dos balanços hídricos quali-quantitativos de forma a privilegiar a riqueza das comparações entre as perspectivas endógenas e exógenas, em detrimento do alongamento em vinte anos de um olhar a partir do presente que dificilmente consegue, com qualidade razoável, ser efetivo para a tomada de decisões[10]. Afinal, o objetivo do Prognóstico é o de qualificar a tomada de decisões atuais acerca do Plano de Ação, embasando sua otimização e graduação.

[10] A escolha pelo intervalo de médio prazo remete ao horizonte até onde o olhar do presente alcança com alguma razoabilidade e uma dose de otimismo. Afinal, qualquer projeção parte de alguma base passada, seja para dar seu nível atual, seja para estender sua tendência no futuro. Embora essa técnica de retrovisor seja usual e bastante útil para situações de projeção, certamente deixa de captar modificações tecnológicas que ocorrerão, alterando padrões de comportamento e tudo o mais. Estas situações de interrupções não podem - por definição - ser plenamente compreendidas e, portanto, articuladas nos cenários de forma que contribuam para com a tomada de decisões. O caminho linear entre dois pontos, embora suavize as ansiedades sobre o futuro para aqueles que o observam no presente, simplesmente não é real. A Google foi fundada em 1998 (24 anos atrás); a moeda única europeia entrou em circulação a 23 anos atrás; o iPhone, pioneiro dos smartphones, foi lançado a 15 anos atrás; a Uber foi fundada há 13 anos atrás; a tecnologia embutida na sonda Spirit, que esteve em Marte de 2004 até 2010, é equivalente àquela presente hoje nos aparelhos smartphones em nossos bolsos. Quais serão as descontinuidades trazidas pelas convergências as transversais tecnologias NBIC (nano, bio, info e cogni)? A digressão aqui apresentada não detém relação direta com o Plano de Bacia, mas ilustra como rompimentos tecnológicos ainda desconhecidos, no futuro, irão certamente modificar trajetórias lineares hoje construídas como plausíveis.

3.1.4 Prognósticos de Referência

O Plano de Bacia ora em atualização, em sua versão anterior (PIRH Doce de 2010)[11], trouxe uma abordagem metodológica de prognóstico conceitualmente similar à aqui realizada. Muito embora as prospecções setoriais tenham sido menos específicas, foi identificado um cenário tendencial e outros quatro cenários alternativos que contrapõem o estado de mundo (exógeno) à resposta da gestão (endógeno), quais sejam:

- ✓ Cenário de desenvolvimento sem melhoria da gestão dos recursos hídricos;
- ✓ Cenário de pouco desenvolvimento sem melhoria da gestão dos recursos hídricos;
- ✓ Cenário de desenvolvimento com melhoria da gestão dos recursos hídricos; e
- ✓ Cenário de pouco desenvolvimento com melhoria da gestão dos recursos hídricos.

Os cenários do prognóstico do PIRH Doce de 2010 tiveram como ano base 2006, tendo 2030 como o último ano de projeção. Sempre que pertinente, esses resultados são apresentados de forma enriquecer o desenvolvimento do prognóstico atual e contrastar as expectativas de futuro do passado com o que de fato ocorreu - sob o privilegiado ponto de vista obtido com o transcorrer de 16 dos 24 anos do horizonte temporal original.

Outro instrumento de planejamento de referência é o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (PERH/ES)[12], aprovado em 2019 pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado. Este plano, cujo ano base é 2018, apresenta três cenários com horizontes de curto (2022), médio (2030) e longo (2038) prazos, elaborados com base na convergência de cenários globais, cenários para o Brasil e cenários para o Estado, cujo resultado é brevemente descrito abaixo:

- ✓ *Navegando em águas revoltas*: pressupõe que o crescimento econômico é conciliado com o alcance da equidade social, o que envolve a proteção ambiental;
- ✓ *Remando contra a corrente*: pressupõe que o Brasil e o Espírito Santo, permanecem inseridos nas redes de comercialização de commodities (petróleo, minérios, madeira etc.) e de produtos alimentícios não processados (café, cana etc.), sem aumentos de eficiência, sem agregação de valor, em uma economia com baixo nível de inovação; e
- ✓ *Flutuando em águas conhecidas*: de certa forma, este é um cenário tendencial, no qual a economia cresce com sua inserção no mercado mundial de commodities, mas carece de inovações que permitam uma transição para exportações de produtos com maior valor agregado.

A Figura 3.2 reproduz os resultados de balanço hídrico quali-quantitativo e de balanço hídrico quantitativo nos cenários Águas Conhecidas e Águas Revoltas, todos para o horizonte de 2030. Torna-se clara a problemática instaurada na gestão dos recursos hídricos no estado do Espírito Santo, que apresentam situações críticas em diversas bacias estaduais, dentre elas a do rio Doce.

[11] PIRH Doce - Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, Volume 1, Relatório final. CBH-Doce, Governador Valadares, 2010.
[12] PERH-ES - Plano Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo, Caderno Completo. Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), Governo do Estado do Espírito Santo, 2019.

Cenário Águas Conhecidas (2030)	*Cenário Águas Revoltas (2030)*

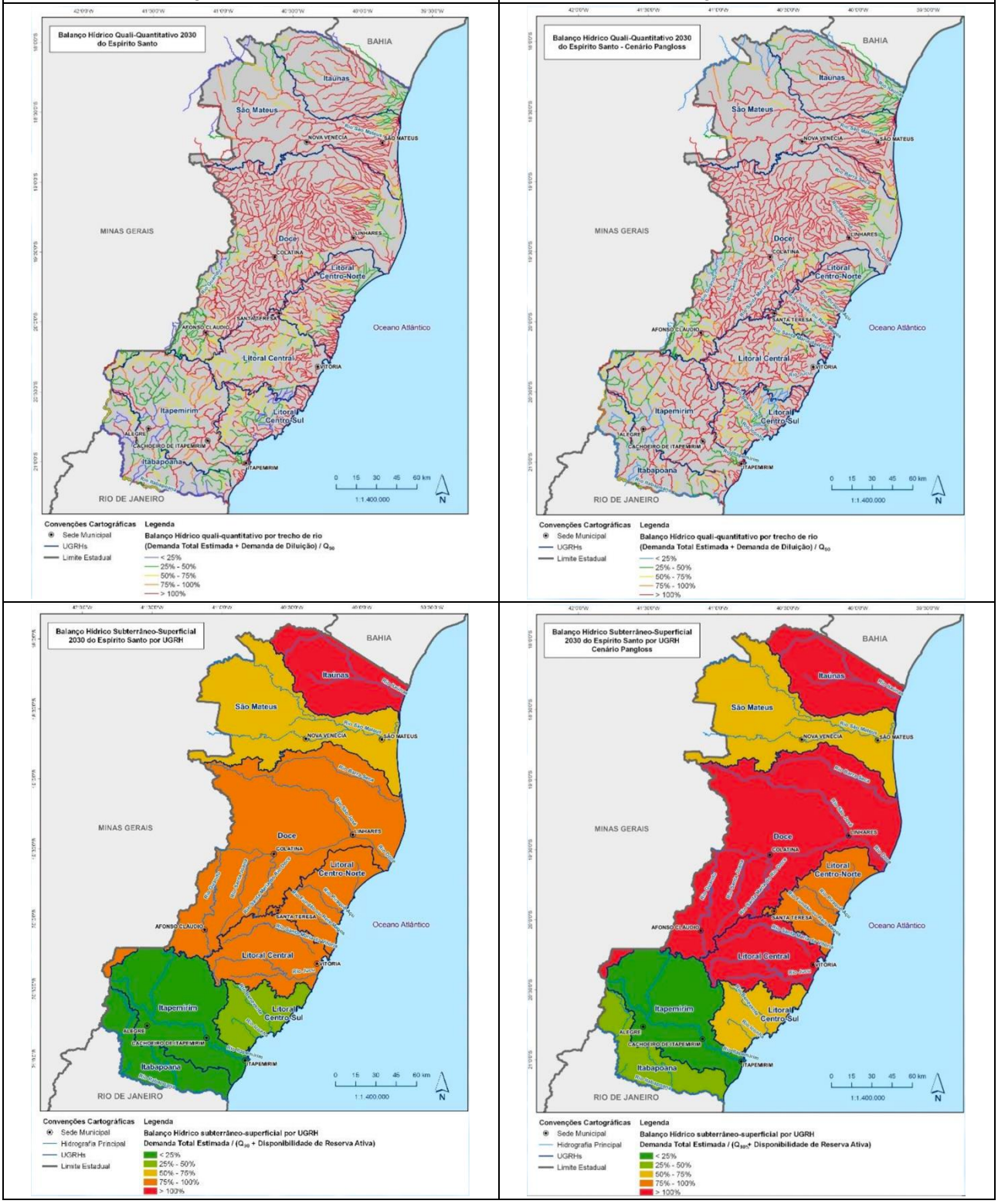


Figura 3.2 - Balanços Hídricos para o Horizonte de 2030, replicados de PERH-ES

Os resultados das análises prognósticas do PERH-ES são claros em demonstrar que há uma grande vulnerabilidade a estiagens, situação esta que deverá aumentar com o crescimento econômico que as políticas públicas buscam implementar. O PERH-ES tornou evidente que medidas não-estruturais, vinculadas aos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos e de meio ambiente, devem ser aperfeiçoadas para organizar a apropriação dos recursos hídricos, e para

promover o seu uso eficiente. Da mesma forma, mostrou que devem ser também implementadas medidas estruturais, na forma de obras hidráulicas de regularização de vazões em rios, e talvez, inclusive, de transposição entre bacias com maior disponibilidade para as que tenham menor. Sem uma política consistente de uso, controle e proteção dos recursos hídricos o Espírito Santo poderá sofrer outras crises hídricas, comprometendo seu desenvolvimento.

Nota-se que os cenários do PERH-ES abordam apenas os fatores exógenos (não controláveis pelos gestores), não articulando, portanto, combinações entre esses cenários e as possíveis respostas de gestão. No contexto do cenário "Navegando em águas revoltas", no qual há maior pressão pelos recursos hídricos, pode-se vislumbrar uma maior capacidade de gestão devido ao crescimento econômico e à pressão por maior proteção ambiental. Já no contexto do cenário "Remando contra a corrente", pode-se vislumbrar uma baixa capacidade de gestão, embora a pressão industrial e urbana pelos recursos hídricos também seja arrefecida. Por fim, no contexto do cenário "Flutuando em águas conhecidas", pode-se esperar que a gestão dos recursos hídricos continue a avançar, mas de forma pouco significativa para fazer frente aos conflitos antevistos.

3.2 SEMENTES DE FUTURO

Antes de se detalhar as prospecções setoriais, cabe abordar as possibilidades de mudanças de âmbito mais amplo, as chamadas "sementes de futuro", que são fatos ou sinais que têm origem no passado e no presente e que sinalizam possibilidades de eventos futuros que podem ou não "germinar e dar frutos". Essas sementes de futuro abrigam e norteiam as dinâmicas específicas dos setores no território da bacia do rio Doce. É da consulta a planos, programas e perspectivas de futuro que emerge a massa crítica para o julgamento qualitativo das variações das projeções exógenas.

Como forma de se realizar tal levantamento, parte-se dos cenários do Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH 2022-2040, que é o instrumento norteador para todos os componentes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), incluindo os planos de bacias hidrográficas.

3.2.1 Tendências de Peso

O PNRH 2022-2040 aborda diversas sementes de futuro, dentre elas cinco "tendências de peso", que são aquelas já notadas e das quais se espera manutenção de sua influência.

A primeira dessas tendências é a de alterações no regime hidrológico devido à ocupação e ao uso do solo, e a variabilidades de mudanças climáticas. As alterações no regime hidrológico já se fazem sentir na bacia do rio Doce, provavelmente devido ao uso e ocupação solo, sendo que a mudança do clima pode exacerbar tais efeitos ao afetar tanto o comportamento dos usuários dos recursos hídricos, notadamente os irrigantes, como a própria disponibilidade hídrica (oferta hídrica menos regular e/ou menor e/ou maior). Além disso, extremos de estiagem e de chuvas intensas podem representar um aumento no risco trazido aos sistemas humanos por tais eventos. Uma vez que esses fatores exógenos são muito amplos e transversais, pormenoriza-se sua análise em um item dedicado (3.2.3 - Alterações no Regime Hidrológico).

Outra tendência de peso identificada pelo PNRH é a pressão por crescimento econômico, geração de emprego e renda. Fruto do grau ainda incipiente de desenvolvimento do País, essa pressão deve ser contínua dentro dos horizontes do PNRH e do PIRH Doce, se desdobrando em investimentos em Capital Humano e em Capital Fixo (infraestrutura). As repercussões na base produtiva podem apresentar, no contexto desta atualização de plano de bacia, modificações de interesse, e muito embora não sejam previstas grandes alterações, o item 3.2.5 (Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo) detalha tais avaliações.

O crescimento da população (que traz gradual redução e tendendo à estabilização) também é considerado pelo PNRH como uma tendência de peso. A demografia é fundamental na composição das demandas hídricas (representa 12,3% do total na bacia do rio Doce) e também tem um papel preponderante quanto à produção de cargas poluidoras (tanto orgânicas, como a DBO, quanto bacteriológicas, como a *Escherichia coli*). As repercussões específicas dessas tendências para a bacia do rio Doce são abordadas no item 3.2.5.4 (Movimentos Demográficos), sendo que as prospecções setoriais de abastecimento humano e esgotamento sanitário detalham os desdobramentos em demandas hídricas quali e quantitativas.

A tendência de peso que aponta para uma produção agropecuária crescente e mais tecnificada, identificada no PNRH, é também relevante para o âmbito do presente plano de bacia. Afinal, os usos de irrigação, dessedentação animal e aquicultura representam 58,2% do total demandado de retirada de água na bacia. As áreas dedicadas à agricultura, silvicultura e pastagem, adicionalmente, são responsáveis por cerca de 63% de toda a extensão territorial da bacia. O item 3.3 de prospecções setoriais aborda, para cada setor relevante (Agricultura e Agricultura Irrigada, Criação Animal, Silvicultura e Aquicultura**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), as repercussões dessa tendência de peso, gerando como desdobramento as perspectivas de gestão moderada e intensa.

A última das tendências de peso identificadas pelo PNRH é oriunda das demandas socioambientais: melhorias na distribuição de renda e na proteção ambiental. Essa dimensão é indiretamente abordada na concepção das variações de maior ou menor intensidade de crescimento das prospecções setoriais respectivas. Ainda mais relevante, entretanto, é sua materialização, via processo participativo de elaboração do plano de bacia, no enquadramento dos rios em classes de usos preponderantes mais restritivos e nas estratégias do Plano de Ações para que haja, sempre que necessário, gestão intensa dos recursos hídricos.

3.2.2 Incertezas Críticas

Além das cinco tendências de peso, os cenários do PNRH também abordam incertezas críticas – fatores exógenos que devem influenciar substancialmente os cenários, o conteúdo e a tomada de decisões estratégicas. As repercussões das incertezas críticas são grandes, mas seu tratamento no âmbito deste estudo se restringe ao contexto dado para as considerações de maior ou menor crescimento da pressão pelos recursos hídricos.

Uma dessas incertezas, da dimensão sociedade/ambiente, são exigências mundiais relacionadas ao meio ambiente e à equidade social. As outras incertezas críticas são de cunho econômico, tal

como a demanda mundial crescente por produtos brasileiros e a produção industrial e mineral. Parte significativa das variações possíveis para essas incertezas advém de cenários globais, nos quais pode ou não haver manutenção de níveis altos de comércio internacional e de atendimento, por parte do Brasil, de demandas ESG (compromisso socioambiental) de países importadores. Além disso, o País pode ou não realizar investimentos em sua base produtiva para ter condições de atender às demandas internacionais, sem restrições internas, relacionadas à capacidade de produção.

Cenários globais favoráveis, se combinados com o desenvolvimento da economia interna e atendimento às demandas ESG, permitem aumentar de forma sustentada a produção, sem sofrer restrições do mercado externo. Já um cenário global desfavorável não estimula as exportações brasileiras, a não ser em países com dificuldades de atender de forma autônoma às demandas alimentares de suas populações e de minérios para suas produções industriais. Não necessariamente um cenário externo pior significa retração econômica, pois caso o mercado interno compense tais dificuldades com maior independência, podem-se compensar tais dificuldades.

Claramente, os cenários do PIRH Doce não conseguem articular todas as incertezas críticas, mas cabe ao Plano identificar quais delas podem ter as maiores repercussões no território de interesse. Diante da conjunção das perspectivas econômicas internas e externas que podem ser tanto favoráveis como desfavoráveis, as incertezas se rebatem nas perspectivas de maior e menor crescimento exógeno das pressões sobre os recursos hídricos. Com base nas combinações de maior e menor crescimento (fatores exógenos), as incertezas críticas relevantes no contexto do território da bacia do rio Doce podem ser identificadas e monitoradas pelos gestores dos recursos hídricos, concedendo tempo hábil de resposta para os caminhos incertos do futuro.

A última das incertezas críticas, de geração de energia elétrica, traz perspectivas de maior ou menor demanda por energia devido ao crescimento interno, mas também associada ao seu atendimento com diferentes graus de internalização dos custos ambientais ou sociais. Parte significativa dos desdobramentos dessa incerteza não se rebate no território da bacia do rio Doce, mas em regiões de fronteira de expansão de geração hidrelétrica, como a Amazônia.

Essa incerteza crítica é acompanhada do fato portador de futuro que é a transição energética (descarbonização da economia) e tecnológica. Nas perspectivas de maiores investimentos internos e convergência de cenários globais favoráveis, deve haver massivos investimentos na substituição das fontes fósseis de energia, pelas fontes renováveis. No âmbito deste estudo, os desdobramentos dessa incerteza crítica e desse fator portador de futuro são explorados, respectivamente, no item 3.2.4 (Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo) e no item 3.3.8 de prospecção setorial quanto à Geração de Energia Termoelétrica.

As tendências e incertezas identificadas foram usadas para conformar os cenários do PNRH 2022-2040, e atuam, assim, como as forças motrizes dos próprios cenários do PIRH Doce, que se alinham aos do plano nacional no âmbito de suas repercussões neste território.

Conforme descrito, exploram-se na sequência as sementes de futuro de maior repercussão na bacia hidrográfica do rio Doce.

3.2.3 Alterações no Regime Hidrológico

A disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica depende de diversos fatores, como a topografia, o regime de precipitação, os níveis de evaporação e, também, do uso e ocupação do solo. Usos do solo naturais são associados positivamente à disponibilidade hídrica devido ao favorecimento de processos naturais que auxiliam a regulação da interceptação da precipitação, da infiltração, da umidade e do armazenamento de água no solo, e do transporte de água. De forma geral, o ciclo hidrológico será mais favorável para a reservação equilibrada de água em uma bacia quanto mais próximo for ao natural, pois otimiza-se a distribuição hídrica em termos de espaço, tempo, e quantidade da água disponível.

Conforme abordado no Diagnóstico, diferentes padrões de ocupação influenciam no escoamento hídrico superficial e aporte de sedimentos ao leito dos mananciais, podendo alterar a qualidade e a disponibilidade da água. As diversas atividades econômicas que se desenvolvem ao longo da bacia causam inúmeros impactos sobre os seus recursos hídricos, o que torna fundamental conectar o planejamento do uso do território ao dos recursos hídricos (MITCHELL, 2005)[13].

Embora a ocupação antrópica certamente promova alterações no regime hidrológico, o grau de tais alterações é geralmente desconhecido, e pode variar do negligenciável ao crítico, a depender das condições geomorfológicas particulares da bacia, da intensidade e da forma de ocupação. Não é à toa que as Nações Unidas promovem as Soluções baseadas na Natureza (SbN) relacionadas à conservação ou recuperação de vegetação nativa como importantes medidas para o aumento da entrada de água da chuva nos solos de uma bacia, com consequências positivas para a alimentação de lençóis freáticos e aquíferos (UN-Water, 2018)[14].

As Soluções baseadas na Natureza também constituem importantes recomendações para a adaptação à mudança do clima, promovendo aumento da resiliência dos sistemas naturais frente as variações climáticas promovidas pelas maiores concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa de emissão antrópica. Como forma de investigar as alterações no regime hidrológico, analisam-se dados observados de precipitação e de vazão, assim como os efeitos esperados pelas alterações climáticas globais.

3.2.3.1 Análise de Dados Climáticos Observados

Dois recentes estudos analisam a existência de sinais de manifestação pretérita das alterações climáticas globais na bacia do Doce.

[13] MITCHELL, B. Integrated water resource management, institutional arrangements, and land-use planning. Environment and Planning A, v. 37, n. 8, p. 1335-1352, 2005.
[14] UN-WATER - Agência das Nações Unidas para a Água. Soluções Baseadas na Natureza para a gestão da água. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2018. UNESCO/ World Water Assessment Program, 2018.

✓ ***Análise das tendências de extremos de precipitação***

O primeiro estudo faz uso dos registros históricos diários de estações pluviométricas do HIDROWEB da ANA para avaliar a existência de tendências de modificação em índices de precipitação extrema (SOUZA et al., 2021)[15]. Os autores selecionaram 68 estações pluviométricas com base nos critérios de terem no mínimo 30 anos de dados sem falha e de terem no mínimo 5 anos de dados sem falha entre 2000 e 2015. Das estações selecionadas, 29% possuem entre 30 e 44 anos de dados sem falha; 22% entre 45 e 59 anos e 49% apresentam mais de 60 anos de dados sem falha.

Foram calculados e comparados 10 índices de extremos de precipitação, seguindo as recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM) para análise de mudanças climáticas capaz de atender às diversas especificidades de cada continente, ou até mesmo de cada país, sem perder o aspecto global (IPCC, 2013)[16], conforme relacionado no Quadro 3.2.

QUADRO 3.2 - ÍNDICES DE EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Índice	*Nome*	*Descrição*
CDD	Número de Dias Consecutivos Secos	Este índice fornece a contagem do número máximo de dias consecutivos secos no período sazonal ou anual (j). Isto é, a contagem máxima dos dias nos quais não houve precipitação.
CWD	Número de Dias Consecutivos Úmidos	Este índice fornece a contagem do número máximo de dias no período sazonal ou anual (j) nos quais houve registro de precipitação.
PRCPTOT	Precipitação Total	Corresponde ao total de precipitação no período sazonal ou anual (j).
R10	Número de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 10 mm	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual (j), nos quais a precipitação foi maior do que 10 mm.
R20	Número de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 20 mm	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual (j), nos quais a precipitação foi maior do que 20 mm.
R50	Número de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 50 mm	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual (j), nos quais a precipitação foi maior do que 50 mm.
SDII	Índice Simples de Intensidade Diária	Este índice indica o quão intensa é a precipitação total no período sazonal ou anual (j). Isto porque, o seu cálculo é definido pelo quociente entre o número total de precipitação no período sazonal ou anual (j) pelo número de dias nos quais houve registro de precipitação.
RX1day	Máxima precipitação registrada em 1 dia	Corresponde a máxima precipitação registrada em apenas 1 dia (i) durante o período sazonal ou anual (j).
RX5day	Máxima precipitação registrada em 5 dias	Corresponde a máxima precipitação registrada em 5 dia (i) durante o período sazonal ou anual (j).

[15] SOUZA, S. A.; JUNIOR, D. S. R.; CARVALHO, T. L. L.; ARAÚJO, A. A.; PUFAL, M. I. Análise de Tendência de Extremos de Precipitação na Bacia do Rio Doce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIV., 2021, Belo Horizonte. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2021.
[16] IPCC., 2013. Summary for Policymakers. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner,M.Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia,V. Bexand P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press.

Índice	*Nome*	*Descrição*
R1	Número de Dias de Chuva	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual (j), nos quais a precipitação foi maior do que 1 mm.

Fonte: IPCC, 2019, *op. cit (SOUZA et al. 2021)*

A análise de detecção de tendência desses índices foi realizada utilizando a abordagem FDR-TFPW, que considera os efeitos da multiplicidade de testes e autocorrelação temporal (SOUZA, AMORIM & REIS, 2020)[17]. Foram considerados nas análises, além da significância do teste MK ao nível de 5%, o tamanho da série e a magnitude da mudança. Para isso foram adotadas 3 classes de tamanho de série das estações: pequena (entre 30 e 44 anos), média (entre 45 e 59 anos) e grande (maior que 60 anos). Já a magnitude da tendência foi classificada de acordo com percentual de mudança decenal em relação à média da série, em 3 classes: baixa (menor que 5% por década), média (entre 5 e 10% por década) e alta (maior que 10% por década).

Os resultados obtidos apresentaram um quantitativo pouco significativo de estações pluviométricas que apresentaram tendências de modificação estatisticamente significantes nos índices, sendo que apenas 4 dos 10 índices apresentaram certa significância, majoritariamente decrescente, à exceção dos índices associados a cheias.

Avaliando a quantidade de resultados significativos, em termos absolutos, destacam-se os índices R1 (NDIAS) e R10, com mais de 8 estações com resultados significativos decrescentes, e o RX1day, com 5 estações com resultados significativos crescentes. O padrão espacial desses resultados ocorre nas regiões de cabeceira de afluentes do rio Doce, para o caso dos índices R1 e R10; já no caso do índice RX1day os resultados crescentes estão aglomerados na região da margem direito do rio Doce.

A Figura 3.3 apresenta os resultados do teste MK para a bacia do rio Doce considerando os 10 índices de extremos de precipitação.

[17] SOUZA, S. A. DE, AMORIM, R. S., & REIS, D. S. (2020). Influência da Correlação Temporal e da Multiplicidade de Testes na Detecção de Tendências de Índices de Chuva No Território Brasileiro. Revista Brasileira de Climatologia, 26(0). doi:10.5380/abclima.v26i0.68124

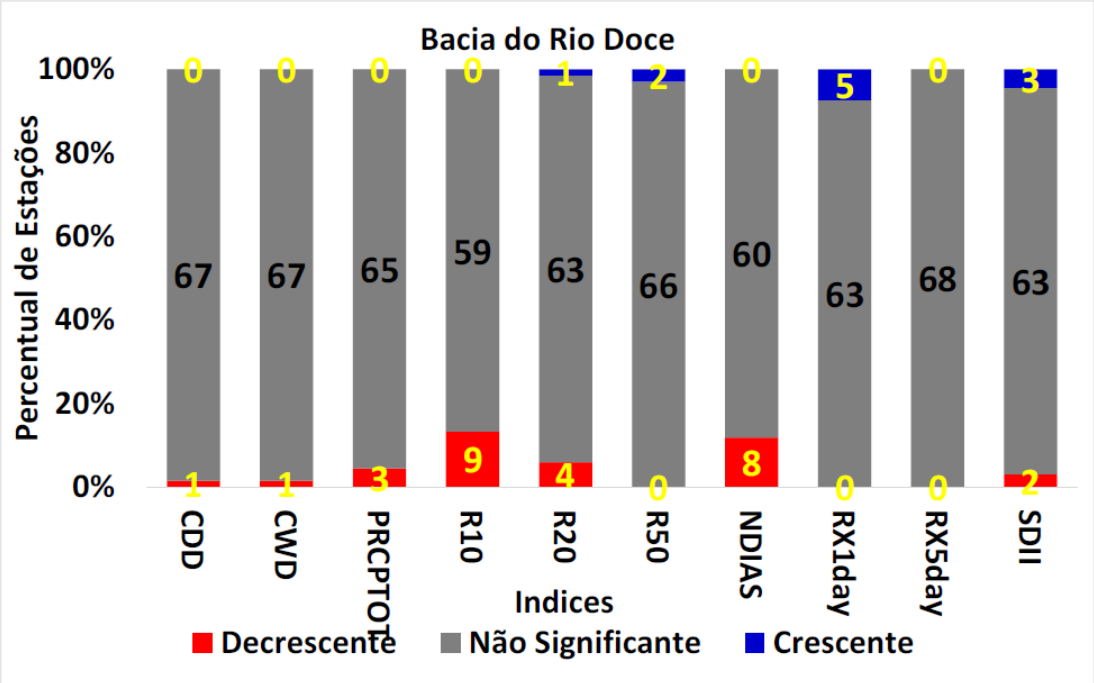


Figura 3.3 - Resultados do Teste MK para os Índices de Extremos de Precipitação (Reproduzido de SOUZA et al. 2021, op. cit.)

Os resultados sugerem, considerando tanto a questão da autocorrelação quanto da multiplicidade, que não existem ainda evidências estatísticas de mudanças nos principais indicadores de extremos de precipitação observadas na bacia do rio Doce.

✓ ***Análise das tendências das vazões***

O segundo estudo analisa os dados observados de vazões na bacia do rio Doce (SOUZA et al., 2021)[18]. Os autores empregaram dados oriundos dos registros históricos diários de estações fluviométricas do HIDROWEB da ANA, selecionadas pelos seguintes critérios: terem no mínimo 30 anos de dados sem falha e terem no mínimo 5 anos de dados sem falha entre 2000 e 2015. Foram selecionadas, ao todo, 56 estações, sendo que 39% têm entre 30 e 44 anos de dados sem falhas, 22% apresentam entre 45 e 59 anos e 39% têm mais de 60 anos de dados sem falha.

A partir desses dados, foram definidos 8 índices ou vazões de referência, considerando tanto vazões mais baixas, associadas à disponibilidade hídrica, como vazões mais altas, associadas à questão de cheias e inundações. Buscou-se também considerar a questão da sazonalidade utilizando indicadores de vazões mínimas dentro do período úmido. O Quadro 3.3 apresenta uma descrição dos índices utilizados.

QUADRO 3.3 - ÍNDICES DE VAZÕES DE REFERÊNCIA PARA ANÁLISE DE TENDÊNCIA

Índice	*Descrição*
QX1day	Máxima vazão registrada de 1 dia durante o ano hidrológico.
QX5day	Máxima vazão registrada em 5 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
QX30day	Máxima vazão registrada em 30 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
Qmed	Vazão média durante o ano hidrológico.

[18] SOUZA, S. A.; JUNIOR, D. S. R.; CARVALHO, T. L. L.; ARAÚJO, A. A.; PUFAL, M. I. Análise de Tendência das Vazões Observadas da Bacia do Rio Doce. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIV., 2021, Belo Horizonte. Anais [...]. [S. l.: s. n.], 2021.

Índice	*Descrição*
Qmin7day	Mínima vazão registrada em 7 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
Qmin30day	Mínima vazão registrada em 30 dias consecutivos durante o ano hidrológico.
Qmin7dayUmidoTri	Mínima vazão registrada em 7 dias consecutivos durante o trimestre mais úmido do ano hidrológico.
Qmin7dayUmidoSem	Mínima vazão registrada em 7 dias consecutivos durante o semestre mais úmido do ano hidrológico.

Fonte: Souza et al. 2021

A abordagem dos autores para a avaliação da existência de tendência foi a FDR-TFPW, com as mesmas especificações que para a tendência dos extremos de precipitação, já descritos anteriormente. A Figura 3.4 apresenta os resultados do teste MK para a bacia do rio Doce, considerando os 8 índices de vazões de referência.

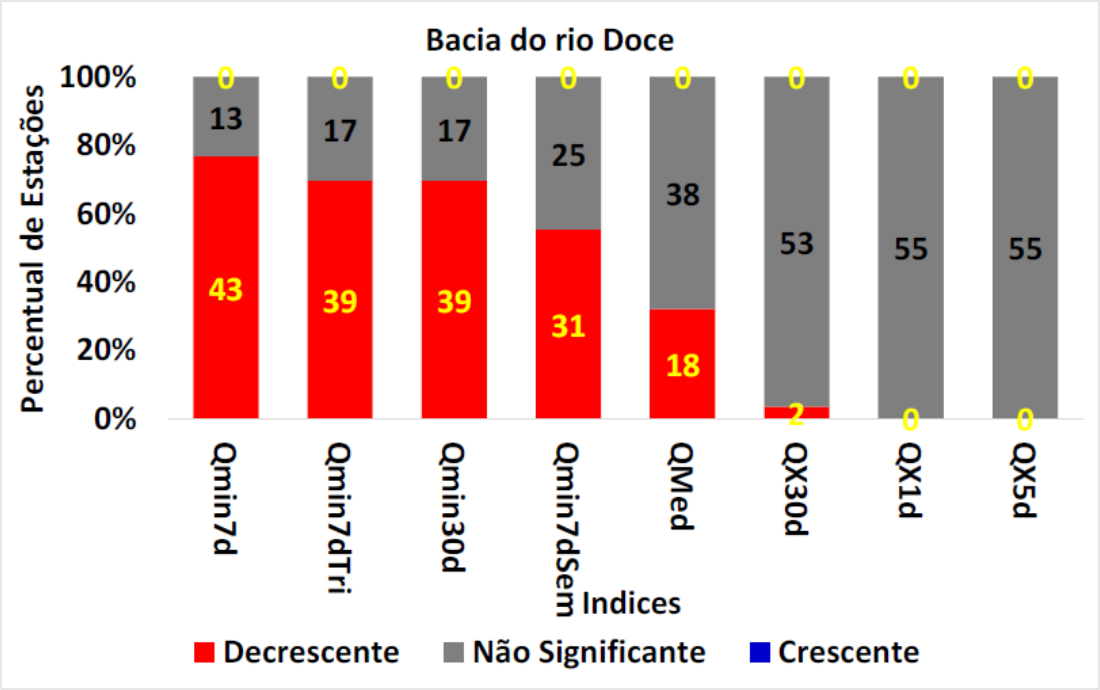


Figura 3.4 - Resultados do Teste MK para os Índices de Vazões de Referência (Reproduzido de SOUZA et al. 2021, op. cit.)

Diferentemente dos resultados para os extremos de precipitação, observa-se uma quantidade expressiva de resultados com significância estatística para os índices associados às vazões mais baixas e médias, sendo esses resultados exclusivamente decrescentes. Para os índices associados a cheias, praticamente não se obtiveram resultados significativos, embora os poucos resultados significativos também foram decrescentes.

Avaliando a quantidade de resultados significativos em termos absolutos, destacam-se os índices Qmin7d, Qmin7dtri e Qmin30d com cerca de 40 de 55 estações (72%) com resultados significativos decrescentes. O padrão espacial desses resultados ocorre de forma uniforme na bacia, no entanto, a magnitude da mudança nas regiões de cabeceira do rio Doce são menos pronunciadas, o que pode estar associado às séries mais longas dessas estações.

Os resultados apresentados caracterizam reduções de disponibilidade hídrica associada às vazões baixas e médias. Uma vez que são oriundos da análise de dados observados, pode-se prever que a continuidade destas condições tende a aumentar os conflitos pelos usos dos recursos hídricos na bacia.

✓ ***Conclusões***

A análise das tendências dos dados observados de precipitação e de vazão revela um aparente paradoxo: as vazões apresentam tendências decrescentes significativas, mesmo não havendo paralelo nas tendências de precipitação. Ou seja, a redução das vazões ocorre em detrimento da quantidade de água que se faz disponível via precipitação. Esse paradoxo pode ser explicado, ao menos em parte, pela adoção de padrões desfavoráveis de uso e ocupação do solo para os recursos hídricos.

O Quadro 3.4 apresenta a relação entre os processos ambientais-hidrológicos (o que o ecossistema faz) e a relação com os atributos hidrológicos que são mais afetados por eles, a partir de Brauman et al. (2007)[19]. Cada um dos atributos hidrológicos afetados, por sua vez, tem o potencial de gerar alterações nos serviços ecossistêmicos hídricos de provisão e regulação do regime hidrológico. Esta provisão pode ser alterada (mantida, recuperada ou prejudicada) por intervenções aos ecossistemas, sendo as alterações nos padrões de uso e ocupação do solo as mais intensas.

QUADRO 3.4 - PROCESSOS AMBIENTAIS-HIDROLÓGICAS E ATRIBUTOS HIDROLÓGICOS AFETADOS

Processo ambiental-hidrológico		Atributos hidrológicos afetados
Interações com clima local Uso da água pela vegetação	⇒	Quantidade (escoamento e infiltração superficial e subterrânea)
Filtragem ambiental Estabilização do solo Alterações químicas e biológicas	⇒	Qualidade (nutrientes, sedimentos, salinidade, patógenos)
Formação do solo Modificação na superfície do solo Alteração nos padrões de escoamento Edificações e alterações nas margens	⇒	Distribuição espacial (água superficial ou subterrânea, a jusante ou a montante, no leito ou fora dele)
Controle da velocidade de escoamento Armazenamento de água Sazonalidade no uso da água	⇒	Distribuição temporal (vazões de pico, vazões de base e velocidade de escoamento)

Fonte: Brauman et al. 2007, *op. cit.*

[19] Nota-se que todos os processos ambientais-hidrológicos têm o potencial de interferir em todos os atributos hidrológicos, restando aqui a simplificação didática de relacionar os processos e atributos mais intensos. BRAUMAN, K. A.; DAILY, G. C.; DUARTE, T. K.; MOONEY, H. A. The nature and value of ecosystem services: an overview highlighting hydrologic services. Annual Review of Environment and Resources, v. 32, p. 67-98, 2007.

Conforme identificado pelo Diagnóstico, a bacia do rio Doce vem enfrentando modificações ambientais significativas e profundas nas últimas décadas, como resultado do desmatamento e da rápida ocupação humana. Apesar de possuir uma área expressiva ainda recoberta por vegetação de 28.773 km^2 (33,4% da área da bacia, agregando sem distinção formações florestais da Mata Atlântica e do Cerrado), o mapeamento realizado mostra que essas formações não estão homogeneamente distribuídas, sendo importante frisar que, em geral, as matas estão fortemente fragmentadas e, em muitos casos, restritas às áreas de maior declividade e matas ciliares.

3.2.3.2 Mudanças do Clima

Uma vez verificado que as mudanças de uso e ocupação do solo são prováveis causas de alterações no regime hidrológico na bacia do rio Doce, tendo como base os dados observados, cabe investigar se essas alterações podem vir a ser exacerbadas pela mudança do clima. Afinal, as alterações das vazões dos cursos d'água são de natureza complexa e os dois fatores caminham em conjunto, nem sempre revelando qual prepondera.

Em termos globais, são inequívocos os efeitos da mudança do clima em majorar o risco climático, bem como a participação das emissões antrópicas no aumento da severidade de eventos extremos atuais. Segundo IPCC (2022)[20]: *"As mudanças climáticas induzidas pelo homem, incluindo eventos extremos mais frequentes e intensos, causaram impactos adversos generalizados e perdas e danos relacionados à natureza e às pessoas, além do que teria ocorrido pela variabilidade natural do clima"*.

O planeta já está 1,1°C mais quente e o aquecimento de 1,5°C será alcançado já na próxima década independentemente da trajetória das emissões a partir da cena atual (IPCC, 2022, *op. cit*). Esse determinismo advém do tempo de residência do CO_2 na atmosfera, que é de cerca de 500 anos; ou seja, mesmo que o nível de emissões de gases de efeito estufa seja reduzido drasticamente, o aumento da temperatura média terrestre deverá seguir seu curso, embora em intensidades ainda desconhecidas (e dependentes das ações antrópicas). Isso não significa que os esforços de mitigação das emissões de gases de efeito estufa não devem ser perseguidos: ao contrário, as conclusões do relatório do IPCC revelam uma importante e estreita janela de oportunidade capaz de evitar consequências graves, principalmente em relação às projeções para o clima no final do século. O clima de uma Terra 2,0°C mais quente é exponencialmente mais hostil do que o clima de uma Terra 1,5°C mais quente.

No capítulo dedicado à América Latina[21], o IPCC apresenta prognósticos para o Brasil e suas regiões. Enquanto muitas das mais severas alterações devam se concentrar nas regiões Norte e Nordeste, todas apresentam perspectivas de grandes consequências. Em termos gerais, os aumentos de temperatura são praticamente certos e devem se fazer sentir com bastante intensidade. Caso as emissões sigam em alta, a precipitação média anual no Nordeste pode ser reduzida em 22% ao longo do século, sendo que chuvas mais concentradas e em períodos menos regulares são previstas para ocorrer em todo o país. A população sujeita a enchentes e

[20] 6º Relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), Grupo II. Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf
[21] Disponível em: https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_FinalDraft_Chapter12.pdf

deslizamentos de terra pode dobrar ou até triplicar nas próximas décadas. As projeções de secas mais prolongadas afetam tanto as regiões Nordeste e Centro-Oeste, como a Sudeste e Sul. A floresta amazônica deve ter seu processo de savanização acelerado[22], tendo como uma das consequências uma redução (de até 40%) das chuvas ali geradas, quebrando a circulação de monção sul-americana e afetando a distribuição dos regimes pluviométricos - em especial nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

Embora ações de mitigação sejam claramente urgentes, no âmbito do PIRH Doce cabe investigar três aspectos pertinentes à avaliação de opções de adaptação à mudança do clima, que sob a perspectiva da bacia, é exógena:

- ✓ Qual será o estado do "clima" futuro?
- ✓ Quais efeitos essa possível nova climatologia pode desencadear nas demandas hídricas?
- ✓ Por fim, quais os riscos em termos de eventos extremos?

A primeira e complexa pergunta pode ser endereçada via a leitura complementar de dois indicadores: temperatura e precipitação. A partir das leituras prospectivas do clima futuro, abordam-se as demais questões, sendo que algumas são tratadas em outros itens deste Prognóstico, uma vez que as repercussões do tema são transversais. A avaliação do clima futuro demanda, ainda, traçar um horizonte temporal: uma vez que o Plano tem horizonte de vinte anos, as análises são focadas no período mais próximo possível, tendo-se que o ideal para padrões climáticos são períodos de 30 anos.

- ✓ ***Projeções de precipitação***

A avaliação das possíveis mudanças nos padrões de precipitação demanda conhecer tanto a climatologia futura, ou seja, qual será o "clima típico" de 2042, quanto a distribuição espaço-temporal dessa chuva. Para realizar estas duas análises, utiliza-se da base de dados projetados para o clima futuro do projeto *NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections* (NEXGDDP). Esse conjunto de dados é resultante de um amplo *downscaling* estatístico dos cenários climáticos derivados das rodadas dos modelos climáticos globais (MCG) utilizados no âmbito da quinta fase do IPCC denominado de CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*). Trata-se da base de dados utilizada na análise da mudança do clima na agricultura irrigada no Brasil por ANA, na publicação da 2ª Edição do Atlas Irrigação: Uso da Água na

[22] O processo de savanização advém de pressões de degradação e desmatamento, como demonstrado em inúmeras publicações científicas, e tanto exacerba como é exacerbado pelas mudanças do clima (ciclo de *feedback* positivo). Ver, por exemplo: [Boulton, C.A., Lenton, T.M. & Boers, N. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. Nat. Clim. Chang. 12, 271–278 (2022)] [Silvério D. V., Brando P. M., Balch J. K., Putz F. E., Nepstad D. C., Oliveira-Santos C. and Bustamante M. M. C. (2013) Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native cerrado and exotic pasture grasses. Phil. Trans. R. Soc. DOI http://doi.org/10.1098/rstb.2012.0427] [Painel Científico para a Amazônia (2021) Amazon Assessment Report. https://oeco.org.br/wp-content/uploads/2021/11/SPA-policy-brief-single-page.pdf]

Agricultura Irrigada (ANA, 2021)[23] e Nota Técnica específica sobre a mudança do clima, intitulada Impacto das Mudanças Climáticas na Demanda da Irrigação do Brasil[24].

Os dados das projeções climáticas diárias de precipitação para 20 MCG e dois cenários de emissão (RCP4.5 e RCP8.5)[25] foram cedidos pela ANA para a grade de resolução espacial de 0.25° graus (147 pontos na bacia do rio Doce) para o período projetado de 2006 a 2100, adicionados ainda dos resultados do experimento *historical* de 1950 a 2005. Partiu-se, então, para a identificação de pontos dessa grade coincidentes com as 68 estações meteorológicas existentes e que trazem dados observados em séries longas (superiores a 30 anos e sem falhas nos últimos cinco anos). Outro elemento de controle são as seções (disponibilidade montante > jusante) onde as alterações e eventos extremos potencialmente afetam áreas urbanizadas. A Figura 3.5 apresenta a grade do NEXGDDP, as estações com séries históricas mais longas que 30 anos, as sedes urbanas e as isoietas.

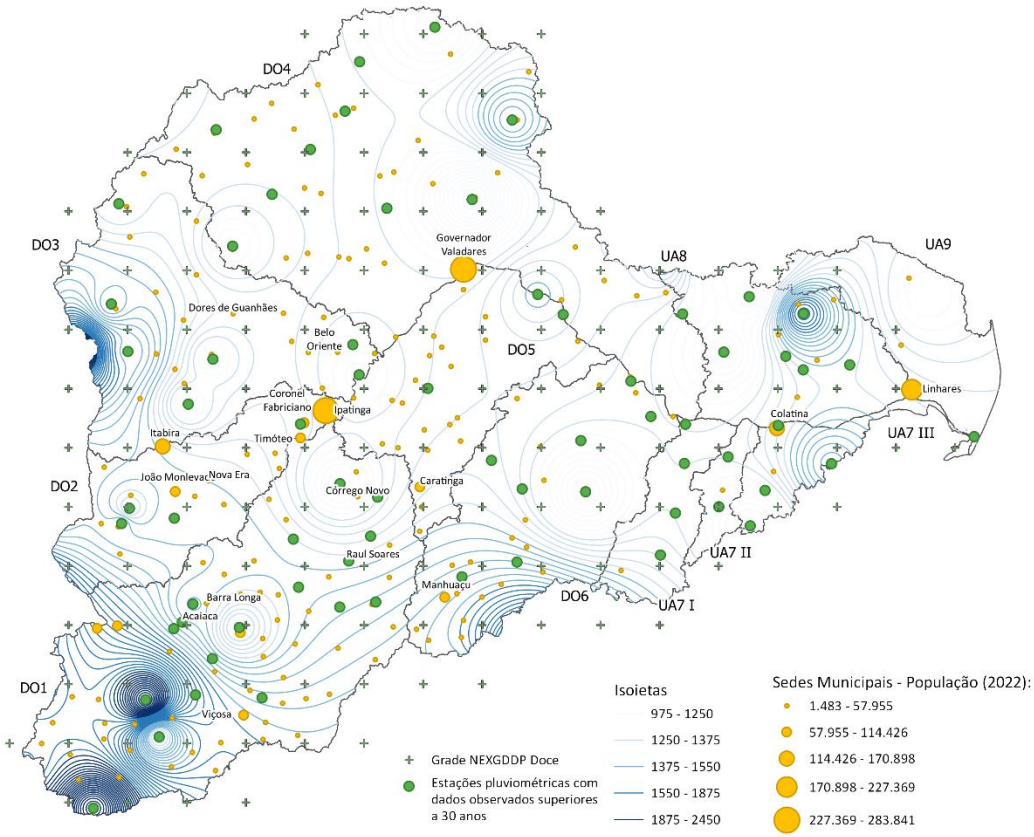


Figura 3.5 - Elementos de Decisão na Busca por Pontos Representativos da Pluviosidade para Análise da MC

Com base nos elementos descritos, foram identificados 38 pontos da grade NEXGDDP como representativos para as análises da precipitação sob mudança do clima: sete deles são referentes a locais coincidentes com a existência de populações superiores a 50 mil com registro de eventos

[23] ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas Irrigação 2021: Uso da Água na Agricultura Irrigada (2ª edição). Brasília: ANA, 2021, e recursos disponíveis no SNIRH: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975db0

[24] Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/1b19cbb4-10fa-4be4-96db-b3dcd8975db0/attachments/Nota%20T%C3%A9cnica%2051-2021-SPR.pdf

[25] RCP é a sigla de *Representative Concentration Pathways*, sendo que o cenário RCP4.5 pressupõe que uma forçante radiativa de longo prazo de 4,5 W/m^2. Trata-se uma perspectiva mais branda de mudanças em relação ao cenário RCP8.5, cuja forçante é de 8,5 W/m^2, alcançada em uma perspectiva *business as usual* das emissões de gases de efeito estufa.

críticos de inundações (identificados no diagnóstico e por meio de fontes externas, dada as ocorrências no início de 2022); cinco destes pontos congregam estações pluviométricas e sedes municipais; os demais pontos são aqueles que se aproximam das estações pluviométricas com dados pretéritos longos e que são determinantes para a determinação das isoietas. A Figura 3.6 apresenta o resultado de seleção dos 38 pontos da grade NEXGDDP.

O segundo passo é identificar o sinal da mudança do clima, tendo como base os resultados agregados de todos os 20 modelos climáticos globais disponíveis e os dois cenários de emissão (RCP4.5 e RCP8.5)[26]. Ao todo, tem-se um conjunto de 39 projeções (20 modelos e 2 cenários de emissão, sendo que um dos modelos traz dados apenas para um dos cenários de emissão). De forma a avaliar as grandes linhas da mudança do clima na bacia, utiliza-se de técnica não preditiva que considera o conjunto de modelos e cenários (as 39 projeções distintas) como indicativos dos padrões futuros mais prováveis. Nesse método, tanto os cenários de emissão quanto os modelos são tratados como resultados independentes, interpretados pelo seu conjunto e não pela especificidade de cada um.

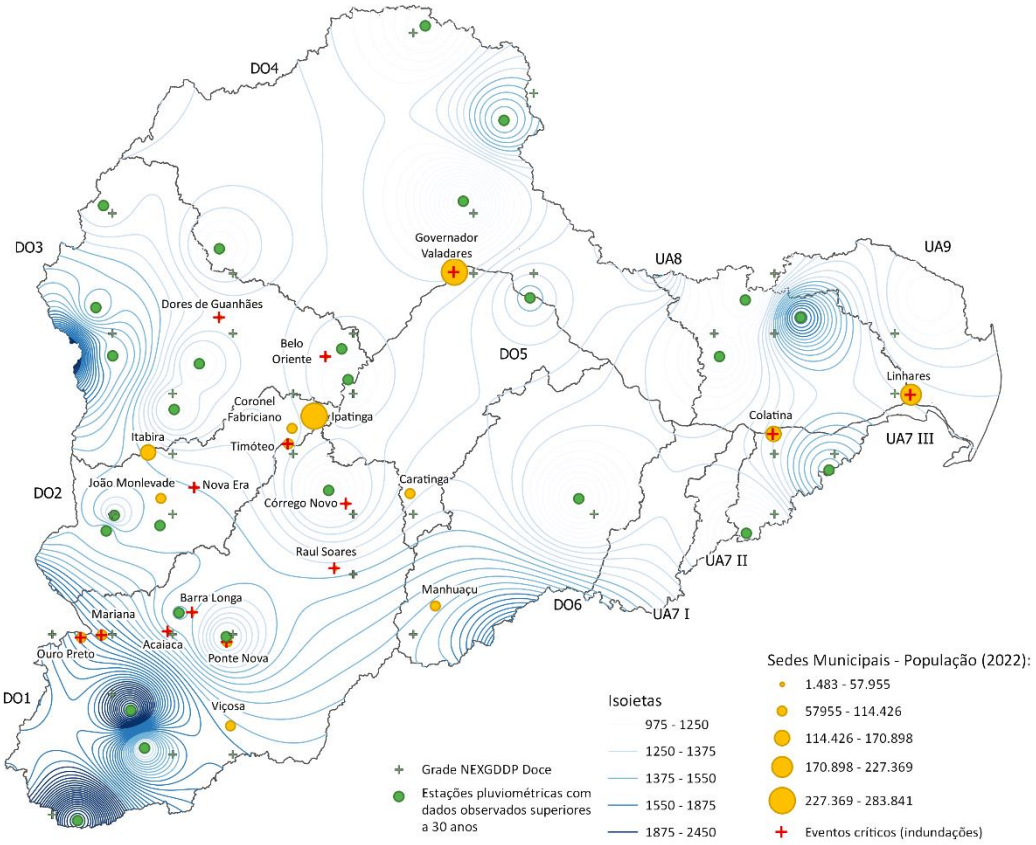


Figura 3.6 - Elementos de Decisão na Busca por Pontos Representativos da Pluviosidade

[26] São eles: ACCESS10, bcccsm11, BNUESM, CanESM2, CCSM4, CESM1BGC, CNRMCM5, CSIROMk360, GFDLCM³, GFDLESM2G, GFDLESM2M, inmcm4, IPSLCM5ALR, IPSLCM5AMR, MIROC5, MIROCESMCHEM, MPIESMLR, MPIESMMR, MRICGCM³ e NorESM1M (este último conta apenas com resultados para o cenário RCP8.5).

Para avaliar as diferentes consequências espaço-temporais da precipitação, fez-se uso de 9 índices de variação da precipitação, alguns deles com informações distintas para o trimestre úmido (dezembro, janeiro e fevereiro) e para o trimestre seco (junho, julho e agosto). Os índices são calculados tanto para a série *historical* (1951 a 2005) quanto para as séries projetadas (2006 a 2060), cada qual com 54 anos, permitindo comparar os resultados das projeções contra o histórico e assim identificar as mudanças projetadas. Os índices para avaliação do comportamento da precipitação futura estão relacionados no Quadro 3.5.

QUADRO 3.5 - ÍNDICES PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DA PRECIPITAÇÃO FUTURA

Índice	*Descrição*
Volume Anual	Volume de precipitação médio anual
Volume_triSeco	Volume de precipitação médio no trimestre seco (jun-jul-ago)
Volume_triÚmido	Volume de precipitação médio no trimestre úmido (dez-jan-fev)
Perc. 75%	Pluviosidade diária, correspondente ao percentil 75% da série (percentual de não excedência)
Perc. 95%	Pluviosidade diária, correspondente ao percentil 95% da série (percentual de não excedência)
Perc. 99%	Pluviosidade diária, correspondente ao percentil 99% da série (percentual de não excedência)
R1_anual	Número total, no ano, de dias nos quais a precipitação foi maior do que 1mm
R1_triSeco	Número total, no trimestre seco (jun-jul-ago), de dias nos quais a precipitação foi maior do que 1mm
R1_triÚmido	Número total, no trimestre úmido (dez-jan-fev), de dias nos quais a precipitação foi maior do que 1mm
R20	Número de dias com precipitação maior ou igual a 20 mm
R50	Número de dias com precipitação maior ou igual a 50 mm
RX5day	Máxima precipitação registrada em um intervalo de cinco dias
E20D	Quantidade de eventos de 20 dias consecutivos ou mais sem chuva (limite de >=1mm/dia)
CDD_anual	Número de dias consecutivos secos no ano
CDD_triSeco	Número de dias consecutivos secos no trimestre seco (jun-jul-ago)
CDD_triÚmido	Número de dias consecutivos secos no trimestre úmido (dez-jan-fev)
Min12me	Volume mínimo de precipitação acumulado em 12 meses

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base em IPCC, 2019

Os índices acima foram calculados para cada uma das 39 projeções, e a partir da comparação das variações dos resultados dos índices projetados frente aos resultados históricos, procedeu-se a classificação da quantidade de projeções que apresentam variações nas seguintes categorias:

- ✓ Projeção Neutra (sem variação): <5%> (variações entre mais e menos 5%);
- ✓ Projeção de variação pequena: ≥ ±5% (variações entre 5% e 15%, negativas ou positivas);
- ✓ Projeção de variação média: ≥ ±15% (variações entre 15% e 25%, negativas ou positivas);
- ✓ Projeção de variação grande: ≥ ±25% (variações superiores a 25%, negativas ou positivas).

As variações podem ser positivas ou negativas, dando origem a quadros como o Quadro 3.6, que apresenta os resultados obtidos para o Ponto 11 (entre a sede urbana de João Monlevade e Conceição de Piracicaba, distrito de Rio Piracicaba), na sub-bacia DO2. A análise decorrente não apenas utiliza este ponto como exemplo da mecânica realizada para os demais 37 pontos, como é ilustrativa das principais conclusões para a bacia do rio Doce.

QUADRO 3.6 - RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DAS VARIAÇÕES DAS 39 PROJEÇÕES DE PRECIPITAÇÃO FUTURA NO PONTO 11

Índice	Negativo			Neutro	Positivo		
	menor que -25%	entre -15% e -25%	entre -5% e -15%	entre ± 5%	entre +5% e +15%	entre +15% e +25%	maior que +25%
Volume Anual	0%	8%	26%	49%	15%	0%	3%
Volume Seco	13%	10%	21%	31%	10%	5%	10%
Volume Úmido	0%	5%	15%	44%	33%	0%	3%
Perc. 75%	5%	28%	28%	31%	8%	0%	0%
Perc. 95%	0%	3%	23%	46%	26%	0%	3%
Perc. 99%	0%	0%	8%	44%	36%	10%	3%
R1_anual	3%	0%	46%	51%	0%	0%	0%
R1_triSeco	10%	13%	33%	28%	10%	5%	0%
R1_triÚmido	0%	0%	26%	69%	5%	0%	0%
R20	3%	8%	21%	31%	23%	13%	3%
R50	0%	10%	10%	10%	10%	8%	51%
RX5day	3%	0%	15%	15%	31%	13%	23%
E20D	0%	0%	15%	15%	36%	18%	15%
CDD_anual	8%	3%	15%	18%	28%	5%	23%
CDD_triSeco	5%	3%	13%	26%	23%	15%	15%
CDD_triÚmido	8%	5%	15%	10%	23%	13%	26%
Min12me	23%	3%	28%	18%	15%	0%	13%

Elaboração ENGECORPS, 2022

No ponto exemplificado, metade das projeções indica variações "neutras" para o volume de precipitação anual (Volume Anual), ou seja, variações de mais ou menos 5% do clima projetado frente ao clima *historical*. Um terço das projeções, no entanto, mostra redução de precipitação total, embora a maioria destes o faça para a categoria entre 5% e 15%. Já outros 15% das projeções indicam aumento na precipitação média entre 5% e 15%. Por fim, uma única das projeções indica aumento maior do que 25% na precipitação total. Percebe-se que não há consenso em relação ao futuro desse índice, muito embora uma quantidade ligeiramente maior de projeções indique uma redução média de chuvas.

Quando este mesmo índice é calculado apenas para o trimestre seco, que na bacia do rio Doce ocorre entre os meses de junho e agosto (Volume_triSeco), nota-se que 44% das projeções (17) indicam queda na pluviosidade, com mais projeções nas categorias mais intensas (que de mais de 25% e queda entre 15% e 25%). Por outro lado, também aumenta a quantidade de projeções que indicam maiores pluviosidades (26% delas). Reduz-se, consequentemente, as projeções que indicam variações neutras. Movimento praticamente oposto é o que se observa pelo índice de precipitação no trimestre úmido (Volume_triÚmido), que vai de dezembro a fevereiro. A leitura integrada destes dois resultados indica uma distribuição mais concentrada de chuva.

Padrão relativamente similar pode ser observado nos índices de quantidade de chuva no ano (R1_anual) e nos trimestres seco e úmido (R1_triSeco e R1_triÚmido): o trimestre seco e o úmido tendem a ter menores dias de precipitação, embora no seco essa expectativa seja mais conclusiva, com 56% das projeções indicando esse efeito.

Enquanto os resultados para o volume de precipitação e a quantidade de dias de precipitação demonstram que não há pleno consenso entre as projeções, também permitem concluir que há grandes incertezas frente ao regime pluviométrico futuro. Diante dessas, o caminho mais seguro é o de desenhar e estabelecer medidas de adaptação robustas que consigam lidar com ambas as situações. Afinal, pela natureza dos próprios modelos climáticos globais, suas respostas divergem quanto a variações interdecadais ou a fenômenos cíclicos como o El Niño. A discordância entre os modelos não deve, portanto, ser interpretada como um erro e muito menos como uma justificativa para a inação - ao contrário, a observação da variabilidade esperada permite identificar os elementos críticos de incerteza e a potencial amplitude das mudanças. A "governança antecipatória" para lidar com a mudança do clima consiste em abraçar esta incerteza e incorporá-la no processo de decisões, criando sistemas mais versáteis e, consequentemente, resilientes (tal como defendido por Quay, 2010)[27].

Os três índices de variação nos percentis (Perc. 75%, Perc. 95% e Perc. 99%, que indicam o percentual de não excedência) das séries de precipitação (entre o *historical* das 39 projeções e seus futuros), são reveladores e complementares em relação às respostas de volume total precipitado: o índice de percentil 75% traz preponderância de modelos com valores de precipitação menores para esse percentil, enquanto os resultados do de percentil 95% são mais distribuídos nas classes de mudança. No outro extremo, o índice de percentil 99% (as fortes chuvas diárias que só ocorrem 1% do tempo) mostra uma grande concentração de modelos cuja projeção dos volumes precipitados é maior. Ou seja, há certa convergência na projeção de menores precipitações com eventos extremos de chuvas maiores.

Padrão similar pode ser identificado na comparação dos índices R20 e R50. O primeiro apresenta uma distribuição praticamente homogênea entre os modelos que indicam neutralidade (31%) e aqueles que apontam aumento (23%) e diminuição (21%) da quantidade de dias com precipitação superior a 20mm. Já quando se observa o índice de variação nos dias com precipitação superior a 50mm, associado a chuvas mais intensas, tem-se uma clara concentração de projeções de aumento: metade dos modelos aponta para aumento superior a 25% no índice.

Outro índice que corrobora a tendência de maiores chuvas fortes (extremos de precipitação) é o que registra a precipitação máxima em um intervalo de cinco dias (RX5day): 67% dos modelos indicam variação positiva, em padrão muito similar para o índice R50.

Apesar de demonstrar uma situação climática oposta à do RX5day, o índice que aponta a quantidade de eventos de 20 dias consecutivos ou mais sem chuva (E20D) apresenta distribuição praticamente entre os modelos, com 69% deles apontando incrementos no índice e apenas 15% dos modelos apresentando decréscimo. Ou seja, as projeções apontam um aumento na quantidade de sequencias de longos dias sem chuva.

Corroborando o índice E20D, aqueles que apontam para a quantidade de dias secos consecutivos (CDD_anual e trimestrais) também permitem uma leitura de mais dias secos:

[27] QUAY, R. (2010). Anticipatory Governance - A Tool for Climate Change Adaptation. Journal of the American Planning Association vol. 76, nº 4.

novamente, mais da metade das projeções analisadas aponta aumento nos dias secos consecutivos. Interessante observar que os resultados dos índices trimestrais não variaram muito.

O último índice analisado é o que traz a variação esperada para o volume mínimo de precipitação acumulado em 12 meses (Min12me), ou seja, uma leitura complementar para a chance de ocorrência de estiagens. Aqui, 54% das projeções apontam redução no volume mínimo em 12 meses, ou seja, convergência para um clima mais seco.

Conclusivamente, em seu conjunto, os 17 índices analisados apresentam: sinais claros de convergência para um clima de maiores extremos de precipitação e de períodos secos mais longos; alguma convergência para modificações nos padrões de distribuição das chuvas, com concentração no período úmido; e alguma chance de redução na precipitação média.

As Figuras 3.7 a 3.23 apresentam os resultados para os 17 indicadores para cada um dos 38 pontos, distribuídos na bacia do rio Doce. Para fins de simplificação da leitura do sinal da mudança do clima, as sete classes de variação da mudança (3 positivas, 3 negativas e 1 neutra) foram agregadas em apenas três: mudanças para mais (variações maiores que +5%), para menos (variações maiores que +5%) e neutras (variações entre -5% e +5%).

Nota-se que a análise apresentada em detalhes para o Ponto 11 é representativa das mudanças para a maior parte dos pontos, principalmente para aqueles nas cabeceiras da bacia.

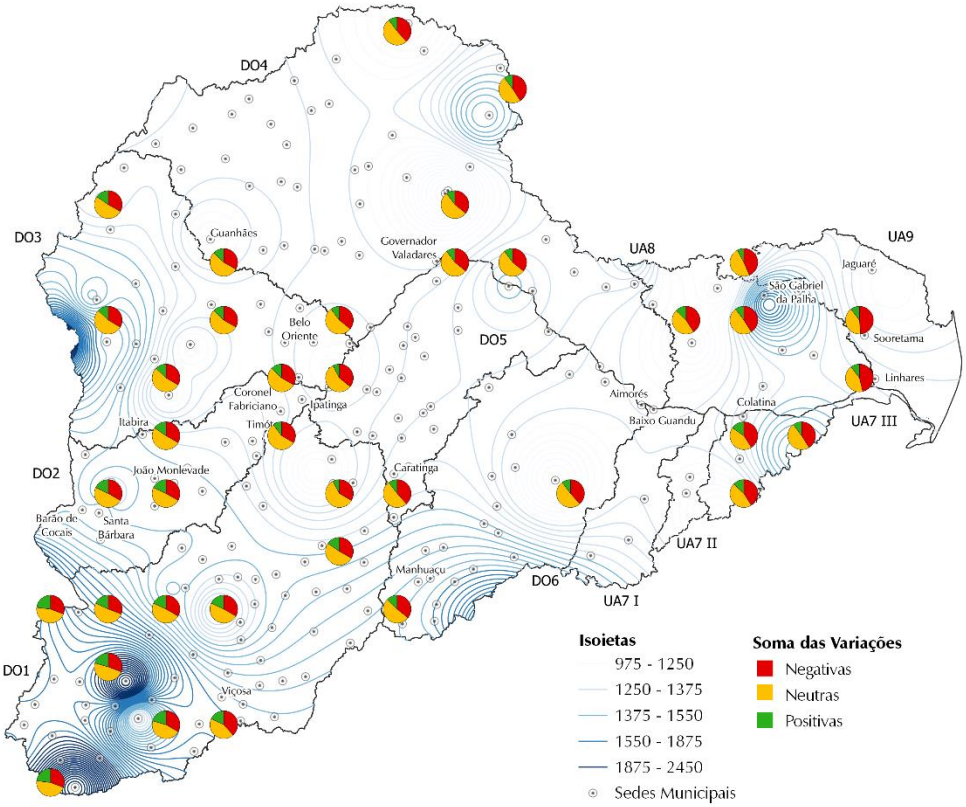


Figura 3.7 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce – Volume Anual

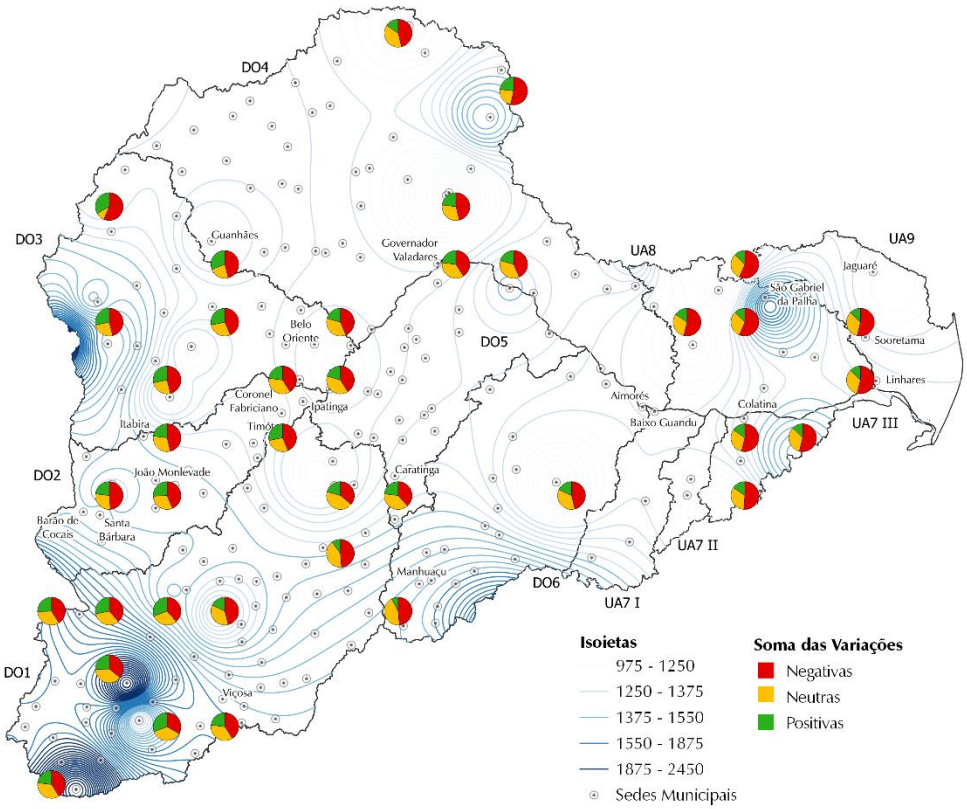


Figura 3.8 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - Volume Seco

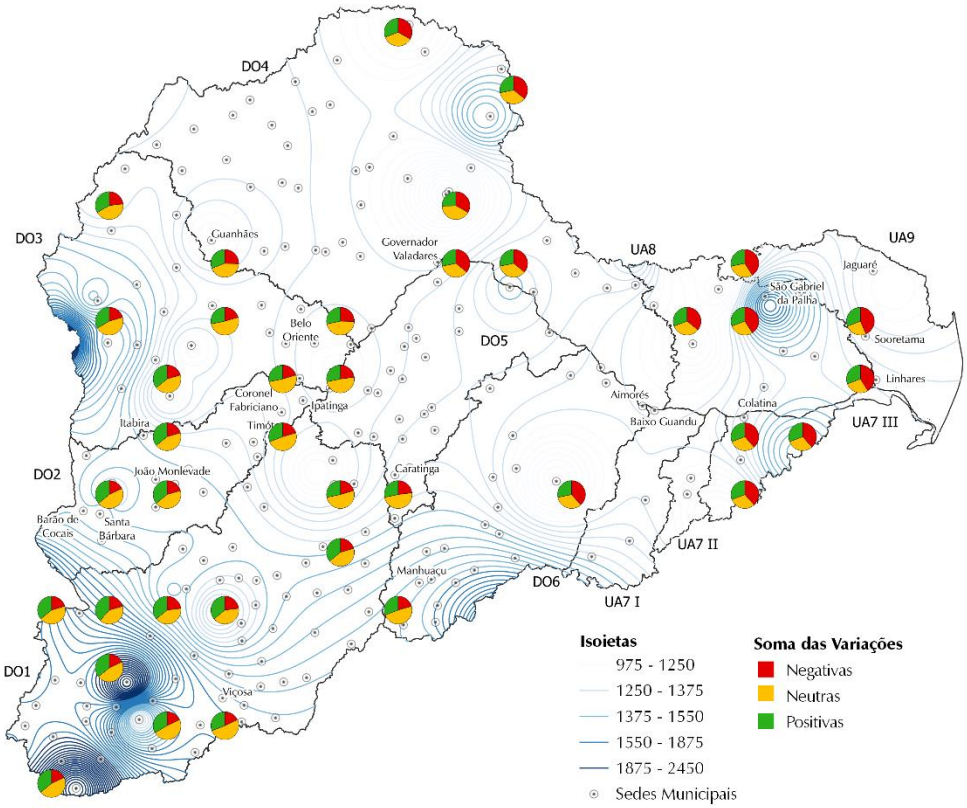


Figura 3.9 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - Volume Úmido

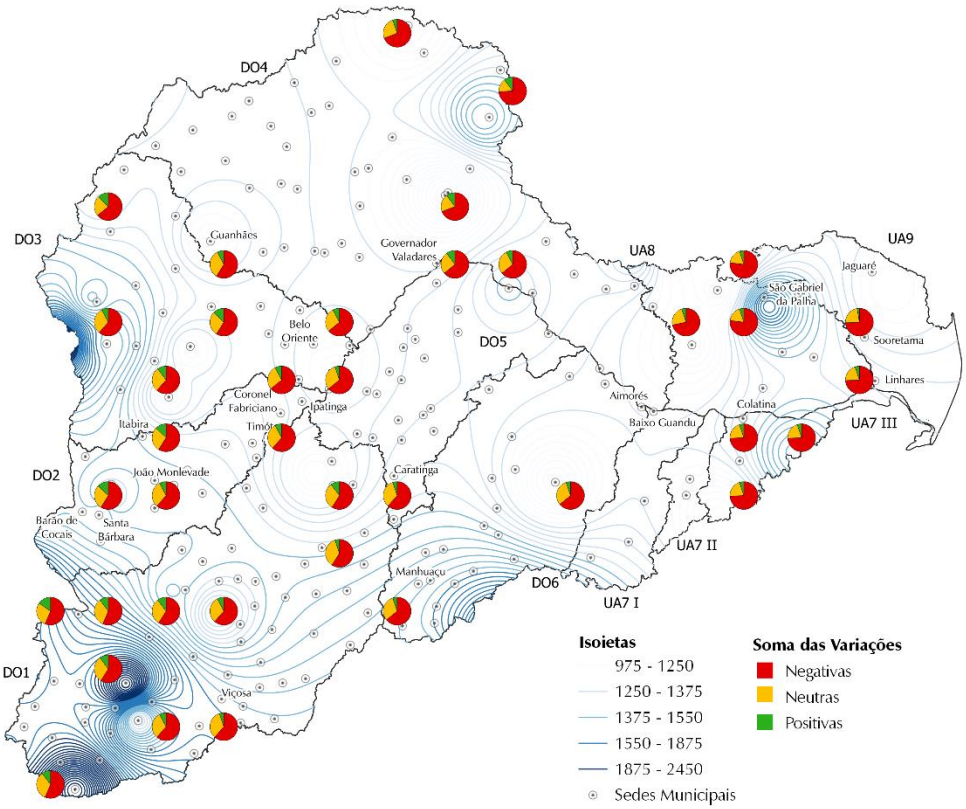


Figura 3.10 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - Perc. 75%

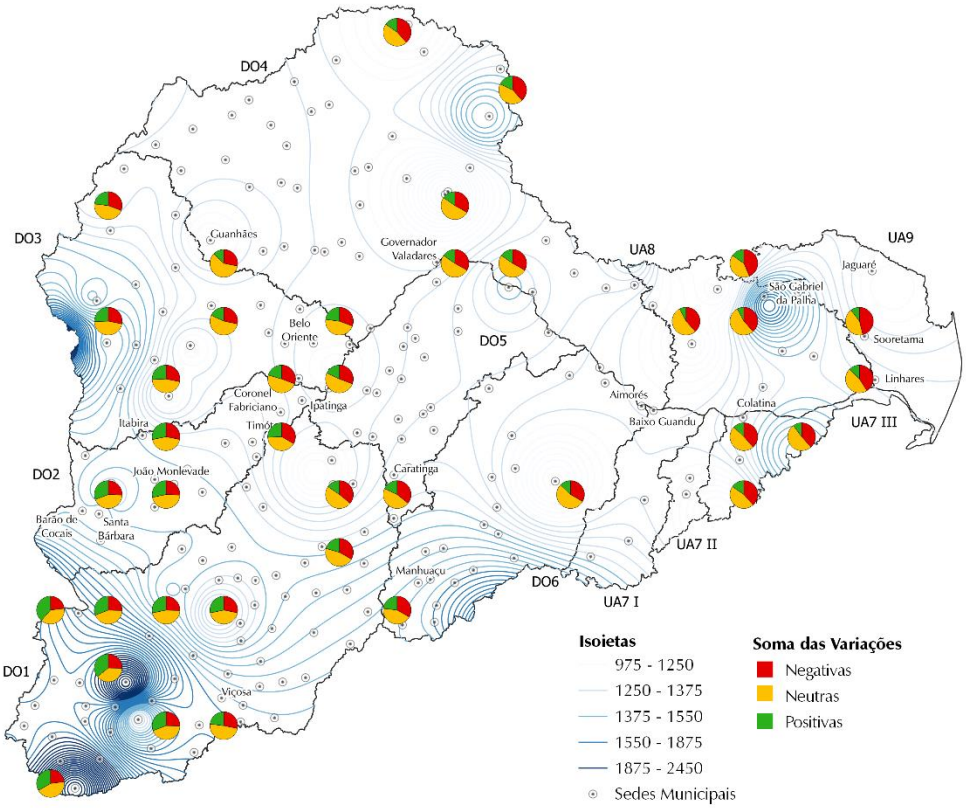


Figura 3.11 – Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - Perc.95%

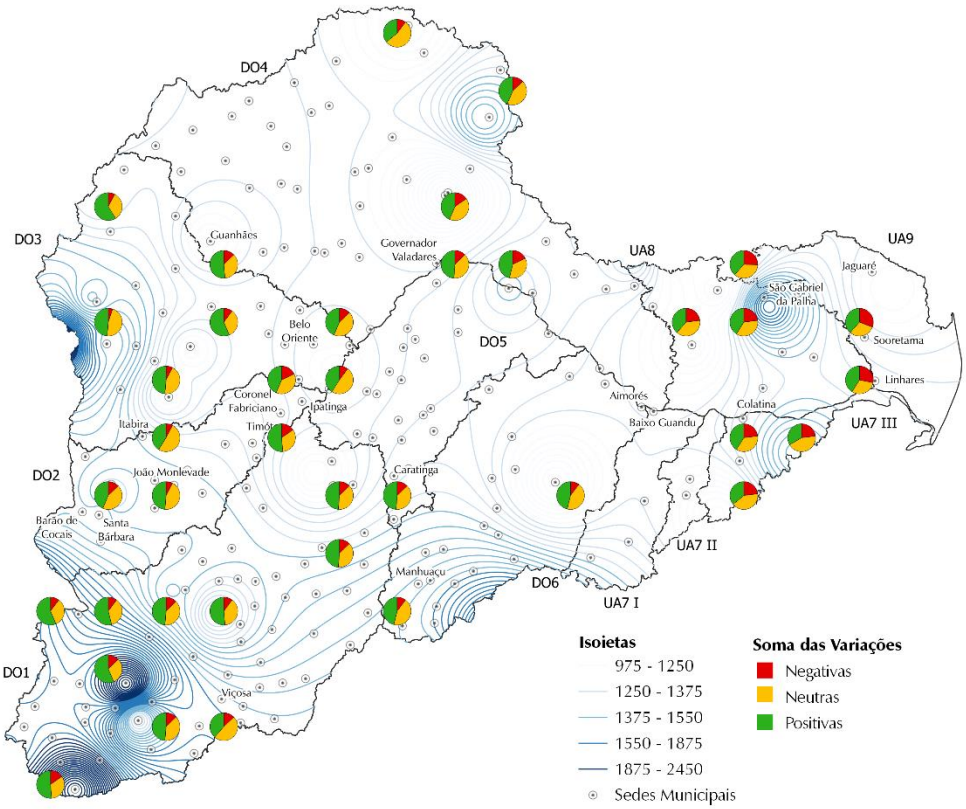


Figura 3.12 – Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - Perc.99%

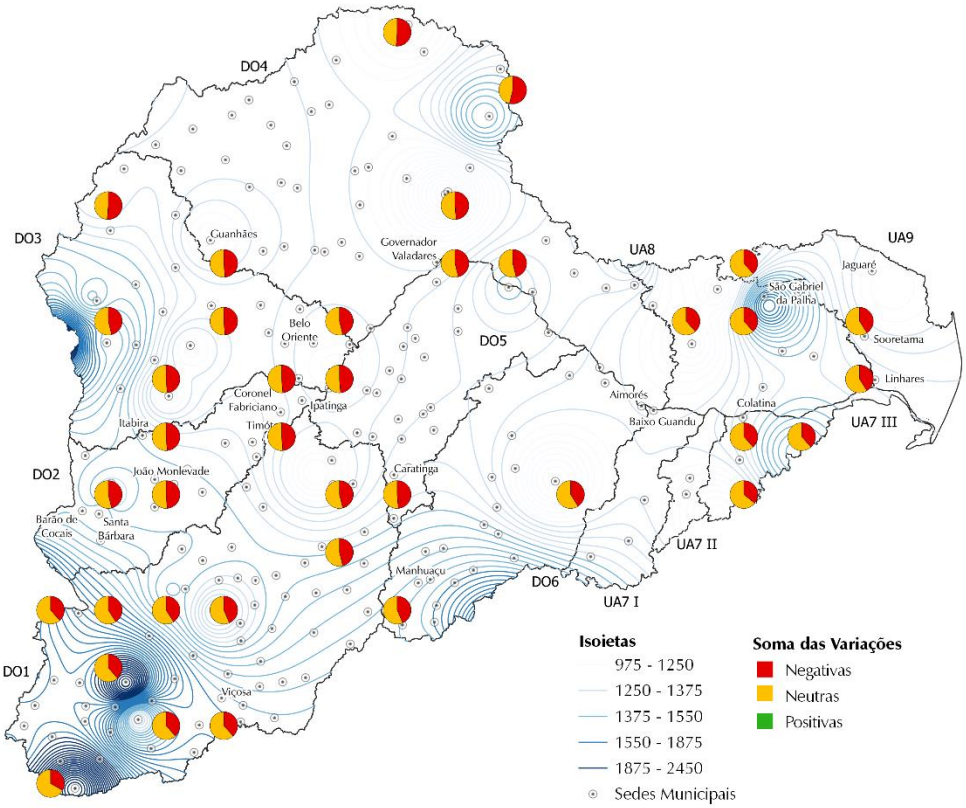


Figura 3.13 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - R1_anual

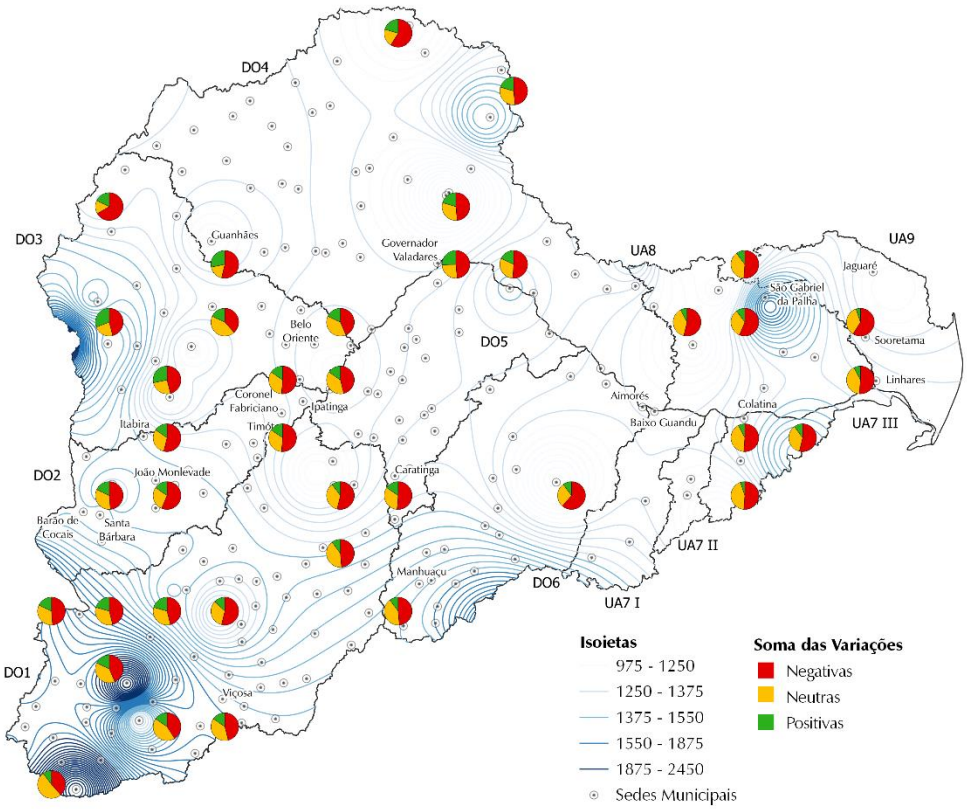


Figura 3.14 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - R1_triSeco

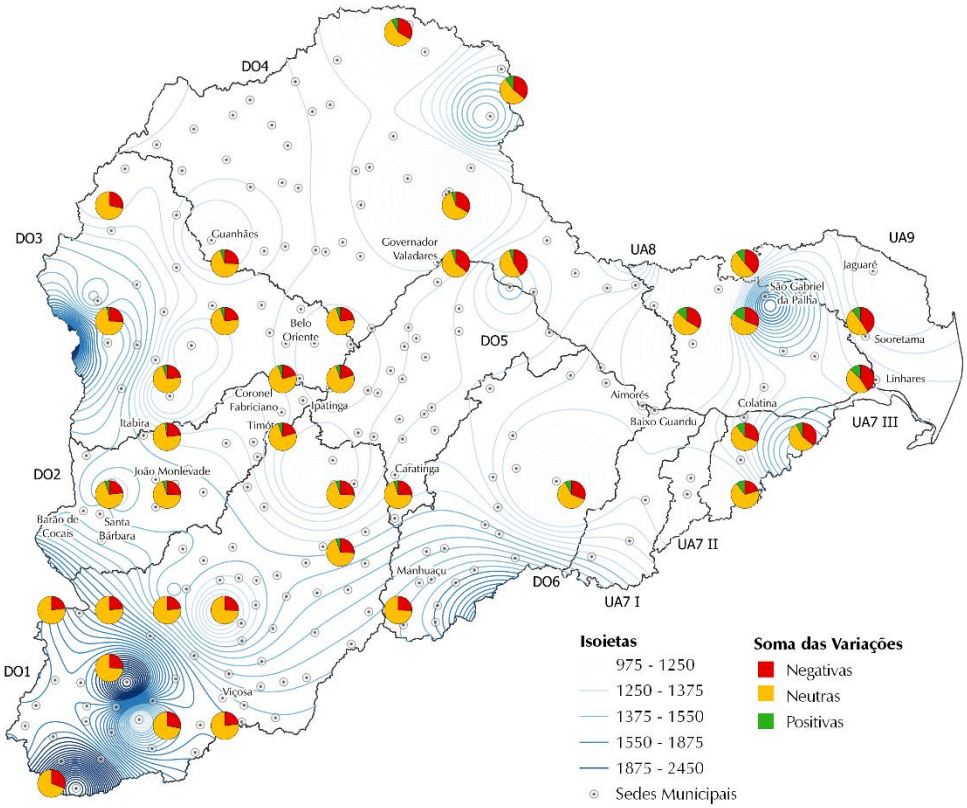


Figura 3.15 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - R1_triÚmido

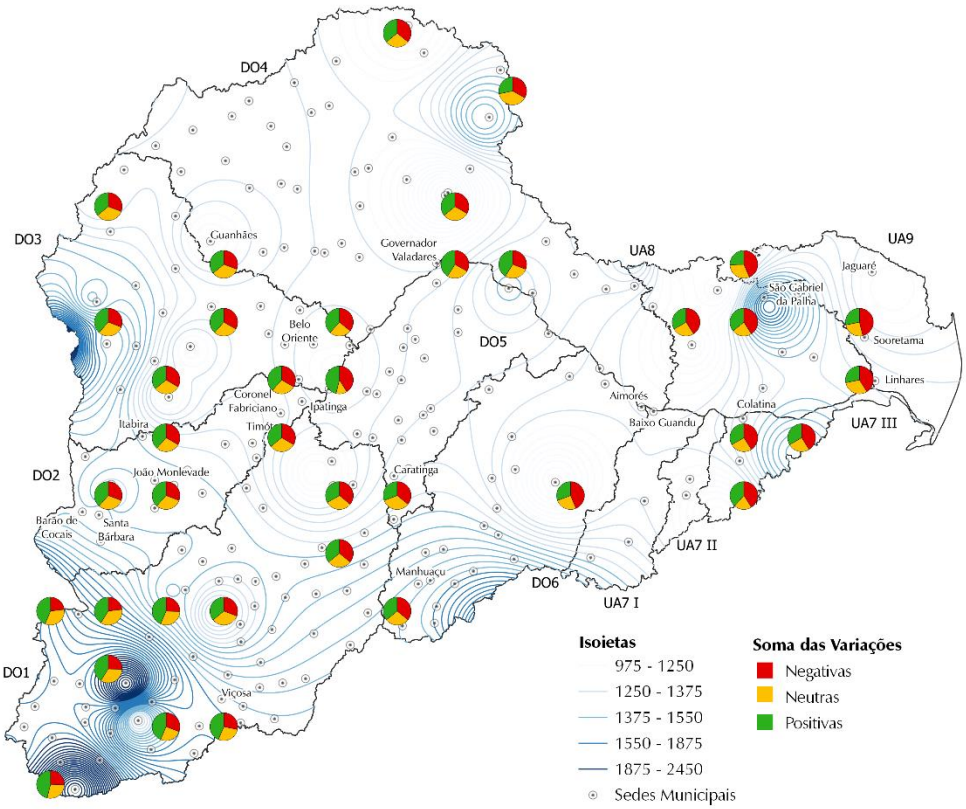


Figura 3.16 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - R20

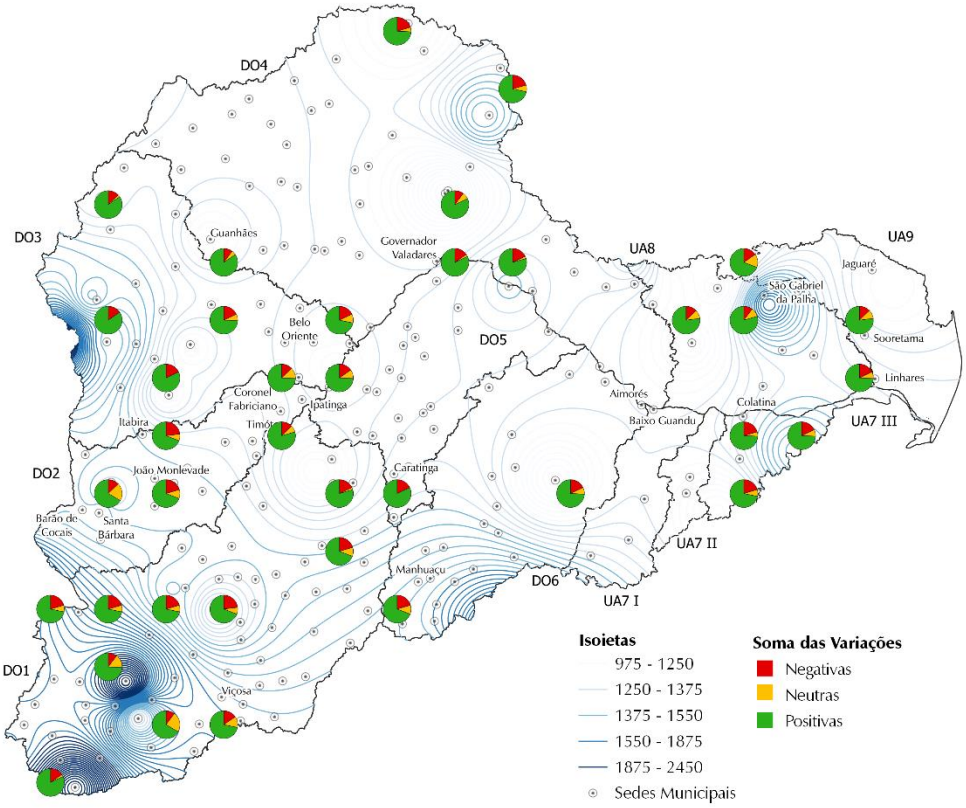


Figura 3.17 – Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - R50

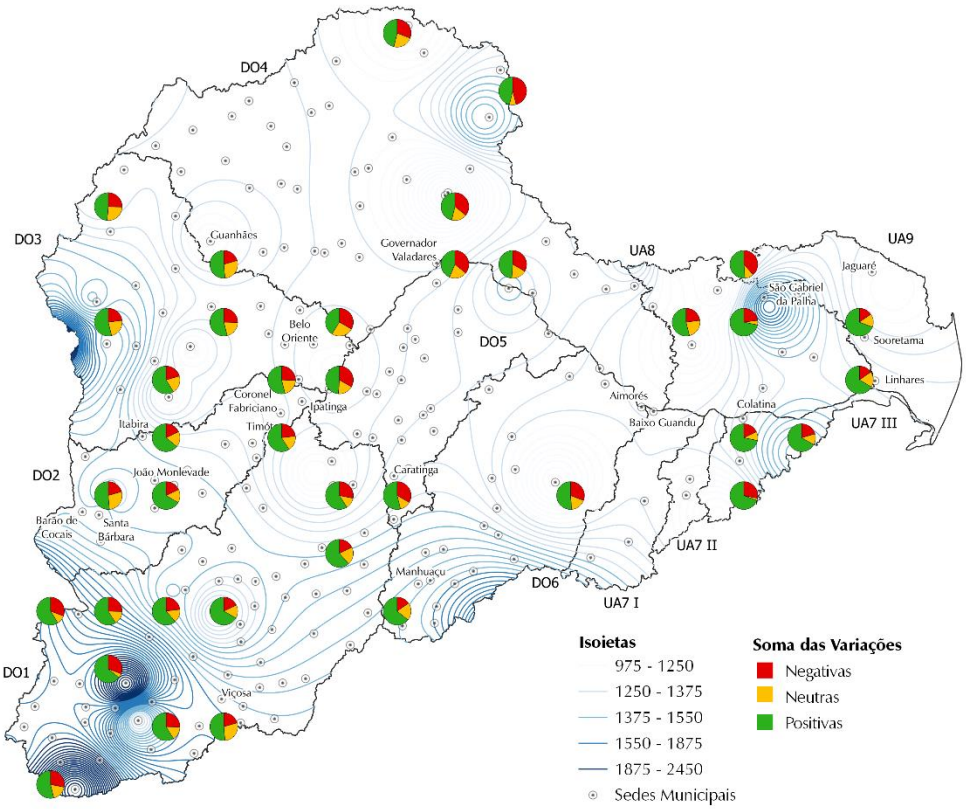


Figura 3.18 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - RX5day

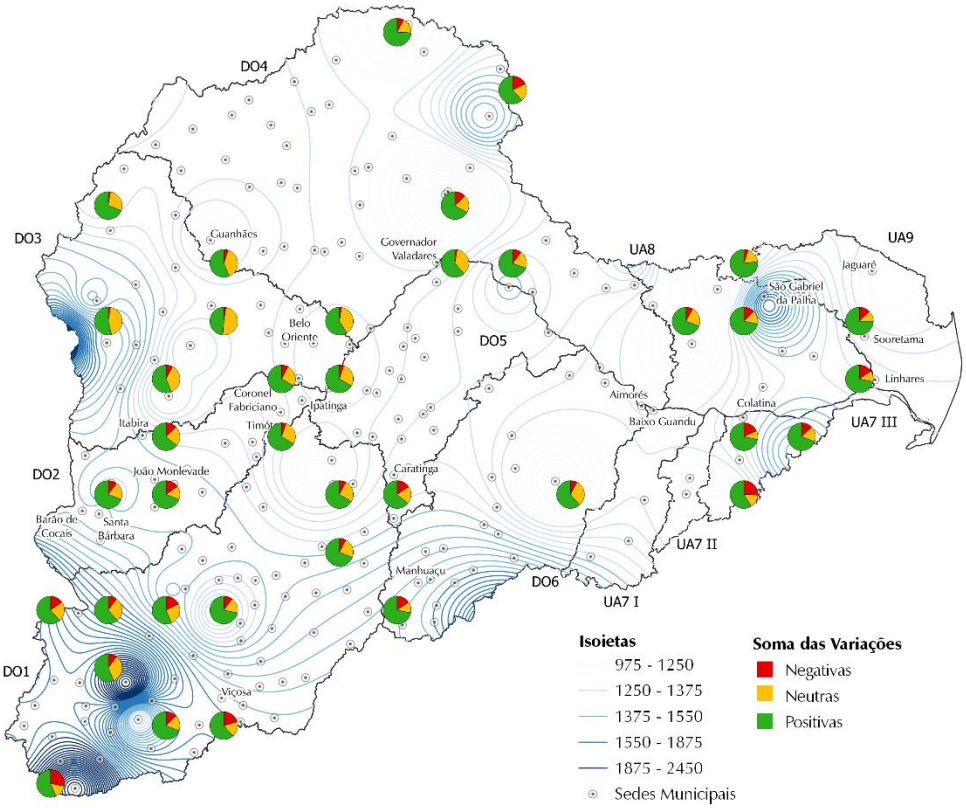


Figura 3.19 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - E20D

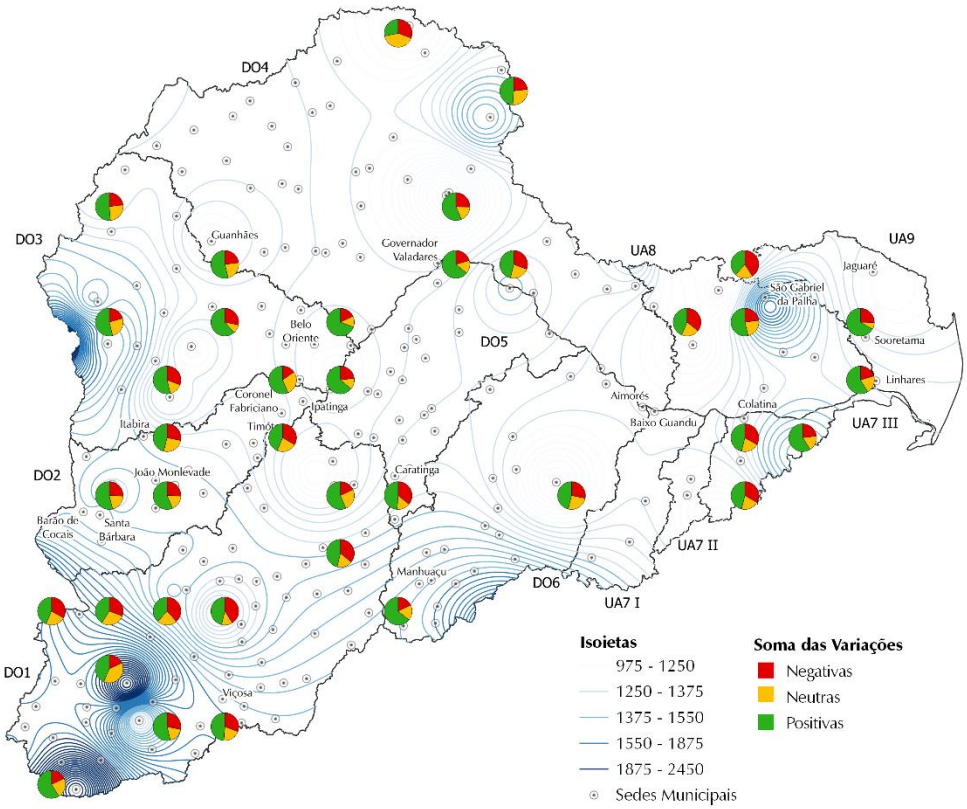


Figura 3.20 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - CDD_anual

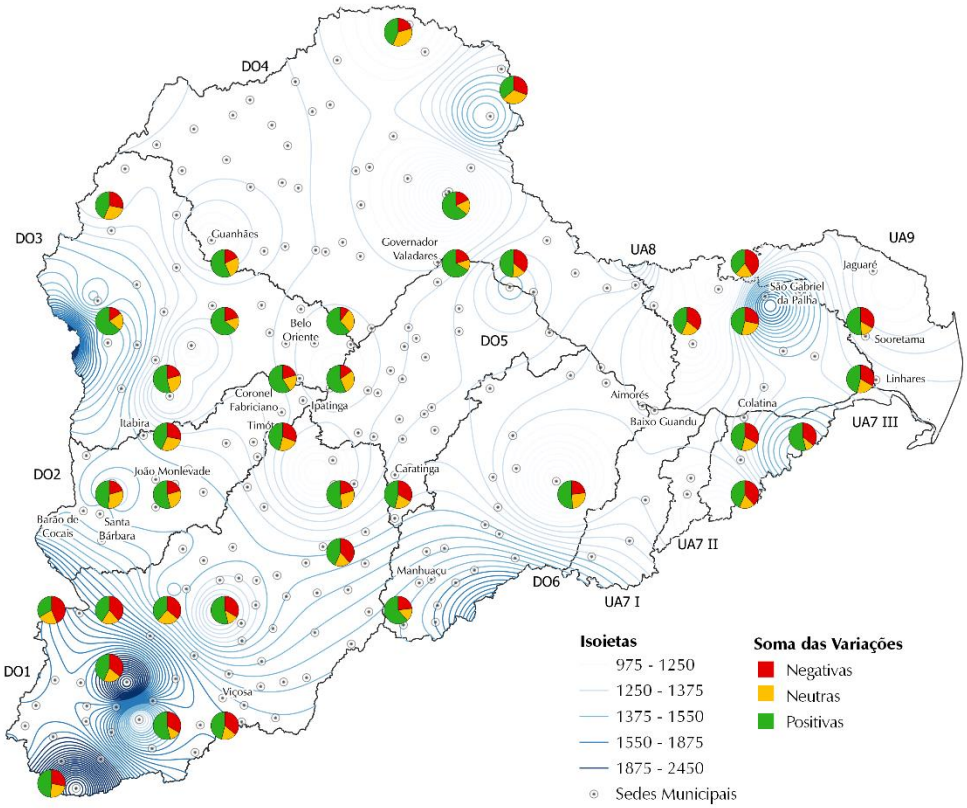


Figura 3.21 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - CDD_triSeco

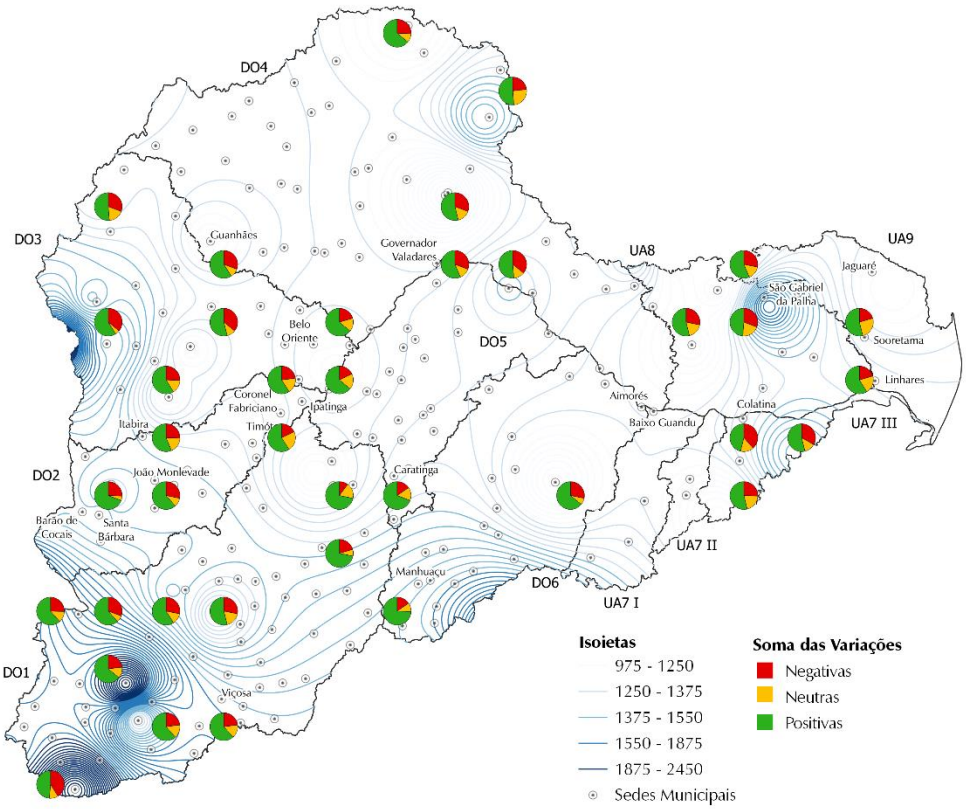


Figura 3.22 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - CDD_triÚmido

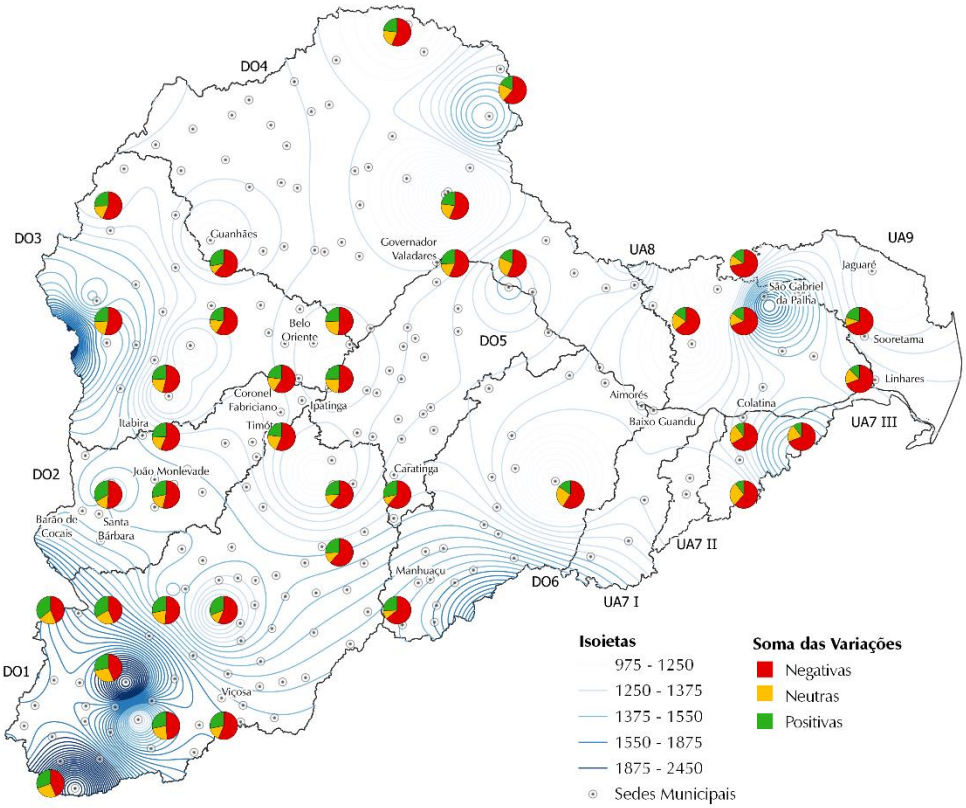


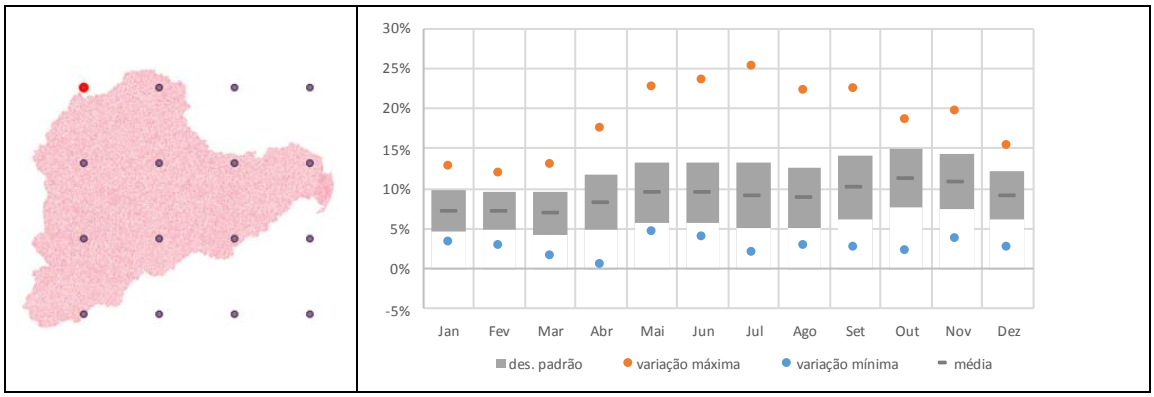
Figura 3.23 - Resultados Sintéticos do Sinal das Mudanças de Precipitação para a Bacia do Rio Doce - Min12me

✓ *Projeções de temperatura*

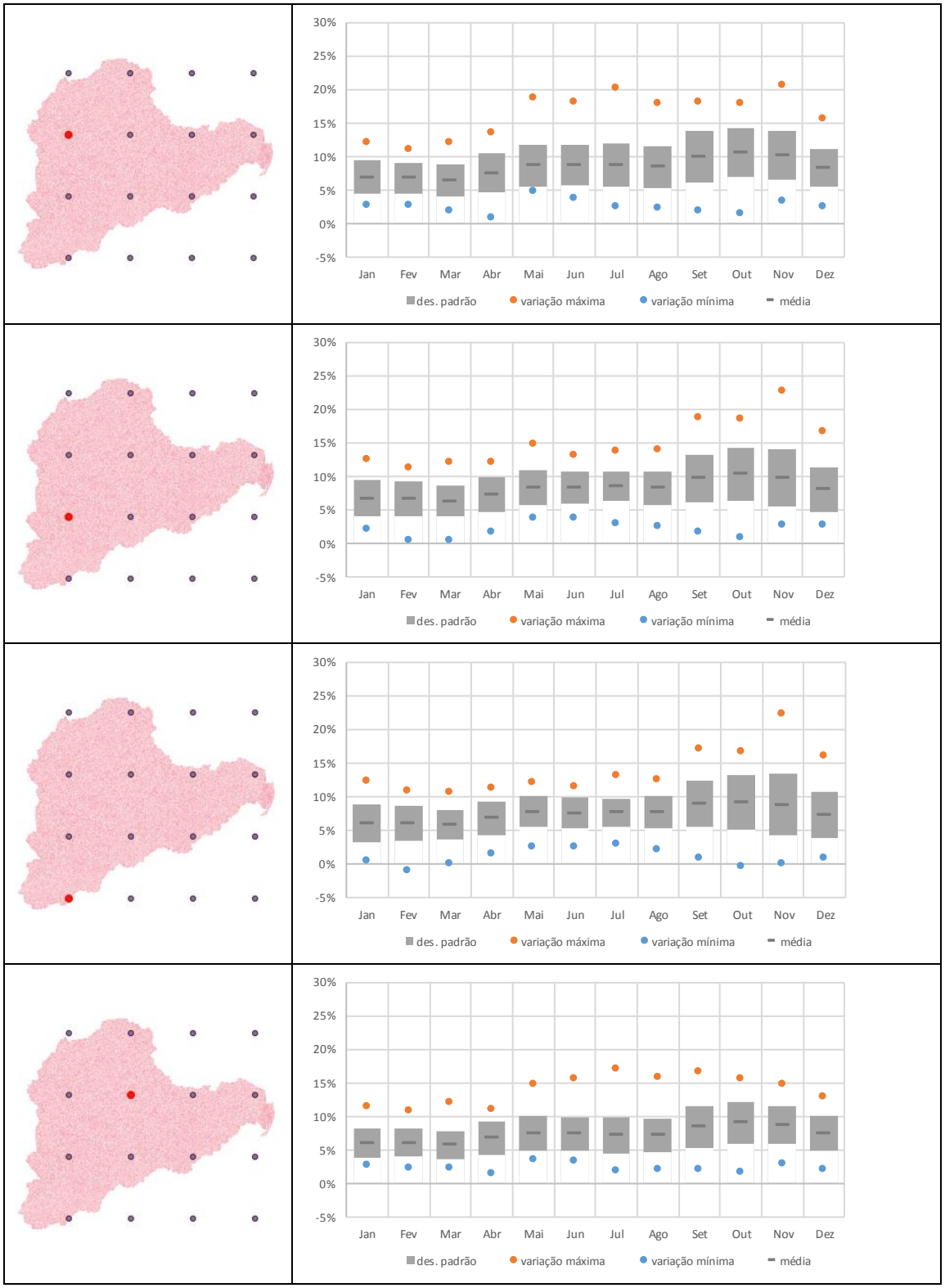
Desde o quinto Relatório de Avaliação do IPCC, sabe-se não haver nenhuma possibilidade de o clima no futuro ser como o atual, haja vista que as temperaturas médias anuais serão superiores (IPCC, 2013)[28]. Existem diversas possibilidades para a intensidade no aumento das temperaturas, porém, não há nenhuma projeção climática que não inclua algum aumento da temperatura. Essa conclusão, de nível global, também se verifica na bacia do rio Doce, como se vê abaixo.

Para investigar as possíveis alterações nas temperaturas médias mínimas e médias máximas da climatologia de 2050 (resultados médios para os vinte anos entre 2041 e 2060), realizou-se consulta aos dados do portal WorldClim[29] para 18 modelos do clima global e dois cenários de emissão (RCP4.5 e RCP8.5), resultando em 36 possíveis climas futuros. Nota-se que os cenários de emissão são tratados de forma independente uma vez que são exógenos à bacia do rio Doce. Dado o caráter estratégico das considerações das mudanças climáticas no quesito de temperatura, utilizou-se da resolução de menor "ruído" frente ao método de *downscaling*, a grade de 10 minutos, com a seleção de 8 pontos representativos.

Os resultados do contraste entre as projeções de temperatura futura e a normal climática de 1961 a 1990 permitem identificar que há plena convergência entre os diferentes modelos climáticos e cenários de emissão: as temperaturas mínimas e máximas deverão ser mais altas, ao longo de todos os meses do ano. As ilustrações que compõem a Figura 3.24 foram mantidas na mesma escala de forma a facilitar a observação da amplitude das projeções em função dos pontos geográficos e também entre as projeções de temperatura máxima e mínima.



[28] IPCC. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.
[29] Repositório de projeções reduzidas em escala espacial com a calibração de viés para diversos modelos do clima [HIJMANS, R.J., CAMERON, S.E., PARRA, J.L., JONES, P.G., JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology 25: 1965-1978. 2005.]. Disponível em: www.worldclim.org


30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
-5%
Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago
Set
Out
Nov
Dez
des. padrão
variação máxima
variação mínima
média

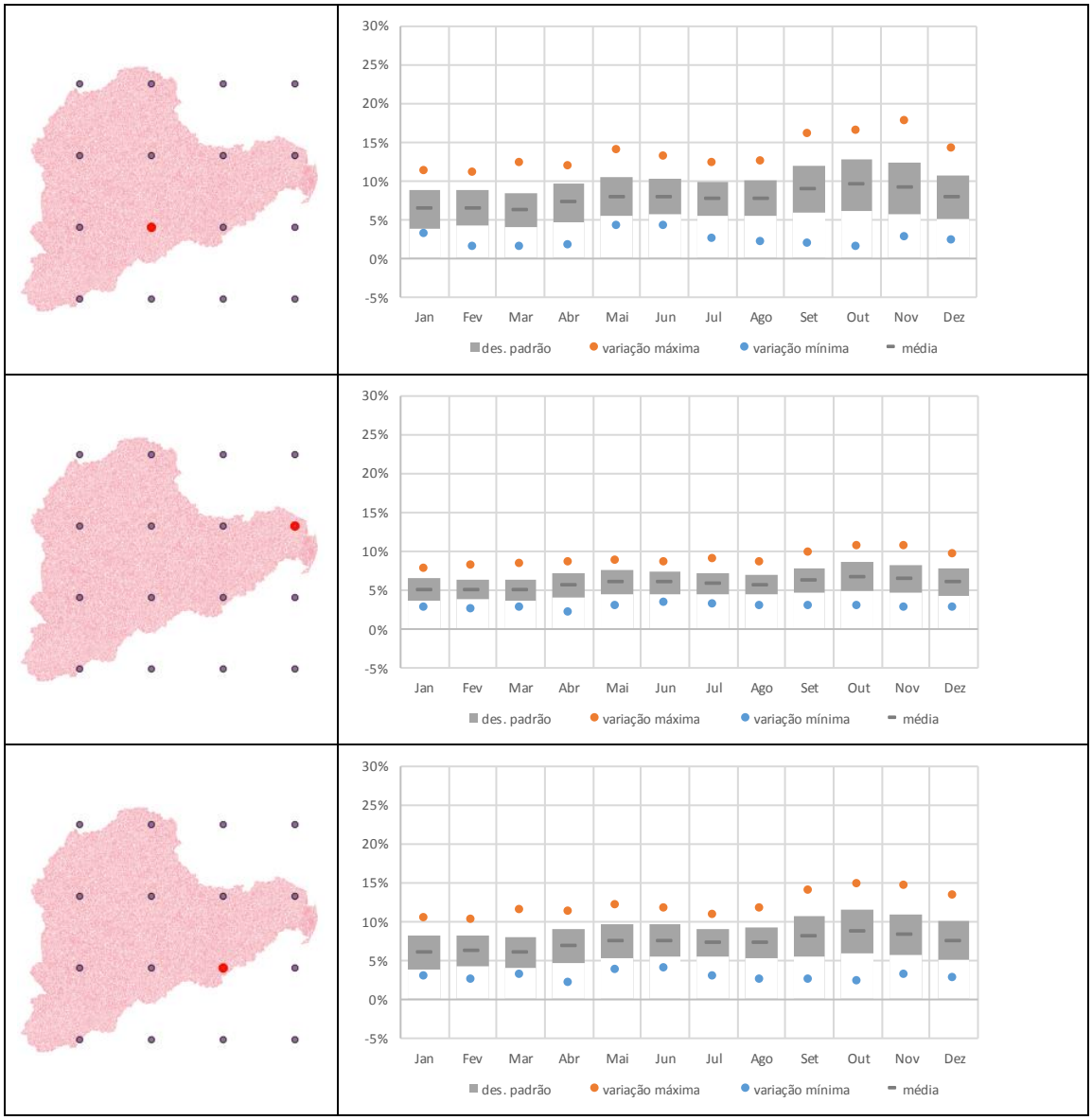
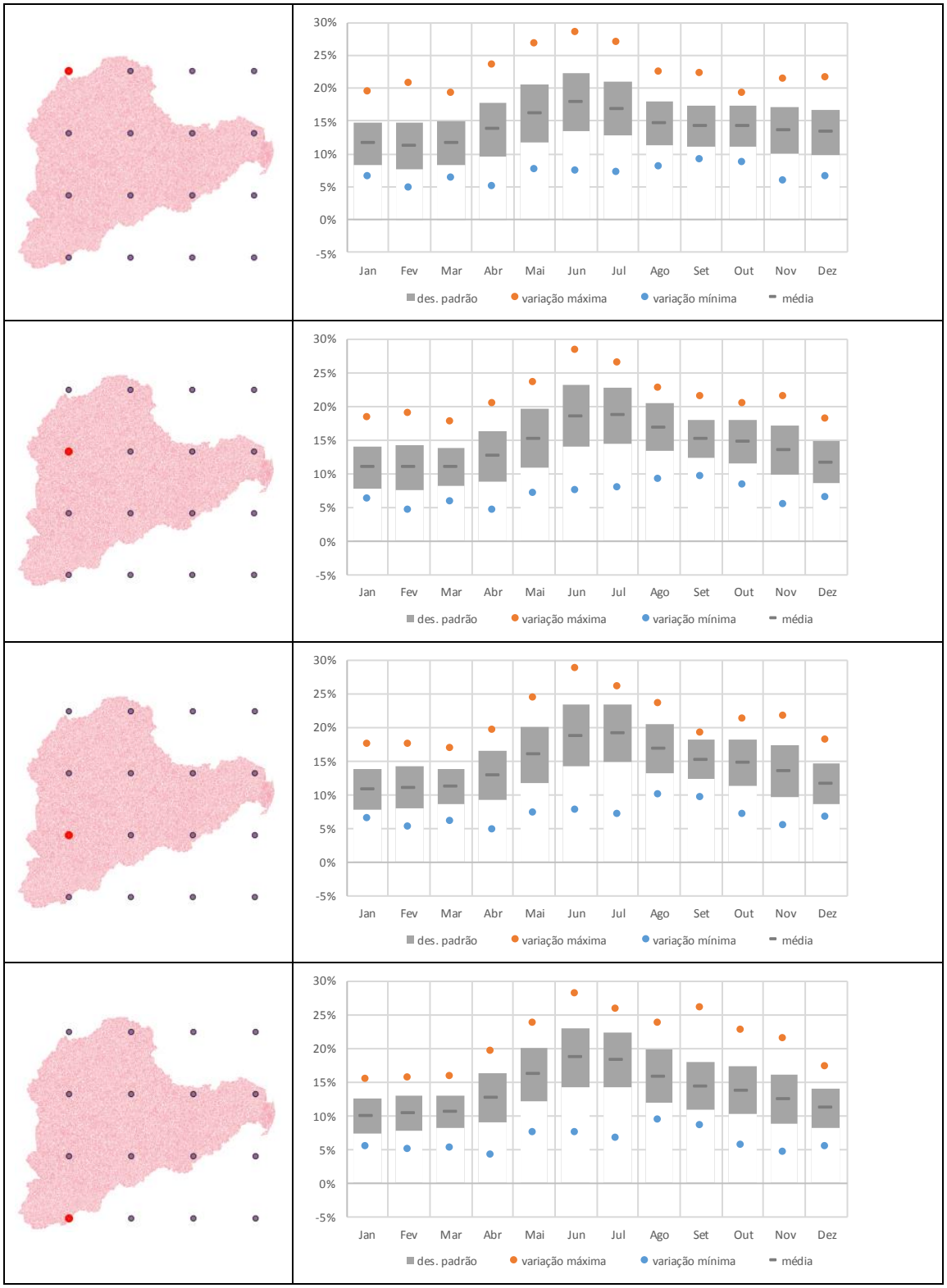


Figura 3.24 - Variações Projetadas para a Temperatura Máxima Média (%)

A totalidade das projeções indica que a temperatura máxima em 2050 será mais alta do que aquela no intervalo de 1961 a 1990, sendo que apenas um dos modelos indica manutenção da temperatura ao longo de 4 meses do ano, e mesmo assim em apenas um dos oito pontos geográficos analisados. Embora alguns modelos projetem variações superiores a 20% em alguns meses do ano, a média de todos os modelos e pontos indica aumento da ordem de 7,6%. Nota-se que os pontos mais a leste, em especial próximo ao litoral, trazem as menores amplitudes. De forma geral, os meses de setembro, outubro e novembro apresentam os mais altos incrementos na temperatura máxima média.

Já quanto às projeções de variação na temperatura mínima média, apresentadas nas ilustrações da Figura 3.25, nota-se uma maior amplitude e uma média também superior àquelas apresentadas para as temperaturas máximas. As maiores variações devem ocorrer justamente nos meses de inverno. Nenhuma das 36 projeções, em nenhum mês do ano e ao longo dos oito pontos geográficos, aponta manutenção ou redução na temperatura mínima futura em relação à temperatura mínima da normal climática.


30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
-5%
Jan
Fev
Mar
Abr
Mai
Jun
Jul
Ago
Set
Out
Nov
Dez
des. padrão
variação máxima
variação mínima
média

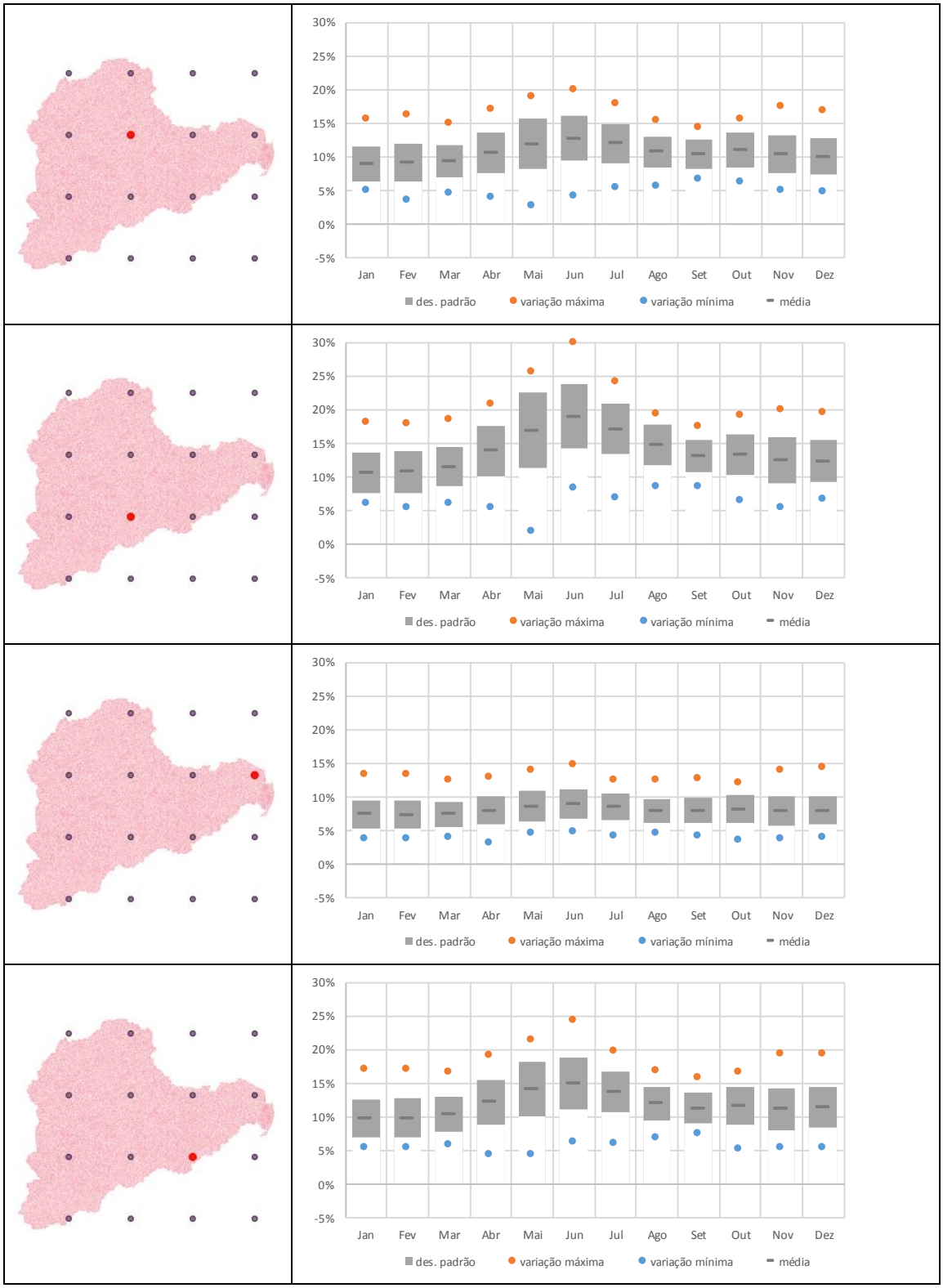


Figura 3.25 - Variações Projetadas para a Temperatura Mínima Média (%)

✓ *Estado do clima futuro e suas repercussões*

Com base nos dois itens anteriores, que exploraram as variações na precipitação e na temperatura, tem-se uma melhor ideia do que se pode esperar do estado do clima futuro (cerca de 30 anos), endereçando a questão de **"qual será o estado do "clima" futuro?"**. De forma geral, tem-se:

- ✧ Há plena convergência entre as projeções (modelos climáticos globais e cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5) para aumentos de temperaturas mínimas e máximas;
- ✧ Há sinais claros de convergência para um clima de maiores extremos de precipitação e de períodos secos mais longos;
- ✧ Há alguma convergência para modificações nos padrões de distribuição das chuvas, com concentração no período úmido; e
- ✧ Há alguma chance de redução na precipitação média.

Muito embora a análise dos dados observados (item 3.2.3.1 – Análise de Dados Climáticos Observados) ainda não tenha identificado modificações estatisticamente significativas nos padrões de precipitação, as mudanças do clima poderão vir a desencadeá-las. Uma vez que esta mesma análise (com dados observados) já identifica reduções de vazões estatisticamente significativas, conclui-se que as mudanças do clima deverão exacerbar tais efeitos, aumentando o risco de conflito hídrico na bacia pelo lado da disponibilidade hídrica. Afinal, o reflexo das modificações na distribuição da precipitação resultará, certamente, em uma modificação também nas vazões.

Mesmo com a considerável incerteza quanto à projeção de redução na precipitação média, tem-se um alto risco de que isso possa ocorrer, quase certamente em conjunto com as alterações na distribuição da precipitação ao longo do ano. Cabe, portanto, investigar os efeitos quantitativos desse risco no tangente à disponibilidade hídrica por meio da simulação de balanços hídricos sob a forçante climática, ou seja, com alteração nas vazões de restrição que são a base para o planejamento hídrico e para a concessão de outorgas de direito de uso com vistas a segurança hídrica, eficiência de uso e preservação ambiental.

A simulação de balanço hídrico sob mudança do clima demanda considerar valores absolutos de variação, diferentemente da análise não preditiva realizada anteriormente para a leitura do sinal da mudança. A identificação de modelos climáticos globais para tal é apresentada na sequência do corrente tópico.

Quais efeitos essa possível nova climatologia pode desencadear nas demandas hídricas? As expectativas de modificação no clima futuro deverão desencadear mudanças em ao menos três setores usuários sensíveis às temperaturas. Uma vez que há convergência quanto ao aumento das temperaturas mínimas e máximas, como consequência também haverá aumento nas temperaturas médias. Esta elevação deverá causar alterações no comportamento do setor usuário de abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação.

Para o abastecimento humano, sabe-se que locais mais quentes são associados, com tudo mais mantido constante, a maiores coeficientes unitários de consumo de água. Aumentos na temperatura deverão desencadear, assim, maiores demandas hídricas. O item 3.3.1.2, que aborda este setor (Perspectivas Endógenas do Abastecimento Humano no Meio Urbano), propõe um tratamento simplista para essa consideração na perspectiva de gestão *Business as usual*. O crescimento das taxas de consumo per capita permanecem crescentes na perspectiva tendencial para refletir, em parte, o maior consumo frente ao aumento de temperaturas. Não se realiza, no

entanto, modelagem específica do potencial incremento em função da temperatura, uma vez que não se tem base metodológica robusta para tal.

Outro setor usuário que pode apresentar maiores demandas em função do aumento nas temperaturas é o de dessedentação animal. Segundo IPCC (2022, op. cit), o estresse causado pelo calor pode reduzir o crescimento animal, aumentar sua mortalidade e reduzir a produção de derivados (leite e ovos). O aumento nas taxas de dessedentação animal, assim como o aumento no uso da água para o tratamento animal, portanto, é muito provável. Inobstante, não se tem conhecimento suficiente para avaliar a intensidade dessa variação, fato pelo qual as demandas desse setor não são alteradas nos cenários. Cabe o alerta de que esse é um tema que precisa ser melhor-compreendido, não tanto por seu reflexo na demanda hídrica (de 2,88 m^3/s, correspondente a apenas 4,4% do total), mas principalmente pelas repercussões econômicas nessa bacia hidrográfica que conta com um rebanho de 3,60 milhões de bovinos de corte, 0,77 milhão de vacas leiteiras, 1,28 milhão de suínos e 44,64 milhões de galináceos, além de um considerável rol de agroindústrias.

O setor usuário que mais apresenta sensibilidade em relação às perspectivas de mudança do clima é o da agricultura e, principalmente, o da agricultura irrigada. Trata-se, em primeiro momento, uma questão fisiológica: maiores temperaturas levam à maiores taxas de evapotranspiração, o que por consequência aumenta a demanda hídrica da planta. Essa demanda hídrica, que geralmente é ao menos parcialmente suprida pela precipitação, pode deixar de sê-lo, seja por conta da redução dos volumes precipitados, seja pela piora na distribuição dessa chuva (100mm em um mês pode ser o ideal em termos de volume, mas não se for precipitado em 2 dias ao invés de em 10, por exemplo).

Como consequência, agricultores de sequeiro tendem a adotar a irrigação como medida de adaptação, assim como os agricultores que já praticam a irrigação tendem a fazê-lo com mais intensidade. Uma vez que esse é o principal usuário das águas da bacia do rio Doce (53% do total) e há perspectivas de incremento nessa demanda mesmo antes da consideração dos efeitos da mudança do clima (conforme se discute no item 3.3.2.3 de Perspectivas Exógenas para a Agricultura Irrigada), cabe-se analisar as repercussões de forma pormenorizada.

Em primeiro momento, cabe identificar o reflexo das mudanças do clima nas demandas do setor, fruto da maior evapotranspiração e das alterações no regime de precipitação. Em um segundo momento, cabe analisar o resultado destas novas demandas no balanço hídrico submetido às mesmas perspectivas de mudança do clima, uma vez que não necessariamente essa nova demanda conseguirá ser atendida - seja pelos demais usos concorrentes das águas, seja pela própria redução na disponibilidade hídrica fruto da mudança do clima.

O aumento nas demandas hídricas da agricultura irrigada é tratado no respectivo item de prospecção setorial, qual seja, 3.3.2.3 - Perspectivas Exógenas para a Agricultura Irrigada, e faz extenso uso dos dados do Atlas Irrigação (op. cit.) e da Nota Técnica específica sobre o impacto da mudança do clima na demanda da irrigação do Brasil. Já a simulação de balanço hídrico demanda a consideração de modelos climáticos globais específicos, pois precisa considerar

resultados absolutos. A identificação destes modelos é apresentada na sequência do corrente tópico.

A terceira e última pergunta a ser endereçada é: **quais os riscos em termos de eventos extremos?** A bacia do rio Doce é marcada pela ocorrência de desastres naturais de cunho hidrológico. Foram 68 eventos de inundações e enxurradas ocorridos entre 1995 e 2019, gerando um total de 555 registros de declaração de calamidade pública ou estado de emergência pelas cidades da bacia do rio Doce. Ademais, embora o rompimento da barragem de Fundão em novembro de 2015 não tenha tido relação com a precipitação, pode-se supor que chuvas mais intensas possam vir a agravar o risco de novos rompimentos.

Uma vez que o tema é relevante e bastante complexo, dedica-se o item 3.4 – Riscos Hidrológicos à Luz das Mudanças do Clima para a sua avaliação. Cabe notar que essa análise também demanda a consideração de modelos climáticos globais específicos para se trabalhar com valores absolutos de mudanças e não apenas relativos, conforme tópico logo abaixo.

Cabe, por fim, esclarecer que nem todas as repercussões das mudanças do clima são consideradas de forma explícita. Como destaque, tem-se as consequências para a qualidade das águas. O aumento da duração e intensidade das chuvas pode aumentar o efeito de lixívia e o transporte de sedimentos, nutrientes e agrotóxicos, aumentando a poluição difusa. Nota-se que as cianobactérias, que podem produzir toxinas e alterar significativamente os ecossistemas aquáticos (causando mortandade de peixes e alterações na cadeia alimentar), geralmente têm um maior crescimento em temperaturas mais altas (acima de 25°C), o que faz com que tenham vantagem competitiva em relação a outras espécies. Haja vista que a modelagem da qualidade da água realizada para fins de planejamento do enquadramento é realizada para as vazões de estiagem, não há como quantificar os efeitos dessa repercussão. Não obstante, uma vez que se identifiquem questões críticas relativas à poluição difusa, deve-se atentar para sua possível piora sob mudança do clima.

- ✓ ***Cenários consensuais de mudanças do clima***

A partir da leitura agregativa do sinal das mudanças do clima para a bacia do rio Doce, realizada com base nas projeções de 20 modelos climáticos globais em dois cenários de emissão, cabe identificar quais modelos específicos podem ser utilizados na condução das simulações de risco de desastres hidrológicos, simulações de balanço hídrico e de demandas na agricultura irrigada.

O que se busca são modelos que consigam representar os sinais das mudanças do clima esperados, conforme identificados pela técnica não-preditiva utilizada. O Quadro 3.7 traz as características de variação do clima que mais convergem com a leitura do sinal de mudança, permitindo compor dois cenários consensuais. Nota-se que a identificação destes modelos não corresponde necessariamente àqueles que melhor explicam o clima passado, ou seja, que apresentam uma maior aderência em relação às projeções. Essa aderência é, em parte, endereçada pela técnica de *downscaling* tratada no primeiro tópico deste item; é também endereçada pela técnica de correção de viés tratada na sequência.

QUADRO 3.7 - CARACTERÍSTICAS DO SINAL DE MUDANÇA DO CLIMA PARA COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS CONSENSUAIS

Índices	*Consenso 1: clima mais seco, não necessariamente com extremos*	*Consenso 2: clima de extremos, mas não necessariamente mais seco*
Volume Anual	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
Volume_triSeco	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
Volume_triÚmido	neutro (entre ± 5%)	neutro (entre ± 5%)
Perc. 75%	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
Perc. 95%	neutro (entre ± 5%)	neutro (entre ± 5%)
Perc. 99%	neutro (entre ± 5%)	aumento entre +5% e +15%
R1_anual	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
R1_triSeco	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
R1_triÚmido	neutro (entre ± 5%)	neutro (entre ± 5%)
R20	neutro (entre ± 5%)	aumento entre +5% e +15%
R50	neutro (entre ± 5%)	aumento maior que +25%
RX5day	neutro (entre ± 5%)	aumento entre +15% e +25%
E20D	aumento entre +15% e +25%	neutro (entre ± 5%)
CDD_anual	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
CDD_triSeco	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)
CDD_triÚmido	neutro (entre ± 5%)	neutro (entre ± 5%)
Min12me	redução entre -5% e -15%	neutro (entre ± 5%)

Elaboração ENGECORPS, 2022

Com base nas características dos cenários consensuais, procede-se com a identificação de quais projeções (combinação entre modelo climático global e cenário de emissão) são mais aderentes. Para isso, realizou-se a classificação das variações de cada projeção, de forma a identificar aquelas mais aderentes às características na maior parte possível dos pontos da grade na bacia do rio Doce. O Quadro 3.8 apresenta os resultados dos modelos mais aderentes para cada um dos cenários consensuais, permitindo identificar os modelos CCSM4 e bcccsm11, ambos no cenário de emissões RCP8.5, como representativos dos consensos 1 (1º mais aderente em 11 pontos e 2º mais aderente em 6 pontos) e 2 (1º mais aderente em 13 pontos e 2º mais aderente em 2 pontos), respectivamente.

QUADRO 3.8 - IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS REPRESENTATIVOS DOS CENÁRIOS CONSENSUAIS DE MUDANÇA DO CLIMA

Ponto	*Bacia Afluente*	*Cenário Consensual 1*		*Cenário Consensual 2*	
		1º modelo mais aderente	*2º modelo mais aderente*	*1º modelo mais aderente*	*2º modelo mais aderente*
P01	DO1	CCSM4_RCP85	BNUESM_RCP45	CNRMCM5_RCP85	NorESM1M_RCP85
P02	DO1	CCSM4_RCP85	MRICGCM³_RCP85	bcccsm11_RCP85	MRICGCM³_RCP85
P03	DO1	IPSLCM5AMR_RCP45	CanESM2_RCP45	CNRMCM5_RCP85	CanESM2_RCP45
P04	DO1	CanESM2_RCP45	NorESM1M_RCP85	CNRMCM5_RCP85	NorESM1M_RCP85
P05	DO1	CCSM4_RCP85	MRICGCM³_RCP85	bcccsm11_RCP85	MRICGCM³_RCP85
P06	DO1	IPSLCM5AMR_RCP45	NorESM1M_RCP85	bcccsm11_RCP85	NorESM1M_RCP85
P07	DO1	MRICGCM³_RCP45	ACCESS10_RCP45	bcccsm11_RCP85	ACCESS10_RCP45
P08	DO1	BNUESM_RCP85	CCSM4_RCP85	CNRMCM5_RCP85	NorESM1M_RCP85
P09	DO1	IPSLCM5AMR_RCP45	BNUESM_RCP85	bcccsm11_RCP85	NorESM1M_RCP85
P10	DO2	MRICGCM³_RCP85	CCSM4_RCP85	ACCESS10_RCP45	MRICGCM³_RCP45
P11	DO2	CCSM4_RCP85	BNUESM_RCP85	MRICGCM³_RCP45	BNUESM_RCP85

Ponto	Bacia Afluente	Cenário Consensual 1		Cenário Consensual 2	
		1º modelo mais aderente	2º modelo mais aderente	1º modelo mais aderente	2º modelo mais aderente
P12	DO2	CCSM4_RCP85	MRICGCM3_RCP85	bcccsm11_RCP85	CCSM4_RCP85
P13	DO2	BNUESM_RCP85	NorESM1M_RCP85	MRICGCM3_RCP45	BNUESM_RCP85
P14	DO3	BNUESM_RCP85	NorESM1M_RCP85	bcccsm11_RCP85	BNUESM_RCP85
P15	DO3	CCSM4_RCP85	GFDLESM2G_RCP85	bcccsm11_RCP85	BNUESM_RCP85
P16	DO3	BNUESM_RCP85	IPSLCM5AMR_RCP45	inmcm4_RCP85	IPSLCM5AMR_RCP45
P17	DO3	IPSLCM5AMR_RCP45	GFDLESM2G_RCP85	ACCESS10_RCP45	GFDLESM2M_RCP45
P18	DO3	GFDLESM2G_RCP85	BNUESM_RCP85	MPIESMLR_RCP85	BNUESM_RCP85
P19	DO3	CCSM4_RCP85	NorESM1M_RCP85	inmcm4_RCP85	CCSM4_RCP85
P20	DO4	ACCESS10_RCP45	CCSM4_RCP85	bcccsm11_RCP85	NorESM1M_RCP85
P21	DO4	ACCESS10_RCP45	GFDLESM2G_RCP85	CSIROMk360_RCP45	GFDLESM2G_RCP85
P22	DO4	MRICGCM3_RCP45	CCSM4_RCP85	CSIROMk360_RCP85	CCSM4_RCP85
P23	DO5	BNUESM_RCP85	CCSM4_RCP85	CNRMCM5_RCP85	bcccsm11_RCP85
P24	DO5	BNUESM_RCP85	NorESM1M_RCP85	ACCESS10_RCP45	NorESM1M_RCP85
P25	DO5	BNUESM_RCP85	ACCESS10_RCP45	GFDLESM2G_RCP45	ACCESS10_RCP45
P26	DO6	CCSM4_RCP85	NorESM1M_RCP85	MIROC5_RCP85	bcccsm11_RCP85
P27	DO6	BNUESM_RCP85	NorESM1M_RCP85	CESM1BGC_RCP45	NorESM1M_RCP85
P28	UA7	ACCESS10_RCP45	GFDLESM2G_RCP85	CESM1BGC_RCP45	GFDLESM2G_RCP85
P29	UA7	CCSM4_RCP85	GFDLESM2G_RCP85	CSIROMk360_RCP45	ACCESS10_RCP45
P30	UA7	ACCESS10_RCP45	NorESM1M_RCP85	bcccsm11_RCP85	NorESM1M_RCP85
P31	UA8	MPIESMMR_RCP85	CCSM4_RCP85	bcccsm11_RCP85	NorESM1M_RCP85
P32	UA8	CCSM4_RCP85	IPSLCM5AMR_RCP85	bcccsm11_RCP85	NorESM1M_RCP85
P33	UA8	ACCESS10_RCP45	GFDLESM2G_RCP85	CSIROMk360_RCP45	ACCESS10_RCP45
P34	UA9	MPIESMMR_RCP85	ACCESS10_RCP45	CSIROMk360_RCP45	ACCESS10_RCP45
P35	Fora da Bacia	CCSM4_RCP85	GFDLESM2G_RCP45	CNRMCM5_RCP45	NorESM1M_RCP85
P36	Fora da Bacia	CanESM2_RCP45	MPIESMMR_RCP45	bcccsm11_RCP85	MPIESMMR_RCP45
P37	Fora da Bacia	MPIESMLR_RCP85	bcccsm11_RCP85	CNRMCM5_RCP45	NorESM1M_RCP85
P38	Fora da Bacia	ACCESS10_RCP45	MRICGCM3_RCP45	ACCESS10_RCP45	MRICGCM3_RCP45

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Os modelos identificados como representativos da mudança do clima na bacia do rio Doce coincidem com dois dos três cenários identificados como representativos pelo Atlas Irrigação (op. cit.) para avaliar as demandas hídricas da irrigação no Brasil.

- Cenário crítico (consensual 2): modelo bcccsm11 e cenário de emissão RCP8.5, considerado muito propenso a gerar aumentos da demanda de irrigação por apontar menores chuvas e maiores evapotranspirações nas regiões com irrigação.
- Cenário intermediário (consensual 1): modelo CCSM4 e cenário de emissão RCP8.5, considerado propenso a gerar aumentos da demanda de irrigação ao sinalizar menores chuvas que o cenário bcccsm11, mas mudanças menos intensa na evapotranspiração.

O Atlas Irrigação (op. cit.) também faz uso de um terceiro cenário, tido como otimista sob o ponto de vista de incrementos na demanda da irrigação, que é representado pelo modelo

CNRMCM5 e cenário de emissão RCP4.5. Em relação aos outros dois cenários, este é o que menos altera a precipitação e tem menores aumentos na evapotranspiração.

A partir da identificação dos cenários consensuais, que passam a ter sua denominação equivalente à do Atlas Irrigação (op. cit.) (cenário crítico e intermediário), realizou-se como próximo passo a elaboração de séries de precipitação futura sintéticas, nas quais o passado é de fato o observado e o futuro é aquele projetado pelo cenário de mudança do clima, corrigindo-se o possível viés das projeções. Isso requer algumas passagens metodológicas, abaixo sintetizadas.

As informações utilizadas, tanto as observadas (28 estações pluviométricas cujo histórico de dados detém ao menos 30 anos e que apresentam menos de 5 falhas diárias/ano) quanto as oriundas dos MCGs (38 pontos de grade do projeto NEXGDDP), estão dispostas espacialmente de forma distinta e precisam ser uniformizadas. Para trazer as projeções dos cenários para os pontos das estações pluviométricas, foi realizada a transferência da grade daqueles para os 28 pontos destes com base na interpolação do inverso do quadrado da distância (IDW) considerando os 4 pontos mais próximos.

Realizou-se a correção de viés das projeções com base na metodologia de modificação de percentil entre a série futura do modelo contra o histórico do modelo, e posterior aplicação da mesma mudança de percentil, identificado pela série passada (dados observados), gerando assim a série futura sintética e sem viés. Com base nestas séries sintéticas, que correspondem à localização e à série histórica das 28 estações pluviométricas na bacia do rio Doce, foram calculados os 17 indicadores de precipitação para os intervalos temporais de 2021 a 2040, representando a mudança do clima no horizonte do PIRH Doce, e de 2041 a 2060, para demonstrar as perspectivas de mais longo prazo. Os indicadores são avaliados por seus resultados absolutos, e não mais na busca do sinal da mudança do clima comparando vários modelos.

Para a consecução dos objetivos desta análise, tem-se os seguintes encaminhamentos desta temática transversal:

- Para a leitura das simulações de risco de desastres hidrológicos, são calculadas as modificações nos tempos de retorno de eventos de precipitação associados à ocorrência pretérita de desastres, conforme aborda-se no item 3.4 – Riscos Hidrológicos à Luz das Mudanças do Clima;
- Para fins da simulação de balanço hídrico sob mudança do clima, utiliza-se das vazões de restrição $Q_{95\%}$ estimadas pela ANA para a bacia do rio Doce, no âmbito da elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos, que consideram a relação chuva-vazão;
- Para as demandas na agricultura irrigada sob mudança do clima, utilizou-se dos resultados do Atlas Irrigação (op. cit.), conforme se descreve em mais detalhes no item 3.3.2.3 – Perspectivas Exógenas para a Agricultura Irrigada.

3.2.4 Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo

3.2.4.1 Macrodinâmica de Crescimento Econômico

O Governo Federal instituiu, por meio do Decreto Federal nº 10.531 de 26 de outubro de 2020, a Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil no período de 2020 a 2031 – EFD 2020-2031. Trata-se do estabelecimento de uma visão de longo prazo para a atuação estável e coerente dos órgãos e das entidades da administração pública federal, autárquica e fundacional[30]. A EFD 2020-2031 apresenta cinco eixos temáticos com forte inter-relação, transversalidade e potencial sinérgico. São eles os eixos (i) econômico, (ii) institucional, (iii) infraestrutura, (iv) ambiental e (v) social, que buscam articular, de forma agregada, os setores propulsores do desenvolvimento do país nos próximos onze anos, conformando as problemáticas que devem ser endereçadas pelo Estado brasileiro.

A EFD estabelece três cenários para o Brasil até 2031, sendo um deles o cenário de referência, que pressupõe estabilidade macroeconômica com reformas que viabilizariam o equilíbrio fiscal de longo prazo, permitindo a retomada de uma trajetória de crescimento sustentado. Nesse cenário, há apenas melhorias marginais nas reformas microeconômicas; o crescimento econômico seria baseado em ocupação da elevada capacidade ociosa atualmente disponível sendo, portanto, modesto e decrescente, devido ao fim do bônus demográfico. A taxa de investimento aumenta um pouco em relação à atual, que está baixa em função da recente recessão. O cenário projeta um crescimento médio anual do Produto Interno Bruto (PIB) de 2,2% que, considerando um crescimento da população de 0,6%, resulta em um crescimento do PIB per capita de 1,6% ao ano.

Já o cenário transformador considera um conjunto mais amplo de reformas que impulsionaria o aumento da produtividade geral da economia e da taxa de investimento, sobretudo em infraestrutura; além do avanço mais intenso da escolaridade e, por conseguinte, de ganhos em termos do capital humano e da taxa de participação da população em idade ativa. As reformas requeridas para o equilíbrio fiscal e as reformas estruturais mais profundas promovem uma melhora qualitativa e substancial da economia, que cresce em média à taxa de 3,5%, gerando um crescimento médio anual do PIB per capita de 2,9%.

Por último, como cenário contrafactual, especula-se sobre o desequilíbrio fiscal, cujas consequências dramáticas confluiriam para o risco de insolvência do Estado. Nesse cenário, a ausência de reformas que permitam conter a elevação dos gastos públicos obrigatórios desencadeia uma trajetória explosiva para as contas públicas, aumentando a desconfiança dos investidores em relação à sustentabilidade da dívida pública, elevando os prêmios de risco e gerando uma crise de confiança que pode impossibilitar o refinanciamento da dívida. Embora tão plausível como os demais cenários, segundo a EFD, a quantificação do contrafactual é difícil

[30] Conforme lê o Artigo 2º do Decreto supracitado, os "órgãos e as entidades da administração pública federal direta, autárquica e fundacional considerarão, em seus planejamentos e suas ações, os cenários macroeconômicos, as diretrizes, os desafios, as orientações, os índices-chave e as metas-alvo estabelecidos".

e não foi realizada no referido estudo. As projeções para o PIB trazidas pela EFD para o período entre 2020 e 2031 estão apresentadas, ano a ano, no Quadro 3.9.

QUADRO 3.9 - PROJEÇÕES EFD 2020-2031 PARA O PIB (VARIAÇÃO %)

Ano	*Cenário Contrafactual*	*Cenário de Referência*	*Cenário Transformador*
2020	-	-5,00	-5,00
2021	-	3,56	4,74
2022	-	2,60	4,20
2023	-	2,50	4,11
2024	-	2,26	3,89
2025	-	2,10	3,65
2026	-	1,98	3,56
2027	-	1,98	3,06
2028	-	1,94	3,03
2029	-	1,94	3,01
2030	-	1,79	2,80
2031	-	1,58	2,74

Fonte: Adaptado de EFD, 2020

Os cenários para a economia brasileira da EFD apresentam as perspectivas de longo prazo que concedem coerência à leitura das perspectivas nacionais, haja vista o histórico de crescimento recente do País. Afinal, a conjuntura econômica nacional atravessa notória estagnação, situação que se choca com os limites da restrição fiscal. Enquanto a média anual de crescimento nacional na década entre 2001 e 2010 foi de 3,6% (com pico de 7,5% em 2010 e queda de 0,6% em 2009), já na década finda em 2020, o crescimento anual médio foi próximo ao nulo (0%). Dessa forma, o Brasil de 2020 foi, em termos de riqueza, o mesmo que o fora em 2011[31].

Geralmente, estagnações assim longas precedem inflexões em tendências. Conforme traz a EFD 2020-2031, a capacidade ociosa da economia nacional se encontra em níveis bastante altos, o que favorece um crescimento rápido de curto prazo (pressuposto tanto do cenário de referência como do cenário transformador). Nos próximos anos, essa utilização de fatores ociosos (humanos e capital) se configuram como os principais contribuintes para um maior crescimento. Após esse período inicial, no entanto, é necessário que haja maior investimento em infraestrutura, o que indiretamente contribui para maior uso dos fatores ociosos.

Quando se atinge o pleno emprego, projetado pela EFD para 2026, o estoque de capital de infraestrutura passa a ser a principal alavanca para suportar maiores taxas de crescimento. Caso esse investimento não se concretize, no entanto, o crescimento é cerceado e pode ocorrer (novo) processo inflacionário. Interessante notar que a atual pressão inflacionária não é causada pela demanda, como esta em potencial, mas sim, pela oferta. Há, na estratégia nacional, orientações para a adoção de um conjunto de políticas apropriadas e coordenadas que permitam destravar investimentos em infraestrutura e em ciência, tecnologia e inovação (que conduzem a maior produtividade dos fatores).

[31] Certamente o ano de 2020 foi marcado pela pandemia da Covid-19 que afetou o mundo todo, mas não "refresca" os resultados pífios de crescimento dos nove anos precedentes. Para fins de comparação, as taxas médias de crescimento do PIB de alguns países Latino-Americanos na mesma década (2011-2020), foram: 3,2% no Peru; 3,0% na Colômbia; 2,3% no Chile; e 1,0% no México.

Alguns pilares do crescimento possível advêm da manutenção e reforço à independência e atuação das agências reguladoras, viabilização de parcerias público-privadas e continuidade de processos de privatização. Dessa forma, o governo passa a coordenar o processo de desenvolvimento por meio de mecanismos de intervenção indireta e de planejamento indicativo, além de conceder maior rigor institucional e regulamentar a operação privada de setores estratégicos (saneamento básico, transportes, energia elétrica, telecomunicações e petróleo) com vistas a aumentar o estoque de capital físico.

A EFD apresenta orientações para políticas econômicas de curto prazo que fomentam tal investimento produtivo nos setores estratégicos. Esse é ponto fulcral para o crescimento, pois dentre as mais marcantes restrições ao desenvolvimento do País, está a baixa e ineficiente inversão de capital do setor público. O País investe com dificuldade uma média de 18% do seu PIB (formação bruta de capital fixo), resultado que foi, em 2020, de apenas 15%. Esse mesmo percentual se aproxima de 27% nos países de alto crescimento, como Índia e Coréia do Sul.

Parte dessa dificuldade se forma na alta demanda de financiamento do setor público por conta de gastos sem contrapartidas arrecadatórias, o que acaba por exigir taxas de juros que ofuscam a poupança privada e deprimem o investimento. O engessamento (inclusive constitucional) de diversos gastos públicos conforma uma importante restrição que se aproxima de seu limite: pode-se prever que haja uma repactuação de acordos entre os estados federados de forma coordenada e responsável ou uma forte ruptura que leve ao desequilíbrio fiscal de difícil reversão na próxima década.

O crescimento econômico ao longo da última década e meia foi motivado pela demanda interna em sobreposição à demanda externa, o que inevitavelmente resulta no ajuste atual na conta de capitais. Enquanto o preço das commodities agrícolas e minerais se manteve em patamares recordes, o País obteve superávits de exportação mesmo com um câmbio apreciado e uma infraestrutura econômica dificultosa. Resta saber se o ajuste recente no câmbio conseguirá equilibrar a conta de capitais ao motivar o desenvolvimento da indústria interna, mesmo com o retorno das commodities a preços altos, agora em cheque devido ao conflito bélico na eurásia que não tem previsões de ser breve.

Além das condicionantes internacionais, públicas e monetárias, podem-se elencar algumas restrições internas ao crescimento. Uma delas é a baixa produtividade do trabalhador, sendo que para conquistar maiores ganhos de produtividade, essencial para o crescimento sustentado pós utilização de capacidade ociosa, é necessário elevar os níveis de capital físico por trabalhador. Parte da elevação da produtividade demanda investimentos em infraestrutura, bem como investimentos em inovação, ciência e tecnologia. O histórico de inversões nesse setor, como demonstra o próprio histórico de inovações tecnológicas nacional, no entanto, não é animador quanto à reversão dessa tendência.

Investimentos viabilizadores do crescimento, afinal, tangenciam fatores produtivos não-infraestruturais, como um ambiente cultural propício à inovação, centros de pesquisa, trocas intensas de conhecimento e informação com o exterior, instituições governamentais flexíveis, recursos humanos formados e informados com excelência. Estes fatores não são originados

exclusivamente pelo Governo, mas podem e devem ser por ele facilitados e instigados (a exemplo dos centros de formação, pesquisa e inovação públicos). O nível de desenvolvimento das instituições políticas e das organizações econômicas deve atingir um patamar que favoreça a formação de ciclos de expansão no país a partir de forças a ele endógenas.

3.2.4.2 Conjuntura Econômica

Conforme abordado pela EPE na descrição do cenário econômico de referência, subsídio ao Plano Decenal de Energia 2022-2031 que se encontra em processo de elaboração[32], a pandemia da Covid-19 segue provocando impactos significativos sobre a economia global e brasileira. A recuperação da confiança dos agentes e da atividade econômica em um ambiente com pressão inflacionária e adoção de política monetária mais restritiva são desafios que fazem com que o cenário nacional de curto prazo siga com elevado grau de incerteza. Adiciona-se ao quadro de incertezas as repercussões mundiais da guerra travada entre Rússia e Ucrânia, com desdobramentos ainda incertos[33].

A indústria pode vir a liderar o processo de recuperação econômica nacional, haja vista os altos níveis de capacidade ociosa na indústria de transformação e o possível impulso de demanda oriundo da recuperação da economia mundial para a indústria extrativa. Segundo a EPE, o cenário referencial traça uma expectativa de um crescimento médio de 3,1% a.a. no horizonte de dez anos, destacando-se o segmento extrativo.

Em contrapartida, aumentos sistemáticos nos custos e a falta de disponibilidade de insumos produtivos ainda colocam restrições à atividade industrial no País e no mundo, ainda mais com a perspectiva de novas interrupções nas cadeias globais de suprimento, abaladas pela pandemia da Covid-19 e agora pelo conflito armado travado nos limites da Europa e da Ásia.

Esse contexto conturbado se choca com um longo processo de desindustrialização nacional que remonta ao início da década dos 80s, quando a participação da indústria manufatureira no PIB era de 23% e caiu para menos de 10% na atualidade. Os números gerais da indústria nacional escondem, ainda, uma assimetria entre seus setores: os extrativos e relacionados ao setor primário (tais como a manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos e a fabricação de produtos alimentícios) se mantiveram ou mesmo cresceram, em detrimento a queda dos demais setores manufatureiros, especialmente os mais voltados para a economia doméstica. Deve haver, em algum grau, se não uma reversão, ao menos um arrefecimento do processo de desindustrialização nacional.

Não há, ainda, orientação nacional quanto às perspectivas para a atividade minerária e industrial no âmbito do planejamento nacional (o Plano Nacional de Mineração está em fase de elaboração

[32] Nota Técnica EPE/DEA/SEE/019/2021 - Cenários Econômicos para os próximos dez anos, dezembro de 2021

[33] A guerra da Ucrância teve início no final de fevereiro de 2022 e, até a publicação deste documento, permanece sem resolução. Por um lado, afetará negativamente os mercados consumidores externos de produtos brasileiros, bem como os fluxos e a própria confiança no comércio internacional; por outro, gerará um aumento de demanda interna por produtos outrora importados, como fertilizantes, o que pode pressionar ainda mais a inflação.

e não se tem conhecimento de algum plano equivalente para a indústria). Não obstante, é difícil vislumbrar um futuro para o País sem uma forte reindustrialização.

Destaca-se, nesse sentido, o recente Plano Nacional de Fertilizantes[34], que traça objetivos de: modernizar, reativar e ampliar plantas e projetos de fertilizantes existente no Brasil; melhorar o ambiente de negócios para atração de investimentos para a cadeia de fertilizantes e nutrição de plantas; promover vantagens competitivas na cadeia de produção nacional de fertilizantes para melhorar o suprimento do mercado brasileiro; ampliar os investimentos em pesquisa e no desenvolvimento da cadeia de fertilizantes e nutrição de plantas do Brasil; e adequar a infraestrutura para integração de polos logísticos e viabilização de empreendimentos.

Em específico quanto ao último objetivo listado, nota-se relevante a conclusão de fábricas de fertilizantes em Linhares (ES). Essa indústria, cujo porte ainda não foi revelado, certamente acrescentará demandas hídricas no local.

Na ausência de outras diretrizes nacionais, buscou-se identificar planos estaduais de desenvolvimento com potenciais repercussões setoriais, como se observa abaixo, no Quadro 3.10, com base em consulta a dados disponibilizados pelas entidades citadas.

QUADRO 3.10 - PLANEJAMENTOS SETORIAIS DE MINERAÇÃO E INDUSTRIAIS DOS ESTADOS DE MINAS GERAIS E ESPÍRITO SANTO

Instrumento de Planejamento	*Entidade*	*Ano*	*Destaca/Análise*
Diagnóstico do Setor Mineral de Minas Gerais1	Secretarias de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede)	2020	Apresenta uma caracterização dos recursos minerais, histórico de exportação e, como encaminhamento, perspectivas de geração de emprego. São apresentados dados em percentuais globais, permitindo compreender a dinâmica exportadora da atividade e sua relação com a demanda mundial e de termos de troca.
Estratégia Sol de Minas2	Secretarias de Estado de Desenvolvimento Econômico (Sede)	2020	Faz parte do planejamento estratégico do Governo de Minas Gerais, cujo objetivo principal é alavancar o protagonismo do estado no setor de energia fotovoltaica, o que demanda utilização de minérios específicos. Previsão de investimentos 70 milhões em 2022 em Usinas Fotovoltaica em Montes Claros e Cristália com previsão de expansão para 79 municípios.
Setores portadores de futuro para o Estado do Espírito Santo 2035 – Indústria3	Instituto de Desenvolvimento Educacional e Industrial do Espírito Santo	2035	Promoção de uma agenda estratégica de desenvolvimento sustentável da indústria capixaba, considerando o horizonte 2035, à luz de suas potencialidades, visando sua prosperidade, crescimento e maior presença nas cadeias produtivas nacionais e globais. Não apresenta escala de investimento, mas destaca para a região da bacia do rio Doce investimentos relacionados a expansão e duplicação de rodovias, da indústria de rochas ornamentais, metalmecânico, mineração e infraestrutura de suporte a indústria de petróleo e gás.

Fontes: [1] MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE). **Diagnóstico do Setor Mineral de Minas Gerais.** 2020.Disponível em: http://www.desenvolvimento.mg.gov.br/ assets/projetos/1081/130fd1adf19cc74be83c7c6c829c53b9.pdf .Acesso em 16 de dezembro de 2021;
[2] MINAS GERAIS (Estado). Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico (SEDE **Sol de Minas**. Disponível em: http://www.desenvolvimento.mg.gov.br/application/projetos/projeto/1079#:~:text=O%20Sol%20de%20Minas%20%C3%A9,no%20setor%20de%20energia%20fotovoltaica. Acessado em 15 de dezembro de 2021;
[3]INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E INDUSTRIAL DO ESPÍRITO SANTO. **Setores portadores de futuro para o Estado do Espírito Santo 2035**. Espírito Santo: IDEIES, 2018;

[34] Decreto Federal nº 10.991, de 11 de março de 2022, que institui o Plano Nacional de Fertilizantes 2022-2050 e o Conselho Nacional de Fertilizantes e Nutrição de Plantas.

O estado do Espírito Santo conta, ainda, com o Plano Estratégico de Desenvolvimento da Agricultura Capixaba (PEDAG), atualmente em sua terceira versão[35], com o plano para o Desenvolvimento Regional Sustentável (DRS)[36] e o plano de expansão industrial. Estes instrumentos orientam as ações públicas e conduzem o estado ao crescimento mais diversificado e inclusivo, embora não apresentem definições de metas ou investimentos específicos. O PEDAG, em especial, traçou políticas e iniciativas deliberadas para a melhoria de produção, produtividade e qualidade que desempenharam papel importante para as cadeias produtivas do café, fruticultura, pimenta do reino e avicultura de corte, que avançaram significativamente.

Destaca-se, no entanto, a passagem do PEDAG 2015-2030 que vincula as atividades primárias e secundárias: *"Gargalos e 'vazios' são constatados no elo de transformação industrial – agroindústria – em praticamente todas as cadeias produtivas avaliadas (...).E é neste elo estratégico que o estado se defronta com uma fronteira aberta de oportunidades, principalmente em atividades como avicultura de corte, suínos, pecuária de corte e de leite, pesca e aquicultura, pimenta do reino, silvicultura, fruticultura, cana de açúcar e café."* (pág. 55).

O estado de Minas Gerais, por sua vez, conta o Plano Mineiro de Desenvolvimento Integrado (PMDI), que para o período 2019-2030 é instituído pela Lei nº 23.577/2020[37]. O PMDI 2019-2030 é um plano de longo prazo, que consolida um conjunto de grandes escolhas para a construção do futuro do estado, e é elaborado desde 2000, constituindo-se um instrumento norteador. Na sua última edição, foram estabelecidas medidas emergenciais e necessárias à recuperação fiscal, e aprovados objetivos, metas e diretrizes que visam estabelecer um ambiente favorável ao desenvolvimento sustentável.

Mesmo sendo um instrumento de planejamento de longo prazo, o PMDI 2019-2030 não se utiliza de cenários prospectivos, bem como não traz metas específicas para atividades econômicas. Ao apresentar o histórico de diversos indicadores socioeconômicos, de educação, emprego e tecnologia, no entanto, acaba por revelar a dificuldade de se superar a restrição ao investimento necessário para se atingir as metas gerais prescritas.

Uma outra forma de se perscrutar as latências estruturantes é por meio do que está programado pelas empresas que atuam na região da bacia do rio Doce. O Quadro 3.11 apresenta os resultados de levantamento de investimentos em mineração, beneficiamento de minérios e siderurgia por parte das principais empresas atuantes na bacia hidrográfica. Trata-se de pesquisa em fontes secundárias e não exaustiva, mas que permite pontuar latências na região. Nota-se que as empresas ArcelorMittal, Vale e Samarco Mineração também possuem atividades no estado do Espírito Santo e não apenas em Minas Gerais, mas em sedes municipais que não estão localizados na bacia do rio Doce. Não foram identificados investimentos para a porção capixaba.

[35] Disponível em: https://seag.es.gov.br/ Media/seag/ Documentos/ PEDEAG_Completo_ sem%20ficha%20técnica%20(1).pdf
[36] Disponível em: http://www.ijsn.es.gov.br/drs/
[37] Disponível em: https://planejamento.mg.gov.br/pagina/planejamento-e-orcamento/plano-mineiro-de-desenvolvimento-integrado-pmdi/plano-mineiro-de

QUADRO 3.11 - LEVANTAMENTO DE INVESTIMENTOS EM MINERAÇÃO, BENEFICIAMENTO DE MINÉRIOS E SIDERURGIA

Empresas de Mineração	*Documento Link*	*Ano de Referência*	*Ação*	*Investimento*	*Região*
ARCELOR MITAL[1]	Informe institucional[38]	2020/21	Ampliação da Usina de Monlevade e da Mina de Serra Azul, com perspectiva de dobrar a produção de minério de ferro (4,9 milhões de toneladas/ano)	4,3 bilhões	João Monlevade e Bela Vista de Minas
USIMINAS[2]	Relatório Conselho Usiminas	2020/2021	Retorno da operação do Alto-Forno 2 da Usina de Ipatinga em 2020/2021	Estimado de R$ 67 milhões	Ipatinga
	Relatório de Sustentabilidade	2020	Processo de empilhamento de rejeitos a seco (dry stacking) com início de operação no segundo semestre de 2021	R$160 milhões	Ipatinga
VALE	Não apresenta informações	-	-	-	-
SAMARCO	Não apresenta informações	-	-	-	-
GERDAU[3]	Informe institucional[39]	2021	Ampliação, atualização tecnológica e diversificação da planta industrial, com aprimoramento de práticas ambientais	6 bilhões até 2024	Ouro Branco, Ouro Preto, Barão de Cocais, Divinópolis e Sete Lagoas
ANGLO AMERICAN[4,5]	Informe institucional[40]	2021	Continuidade operacional da Minas-Rio e futuras expansões	R$ 4,4 bilhões até 2025	Estado de Minas Gerais
	Informe institucional[41]	2020/2021	Investimento em infraestrutura viária - Rodovias	40 milhões	Estado de Minas Gerais
IBRAM[6]	Relatório de atividades	2020	Investimentos globais do setor, sem especificar substâncias ou locais	US$ 10,178 bilhões	Estado de Minas Gerais

Fontes: [1]Arcelor Mital [S.l]{2021} Disponível em:<https://brasil.arcelormittal.com/sala-imprensa/noticias/brasil/arcelormittal-anuncia-investimento-de-r-43-bilhoes-no-brasil>Acesso em 20 de dezembro de 2021;
[2] USIMINAS. **Relatório Conselho Usiminas**. Disponível em: < https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/2021/04/MINERACAO_USIMINAS_DFS_2020_OTEMPO.pdf. > Acesso 10 de dezembro de 2021; USIMINAS. **Relatório de sustentabilidade 2020**. Disponível em: < https://www.usiminas.com/wp-content/uploads/hotsites_portal_sap/relatorio-de-sustentabilidade-2020.pdf.> Acesso 10 de dezembro de 2021;
[3]GERDAU[S.l] {2021} Disponível em:<https://www2.gerdau.com.br/sobre-nos/noticias/gerdau-anuncia-plano-de-investimento-de-r-6-bilhoes-em-minas-gerais >. Aceso 22 de dezembro de 2021;
[4]ANGLO AMERICAN [S.l] {2021}. Disponível em https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/imprensa/noticias/2021/09-11-21. Acesso 12 de dezembro de 2021; [5]ANGLO AMERICAN [S.l] {2021}. Disponível em:<https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/imprensa/noticias/2021/09-08-21>. Acesso em 12 de dezembro de 2021;
[6]IBRAM. **Relatório Anual de Atividades.** Disponível em:<ttps://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Relatorio-de-atividades_2020_VF_3_completo.pdf>. Acesso em 27 de dezembro de 2021. [7]MINAS GERAIS (Estado) [S.l]{2021}. Disponível em: https://www.secult.mg.gov.br/noticias-artigos/7182-minas-gerais-desponta-em-crescimento-no-turismo. Acesso em 27 de dezembro de 2021.

[38] Disponível em: https://brasil.arcelormittal.com/sala-imprensa/noticias/brasil/arcelormittal-anuncia-investimento-de-r-43-bilhoes-no-brasil
[39] Disponível em: https://www2.gerdau.com.br/sobre-nos/noticias/gerdau-anuncia-plano-de-investimento-de-r-6-bilhoes-em-minas-gerais
[40] Disponível em: https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/imprensa/noticias/2021/09-11-21
[41] Disponível em: https://brasil.angloamerican.com/pt-pt/imprensa/noticias/2021/09-08-21

Em contrapartida às dificuldades do setor industrial, o setor agropecuário deve apresentar um bom desempenho de forma mais certeira, beneficiado pela alta nos preços internacionais e pela perspectiva de retomada da demanda. A EPE considera, no cenário referencial, uma expansão média de 2,8% a.a. entre 2021 e 2031 para o setor, em função da boa competitividade que o país possui no mercado internacional e das perspectivas de expansão dos principais produtos agropecuários brasileiros.

A participação do agronegócio brasileiro na formação do PIB foi de 26,6% em 2020[42]. Nos últimos 50 anos, o Brasil passou de importador de alimentos para exportador de peso mundial, capaz de alimentar o equivalente a cerca de 20% da população mundial. O País é o maior exportador mundial de soja em grão, café, açúcar, suco de laranja e carne de frango, sendo ainda o segundo maior em carne bovina, milho, óleo e farelo de soja, e o terceiro em algodão e o quarto em carne suína. Cerca da metade do valor das exportações brasileiras vem dessa cadeia produtiva, que gera 30% dos empregos.

Decorrente desse movimento, pode-se observar uma ampliação da base industrial nos ramos que dependem de fatores primários sobre os quais o Brasil apresenta vantagens comparativas: agroindústria, papel e celulose e minérios. A EPE considera, no cenário referencial, uma expansão média de 2,8% a.a. entre 2021 e 2031 para o setor, em função da boa competitividade que o País possui no mercado internacional e das perspectivas de expansão dos principais produtos agropecuários brasileiros.

Por fim, para o setor de serviços, a EPE apresenta uma expectativa de um crescimento médio de 3,0% a.a. entre 2022 e 2031 no cenário referencial, com expansão da renda das famílias e das próprias atividades do setor industrial e agropecuário, impulsionando a demanda por comércio e algumas atividades de serviços de transportes e serviços prestados às empresas e às famílias. É também positiva a perspectiva para os serviços de lazer e turismo, em que o país possui vocação natural.

3.2.5 Ampliações no Capital Fixo

No que tange à ampliação do capital fixo na bacia do rio Doce e aos potenciais desdobramentos para os recursos hídricos, analisam-se os planos de infraestrutura de transporte e logística e de energia, bem como as expectativas para o saneamento básico trazidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento.

3.2.5.1 Transportes e Logística

O Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT)[43] com horizonte de 2025 e também com horizonte de 2035, apresenta duas interferências na região de interesse, quais sejam: revitalização, expansão e modernização da rodovia BR-381 e também dois novos possíveis trechos da Estrada Ferroviária Vitória-Minas.

[42] Disponível em: Fonte: https://www.cnabrasil.org.br/boletins/pib-do-agronegocio-alcanca-participacao-de-26-6-no-pib-brasileiro-em-2020#_ftn1
[43] Disponível em: https://ontl.epl.gov.br/planejamento-pnl-2035/

O sistema rodoviário composto pelas BRs 381 e 262, entre Minas Gerais e Espírito Santo, representa importante papel dentro do complexo viário nacional, por permitir a interligação entre os dois estados que abrigam a bacia do rio Doce e o escoamento de produtos agrícolas, pecuários, de mineração e industriais de município de matrizes econômicas diversificadas. A BR-381 liga a cidade de São Paulo a São Mateus, no litoral do Espírito Santo, passando por Belo Horizonte e cidades importantes da bacia como Ipatinga e Governador Valadares. Já a segunda, BR-262, cruza a bacia no sentido leste/oeste, passando por Belo Horizonte, João Monlevade e Rio Piracicaba. Este é o principal sistema rodoviário para escoamento da produção de mineradoras e indústrias de Minas Gerais, tendo como principal destino a infraestrutura portuária do Espírito Santo.

Na rodovia BR-381, apenas o trecho entre São Paulo e Belo Horizonte é duplicado e concessionado (obra iniciada em 1993 e concluída em 2002), sendo que o restante da rodovia permanece com mão-única e não concessionado - ou seja, toda a extensão da rodovia na bacia do rio Doce. Em 2014, fora planejado para os 303 quilômetros entre Governador Valadares e Belo Horizonte, um projeto de duplicação e concessionamento, contudo, dada a situação político-econômica na época, o projeto acabou sendo postergado.

Mais recentemente, a ANTT deu início ao processo de licitação para o concessionamento do sistema rodoviário BR-381 e BR-262[44]. Conforme informações consultadas junto à agência, a concessão é para a exploração da infraestrutura e da prestação de serviço público de recuperação, operação, manutenção, monitoração, conservação, implantação de melhorias e manutenção do nível de serviço do trecho que vai de Belo Horizonte/MG a João Monlevade/MG e Governador Valadares/MG, na BR-381/MG; de João Monlevade/MG à divisa entre Minas Gerais e Espírito Santo, na BR-262/MG; e de Viana/ES à divisa entre os estados do Espírito Santo e Minas Gerais, na BR-262/ES.

De acordo com o Programa de Exploração da Rodovia, as principais melhorias incluem o contorno de Manhuaçu, com 9,74 km de extensão; 402 km de obras de duplicação; 228 km de faixas adicionais; 131 km de vias marginais; 247 melhorias de acessos; 125 correções de traçado; 115 obras de estabilização de taludes; 40 passarelas; 288 paradas de ônibus; três túneis, entre outros. Estão previstas, ainda, 11 praças de pedágio.

Os estudos de concessionamento foram iniciados em meados de 2019, com edital publicado em setembro de 2021, e a expectativa é que o contrato seja assinado no 2º semestre de 2022. Uma vez que se trata de um processo em pleno andamento, o resultado dessa duplicação com melhorias converge com a perspectiva exógena tendencial, com poucas chances de não vir a ser concretizado até ao menos o horizonte de médio prazo (2032) dos cenários.

Com as melhorias previstas pelo Programa de Exploração da Rodovia, os gargalos atuais trazidos pela dificuldade de tráfego em pista simples, incluindo altos índices de acidentes, serão removidos, resultando em maiores velocidades médias de deslocamento e redução de tempo em trânsito. A melhoria da infraestrutura, no entanto, não significa adição ao sistema rodoviário

[44] ANTT aprova edital de concessão da BR-381/262/MG/ES. ANTT, Brasília, 31/08/2021. Disponível em <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/copy_of_antt-aprova-edital-de-concessao-da-br-381-262-mg-es>. Acesso em: 11/02/2021.

atual, com modificações de conexões logísticas, mas sim um alívio à uma restrição produtiva cujo principal impacto será em menores custos com acidentes e redução de custos de transporte.

Potencialmente, conforme rege o paradoxo de Harris-Todara sobre a migração dos trabalhadores do setor agrícola para o industrial, a duplicação pode vir a resultar em uma redução de ocupados no setor primário e consequente aumento no setor secundário. Esse resultado, caso concretizado, advirá de um aumento nos efeitos migratórios rural-urbano na área de influência direta da rodovia duplicada e modernizada.

Embora não conste do PNLT, estão em andamento obras de duplicação do trecho norte da BR-101 no estado do Espírito Santo, abrangendo os municípios de João Neiva, Ibiraçu e Linhares, além do trecho - ainda em discussão - que cruza a Reserva Biológica de Sooretama. Esta duplicação, à exceção das interferências na Rebio, também se apresenta como promotor de alívio de restrições de transporte no sentido de tempo de deslocamento e risco de acidentes. Não há perspectivas de significativas novas conexões ou rotas.

Especificamente sobre o trecho da BR que cruza a Rebio Sooretama, existem evidências científicas para que não se prossiga com os planos de duplicação e, adicionalmente, para que se realizem obras adequadas para a redução do risco de atropelamento de fauna silvestre, tais como travessias de fauna e controles de velocidade. O trânsito na Rebio é intenso e com controle de velocidade inadequado, favorecendo atropelamentos. Segundo Banhos et al. (2021)[45], túneis de drenagem de água servem de passagem para algumas espécies; no entanto, não são mantidos continuamente, reduzindo sua eficácia. A perda de pelo menos uma anta por ano pode ter sérias consequências a longo prazo para uma das últimas populações viáveis da espécie em toda a Mata Atlântica. Existem, ainda, bons argumentos para que haja o desvio completo do trecho a oeste[46].

De forma geral, o Plano Nacional de Logística e Transportes 2035 aponta uma redução da quantidade relativa de carga transportada pelo modal rodoviário em todos os nove cenários analisados, além de uma ligeira redução no cenário contrafactual. O oposto se verifica para o modal ferroviário, que apresenta aumento de participação no total, tanto pelo maior volume de carga transportada como na expectativa de valor econômico destas cargas. Esse aumento na participação ferroviária, que se alinha à estratégia de redução das emissões de gases de efeito estufa e de redução do custo unitário de cargas, se verifica na totalidade dos 9 cenários do PNLT, além de figurar, em grau menor de intensidade, no próprio cenário contrafactual.

Uma profunda modificação ao setor de transportes ferroviários é prevista com a publicação da Lei nº 14.273 de 23 de dezembro de 2021[47], a Lei das Ferrovias. A expectativa é que o novo marco do setor impulsione um crescimento da participação do modal na matriz de transportes nacionais dos atuais 20% para 40% em até 15 anos. Ao instaurar o instituto da outorga por

[45] Banhos, A., A. Gatti, M.R.de D. Santos, L. Merçon, I. Westermeyer, N.C. Ardente, L.F.O.P. Gonzaga, L.M. Barreto, L. Damásio, T.L. Rocha, V.R. Schettino, R. Valls, H.G. Bergallo, M.V.F. Silva, A.S. Bittencourt, D.de O. Moreira & A.C. Srbek-Araujo (2021). Roadkills of Lowland Tapir Tapirus terrestris (Mammalia: Perissodactyla: Tapiridae) in one of its last refuges in the Atlantic Forest. Journal of Threatened Taxa 13(13): 19921–19929.

[46] Disponível em: https://www.seculodiario.com.br/meio-ambiente/eco-101-economiza-em-asfalto-e-toda-sociedade-paga-a-conta-ambiental-e-climatica

[47] Disponível em: https://legis.senado.leg.br/norma/35319491/publicacao/35326366

autorização para o setor ferroviário, permite-se maior penetração da livre iniciativa no mercado ferroviário.

Como forma de mensurar o potencial transformador desse marco legal, tem-se que o Programa de Autorizações Ferroviárias (Pro Trilhos)[48], gerou 76 requerimentos para construção e operação de ferrovias pelo regime de autorização nos primeiros seis meses de sua vigência. Um dos dez requerimentos de autorização ferroviária que já foram solicitados cruza a bacia do rio Doce de leste a oeste, em trecho previsto entre São Mateus/ES e Ipatinga/MG com 420 km de extensão. Uma vez que se trata de solicitação de autorização, trata-se de infraestrutura em estágio inicial de seu longo ciclo de vida. Não obstante, o investimento previsto é de R$ 5 bilhões.

A bacia do rio Doce já é marcada pela presença da Estrada Ferroviária Vitória a Minas (EFVM), que liga os estados de Minas Gerais e Espírito Santo, e se configura até hoje como uma das únicas ferrovias no Brasil a fornecer trens de passageiros com saídas diárias a longas distâncias. Os trilhos cruzam 42 municípios e contam com 30 pontos de embarque e desembarque.

Construídos em 1904, os trilhos seguem em parte pelo vale do rio Doce, e muitas vezes são inutilizados por cheias no próprio rio. Operada pela Vale S.A, a ferrovia possui 894 km de extensão e é utilizada, além do transporte de passageiros, sobretudo para minério de ferro, produtos siderúrgicos, carvão mineral e celulose destinados à exportação via o Complexo Portuário de Tubarão, o Terminal de Vila Velha, o Cais de Paul, a Codesa e o Porto de Barra do Riacho, em Aracruz, no Espírito Santo.

O Cenário 7 do PNLT 2035 simula o impacto da operação de novos trechos ferroviários específicos que possuem interesse declarado de operação sob regime de autorização, ou seja, contemplando o aporte de empreendimentos previstos e autorizações ferroviárias latentes. Dentre os seis trechos considerados, dois são relacionados à EFVM:

- ✓ Sete Lagoas – TUP São Mateus, integração com a EFVM e FCA;
- ✓ Luziânia – Unaí – Pirapora, integração com a EFVM.

O trecho de Sete Lagoas não é extenso, conectando-se ao trecho principal da EFVM provavelmente a partir de Itabira. A potencial hinterlândia não é muito ampla, e é o oposto do que ocorre com o segundo trecho em potencial: este permitiria a Luziânia, Unaí e Pirapora acessarem a EFVM, regiões estas que são produtoras agrícolas e poderiam representar um aumento de carga dessa natureza trafegando pela ferrovia.

O PNLT aclara que não existem informações disponíveis e completas para estes novos trechos, ou seja, não há como se ter assertividade em termos de cronograma, localização e capacidade de terminais, traçado e condições operacionais. Não obstante, a integração destes trechos com a EFVM aumenta a capacidade de utilização da ferrovia e abre caminhos para novas oportunidades econômicas decorrentes.

[48] Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transporte-terrestre/programa-de-autorizacoes-ferroviarias

Da mesma forma que para a consideração dos possíveis novos trechos à EFVM, a possível implementação de um novo trecho ferroviário, previsto entre São Mateus/ES e Ipatinga/MG, de 420 km de extensão, abre a possibilidade de se verticalizar a cadeia de suprimentos produtivos e de escoamento de produtos por meio da malha ferroviária. Uma vez que o custo unitário de transporte - para cargas de menor valor agregado e alto volume, como as commodities agropecuárias e minerais de forma geral - é geralmente mais baixo, deve-se ver um acréscimo de competitividade na região de hinterlândia. Ressalta-se, no entanto, se tratar de duas possibilidades ainda incertas, que convergem com a perspectiva de maior crescimento exógeno e não ainda à perspectiva tendencial.

Dadas as diversas paradas existentes, encadeamentos produtivos poderiam ser favorecidos, bem como a produção agropecuária do território da bacia que é entrecortada pela ferrovia e pode passar a contar com estações de carregamento e transbordo de cargas. Afinal, apesar da carga transportada pela EFVM estar concentrada em minério de ferro, a linha também transporta calcário, granito, contêineres, produtos agrícolas, madeira, combustíveis e cargas diversas, cargas estas que podem aumentar em significância. Ressalta-se, no entanto, se tratar de uma possibilidade incerta, que converge com a perspectiva de maior crescimento exógeno e não à perspectiva tendencial.

Na região litorânea da bacia do Doce não existe complexo portuário, muito embora os portos Portocel e Imetame, bem como o Complexo Portuário de Urussuquara, estejam localizados em municípios adjacentes a Linhares, que é o maior município da porção capixaba da bacia e que conta com relevante atividade industrial. Grande parte da produção industrial, da mineração, das rochas ornamentais, celulose e demais produtos destinados à exportação, advindos de Minas Gerais, tem como destino estes portos. Não foi identificada previsão de ampliação de infraestrutura ou de novos investimentos nesses empreendimentos, mas sim a possibilidade de novos empreendimentos portuários em Aracruz (no norte do Estado).

3.2.5.2 Energia

O Plano Nacional de Energia 2050 da Empresa de Pesquisa Energética (EPE)[49] apresenta diversos mapas de contexto relacionados a expansão do consumo e projeção de capacidade de geração necessária para a matriz energética brasileira, abordando a geração hidrelétrica, carvão mineral, combustíveis líquidos e geração termonuclear. Como documento orientador de longo prazo, aponta as tendências de descarbonização e transição energética para uma matriz que conta com uma participação maior de renováveis, com crescimento da geração eólica, solar e biomassa superior ao de novas hidrelétricas.

Segundo o Plano, na região da bacia do rio Doce são previstas ações para a adequação e modernização da geração de energia por hidrelétricas, obtendo-se assim maior eficiência para o parque gerador já instalado. O Plano Decenal de Expansão de Energia 2021-2030[50], documento executivo das diretrizes do Plano Nacional, também apresenta a modernização de usinas

[49] Disponível em: https://www.epe.gov.br / sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/ PublicacoesArquivos/publicacao-227 /topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf
[50] Disponível em: https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2031

hidrelétricas existentes. Também aponta, na síntese da expansão prevista para as diversas fontes energéticas, um elenco de 22 projetos hidrelétricos - nenhum deles na bacia do rio Doce.

Como expansão de outras fontes de energia, tem-se a indicação de 15 usinas termelétricas contratadas a biomassa, sendo 20% com resíduos florestais ou cavaco de madeira que podem vir a se localizar no rio Doce por conta da disponibilidade de combustível. De forma indicativa, tem-se outros 460 MW a serem contratados para geração via bagaço de cana e biogás de resíduos sólidos urbanos.

Há, adicionalmente, um indicativo de contratação de 10,36 GW de termelétricas a gás natural nos subsistemas SE/CO e S, com rebatimento potencial na bacia do rio Doce. Em especial, pode-se vislumbrar um aumento na capacidade de geração no Espírito Santo, que já conta, no município de Linhares, com uma UTE cujo combustível advém da Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) e dos terminais de GNL da Petrobrás no Rio de Janeiro e na Bahia.

Por fim, há um total de 5,33 GW de expansão prevista para a fonte fotovoltaica, sendo que 1,68 GW (48 projetos) estão contratados no Nordeste e no Sudeste, e há indicativo de outros 3,66 GW nos subsistemas SE/CO. Embora esse potencial possa vir a se instalar na bacia do rio Doce, a base de empreendimentos com registro no órgão regulador não indica essa latência, como se vê abaixo.

Uma vez que o planejamento do setor energético é dado pela contratação de empreendimentos privados via leilão para fornecimento ao Sistema Interligado Nacional (SIN), guiados pelo Plano Decenal, cabe observar o que já está cadastrado na Agência Nacional de Energia Elétrica em seu Sistema de Informações de Geração (SIGA)[51]. Esta base de dados apresenta os empreendimentos em fase de operação, em construção ou em fase de construção não iniciada. As últimas duas categorias (em construção ou construção não iniciada) remetem aos empreendimentos que já participaram com sucesso dos leilões ou que serão instalados para fornecimento próprio de energia; de qualquer forma, estão em fase avançada do processo de implantação e podem ser alinhados ao cenário tendencial. Primeiramente, no entanto, apresentam-se os empreendimentos em fase de operação.

O Quadro 3.12 relaciona os 5 empreendimentos em fase de operação que geram energia elétrica por meio de termoeletricidade (UTE), localizados na bacia do rio Doce. No total, estes empreendimentos contam com uma potência outorgada de 395 MW, sendo que três deles são a biomassa e outros dois a gás natural. Interessante notar que a UTE LASA, de combustível a biomassa (bagaço da cana, consorciado com aproveitamento da palha da cana) oriunda do processo de produção de etanol, embora esteja em operação desde 1986, apenas recentemente ampliará sua potência instalada de 3,2 MW para os 33 MW já outorgados[52].

[51] Consulta ao Sistema de Informações de Geração (SIGA), disponível em: https://www.aneel.gov.br/siga
[52] Disponível em: http://jornalopioneiro.com.br/ampliacao-da-usina-termeletrica-da-lasa-deve-ser-inaugurada-em-novembro/

QUADRO 3.12 - EMPREENDIMENTOS OUTORGADOS DO TIPO TERMELETRICIDADE EM FASE DE OPERAÇÃO NA BACIA DO RIO DOCE

Empreendimento	*Origem e tipo*	*Combustível*	*Entrada em Operação*	*Potência Outorgada (MW)*	*Município (s)*
Usiminas	Biomassa - Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	05/2003	18,81	Ipatinga - MG
Usiminas 2	Biomassa - Floresta	Gás de Alto Forno - Biomassa	01/2009	63,16	Ipatinga - MG
Lasa	Biomassa - Agroindustriais	Bagaço de Cana de Açúcar	06/1982	33,00	Linhares - ES
Luiz Oscar Rodrigues de Melo (LORM, antiga Linhares)	Fóssil - Gás natural	Gás Natural	12/2010	240,00	Linhares - ES
Ipatinga	Fóssil - Gás natural	Calor de Processo - GN	01/1986	40,00	Ipatinga - MG

Fonte: Compilação própria a partir dos dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL

Além da geração de energia por termelétricas, a bacia do rio Doce conta com 47 empreendimentos em fase de operação no Sistema de Informações de Geração da ANEEL que fazem uso de aproveitamento hidráulico para geração de energia (Quadro 3.13). No conjunto, estes empreendimentos somam uma potência outorgada de 1.473 MW. A maior parte deles (34) são do tipo CGH ou PCH, e representam 12% da potência total (181 MW), enquanto outros 13 empreendimentos são do tipo Usina Hidrelétrica. As oito principais usinas hidrelétricas em operação, que representam 84% da potência outorgada em operação com essa fonte geradora (1.240 MW), são: Sá Carvalho, Salto Grande, Mascarenhas, Guilman Amorim, Porto Estrela, Risoleta Neves, Aimorés e Baguari.

QUADRO 3.13 - EMPREENDIMENTOS OUTORGADOS DO TIPO POTENCIAL HIDRÁULICO EM FASE DE OPERAÇÃO NA BACIA DO RIO DOCE

Empreendimento	*Fonte*	*Entrada em Operação*	*Potência Outorgada (MW)*	*Município (s)*
Cachoeira Alta	CGH	01/1918	0,30	Reduto - MG
Brito	CGH	01/1924	2,90	Ponte Nova - MG
Roça Grande	CGH	01/1929	0,77	Manhuaçu - MG
Limoeiro	CGH	06/1930	0,26	Canaã - MG, São Miguel do Anta - MG
Bom Jesus do Galho	CGH	01/1931	0,36	Bom Jesus do Galho - MG
Salto	CGH	12/1940	4,51	Belo Horizonte - MG
Caboclo	CGH	12/1944	4,42	Belo Horizonte - MG
Santa Maria	CGH	06/1946	0,24	Colatina - ES
Funil	CGH	12/1949	4,23	Belo Horizonte - MG
Cachoeira dos Prazeres	CGH	01/1951	3,76	Ouro Preto - MG
Cachoeira do Oito	CGH	06/1953	0,24	Colatina - ES
Sumidouro	CGH	02/1954	2,12	Bom Jesus do Galho - MG
Tabocas	CGH	06/1954	0,44	Santa Teresa - ES
Realeza	CGH	01/1956	0,30	Manhuaçu - MG

Empreendimento	*Fonte*	*Entrada em Operação*	*Potência Outorgada (MW)*	*Município (s)*
Cachoeira da Onça	CGH	06/1972	0,90	São Gabriel da Palha - ES
Nova Ponte Queimada II	CGH	01/1983	3,00	Rio Casca - MG
Barra	CGH	12/2011	1,00	Nova Era - MG
Anjos	CGH	08/2012	0,83	Guaraciaba - MG
Durandé	CGH	04/2013	3,00	Durandé - MG
INGÁ MIRIM	CGH	07/2014	1,00	Durandé - MG
Ingá	CGH	11/2015	1,26	Durandé - MG
Vermelho Velho	CGH	11/2015	2,50	Raul Soares - MG
Simonésia	CGH	12/2015	3,00	Simonésia - MG
Furquim	PCH	11/2003	6,00	Mariana - MG
Paiol	PCH	03/2010	20,00	Frei Inocêncio - MG, Mathias Lobato - MG
Pipoca	PCH	10/2010	20,00	Caratinga - MG, Ipanema - MG
Varginha	PCH	10/2010	9,00	Chalé - MG, São José do Mantimento - MG
Barra da Paciência	PCH	03/2011	23,00	Açucena - MG, Gonzaga - MG
Várzea Alegre	PCH	04/2011	7,50	Conceição de Ipanema - MG
Senhora do Porto	PCH	05/2018	12,00	Dores de Guanhães - MG
Dores de Guanhães	PCH	10/2018	14,00	Dores de Guanhães - MG
Fortuna II	PCH	01/2019	9,00	Guanhães - MG, Virginópolis - MG
Jacaré	PCH	05/2019	9,00	Dores de Guanhães - MG
São Luiz	PCH	08/2021	10,50	Laranja da Terra - ES
Peti	UHE	05/1946	9,40	São Gonçalo do Rio Abaixo - MG
Sá Carvalho	UHE	01/1951	78,00	Antônio Dias - MG
Salto Grande	UHE	01/1956	102,00	Braúnas - MG
Brecha	UHE	01/1958	17,00	Guaraciaba - MG
Dona Rita	UHE	01/1959	2,41	Santa Maria de Itabira - MG
Sinceridade	UHE	03/1963	1,42	Manhuaçu - MG, Reduto - MG
Mascarenhas	UHE	09/1973	198,00	Baixo Guandu - ES, Aimorés - MG
Guilman Amorim	UHE	11/1997	140,00	Antônio Dias - MG, Nova Era - MG
João Camilo Penna (Antiga Cachoeira do Emboque)	UHE	01/1998	21,60	Raul Soares - MG
Porto Estrela	UHE	09/2001	112,00	Açucena - MG, Braúnas - MG, Joanésia - MG

Empreendimento	*Fonte*	*Entrada em Operação*	*Potência Outorgada (MW)*	*Município (s)*
Risoleta Neves (Antiga Candonga)[1]	UHE	09/2004	140,00	Rio Doce - MG, Santa Cruz do Escalvado - MG
Aimorés	UHE	07/2005	330,00	Baixo Guandu - ES, Aimorés - MG
Baguari	UHE	09/2009	140,00	Alpercata - MG, Fernandes Tourinho - MG, Governador Valadares - MG, Iapu - MG, Periquito - MG, Sobrália - MG

(1) UHE impactada pelo rompimento da barragem de Fundão
Fonte: Compilação própria a partir dos dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL

Não foram identificados, no Sistema de Informações de Geração da ANEEL, empreendimentos geradores de energia elétrica de fonte eólica na bacia do rio Doce. No entanto, existem 4 empreendimentos de geração fotovoltaica, cuja potência outorgada total soma 1,3 MW. Esses empreendimentos estão localizados nos municípios de Linhares - ES, Barra de São Francisco - ES e dois deles em Ipatinga - MG.

Já quanto aos empreendimentos em fase de construção, ou mesmo em construção não iniciada, porém já autorizados para tal, tem-se 9 identificados para a bacia do rio Doce (Quadro 3.14). Nota-se que há uma termelétrica a gás natural no município de Linhares-ES e oito hidrelétricas, sendo 7 PCHs e uma CGH.

QUADRO 3.14 - EMPREENDIMENTOS OUTORGADOS EM FASE DE CONSTRUÇÃO OU CONSTRUÇÃO NÃO INICIADOS NA BACIA DO RIO DOCE

Empreendimento	*Fonte*	*Fase*	*Potência Outorgada (MW)*	*Município (s)*
Povoação 1	UTE	Construção não iniciada	74,96	Linhares - ES
Antônio Dias (Antiga Água Limpa)	PCH	Construção não iniciada	23,00	Antônio Dias - MG
Brejaúba	PCH	Construção não iniciada	11,00	Conceição do Mato Dentro - MG, Ferros - MG
Caldeirões	PCH	Construção não iniciada	15,00	Barra Longa - MG
Chalé	CGH	Construção	2,10	Chalé - MG
Melo Viana	PCH	Construção não iniciada	6,52	Raul Soares - MG
Monjolo	PCH	Construção não iniciada	15,00	Conceição do Mato Dentro - MG, Santo Antônio do Rio Abaixo - MG
Pontal	PCH	Construção não iniciada	29,00	Ponte Nova - MG
Sumidouro	PCH	Construção não iniciada	13,00	Conceição do Mato Dentro - MG, Santo Antônio do Rio Abaixo - MG

Fonte: Compilação própria a partir dos dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL

A mesma base de dados permite consultar empreendimentos em fase de estudo, ou seja, com a contratação ainda incerta, mas com interesse suficiente por parte do empreendedor para solicitar registro junto ao regulador. Nota-se pelo Quadro 3.15 que existem outras duas UTEs em Linhares/ES, além de 21 outras PCHs e 2 UHE (uma no rio Piranga e outra no rio Manhuaçú, em Minas Gerais).

QUADRO 3.15 - EMPREENDIMENTOS OUTORGADOS EM FASE DE ESTUDO NA BACIA DO RIO DOCE

Empreendimento	*Fonte*	*Fase*	*Potência Outorgada (MW)*	*Município (UTE) ou Curso d'água (PCH e UHE)*
Linhares 2	UTE	DRO	36,00	Linhares - ES
Linhares III	UTE	DRO	102,00	Linhares - ES
Barro Preto	PCH	DRS-PCH	20,00	Manhuaçu - MG
Boa Vista	PCH	DRS-PCH	8,00	Suaçuí Pequeno - MG
Bom Retiro	UHE	DRS-UHE	31,00	Piranga - MG
Bonfim de Baixo	PCH	DRS-PCH	8,51	Matipó - MG
Brito	PCH	DRI-PCH	23,00	Piranga - MG
Cachoeira da Fumaça	PCH	DRS-PCH	8,00	Tronqueiras - MG
Cantagalo	PCH	DRS-PCH	30,00	Piranga - MG
Emparedado Alto	PCH	DRS-PCH	28,00	Suaçuí Grande - MG
Ferradura	PCH	DRS-PCH	23,50	Santo Antônio - MG
Guaraciaba	PCH	DRS-PCH	19,50	Piranga - MG
Jurumirim (Antiga Jurumirim Baixo)	PCH	DRI-PCH	17,50	Casca - MG
Limeira	PCH	DRS-PCH	14,00	Suaçuí Grande - MG
Ouro Fino	PCH	DRS-PCH	28,40	Santo Antônio - MG
Pirapitinga	PCH	DRS-PCH	8,00	Suaçuí Pequeno - MG
Porcos	PCH	Aceito-PCH	5,50	Santo Antônio - MG
Porto Firme	PCH	DRS-PCH	16,50	Piranga - MG
Porto Santa Rita Alto	PCH	DRS-PCH	16,50	Corrente Grande - MG
RC 2	PCH	DRS-PCH	5,80	Rio do Carmo - MG
Retiro 1	PCH	DRS-PCH	19,00	Suaçuí Pequeno - MG
Rosário	PCH	DRS-PCH	10,98	Rio do Carmo - MG
Santo Antônio	PCH	Aceito-PCH	7,00	Santo Antônio - MG
Travessão	UHE	DRS-UHE	38,00	Manhuaçú - MG
Vila Bonito Alto	PCH	DRS-PCH	17,00	Suaçuí Grande - MG

Nota: Aceito - Obtenção de autorização e Outorga junto ao órgão; DRO - Despacho de Registro de Requerimento de Outorga; DRS - Despacho de Registro da Adequabilidade do Sumário Executivo; DRI - Despacho de Registro de Intenção à Outorga de Autorização
Fonte: Compilação própria a partir dos dados do Sistema de Informações de Geração da ANEEL

Como tendências de médio prazo (dez anos), e como conteúdo de subsídio ao Plano Decenal de 2022 a 2031, apresentam-se desafios e oportunidades para o setor energético[53]. No primeiro grupo, tem-se a compatibilização da geração e transmissão de energia com a conservação da biodiversidade e a compatibilização da geração de energia com o uso da água, o que reforça o nexo entre os dois setores, principalmente no tangente aos aproveitamentos hidrelétricos. Já no segundo grupo, de oportunidades, o Plano traz o aproveitamento do potencial de geração de

[53] Nota Técnica EPE/DEA/SMA/004/2022 - Análise Socioambiental das Fontes Energéticas do PDE 2031, janeiro de 2022.

energia elétrica a partir de resíduos, bem como a otimização de recursos e de infraestruturas existentes.

Nota-se, por fim, que o estado de Minas Gerais apresenta um programa com investimentos diretos voltados para a expansão da energia fotovoltaica. Essa fonte, de geração de energia distribuída, não é associada a retiradas hídricas e pode ser desconsiderada na modelagem de demandas hídricas do presente Plano de Bacia. Não obstante, o crescimento dessa fonte geradora de energia pode vir a reduzir a pressão por novos empreendimentos hidrelétricos. Ademais, inobstante cerca de 90% dos módulos fotovoltaicos mundiais sejam fabricados na China, o Brasil conta com uma fábrica em São Paulo e pode, a depender da demanda e das condições locais de produção mineral e tecnologia, apresentar condições de mercado para uma nova fábrica de componentes. Um elemento crucial para tanto é a mineração e beneficiamento de minérios específicos, componentes das células fotovoltaicas que representam, por sua vez, cerca de 60% do custo do módulo. Nota-se que um dos mecanismos da estratégia mineira de fomento à energia solar é dado pela Lei nº 23.762/2021, que prevê a redução do ICMS sobre equipamentos, peças, partes e componentes utilizados na instalação de micro e mini sistemas de geração distribuída de energia elétrica no estado com capacidade de até 5 megawatts.

3.2.5.3 Saneamento Básico

Como fora observado anteriormente, a conjuntura fiscal restritiva do Brasil, que se conformou mais intensamente no último quinquênio e que tende a se agravar devido às consequências dos gastos expansionistas no combate à pandemia da Covid-19 e da política monetária contracionista em razão dos choques de oferta posteriores (preços dos combustíveis e conflito na eurásia) colocam uma perspectiva de ainda mais retração dos investimentos públicos, incluindo aqueles voltados ao setor de saneamento. O Governo Federal tem incentivado o aumento da participação privada nos serviços de saneamento como resposta à histórica baixa capacidade pública, tanto no condizente aos volumes aportados de recursos, como na capacidade de efetivação de obras.

De relevância, nota-se a instituição do Fundo de Apoio à Estruturação e ao Desenvolvimento de Projetos de Concessões e Parcerias Público-Privadas, criado pela Medida Provisória (MP) n° 786/2017 e administrado pela Caixa Econômica Federal. O fundo presta auxílio aos municípios e consórcios de municípios na implementação de parcerias público-privadas, mediante financiamento de estudos de viabilidade dos projetos. Constituído com recursos da Secretaria Especial do PPI, o Decreto nº 10.564/2020 permite que o Governo Federal aumente seus aportes, desde que haja verba disponível de acordo com a Lei de Responsabilidade Fiscal. Mesmo com o apoio federal, qualquer iniciativa de arranjo público-privado deve ser acompanhada e validada pelo titular dos serviços: o município e, em regiões metropolitanas, os municípios integrantes e o estado.

Existe uma expectativa de crescimento do setor de saneamento rumo à universalização em função do aporte de recursos privados, estimulados pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020).

Uma das principais atualizações da legislação é a dotação, à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, da regulação a nível federal. A ANA passa a ter competência para instituir normas de referência para a regulação dos serviços nos seguintes temas: i) padrões de qualidade e eficiência; ii) regulação tarifária; iii) padronização de instrumentos negociais; iv) metas de universalização; v) contabilidade regulatória; vi) controle de perdas de água; vii) metodologia de cálculo de indenizações por investimentos não amortizados; viii) governança das agências reguladoras; ix) reúso de efluentes sanitários; x) parâmetros de caducidade dos contratos de prestação dos serviços; xi) sistemas de tratamento de efluentes; xii) sistema de avaliação do cumprimento de metas; e xiii) prestação universalizada e sustentabilidade econômico-financeira.

A estruturação de normas de referências para a regulação do saneamento emerge como pilar para o aumento da segurança jurídica do setor ao promover a harmonização da regulação e a implementação de critérios mínimos de qualidade. Adicionalmente, uma vez que o Marco Legal condiciona a existência de entidade reguladora independente à validade dos contratos de delegação da prestação dos serviços, a ampliação da participação da iniciativa privada passa a estar condicionada à regulação.

A Lei nº 14.026/2020 amplia a concorrência e cria isonomia competitiva ao retirar a possibilidade de firmar novos contratos de programa para a prestação de serviços públicos de saneamento básico. Assim, caso o prestador não integre a administração do titular, a formalização dependerá da celebração de contrato de concessão, mediante prévia licitação. Os contratos de programa regulares vigentes permanecerão em vigor até o advento do seu termo contratual.

A nova legislação também passa a exigir que os contratos de prestação dos serviços públicos de saneamento definam metas de universalização que garantam o atendimento de 99% da população com água potável e de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033. Os contratos em vigor que não possuírem essas metas terão até 31 de março de 2022 para ajustar. Caso o atingimento das metas seja comprovadamente infactível, fica permitida a dilatação do prazo, desde que não ultrapasse 01 de janeiro de 2040 e haja anuência prévia da agência reguladora, que, em sua análise, deverá observar o princípio da modicidade tarifária. Atualmente as metas, quando existentes, são definidas no próprio contrato (de programa ou concessão) ou, ainda, nos planos municipais de saneamento básico.

Outra alteração trazida pela legislação de 2020 é quanto ao incentivo à conexão do usuário na rede de esgotamento sanitário. Quando disponibilizada rede pública, o usuário, sob o conceito do poluidor-pagador, estará sujeito ao pagamento de taxas ou tarifas decorrentes da disponibilização e da manutenção da infraestrutura e do uso desses serviços, mesmo no caso em que sua edificação não esteja conectada à rede pública. Entende-se, pois, que os impactos do saneamento são coletivos, de modo que o usuário que não se conecta à rede se beneficia individualmente ao não pagar a tarifa, enquanto os efeitos da sua escolha geram externalidades negativas à coletividade, afetando a saúde da população do entorno.

Por fim, a atualização do Marco Legal prevê o estabelecimento de blocos de referência para a prestação regionalizada dos serviços públicos, no intuito de viabilizar os ganhos de escala e a inclusão de áreas menos rentáveis aos blocos de concessão. Para que a regionalização traga os

resultados desejados de ganhos de escala e benefícios decorrentes da competição pela prestação dos serviços, é necessário que a premissa da estruturação dos blocos seja ancorada na viabilidade operacional, econômica e financeira. Os Governos Estaduais, com apoio da União, terão papel central no enfrentamento desse desafio.

3.2.5.4 Movimentos Demográficos

O Brasil atravessa uma transição demográfica marcada pela queda nas taxas de crescimento populacional. Em 2010, a taxa de crescimento geométrica nacional era de 0,88%, e é projetada pelo IBGE em 0,77% para 2020 (queda de 13 pontos percentuais). Esse mesmo dado para Minas Gerais é ainda mais intenso, saindo de 0,70% para 0,59% (queda de 16 pontos percentuais). No Espírito Santo, respectivamente, as taxas caíram de 1,29% para 1,13% (queda de praticamente 13 pp).

Parte da queda nas taxas de crescimento é oriunda da queda na fecundidade total (número de filhos por mulher), que no Brasil era de 2,73 em 1991, passa para 2,29 quando mensurada pelo censo demográfico de 2000, e alcança níveis europeus ainda em 2010 (1,75). Segundo as projeções do IBGE para 2020, a taxa atual deve ter se mantido (1,76). Embora diferentes regiões do País apresentem níveis distintos de fecundidade, todas compartilham da redução. Em Minas Gerais, a taxa de fecundidade total era de 1,57 em 2010 e é estimada em 1,61 em 2020 e em 1,60 em 2030. Já no Espírito Santo, era de 1,73 em 2010 e é estimada em 1,83 em 2020 e em 1,79 em 2030.

Comparando-se os anos de 2000 com 2010 (últimos censos demográficos) na distribuição etária da população de Minas Gerais e do Espírito Santo, nota-se um estreitamento da base da pirâmide etária concomitante ao alargamento do seu centro e, também, aumento de seu topo. Em 2000, 28,4% da população mineira e 28,7% da capixaba tinha menos de 15 anos; já em 2010, essa razão caiu, respectivamente, para 22,4% e 23,1%. Em contrapartida, a proporção da população com mais de 65 anos, que era de 6,2% em Minas Gerais e de 5,5% no Espírito Santo em 2000, passou a ser de 8,2% e 7,1%, respectivamente, em 2010. Esta modificação na estrutura etária pode ser observada pelas pirâmides demográficas da Figura 3.5, que seguem seu curso de mudança de acordo com as projeções do IBGE.

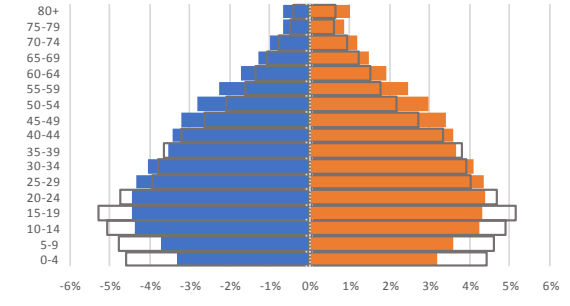
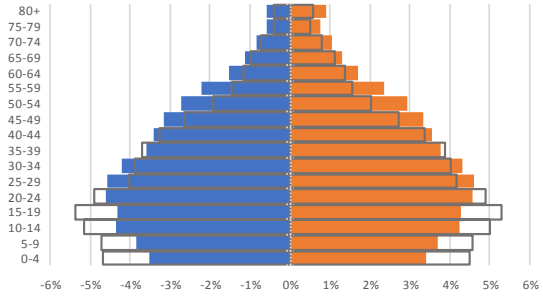
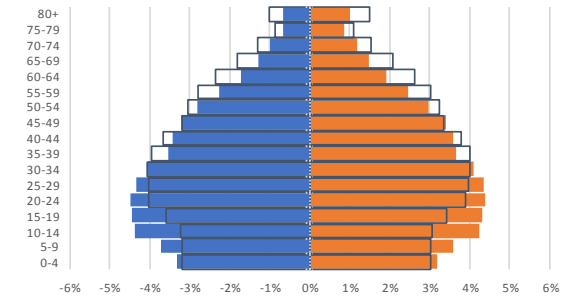
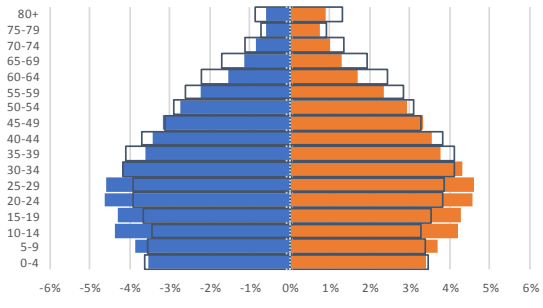
Esses dados traduzem a modificação estrutural na demografia do País e evidenciam a interação em diversos graus de aspectos como a independência feminina, melhor instrução, maior capacidade de planejamento familiar, melhores acessos às formas de controle de natalidade e uma maior renda. Existem, outrossim, uma miríade de outros aspectos plausíveis que, embora certamente influentes, são menos claros quando de uma análise generalista.

Como próxima fase da transição demográfica, os baixos níveis de fecundidade e mortalidade geram crescimento populacional mais lento, com diminuição do peso da população em idade ativa e significativo envelhecimento da estrutura etária. Espera-se, inclusive, que esses dados já venham a estar inscritos na próxima pirâmide etária a ser construída quando da realização do censo demográfico (possivelmente em 2022).

Tem-se, assim, expectativa de arrefecimento do fenômeno conhecido como "bônus demográfico"[54], pois a população mais velha, que volta a demandar serviços públicos e seguridade social, já passa a compor frações crescentes da população, reduzindo os ganhos econômicos da transição. O índice de envelhecimento, calculado como a razão da população de 65 anos ou mais sobre a população de até 15 anos, é estimado para 2020 em 59,5 em Minas Gerais e em 47,6 no Espírito Santo, ambos superiores aos índices verificados em 2010, respectivamente 35,5 e 29,4. Para 2030, esse índice deve ser de 90,8 em Minas Gerais e de 73,8 no Espírito Santo, subindo ainda mais para, respectivamente, 130,3 e 105,3 em 2040.

Em termos absolutos, estima-se que a população do estado de Minas Gerais esteja em 21,29 milhões de habitantes, passando a crescer em cerca de um milhão de pessoas até 2030 e depois, até 2040, em apenas 200 mil. A população mineira de 2040 terá, no entanto, 583 mil jovens (até 15 anos) a menos do que a atual, concomitante à adição de cerca de 2 milhões de sêniores (mais de 65 anos).

No Espírito Santo, onde se estima uma população de 4,06 milhões de habitantes, a variação até 2030 é projetada em 392 mil pessoas (atingindo 4,45 milhões) e depois, até 2040, em 273 mil. A população capixaba de 2040 terá, no entanto, 40 mil jovens (até 15 anos) a menos do que a atual, concomitante à adição de cerca de 440 mil sêniores (mais de 65 anos).

Minas Gerais	*Espírito Santo*
	
Censo de 2010 (barras sólidas), Censo de 2000 (barras transparentes)	
	
Censo de 2010 (barras sólidas), Projeção IBGE 2020 (barras transparentes)	

[54] O "bônus demográfico" perfaz ambiente favorável ao fomento do desenvolvimento, pois há aumento da participação da população em idade economicamente ativa, ao passo que aquelas em idade não ativa reduzem a sua participação, com a redução concomitantemente da pressão por serviços públicos.

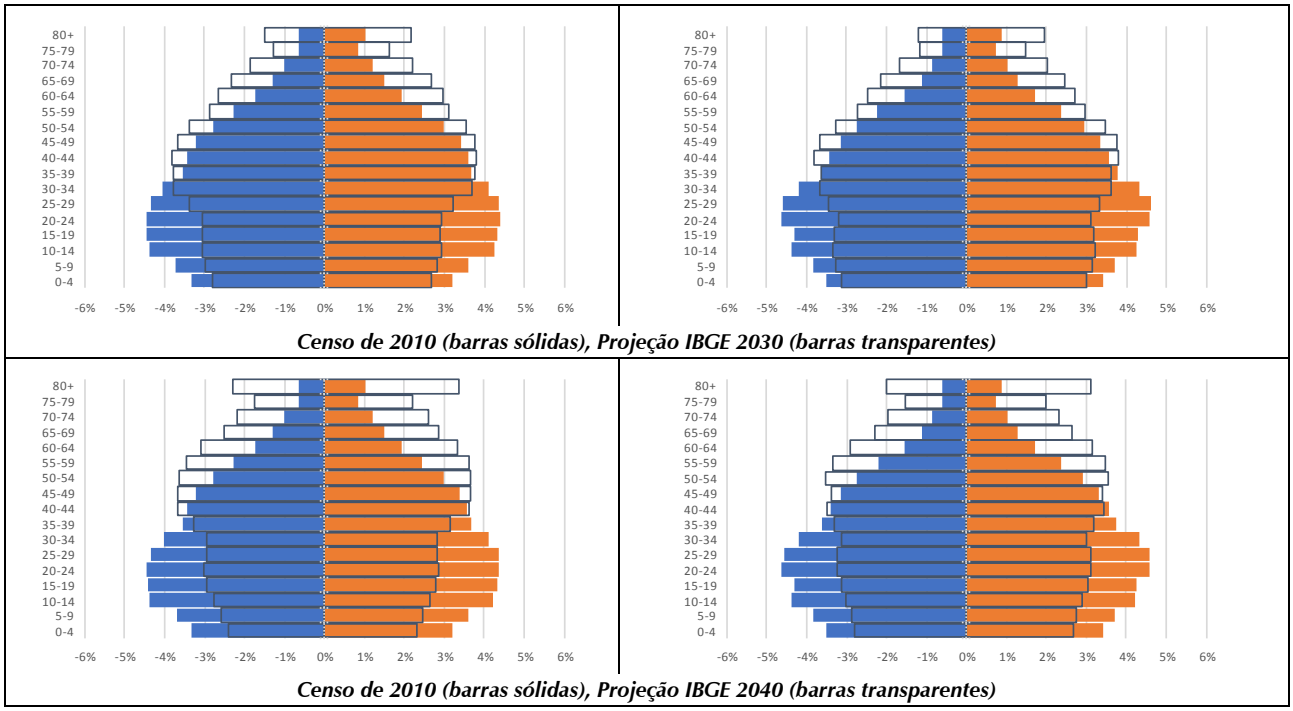


Figura 3.26 - Pirâmides etárias mineira e capixaba (homens em azul, mulheres em vermelho)

As projeções demográficas apontam para a estabilização do crescimento populacional, em termos absolutos, que deve atingir seu pico até o final da década de 2030. Ademais, segundo a EPE[55], não há perspectiva de uma alteração significativa da distribuição da população nas regiões geográficas. As projeções demográficas do IBGE entre 2021 e 2030 apontam para um saldo migratório interno de cerca de 23 mil pessoas a menos em Minas Gerais (perda de população) e de cerca de 90 mil pessoas a mais no Espírito Santo (ganho de população). Os valores absolutos, no entanto, são irrisórios.

Embora haja expectativa de mudanças populacionais brandas em termos quantitativos, a modificação na estrutura etária evidenciada pelas pirâmides demográficas terá diversas consequências, como foi abordado acima. Além dessa modificação, deverá ocorrer nas próximas décadas, outras duas mudanças significativas: a continuidade da diminuição da razão de habitantes por domicílio e a continuidade no processo de urbanização.

O primeiro fenômeno decorre, principalmente, de ganhos de renda da população. Novamente segundo EPE (2021, *op. cit*), espera-se que a relação de habitantes por domicílio no País passe de 3,0 em 2021 para 2,7 em 2031. Embora esse fator seja crucial para o planejamento urbano e de seus serviços públicos correlatos (incluindo o saneamento básico), no âmbito dos planos de bacia é o segundo fenômeno que mais tem repercussões. Afinal, a conformação das demandas hídricas depende da distribuição da população nos meios urbano (atendido em água e esgoto majoritariamente por sistemas em rede) e rural.

O Brasil de 1991 era 75,6% urbano, passando em 2000 para 81,2%, em 2010 para 84,4% e culminando com a estimativa atual de cerca de 87,5%. A velocidade do êxodo rural tem sido paulatinamente reduzida e até revertida em alguns casos em que há crescimento econômico

[55] Nota Técnica EPE/DEA/SEE/019/2021 - Cenários Econômicos para os próximos dez anos, dezembro de 2021.

intenso do setor primário. Afinal, a interação entre as dinâmicas demográfica e econômica torna-se inevitável, pois há interrelação direta entre os movimentos de êxodo e adensamento com aqueles vinculados ao dinamismo de uma economia.

Uma região que se adensa, pode estar assim o sendo devido à atração de mão-de-obra, por exemplo. Passa a sofrer, então, maiores demandas por serviços e equipamentos públicos e, como em um repente, passa também a enfrentar problemas com mobilidade e segurança pública, cocriações do crescimento que não se faziam perceber na situação imediatamente anterior. Essa demanda por mão-de-obra pode ser tanto oriunda de um grande projeto de investimento como fruto da polarização da população, que tende a se concentrar justamente no entorno de locais já adensados (fenômeno conhecido e utilizado para projeções como atração gravitacional). Nesse sentido, prepondera o papel da indústria como ofertante de emprego que, geralmente, se localiza no meio urbano. Há, portanto, uma certa vinculação entre as perspectivas de reindustrialização do país e da intensidade do êxodo rural.

Podem-se elencar, ainda outros dois elementos que alteram as dinâmicas dos meios urbano e rural e geram incertezas quanto ao resultado disso em termos populacionais. O primeiro deles é o fato de a própria divisão urbano-rural ser, na realidade, composta por um vasto espectro de situações que vão desde cidades adensadas até situações peri-urbanas e sedes distritais com um "centro" comercial e populações espalhadas ao redor, porém a ela conectadas, até o extremo de uma população rural isolada da sede em termos de transportes e serviços públicos. A distinção urbano-rural, ainda, é suscetível a conjunturas da política urbana de cada cidade que não necessariamente encontram coerência entre cidades.

Já o segundo elemento é a "aproximação" relativa do meio rural com o urbano, devido tanto à infraestrutura física (deslocamentos facilitados, tanto por via terrestre quanto aérea) quanto à virtual. As consequências da pandemia da Covid-19 permitiram reocupar, de certa forma, cidades menores sem romper vínculos de trabalho devido às possibilidades de trabalho remoto. Embora ainda não se possa avaliar esse fenômeno com a devida precisão, pode-se de forma plausível conceber uma situação em que muitos desses profissionais permaneçam longe dos centros urbanos e, com isso, acabem por gerar uma alteração na dinâmica das cidades interioranas.

3.3 PROSPECÇÕES SETORIAIS

O presente item descreve e discute as perspectivas endógenos e exógenas específicas a cada setor de influência nos recursos hídricos, considerando aspectos qualitativos e quantitativos. Têm-se abordagens específicas para o abastecimento humano e esgotamento sanitário, agricultura e agricultura irrigada, silvicultura, criação animal, aquicultura, mineração, indústria e geração de energia, todos eles apresentando demandas quantitativas e também qualitativas. Ao final, a composição de perspectivas de cada um dos setores conforma os cenários agregados que são submetidos aos modelos de cálculo de balanço hídrico e de simulação de cargas poluentes futuras.

Um dos componentes das demandas hídricas advém da categoria de usuários denominada "outros", cuja vazão demandada é obtida via cadastro de usuários junto aos órgãos responsáveis. Esse perfil de uso demanda uma vazão nada desprezível de 2,11 m³/s (3,2% da vazão total), maior, inclusive, que a dos usos de geração de energia termelétrica e de aquicultura. Não obstante a relevância, torna-se difícil estimar as perspectivas para tais usos que não têm, por definição, uma associação clara às atividades econômicas subjacentes. Trata-se, no mais das vezes, de interferências de captação para consumo humano associadas a condomínios, clubes, áreas de lazer, indústrias ou mesmo a propriedades rurais afastados dos centros urbanos e da possibilidade de se conectarem às redes de abastecimento. Dessa feita, os cenários mantêm tais demandas hídricas constantes.

As sementes de futuro abordadas no item anterior são aqui referenciadas sempre que afetam as perspectivas setoriais, bem como sua leitura ordena as perspectivas aqui traçadas, realizando, assim, uma abordagem específica à bacia do rio Doce a partir das possibilidades mais amplas de futuro.

3.3.1 Abastecimento Humano e Esgotamento Sanitário

Segundo o item 2.1.1 deste relatório, as demandas de abastecimento da população humana, urbana e rural, somam 8,10 m³/s, o que corresponde a 12,3% do total demandado das águas da bacia do rio Doce. A vazão de retirada para o abastecimento humano no meio urbano é de estimada em 7,07 m³/s, com 1,03 m³/s para o meio rural. O abastecimento humano se configura como importante setor usuário especialmente nas bacias afluentes mineiras. Na DO1, corresponde a 28,5% das demandas hídricas; na DO5, perfaz 26,7% do total; já na DO6, essa participação é de 20,4%; enquanto na DO4 é de 20,3%.

Em sua versão de 2010, o PIRH Doce havia previsto um crescimento tendencial de 29,2% para as demandas de abastecimento humano, cujo ponto de partida foi estimado em 7,645 m³/s (ano base de 2006). Conforme se observa pelo Quadro 3.16, a vazão demandada atualmente se alinha com a expectativa de pouco desenvolvimento, entre 8,054 e 8,493 m³/s.

QUADRO 3.16- RETIRADA PROJETADA PARA ABASTECIMENTO HUMANO PELO PIRH DOCE 2010 (m³/s)

Cenários	*Retirada projetada para 2030*
Tendencial	9,875
Cenário de Desenvolvimento	10,232
Cenário de Desenvolvimento com gestão	9,703
Cenário de Pouco desenvolvimento	8,493
Cenário de Pouco desenvolvimento com gestão	8,054

Fonte: Adaptado do PIRH Doce de 2010

A relação do abastecimento humano e do esgotamento sanitário com os recursos hídricos perpassa diversos aspectos, sendo a quantidade de pessoas que demandam os serviços um dos principais. Investigam-se, então, as perspectivas exógenas populacionais para depois analisar as suas repercussões nas perspectivas exógenas dos meios urbano e rural.

3.3.1.1 Perspectivas Exógenas para as Populações Urbana e Rural

Conforme abordado no item 3.2.5.4 - Movimentos Demográficos, não há projeções de crescimento vegetativo que venham a justificar alterações profundas no porte populacional global da bacia do rio Doce. As variações populacionais deverão ser, outrossim, cada vez menores, chegando ao ponto (em cerca de 15 anos, aproximadamente) em que se iniciará o declínio da população em termos absolutos. Esse movimento não deve mascarar, porém, a concomitante transição de uma população com uma alta proporção de jovens para outra com uma maior participação de sêniores e redução da participação dos jovens[56].

Segundo o Atlas Águas: Segurança hídrica do abastecimento urbano (ANA, 2021)[57], a bacia do rio Doce atualmente abriga uma população de 3,70 milhões de habitantes (considerando-se os municípios com sede na bacia) que deverá crescer para 3,86 milhões em dez anos (2032), ou seja, a uma taxa anual de 0,4%. Na década entre 2032 e 2042, a população deve crescer à taxa anual de 0,1%, culminando em 3,90 milhões. Seguindo a tendência de urbanização, que se manterá em crescimento, a população urbana passará dos atuais 2,99 milhões para 3,22 milhões em 2032 (taxa anualizada de 0,7%) e depois para 3,32 milhões em 2042 (taxa anualizada de 0,3%). A população rural, no entanto, segue perdendo participação, devendo passar dos atuais 0,71 milhão para 0,64 milhão em 2032 (-1,0% a.a.) e enfim para 0,58 milhão em 2042 (-0,9% a.a.).

Não obstante os lentos e inexoráveis movimentos demográficos, a bacia do rio Doce abriga um total de 211 sedes municipais e 238 municípios com alguma fração de suas áreas, mesmo que muito pequenas, na bacia. As microdinâmicas desses locais poderão vir a atrair ou mesmo a expulsar população, promovendo rearranjos que terão repercussões na gestão dos recursos hídricos. Mais ainda, estes movimentos podem ser exacerbados intramunicípio com o êxodo rural e a concentração populacional em sedes municipais.

Os Quadros 3.17 a 3.19 apresentam a projeção da população total, urbana e rural com base no Atlas Águas (op. cit.), que fez uso da seguinte metodologia:

- ✓ Nos municípios com população total crescente até 2018 foi adotada a curva logística até a população de saturação, quando as projeções passaram a ser feitas com as taxas geométricas calculadas com base nas estimativas o IBGE até 2018, para cada município;
- ✓ Nos municípios que apresentam decréscimo de população, adotou-se a projeção geométrica para todo período;
- ✓ Adotou-se também um ajuste final para que totais estaduais projetados fossem idênticos às projeções do IBGE;

[56] A idade do mineiro mediano, que atualmente é estimada em 35,1 anos, passará a ser de 39,5 em 2030 e de 43,6 em 2040; já a do capixaba, atualmente de 33,9 anos, passará a ser de 37,8 em 2030 e de 41,1 em 2040.

[57] ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Atlas Águas (2021): segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf

- ✓ Para desagregação da população total entre urbana e rural as taxas anuais de urbanização, dada pela população urbana dividida pelo total, foram projetadas pela Curva Logística, e estimadas as populações urbanas e rurais, tendo por referência a população total projetada em cada ano.

QUADRO 3.17 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO TOTAL PARA OS MUNICÍPIOS COM SEDE NA BACIA DO RIO DOCE NA PERSPECTIVA TENDENCIAL (HABITANTES)

Bacia Afluente	*Estimativa*	*Projeções*		
	2022	**2027**	**2032**	**2042**
DO1	714.234	727.105	734.495	734.896
DO2	728.992	745.910	757.263	761.834
DO3	308.551	315.347	319.784	321.319
DO4	656.783	670.670	679.529	682.153
DO5	322.683	328.809	332.458	332.973
DO6	320.935	327.457	331.522	332.517
UA7 I	85.725	89.166	91.928	96.208
UA7 II	24.645	25.681	26.523	27.811
UA7 III	12.732	13.327	13.825	14.567
UA8	221.607	231.081	238.831	250.628
UA9	299.248	315.466	329.560	349.918
TOTAL	**3.696.135**	**3.790.019**	**3.855.718**	**3.904.824**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base no Atlas Águas (op. cit.)

QUADRO 3.18 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA PARA OS MUNICÍPIOS COM SEDE NA BACIA DO RIO DOCE NA PERSPECTIVA TENDENCIAL (HABITANTES)

Bacia Afluente	*Estimada*	*Projetada*		
	2022	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	537.081	560.841	577.060	593.622
DO2	691.701	709.943	722.556	729.717
DO3	254.609	265.052	272.258	278.244
DO4	532.117	553.040	567.886	581.298
DO5	252.259	262.554	269.831	277.462
DO6	225.427	236.244	244.169	252.337
UA7 I	57.748	62.866	66.700	72.041
UA7 II	14.728	16.050	17.002	18.241
UA7 III	7.707	8.533	9.186	10.067
UA8	166.622	177.437	185.988	198.868
UA9	250.712	269.654	285.793	309.130
TOTAL	***2.990.711***	***3.122.214***	***3.218.429***	***3.321.027***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base no Atlas Águas (op. cit.)

QUADRO 3.19 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO RURAL PARA OS MUNICÍPIOS COM SEDE NA BACIA DO RIO DOCE NA PERSPECTIVA TENDENCIAL (HABITANTES)

Bacia Afluente	Estimada	Projetada		
	2022	2027	2032	2042
DO1	177.153	166.264	157.435	141.274
DO2	37.291	35.967	34.707	32.117
DO3	53.942	50.295	47.526	43.075
DO4	124.666	117.630	111.643	100.855
DO5	70.424	66.255	62.627	55.511
DO6	95.508	91.213	87.353	80.180
UA7 I	27.977	26.300	25.228	24.167
UA7 II	9.917	9.631	9.521	9.570
UA7 III	5.025	4.794	4.639	4.500
UA8	54.985	53.644	52.843	51.760
UA9	48.536	45.812	43.767	40.788
TOTAL	**705.424**	**667.805**	**637.289**	**583.797**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base no Atlas Águas (op. cit.)

De acordo com as conclusões do item 3.2.5.4 - Movimentos Demográficos, não são identificados elementos que justifiquem uma variação de perspectivas para a população total, mas suscitam-se incertezas em relação à distribuição dessa população nos meios urbano e rural. Essa distinção é crucial para a gestão dos recursos hídricos, é definidora quanto à concentração espacial das demandas hídricas de abastecimento e de assimilação de efluentes.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, editado pela ANA em 2018 e publicado em 2019[58], adota uma classificação de porte municipal de acordo com a população total, sendo que essa mesma métrica pode ser replicada para fins de avaliação das modificações na estrutura populacional urbana e rural. O Quadro 3.20 apresenta as variações percentuais das populações total, urbana e rural para cada um dos quatro portes municipais, nos últimos vinte anos.

Ressalta-se que, devido à ausência de informações censitárias recentes, a população urbana e rural de 2020 foi obtida da seguinte maneira: para os municípios mineiros, pela estimativa da Fundação João Pinheiro (FJP)[59]; para os municípios capixabas, pela estimativa realizada pelo Atlas Águas (op. cit.). Os valores entre 2020 e 2030 são resultados das projeções tendenciais.

[58] ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/5146c9ec-5589-4af1-bd64-d34848f484fd
[59] Disponível em: http://fjp.mg.gov.br/produtos/

QUADRO 3.20 - TAXA ANUALIZADA DE VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO TOTAL, URBANA E RURAL, POR CLASSIFICAÇÃO DE PORTE MUNICIPAL (%)

Porte Municipal	População Total			População Urbana			População Rural		
	Entre 2000 e 2010	Entre 2010 e 2020	Proj. 2020 e 2030	Entre 2000 e 2010	Entre 2010 e 2020	Proj. 2020 e 2030	Entre 2000 e 2010	Entre 2010 e 2020	Proj. 2020 e 2030
Menor que 5 mil hab.	-0,4%	-0,2%	0,3%	1,4%	2,3%	0,8%	-2,0%	-4,0%	-0,7%
Entre 5 e 35 mil hab.	0,3%	0,4%	0,4%	1,4%	1,7%	0,9%	-1,2%	-2,1%	-1,0%
Entre 35 e 75 mil hab.	1,2%	1,2%	0,4%	1,6%	1,6%	0,6%	-0,6%	-1,9%	-0,7%
Maior que 75 mil hab.	1,0%	1,1%	0,5%	1,2%	1,3%	0,6%	-1,0%	-1,6%	-1,9%

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de IBGE, FJP e Atlas Águas (op. cit.)

Dentre os 211 municípios com sede na bacia, 59 (26%) possuem populações inferiores a 5 mil habitantes. Esse grupo, que viu ligeiro decréscimo populacional total, teve o movimento exacerbado no meio rural (-4,0% nos últimos dez anos), enquanto o meio urbano cresceu a 2,3% ao ano nos últimos dez anos. Os municípios com população superior a 5 mil habitantes, mas inferior a 35 mil (136 municípios, 64% do total), apresentaram movimento similar em termos de decréscimo de população rural, muito embora em amplitude menos intensa. Também da mesma forma, viram suas populações urbanas crescerem, mesmo com pequenas taxas de mudanças na população total (que cresceu marginalmente a 0,4% entre 2010 e 2020). Os municípios com população superior a 35 mil habitantes, que no total somam 16 e representam 8% das sedes municipais pertencentes à bacia do rio Doce, também apresentaram quedas na sua população rural e crescimento na urbana, embora menos acentuadas.

No conjunto de municípios do rio Doce, a velocidade de êxodo rural parece não estar se arrefecendo, muito embora caiba a ressalva de que os dados que embasam essa observação sejam estimados e não medidos. Conforme observado no item 3.2.5.4 - Movimentos Demográficos, existem incertezas em relação à distribuição da população nos meios urbano e rural, fruto da interação com a economia, da própria definição de meio rural, e também das tendências que podem levar à permanência de população em cidades menores cujas sedes urbanas passariam, assim, a crescer mais do que o esperado. A situação atual, resumidamente, apresenta elementos incertos quanto à intensidade de perda de população no meio rural, assim como quanto à perda de população das cidades de pequeno porte.

É possível, então, traçar as perspectivas exógenas para a distribuição da população nos meios urbano e rural:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: utiliza-se das projeções do Atlas Águas (op. cit.) como perspectiva tendencial para a variação na população total, salientando-se que esta é alinhada à projeção populacional estadual do IBGE[60]. Mantém-se, também, a distribuição da população nos meios urbano e rural do Atlas Águas (op. cit.);

[60] Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=resultados

- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência de urbanização: uma vez que a pressão pelos recursos hídricos é maior quanto maior for o grau de urbanização, esta perspectiva traz uma aceleração da concentração da população no meio urbano, tendo como contrapartida uma redução mais acentuada da população no meio rural. Para tanto, as projeções refletem a manutenção dos graus mais altos de urbanização observados em cada município entre 2000 e 2020;
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência de urbanização: uma vez que a pressão pelos recursos hídricos é menor quanto menor for o grau de urbanização, esta perspectiva traz um arrefecimento da concentração da população no meio urbano, tendo como contrapartida uma concentração mais acentuada da população no meio rural. Para tanto, as projeções refletem a manutenção dos graus mais baixos de urbanização observados em cada município entre 2000 e 2020.

Os resultados das perspectivas de maior e menor urbanização, com consequente movimento inverso da população rural, não rompem de forma crítica com as tendências do passado, haja vista que as modificações populacionais são lentas e bastante vinculadas à instalação de novas indústrias ou outros movimentos econômicos estruturantes. Estes, no entanto, não estão previstos para a região de estudo, como mostra a investigação realizada no item 3.2.4 - Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo. Muito embora as variações entre as perspectivas populacionais não representem rompimentos de tendências, exploram os resultados de novas formas de conexão ao mundo dos negócios e da convivência social que abrem a possibilidade para uma reocupação rural.

Os Quadros 3.21 e 3.22 apresentam os resultados para as populações urbana e rural nas perspectivas alternativas, que podem então ser comparados com as projeções tendenciais apresentadas anteriormente.

QUADRO 3.21 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA PARA OS MUNICÍPIOS COM SEDE NA BACIA DO RIO DOCE NAS PERSPECTIVAS ALTERNATIVAS (HABITANTES)

Bacia Afluente	*Perspectiva Exógena de Mais Urbanização*			*Perspectiva Exógena de Menos Urbanização*		
	2027	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	581.720	604.137	624.127	531.167	541.935	547.875
DO2	715.680	729.864	738.341	705.061	716.395	721.381
DO3	271.517	280.155	286.441	254.226	259.565	262.678
DO4	569.988	591.180	605.467	533.173	543.924	549.471
DO5	281.333	292.243	299.446	253.470	258.585	261.477
DO6	251.602	260.189	267.763	223.734	228.896	232.233
UA7 I	63.302	68.743	75.037	54.233	56.936	60.786
UA7 II	16.050	17.002	18.472	14.002	14.755	15.819
UA7 III	8.533	9.186	10.067	7.255	7.652	8.211
UA8	188.583	197.313	211.164	168.561	175.865	186.578
UA9	282.949	300.667	324.729	262.493	275.713	294.558
TOTAL	***3.231.257***	***3.350.679***	***3.461.054***	***3.007.375***	***3.080.221***	***3.141.067***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.22 - PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO RURAL PARA OS MUNICÍPIOS COM SEDE NA BACIA DO RIO DOCE NAS PERSPECTIVAS ALTERNATIVAS (HABITANTES)

Bacia Afluente	Perspectiva Exógena de Mais Urbanização			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização		
	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	145.385	130.358	110.769	195.938	192.560	187.021
DO2	30.230	27.399	23.493	40.849	40.868	40.453
DO3	43.830	39.629	34.878	61.121	60.219	58.641
DO4	100.682	88.349	76.686	137.497	135.605	132.682
DO5	47.476	40.215	33.527	75.339	73.873	71.496
DO6	75.855	71.333	64.754	103.723	102.626	100.284
UA7 I	25.864	23.185	21.171	34.933	34.992	35.422
UA7 II	9.631	9.521	9.339	11.679	11.768	11.992
UA7 III	4.794	4.639	4.500	6.072	6.173	6.356
UA8	42.498	41.518	39.464	62.520	62.966	64.050
UA9	32.517	28.893	25.189	52.973	53.847	55.360
TOTAL	**558.762**	**505.039**	**443.770**	**782.644**	**775.497**	**763.757**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

A sequência de construção dos cenários de abastecimento humano e esgotamento sanitário segue com os demais elementos conformadores das demandas hídricas e assimilação de efluentes, que dependem da distribuição da população nos meios urbano (atendido em água e esgoto majoritariamente por sistemas em rede) e rural.

3.3.1.2 Perspectivas Endógenas do Abastecimento Humano no Meio Urbano

Conforme o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (op. cit.), a demanda de retirada da população urbana pode ser estimada com base no uso de água per capita e no índice de perdas na distribuição. Muito embora de formas distintas, tanto um quanto o outro podem ser objeto de ações de gestão de recursos hídricos, o que demanda traçar perspectivas endógenas.

✓ *Uso per capita de água*

Para investigar as tendências de variação nos coeficientes de uso per capita, foi realizado o teste estatístico t de duas amostras pareadas para médias, com as séries de uso per capita de 2010 e de 2020, que traz como hipótese nula a não existência de diferença entre as médias[61]. Os usos per capita foram computados para todos os municípios dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo pela Equação 1 do Manual de Usos Consuntivos (op. cit.) com verificação de consistência (1 e 2)[62], mas antes de se aplicar os valores tabelados para os municípios inconsistentes.

[61] Em teste similar para a hipótese de que os valores de consumo no ano de 2020 estariam significativamente distintos dos do ano precedente (2019) devido à pandemia da Covid-19 não permitem rejeitar a hipótese nula para nenhum dos grupos de porte municipal e nem sequer para a amostra completa, cuja probabilidade do teste estatístico t de duas amostras pareadas para médias foi de 0,4769.
[62] A consistência 1 considera apenas as respostas dos municípios com ao menos 50% de hidrometração (indicador SNIS IN009), ao menos 80% de atendimento urbano (IN023) e ao menos 70% de economias residenciais de água no total das economias de água (IN043). A consistência 2 tolhe resultados de uso per capita inferiores a 70 L/hab.dia e superiores a 250 L/hab.dia.

Retiraram-se da análise os resultados tidos como pontos fora da curva (*outliers*) por estarem maiores ou menores que o intervalo de dois desvios padrão.

O Quadro 3.23 apresenta os resultados segregados por grupos de porte municipal, onde se nota que a hipótese nula é refutada para os portes menores, ou seja, os resultados de uso per capita não são equivalentes entre os anos de 2010 e 2020. O acréscimo de uso per capita é também estatisticamente significativo, embora no limite desse teste, para os municípios médios que detêm entre 35 e 75 mil habitantes. Interessante observar que os municípios maiores, com mais de 75 mil habitantes, não tiveram alteração nos índices de consumo per capita, enquanto os demais convergem para os valores médio de cerca de 130 litros por habitante por dia.

QUADRO 3.23 - ANÁLISE DE VARIAÇÕES NA MÉDIA DO USO DE ÁGUA PER CAPITA POR CLASSIFICAÇÃO DE PORTE MUNICIPAL (L/HAB.DIA)

Porte municipal	*Amostra*	*2010*		*2020*		*Probabilidade de serem equivalentes1*
		Média	*Mediana*	*Média*	*Mediana*	
Menor que 5 mil hab.	92	112,74	112,48	133,98	135,35	<0,001
Entre 5 e 35 mil hab.	339	114,35	112,79	127,19	127,19	<0,001
Entre 35 e 75 mil hab.	42	122,92	123,80	130,84	127,96	0,004
Maior que 75 mil hab.	48	132,17	132,48	128,86	128,25	0,188

Nota 1: alfa = 5% em teste bicaudal.
Elaboração ENGECORPS, 2022

Uma comparação dos usos per capita entre 2010 e 2020 no universo dos municípios da bacia do rio Doce permite identificar a dinâmica de crescimento do consumo: dos 170 municípios com dados consistentes, 132 deles (78%) apresentaram aumento no consumo. Esse aumento foi, na média, de 20,79 litros por habitante por dia, sendo que a mediana foi similar, de 19,08 L/hab.dia.

A tendência de crescimento das taxas de consumo per capita deve continuar, embora não em intensidade similar à que marcou a última década. Essa conclusão advém tanto dos registros históricos, como também das perspectivas convergentes trazidas pelos modelos climáticos globais para maiores temperaturas. Para simular, nos cenários, essa continuidade no crescimento do coeficiente de consumo per capita, adotou-se o pressuposto de uma equalização dos coeficientes de cada município com os resultados médios de seu grupo de município, respeitando os portes de população, em dez anos. Para os municípios cujos resultados superam a média de seus grupos, já na cena atual, estes foram mantidos. Para o ano representativo do curto prazo (2027), foi adotado acréscimo equivalente à metade da distância entre a cena atual e 2032.

O Quadro 3.24 apresenta os coeficientes médios de uso per capita na cena atual e nas projeções de curto, médio e longo prazo. Nota-se que a partir das faixas de consumo atingidas em 2032, de cerca de 150 L/hab.dia, não se anteveem novos acréscimos.

QUADRO 3.24 - USO DE ÁGUA PER CAPITA MÉDIO POR CLASSIFICAÇÃO DE PORTE MUNICIPAL (L/HAB.DIA)

Porte Municipal	Estimativa	Projeções sob Perspectiva Tendencial		
	Cena Atual	2027	2032	2042
Menor que 5 mil hab.	130,70	136,58	142,46	142,46
Entre 5 e 35 mil hab.	128,89	139,52	150,15	150,15
Entre 35 e 75 mil hab.	153,72	157,50	161,28	161,28
Maior que 75 mil hab.	124,40	137,57	150,73	150,73
Média ponderada pela população total	128,10	139,66	151,22	151,22

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e Atlas Águas (op. cit.)

O uso de água per capita não é geralmente associado a gestão, uma vez que é uma consequência das necessidades humanas. Geralmente, estratégias de gestão da demanda são praticadas apenas em épocas de crise hídrica[63]. Soma-se a isso o fato de que no coeficiente de uso per capita estão somadas as demandas públicas, comerciais, de serviços e industriais, todas geradas no meio urbano e abastecidas pelas redes das empresas de saneamento. Ou seja, os índices de consumo de água per capita que não abarcam exclusivamente o consumo domiciliar. Outro fator que afeta a demanda é o preço pago pelos serviços de abastecimento e o próprio nível de renda, muito embora o grau de elasticidade de ambos seja geralmente baixo[64]. O abastecimento de água, afinal, é serviço público de primeira necessidade.

Não obstante, o desperdício de água pode ocorrer tanto nos domicílios como nos demais perfis de usuários da rede, mesmo com usos devidamente medidos e faturados. A partir da aplicação de medidas educacionais e de incentivo ao uso racional, este desperdício pode ser reduzido. Adicionalmente, proliferam no mercado dispositivos de economia de água, notadamente as descargas de duplo comando, válvulas redutoras de pressão e torneiras de acionamento automático. As construções também podem promover economias de água ao contarem com captação de água de chuva para suprir usos menos restritivos e termos de qualidade da água.

A instalação de equipamentos poupadores de água e a exigência de instalações de captação de água de chuva em novas construções, por exemplo, podem ser estabelecidas via códigos de construção e estabelecimento de padrões mínimos de eficiência, enquanto ações de fomento e incentivo podem ser adotadas para o *retrofit* de instalações antigas, dentre outros.

Dessa forma, podem-se vislumbrar ações de gestão que resultem em menores taxas de consumo, não ao ponto de limitar as demandas legítimas de uso de água, mas sim, no sentido de coibir desperdícios de forma proativa e de acelerar a transição para padrões máximos de eficiência nas

[63] Na crise hídrica de 2014-2015, no estado de São Paulo, a gestão da demanda compreendeu a adoção de tarifa de contingência (ônus), incentivos financeiros através de descontos (bônus) para o uso racional da água, além da promoção de mutirões para atuação junto aos usuários no combate ao desperdício [Guimarães, E.F. & Sanches, M. C. (2017) Estratégias institucionais e regulatórias para enfrentamento da crise hídrica no estado de São Paulo. Congresso ABES-FENASAN, 2017. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental].

[64] No Brasil, dados de painel com informações do SNIS entre 2010 e 2015 apontam para uma elasticidade-preço da demanda municipal por água bastante inelástica (-0,166). A elasticidade-renda é ainda mais baixa: um aumento de 1% no PIB per capita provoca um aumento de apenas 0,04% no consumo per capita de água [CRUZ, F. P; OLIVEIRA, B. F. Análise dos Determinantes do Consumo de Água nos Municípios Brasileiros, 2010 a 2015. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Vol. 8, n. 4, p. 57-79, 2019].

construções. Podem-se traçar, então, as seguintes perspectivas endógenas para a gestão do uso da água no meio urbano:

- ✓ ***Business as usual* (BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: prevê-se a manutenção da tendência de crescimento nas taxas de consumo per capita, conforme apresentado acima;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: prevê-se redução arbitrária no crescimento das demandas hídricas per capita equivalente a 3,75% até 2027, seguido de 7,5% em 2032 e de 10% até 2042, representando esforços limitados de educação ambiental e controle de usos ineficientes, bem como uma adoção mais paulatina de dispositivos domésticos de economia de água. Como forma de garantir que a ação de gestão não resulte em coibição de demandas legítimas, limita-se a redução ao menor nível de uso per capita registrado entre 2010 e 2020 no próprio município;
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: prevê-se redução arbitrária no crescimento das demandas hídricas per capita equivalente a 7,5% até 2027, seguido de 15% em 2032 e de 20% até 2042, representando esforços intensos de educação ambiental e controle de usos ineficientes, bem como uma adoção mais agressiva de dispositivos domésticos de economia de água. Como forma de garantir que a ação de gestão não resulte em coibição de demandas legítimas, limita-se a redução ao menor nível de uso per capita registrado entre 2010 e 2020 no próprio município.

O Quadro 3.25 apresenta os resultados das perspectivas endógenas de gestão do uso da água aplicadas aos municípios com sede na bacia do rio Doce. Sob gestão intensa, as taxas de consumo de 2042 podem ser reduzidas em cerca de 26 L/hab.dia, uma vez que a taxa de consumo tendencial para esse mesmo ano é de 151 L/h.d.

QUADRO 3.25 - USO DE ÁGUA PER CAPITA MÉDIO NAS PERSPECTIVAS ENDÓGENAS DE GESTÃO (L/HAB.DIA)

Porte Municipal	*Projeções sob Perspectiva Endógena de Gestão Moderada*			*Projeções sob Perspectiva Endógena de Gestão Intensa*		
	2027	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
Menor que 5 mil hab.	131,50	131,86	128,41	126,55	121,58	115,11
Entre 5 e 35 mil hab.	134,53	139,37	135,86	129,71	129,07	122,80
Entre 35 e 75 mil hab.	151,60	149,19	145,43	146,54	139,89	135,86
Maior que 75 mil hab.	134,51	142,58	139,90	131,14	134,98	130,07
Média ponderada pela população total	135,03	140,88	137,55	130,56	131,25	125,32

Elaboração ENGECORPS, 2022

- ✓ ***Perdas de água nas redes de distribuição***

Para a estimativa final das demandas de retirada da população urbana, os coeficientes de consumo unitário devem ser acrescidos das perdas que ocorrem nas redes de distribuição de água. Afinal, um uso de 130 L/hab.dia representa uma necessidade de entrega maior uma vez

que parte da água é perdida na distribuição. Caso o prestador de serviço perca 120 L/lig.dia e, supondo-se uma densidade de 3 habitantes por ligação, ter-se-ia um coeficiente de demanda de retirada equivalente a 170 L/hab.dia (130 demandados para uso e 40 perdidos para que essa demanda seja plenamente atendida). As perdas na distribuição podem ter características físicas (vazamentos), comerciais (ligações clandestinas e outras fraudes) ou ainda ocorrer por problemas de medição (macromedição e hidrometração deficientes e imprecisão inerente aos dispositivos).

De acordo com as estimativas dos níveis de perdas na distribuição de água do Atlas Águas (op. cit.), realizadas por município, aqueles com sede na bacia do rio Doce apresentam médias de 36,88%. Essa média, ponderada pela população, mascara o fato de que há maiores índices nos municípios de maior porte. Para aqueles com população até 5 mil habitantes, a média é de 31,14% de perdas; já para aqueles com população até 35 mil, a média é de 31,22%. Já para os municípios com população entre 35 e 75 mil, a média sobe para 40,85%, sendo de 40,62% para os municípios com mais de 75 mil habitantes.

Os níveis atuais de perdas de água na distribuição representam uma ampla oportunidade para aumento de eficiência de uso deste recurso natural escasso. Uma análise pretérita, no entanto, mostra que os avanços têm sido tímidos, se existentes. A Figura 3.27 apresenta a evolução histórica do índice médio de perdas em todos os municípios com informações consistentes dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, segregados pelos quatro grupos de porte populacional. Fica evidente que não há uma tendência de redução de perdas, mas sim uma estabilidade ou mesmo um incremento.

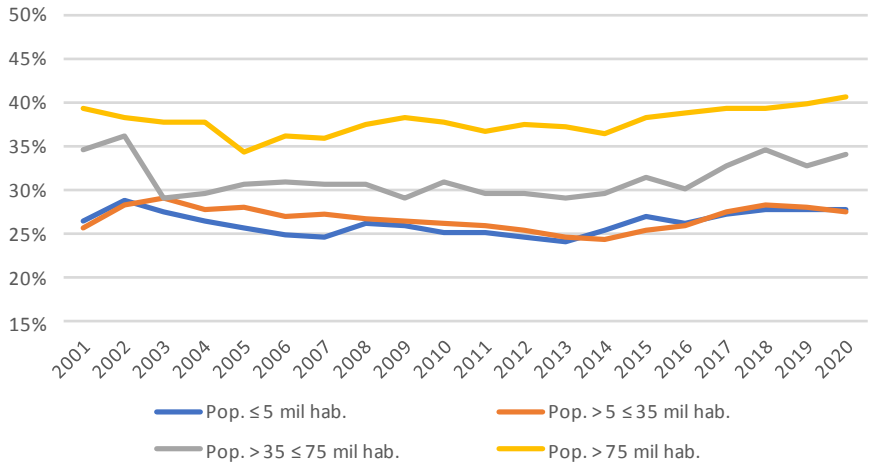


Figura 3.27 - Evolução dos Índices Médios de Perdas na Distribuição nos Municípios de Minas Gerais e do Espírito Santo (%)

Considerando os municípios com informações consistentes para as perdas na bacia do rio Doce[65], identifica-se que 47% apresentaram resultados em 2020 inferiores aos resultados apresentados em 2010 (80 de 169 municípios). As reduções médias foram de 6,8 pontos percentuais, com a mediana em 5,0 pp. Interessante notar que os demais municípios (89) apresentaram incrementos

[65] Além das consistências 1 e 2 já abordadas para o cálculo dos usos per capita, a consistência 3 tolhe resultados de índice de perdas inferiores a 10% e superiores a 60%.

nos índices de perdas exatamente equivalentes: na média, aumento de 6,7 pp., com a mediana em 5,3 pp.

O controle de perdas na distribuição pode, no entanto, ser induzido pela aplicação tanto de instrumentos comando-e-controle como econômicos à disposição dos instrumentos de gestão das águas. Adicionalmente, o setor de saneamento básico segue as diretrizes do Plano Nacional de Saneamento Básico, Plansab[66], que apresenta metas de redução das perdas para cada região do País. Embora o Plansab esteja em processo de revisão, a última versão disponível (julho de 2019)[67] apresenta a manutenção das metas para o controle de perdas para a região Sudeste, que abrange tanto o estado de Minas Gerais como o do Espírito Santo. Espera-se atingir 32% em 2023 e 29% em 2033, muito embora a meta de 2023 claramente não seja mais atingível no contexto dos municípios da bacia do rio Doce.

Nota-se de relevância, ainda, a Portaria MDR nº 490, de 22 de março de 2021[68], que traz metas para o indicador de perdas na distribuição do SNIS, condicionando assim a alocação de recursos públicos federais e os financiamentos com recursos da União ou com recursos geridos ou operados por órgãos ou entidades da União. O diploma legal prevê uma limitação de mínimo de 25% para o índice de perdas na distribuição.

Partindo-se da situação atual de cada município em relação ao índice de perdas na distribuição, pode-se realizar a simulação do cumprimento das metas do Plansab para 2033, conforme o Quadro 3.26. Os municípios que já contam com índices de perdas inferiores à meta de 29%, tiveram seus resultados mantidos ao longo de todo o período. Para os demais, assumiu-se o cumprimento da meta (proporcionalizada para o ano de 2032, um antes do marco-final), com o atingimento parcial em 2027 equivalente a cobertura de 35% da distância entre a cena atual e a meta. Esse percentual se estabelece considerando o estágio atual de implementação das mudanças do Novo Marco Legal do Saneamento, conforme discutido no item 3.2.5 - Ampliações no Capital Fixo, e a necessidade de se estabelecerem estudos de viabilidade para a implementação das estratégias de redução de perdas.

QUADRO 3.26 - ÍNDICE DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA CONSIDERANDO AS PERSPECTIVAS DE CUMPRIMENTO DAS METAS DO PLANSAB (%)

Porte municipal	*Estimativa*	*Projeções sob a Perspectiva Endógena de Gestão Moderada*		
	Cena atual	*2027*	*2032*	*2042*
Menor que 5 mil hab.	31,14	28,82	27,17	27,17
Entre 5 e 35 mil hab.	31,22	28,99	27,40	27,40
Entre 35 e 75 mil hab.	40,85	34,47	29,91	29,91
Maior que 75 mil hab.	40,62	34,00	29,28	29,28
Média ponderada pela população total	36,88	32,01	28,54	28,54

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados do SNIS e Atlas Águas (op. cit.)

[66] O Plansab foi aprovado pelo Decreto n° 8.141 de 20 de novembro de 2013 e pela Portaria Interministerial n° 571 de 05 de dezembro de 2013 e sua elaboração foi prevista na lei de diretrizes nacionais para o saneamento básico – Lei nº 11.445, regulamentada pelo Decreto nº 7.217 - Devendo ser avaliado anualmente e revisado a cada quatro anos.

[67] Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/ images/stories/ ArquivosSDRU/ ArquivosPDF /Versao_Conselhos_Resolução_Alta_-_Capa_Atualizada.pdf

[68] Estabelece os procedimentos gerais para o cumprimento do disposto no inciso IV do caput do art. 50 da Lei n. 11.445, de 5 de janeiro de 2007, e no inciso IV do caput do art. 4º do Decreto n. 10.588, de 24 de dezembro de 2020.

Outra forma de se avaliar a potencial redução de perdas na distribuição é com base na matriz de avaliação de perdas da *International Water Association* (IWA, 2000)[69], que utiliza do índice de perdas físicas (litros/ligação.dia) para determinar o estado atual e planejar reduções que sejam coerentes com as características dos sistemas e econômicas do ponto de vista dos investimentos necessários (Quadro 3.27). Afinal, o controle de perdas apresenta custos marginais crescentes: as reduções iniciais de perdas geralmente exigem menores investimentos (tais como medições e/ou controle de vazamentos de grande porte etc.), e à medida que se avança no controle das perdas, as reduções adicionais passam a ser progressivamente mais custosas (mapeamento hidráulico, setorização etc.).

QUADRO 3.27 - MATRIZ DE AVALIAÇÃO DE PERDAS DA INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION (IWA)

Categoria	*20 MCA*	*30 MCA*	*40 MCA*	*50 MCA*
A1	< 50	< 65	< 75	< 85
A2	50-100	65-125	75-150	85-175
B	100-200	125-250	150-300	175-350
C	200-350	250-450	300-550	350-650
D	> 350	> 450	> 550	> 650

Fonte: IWA, 2000, *op. cit*.

Segundo IWA, a cada categoria se apresenta uma possibilidade diferente de redução de perdas:

- ✓ Categoria A: apresentam reduções adicionais de perda que podem não ser econômicas, a menos que haja insuficiência de abastecimento ou tarifas muito altas. São necessárias análises criteriosas para identificar melhorias economicamente viáveis;
- ✓ Categoria B: apresentam potencial para melhorias significativas, para os quais recomenda-se validar um balanço hídrico para quantificar os componentes de perdas e considerar o gerenciamento de pressão, bem como as melhores práticas de controle ativo de vazamentos, e melhor manutenção da rede. Pode-se, ainda, melhorar o gerenciamento de medidores de clientes e revisar procedimentos de leituras de medidores;
- ✓ Categoria C: apresentam registros deficientes de vazamentos, sendo tolerável somente em condições de abundância hídrica. Mesmo assim, recomenda-se analisar o nível e a natureza das perdas e intensificar os esforços para redução de perdas;
- ✓ Categoria D: apresentam sistemas muito ineficientes, para os quais um programa abrangente de redução de perdas é imperativo e altamente prioritário.

Uma vez que a pressão mínima geralmente admitida nas redes de distribuição nacionais é de 10 MCA, classificaram-se os municípios da bacia do rio Doce com base nas faixas de perdas equivalentes à pressão mínima da matriz de avaliação da IWA, desconsiderando-se a sub-divisão de categorias A (ou seja, considerando como A os sistemas com perdas abaixo de 100 L/lig.dia).

[69] International Water Association – IWA. Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures. The Blue Pages. Ed. A. Lambert e W. Hirner, International Water Association (IWA), 2000.

Utilizaram-se os resultados do indicador SNIS IN051. O resultado da classificação aponta 53 municípios na classe A; 129 na B; 18 na C[70] e 11 na classe D[71].

Com base na matriz, pode-se estabelecer o seguinte racional para as perspectivas de combate às perdas na bacia: os sistemas classificados como D reduzem suas perdas em 150 litros/ligação.dia em 10 anos, e posteriormente em 75 L/l.dia entre 2032 e 2042. O primeiro destes valores representa a distância entre as classes D e C, quanto o segundo representa a metade dessa distância, uma vez que o combate às perdas segue progressivamente mais custoso. Mecânica equivalente é adotada para os sistemas classificados como C, que reduzem suas perdas em 100 L/l.dia entre 2022 e 2032 e posteriormente em 50 L/l.dia entre 2032 e 2042. Para os sistemas de categoria B, a redução das perdas é de 50 L/l.dia até 2032 e de 25 L/l.dia até 2042. Já para os sistemas classificados como A, não se preveem alterações, mas sim manutenção dos seus níveis atuais de perdas.

O Quadro 3.28 apresenta os resultados dessa perspectiva, onde se observa que, na média ponderada pela população total, até 2032 é possível economizar um volume expressivo de 83 L/lig.dia em relação à cena atual. A redução de perdas com base nos pressupostos técnicos da matriz IWA permitem atingir níveis mais baixos de perdas do que os atingidos com base no cumprimento das metas do Plansab.

QUADRO 3.28 - ÍNDICE DE PERDAS FÍSICAS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA CONSIDERANDO AS PERSPECTIVAS DE CONTROLE DE PERDAS DA IWA (L/LIG.DIA)

Porte Municipal	*Estimativa*	*Projeções sob a Perspectiva Endógena de Gestão Intensa*		
	Cena Atual	*2027*	*2032*	*2042*
Menor que 5 mil hab.	137,81	124,45	99,66	82,03
Entre 5 e 35 mil hab.	146,74	131,73	103,85	84,91
Entre 35 e 75 mil hab.	282,71	247,71	182,71	140,95
Maior que 75 mil hab.	367,40	326,04	249,22	190,13
Média ponderada pela população total	261,00	231,66	177,17	137,16

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados do SNIS e Atlas Águas (op. cit.)

É possível, com as simulações acima descritas, traçar as perspectivas endógenas para as perdas de água na distribuição, que afetam sobremaneira as demandas de abastecimento humano no meio urbano:

- ✓ ***Business as usual*** **(BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: prevê-se a manutenção dos índices atuais de perdas na distribuição, espelhando os resultados históricos que não indicam melhorias;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: prevê-se o atingimento das metas atuais do Plansab, que apontam para um índice de 29% de perdas em 2033;

[70] São eles: Ouro Preto, Senador Firmino, João Monlevade, Nova Era, Rio Piracicaba, Carmésia, Itabira, Sabinópolis, Santo Antônio do Itambé, Serro, Água Boa, Peçanha, Conselheiro Pena, Manhumirim, Rio Bananal, São Gabriel da Palha e Sooretama.
[71] São eles: Ponte Nova, Viçosa, Coronel Fabriciano, Ipatinga, Timóteo, Governador Valadares, Malacacheta, Itarana, Colatina, São Domingos do Norte e Linhares.

- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: prevê-se redução das perdas de acordo com as possibilidades de cada município a partir da matriz de avaliação da IWA, superando as metas do Plansab e respeitando as reduções plausíveis para cada categoria de sistema.

3.3.1.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas para o Abastecimento Humano no Meio Urbano

As perspectivas endógenas para as demandas hídricas de abastecimento humano no meio urbano são compostas pelas correspondentes tanto ao uso da água quanto às perdas na distribuição. O Quadro 3.29 permite comparar os resultados referentes à composição dos usos e das perdas, em L/h.d, nas três perspectivas de gestão (endógenas). Nota-se que a combinação da gestão intensa dos usos e das perdas na distribuição consegue reduzir a demanda de retirada em 30% no médio prazo e em 37% no longo prazo.

QUADRO 3.29 - COEFICIENTES DE RETIRADA PARA A POPULAÇÃO URBANA (LITROS/HAB.DIA)

Porte Municipal	*Cena Atual*	*Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)*			*Perspectiva Endógena de Gestão Moderada*			*Perspectiva Endógena de Gestão Intensa*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
Menor que 5 mil hab.	194,02	202,82	211,62	211,62	185,56	181,15	180,86	175,28	157,24	143,13
Entre 5 e 35 mil hab.	193,48	208,94	224,40	224,40	190,66	192,07	191,35	180,23	166,33	151,91
Entre 35 e 75 mil hab.	270,60	276,96	283,32	283,32	233,51	213,01	204,83	221,61	182,87	165,70
Maior que 75 mil hab.	214,85	238,27	261,69	261,69	204,90	201,83	197,05	197,98	184,28	166,31
Média ponderada pela população total	210,45	229,55	248,64	248,64	200,28	197,44	193,73	191,14	174,69	157,03

Elaboração ENGECORPS, 2022

O próximo passo na consolidação dos cenários de demandas hídricas é a aplicação dos coeficientes apresentados acima para cada uma das perspectivas exógenas de população, gerando então as demandas efetivas em m³/s (superficiais e subterrâneas, de forma ainda indistinta). De forma a se manter coerência com Quadros 3.30 a 3.32, os dados por bacia afluente.

QUADRO 3.30 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO URBANO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)*								
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Menos Urbanização*			*Perspectiva Exógena de Mais Urbanização*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	1,425	1,549	1,660	1,706	1,476	1,566	1,581	1,609	1,735	1,786
DO2	1,892	2,134	2,367	2,389	2,122	2,351	2,367	2,150	2,388	2,413
DO3	0,634	0,675	0,709	0,725	0,649	0,677	0,685	0,693	0,731	0,748

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO4	1,197	1,402	1,603	1,639	1,359	1,545	1,560	1,443	1,665	1,701
DO5	0,501	0,575	0,646	0,664	0,555	0,619	0,626	0,617	0,701	0,718
DO6	0,495	0,542	0,584	0,604	0,511	0,544	0,552	0,576	0,621	0,640
UA7 I	0,136	0,150	0,162	0,175	0,129	0,138	0,147	0,151	0,167	0,182
UA7 II	0,030	0,041	0,053	0,057	0,035	0,044	0,047	0,041	0,053	0,057
UA7 III	0,015	0,020	0,025	0,028	0,017	0,021	0,023	0,020	0,025	0,028
UA8	0,401	0,506	0,611	0,651	0,482	0,583	0,618	0,539	0,650	0,691
UA9	0,664	0,827	0,995	1,077	0,799	0,955	1,020	0,865	1,048	1,138
Total	**7,389**	**8,421**	**9,415**	**9,714**	**8,134**	**9,043**	**9,227**	**8,702**	**9,783**	**10,102**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.31 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO URBANO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO MODERADA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Moderada								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	1,425	1,353	1,329	1,344	1,288	1,252	1,244	1,405	1,390	1,410
DO2	1,892	1,717	1,635	1,583	1,706	1,621	1,566	1,731	1,651	1,602
DO3	0,634	0,618	0,613	0,620	0,595	0,586	0,586	0,634	0,631	0,638
DO4	1,197	1,212	1,248	1,246	1,172	1,197	1,177	1,249	1,299	1,298
DO5	0,501	0,541	0,576	0,587	0,522	0,552	0,554	0,580	0,625	0,634
DO6	0,495	0,518	0,536	0,567	0,489	0,500	0,520	0,551	0,571	0,602
UA7 I	0,136	0,144	0,149	0,166	0,124	0,127	0,140	0,145	0,154	0,173
UA7 II	0,030	0,034	0,039	0,041	0,029	0,033	0,036	0,034	0,039	0,042
UA7 III	0,015	0,018	0,021	0,023	0,016	0,018	0,019	0,018	0,021	0,023
UA8	0,401	0,444	0,485	0,504	0,423	0,462	0,475	0,472	0,515	0,535
UA9	0,664	0,697	0,762	0,793	0,677	0,735	0,755	0,731	0,801	0,832
Total	**7,389**	**7,298**	**7,395**	**7,474**	**7,040**	**7,084**	**7,071**	**7,550**	**7,697**	**7,788**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.32 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO URBANO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	1,425	1,289	1,154	1,081	1,228	1,088	1,001	1,338	1,207	1,134
DO2	1,892	1,653	1,498	1,334	1,643	1,487	1,320	1,666	1,512	1,349
DO3	0,634	0,597	0,548	0,510	0,574	0,524	0,482	0,611	0,564	0,524
DO4	1,197	1,156	1,113	0,992	1,118	1,068	0,938	1,191	1,158	1,033

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO5	0,501	0,507	0,487	0,450	0,490	0,466	0,424	0,544	0,527	0,486
DO6	0,495	0,500	0,491	0,488	0,471	0,459	0,449	0,531	0,523	0,517
UA7 I	0,136	0,135	0,126	0,128	0,116	0,107	0,107	0,136	0,130	0,133
UA7 II	0,030	0,032	0,036	0,035	0,028	0,031	0,030	0,032	0,036	0,036
UA7 III	0,015	0,017	0,018	0,017	0,015	0,015	0,014	0,017	0,018	0,017
UA8	0,401	0,424	0,422	0,393	0,405	0,402	0,371	0,452	0,449	0,418
UA9	0,664	0,665	0,675	0,652	0,646	0,651	0,620	0,697	0,709	0,684
Total	***7,389***	***6,976***	***6,568***	***6,080***	***6,732***	***6,297***	***5,758***	***7,216***	***6,832***	***6,331***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.1.4 Perspectivas Endógenas do Abastecimento Humano no Meio Rural

A estimativa das demandas de abastecimento humano no meio rural é realizada de forma mais simplificada que para o meio urbano devido à forma do atendimento, geralmente realizado por métodos alternativos, descentralizados ou individuais. Utilizam-se, então, de coeficientes de retirada per capita multiplicados pela população rural. Segundo o Manual de Usos Consuntivos da Água (op. cit.) e o Atlas Águas (op. cit.), o coeficiente de retirada per capita é de 125 L/hab.dia para o estado de Minas Gerais e de 100 L/hab.dia para o estado do Espírito Santo. O meio rural, muito embora não seja atendido por sistemas de abastecimento devido à baixa densidade da população, também está sujeito a intervenções de gestão.

De relevância, tem-se a possibilidade trazida pelo Novo Marco Legal do Saneamento de inclusão de métodos alternativos, descentralizados ou individuais no rol de serviços do prestador de serviços públicos de saneamento, cabendo inclusive a tarifação. Dessa forma, o prestador de serviços pode prestar serviços tarifados a domicílios atendidos por métodos individuais, alternativos e descentralizados (na ausência de redes públicas para os serviços de abastecimento de água ou de coleta e tratamento de esgoto), abrangendo áreas rurais, remotas ou núcleos urbanos informais consolidados. Para tanto, estas áreas devem estar incluídas na área de abrangência do prestador de serviços, sendo que tais atendimentos devem estar devidamente autorizados pela entidade reguladora.

Nota-se, ainda, a relevância do Programa Saneamento Brasil Rural (PSBR). O Programa da Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, foi estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 3.174/2019 e, por meio do Programa Nacional de Saneamento Rural (FUNASA, 2019)[72], traça diretrizes, estratégias e metas nacionais para o desenvolvimento de ações em saneamento básico em áreas rurais e comunidades tradicionais. O Programa está estruturado em três eixos

[72] FUNASA - Fundação Nacional de Saúde (Brasil). Programa Nacional de Saneamento Rural - PNSR. Brasília: FUNASA, 2019. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/programa-saneamento-brasil-rural

entendidos como indissociáveis: tecnologia; gestão dos serviços; e educação e participação social.

O Decreto nº 10.588/2020 aclara que não constituem serviço público de saneamento básico as ações e os serviços operados pelos próprios usuários, por meio de associações comunitárias ou multicomunitárias (Art. 4º, § 9º). Essa clareza de papéis traz viabilidade jurídica para que as associações comunitárias ou multicomunitárias se desenvolvam e prestem os serviços de forma mais organizada do que é geralmente observado, inclusive adotando novas tecnologias sociais e de dessalinização de águas salobras. Nesse sentido, as ações do PSBR devem vir a incrementar a qualidade da prestação dos serviços, ao envolver os três eixos previstos. Há, também, um amadurecimento dos compartilhamentos público-comunitários em relação às estruturas físicas de atendimento de água e de esgotos, que podem ser cedidas para a operação e manutenção de organizações da sociedade civil, desde que estejam devidamente autorizadas pelo titular mediante acordos de cooperação.

Tem-se assim perspectivas de melhoria do abastecimento humano no meio rural. A demanda em tal ambiente, certamente, deve crescer para se assemelhar àquelas verificadas para os municípios de população pequena. Afinal, como discutido no item 3.3.1.1 de Perspectivas Exógenas para as Populações Urbana e Rural, uma série de fatores "aproxima" o meio rural, dentre eles: os acessos rodoviários que, mesmo de forma paulatina, acabam sendo aprimorados; o efeito "gotejamento" (mesmo que pequeno) da riqueza da produção de commodities agropecuárias; as novas tecnologias de comunicação que ampliam meios de comercialização dos frutos do campo e permitem trabalho remoto; a incipiente valorização de produtos da agroindústria familiar; etc.

Mediante as possibilidades de aprimoramento do abastecimento no meio rural, pode-se trabalhar duas perspectivas distintas sob a égide da gestão:

- ✓ ***Business as usual*** **(BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: prevê-se a manutenção do coeficiente de retirada rural em 125 L/hab.dia em Minas Gerais e a convergência para este coeficiente, até 2032, para a população rural dos municípios capixabas, com posterior manutenção deste coeficiente até 2042;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: prevê-se melhoria do saneamento no meio rural, o que implica em aumento na demanda hídrica e de consumo excessivo com alto índice de perdas, passando a espelhar aquela da população urbana de municípios de pequeno porte de 113 L/hab.dia em 2027 e de 132 L/h.d em 2032 e 2042;
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: prevê-se melhoria do saneamento no meio rural com eficiência, educação ambiental e estruturas adequadas de gestão, perfazendo incrementos suficientes para melhorar o acesso ao recurso natural, mas sem consumo exagerado e com baixos níveis de perdas. As demandas passam a ser metade daquelas entre as perspectivas BAU e Gestão moderada.

3.3.1.5 *Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas para o Abastecimento Humano no Meio Rural*

As perspectivas endógenas para as demandas hídricas de abastecimento humano no meio rural são combinadas àquelas exógenas, quais sejam, a de distribuição entre a população urbana. Pela aplicação dos coeficientes de retirada unitários, apresentados acima, em cada uma das perspectivas exógenas de população, geram-se as demandas efetivas em m^3/s, apresentadas nos Quadros 3.33 a 3.35, por bacia afluente.

QUADRO 3.33 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO RURAL NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU (M^3/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,256	0,241	0,228	0,204	0,283	0,279	0,271	0,210	0,189	0,160
DO2	0,054	0,052	0,050	0,046	0,059	0,059	0,059	0,044	0,040	0,034
DO3	0,078	0,073	0,069	0,062	0,088	0,087	0,085	0,063	0,057	0,050
DO4	0,180	0,170	0,162	0,146	0,199	0,196	0,192	0,146	0,128	0,111
DO5	0,102	0,096	0,091	0,080	0,109	0,107	0,103	0,069	0,058	0,049
DO6	0,138	0,132	0,126	0,116	0,150	0,148	0,145	0,110	0,103	0,094
UA7 I	0,032	0,034	0,036	0,035	0,045	0,051	0,051	0,034	0,034	0,031
UA7 II	0,011	0,013	0,014	0,014	0,015	0,017	0,017	0,013	0,014	0,014
UA7 III	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,009	0,009	0,006	0,007	0,007
UA8	0,064	0,070	0,076	0,075	0,081	0,091	0,093	0,055	0,060	0,057
UA9	0,056	0,060	0,063	0,059	0,069	0,078	0,080	0,042	0,042	0,036
Total	***0,978***	***0,946***	***0,922***	***0,845***	***1,108***	***1,122***	***1,105***	***0,792***	***0,731***	***0,642***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.34 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO RURAL NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO MODERADA (M^3/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Moderada								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,256	0,261	0,259	0,232	0,308	0,316	0,307	0,229	0,214	0,182
DO2	0,054	0,057	0,057	0,053	0,064	0,067	0,066	0,048	0,045	0,039
DO3	0,078	0,079	0,078	0,071	0,096	0,099	0,096	0,069	0,065	0,057
DO4	0,180	0,185	0,183	0,166	0,216	0,223	0,218	0,158	0,145	0,126
DO5	0,102	0,104	0,103	0,091	0,118	0,121	0,117	0,075	0,066	0,055
DO6	0,138	0,143	0,144	0,132	0,163	0,169	0,165	0,119	0,117	0,106
UA7 I	0,032	0,041	0,041	0,040	0,055	0,057	0,058	0,041	0,038	0,035
UA7 II	0,011	0,015	0,016	0,016	0,018	0,019	0,020	0,015	0,016	0,015
UA7 III	0,006	0,008	0,008	0,007	0,010	0,010	0,010	0,008	0,008	0,007
UA8	0,064	0,084	0,087	0,085	0,098	0,103	0,105	0,067	0,068	0,065
UA9	0,056	0,072	0,072	0,067	0,083	0,088	0,091	0,051	0,047	0,041

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Moderada								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
Total	**0,978**	**1,050**	**1,047**	**0,959**	**1,231**	**1,274**	**1,255**	**0,879**	**0,830**	**0,729**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.35 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA O ABASTECIMENTO HUMANO RURAL NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,256	0,251	0,243	0,218	0,296	0,297	0,289	0,219	0,201	0,171
DO2	0,054	0,054	0,054	0,050	0,062	0,063	0,062	0,046	0,042	0,036
DO3	0,078	0,076	0,073	0,067	0,092	0,093	0,091	0,066	0,061	0,054
DO4	0,180	0,178	0,172	0,156	0,208	0,209	0,205	0,152	0,136	0,118
DO5	0,102	0,100	0,097	0,086	0,114	0,114	0,110	0,072	0,062	0,052
DO6	0,138	0,138	0,135	0,124	0,157	0,159	0,155	0,115	0,110	0,100
UA7 I	0,032	0,038	0,039	0,037	0,050	0,054	0,055	0,037	0,036	0,033
UA7 II	0,011	0,014	0,015	0,015	0,017	0,018	0,019	0,014	0,015	0,014
UA7 III	0,006	0,007	0,007	0,007	0,009	0,010	0,010	0,007	0,007	0,007
UA8	0,064	0,077	0,082	0,080	0,090	0,097	0,099	0,061	0,064	0,061
UA9	0,056	0,066	0,068	0,063	0,076	0,083	0,086	0,047	0,045	0,039
Total	**0,978**	**0,998**	**0,985**	**0,902**	**1,169**	**1,198**	**1,180**	**0,835**	**0,780**	**0,686**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.1.6 Perspectivas Endógenas do Esgotamento Sanitário

A demanda de assimilação de efluentes depende, por um lado, da quantidade e localidade das cargas geradas, o que remete às perspectivas exógenas tratadas no item 3.3.1.1 – Perspectivas Exógenas para as Populações Urbana e Rural. Por outro lado, a forma pela qual a carga é coletada ou não coletada; e tratada ou não tratada é referente à questão endógena: tem-se plena ingerência sobre o aporte de redes coletoras, estações de tratamento de esgotos ou mesmo fossas sépticas e sumidouros.

As formas de coleta e tratamento das cargas geradas pela população humana na bacia do rio Doce podem ser segregadas nas seguintes modalidades:

- ✓ Coleta com tratamento;
- ✓ Coleta sem tratamento;
- ✓ Sem coleta;

- ✓ Fossa séptica/sumidouro; ou
- ✓ Fossa rudimentar.

Cada um desses destinos é associado tanto a um coeficiente de abatimento de carga quanto ao local de lançamento (pontual ou difuso), sendo essencial para as simulações de qualidade da água e enquadramento dos corpos d'água em classes. Cabe ao prognóstico traçar as possibilidades de modificação dos destinos atuais, com base nas tendências e nas perspectivas de interferência moderada e intensa de gestão.

O Quadro 3.36 apresenta a destinação dos esgotos gerados pela população humana na cena atual, denotando o alto grau de coleta que não é acompanhada de tratamento. Importante salientar que o quadro traz a somatória do percentual de atendimento registrado em cada município, com sede na bacia do rio Doce, ponderado pela população total na cena atual. Por esta média ponderada, observa-se que apenas uma quinta-parte dos esgotos sanitários são coletados e tratados, enquanto o uso de fossa séptica - destinação adequada para as situações de baixa densidade populacional - tem uma penetração muito baixa. Nota-se, ainda, que enquanto a média ponderada aponta para 62% de coleta sem tratamento, em diversas bacias afluentes esse percentual de atendimento é significativamente mais baixo, a exemplo da DO3, UA7 II, DO2 e UA9.

QUADRO 3.36 - DESTINAÇÃO DOS ESGOTOS GERADOS NA CENA ATUAL (%)

Bacia Afluente	*Coleta e Tratamento*	*Coleta sem Tratamento*	*Fossa Séptica*	*Sem Coleta*	*Fossa Rudimentar*
DO1	5,5%	74,1%	1,5%	14,2%	4,6%
DO2	34,1%	54,0%	1,0%	8,7%	2,3%
DO3	33,5%	49,4%	1,4%	9,7%	6,1%
DO4	4,6%	77,3%	1,8%	7,8%	8,6%
DO5	2,5%	68,3%	3,3%	19,7%	6,2%
DO6	6,2%	78,8%	1,0%	10,6%	3,4%
UA7 I	33,7%	59,0%	2,0%	0,4%	4,9%
UA7 II	41,3%	53,0%	2,1%	0,2%	3,4%
UA7 III	2,6%	60,9%	6,6%	5,8%	24,1%
UA8	14,9%	66,7%	2,4%	5,2%	10,7%
UA9	63,2%	9,4%	3,2%	5,4%	18,7%
Total	***19,2%***	***62,3%***	***1,8%***	***10,1%***	***6,6%***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Das 211 sedes municipais pertencentes à bacia do rio Doce, apenas 123 reportaram ao SNIS contar com alguma ligação de esgoto (ativa e inativa) em 2010, sendo que esse quantitativo aumentou para 176 municípios em 2020. Os mesmos dados para o índice de tratamento de esgoto reportados ao SNIS relevam que, em 2010, apenas 35 sedes municipais haviam informado algum percentual de tratamento, quantitativo esse que sobe para 54 municípios em 2020. Com base nos dados do Atlas Esgotos (op. cit.) para 2013 e 2019, tem-se uma confirmação da realidade de baixos índices de coleta e tratamento de esgotos na bacia: em 2013, 42 sedes

contavam com sistemas de coleta e tratamento, sendo que em 2019 esse quantitativo subiu para 45.

Para agravar a situação da grande quantidade de municípios que não conta com serviços de coleta e tratamento de esgotos, aqueles que o fazem tendem a apresentar índices relativamente baixos de cobertura e de tratamento. O Quadro 3.37 apresenta os dados do Atlas Esgotos (op. cit.) para os municípios com sede na bacia, evidenciando que os investimentos em coleta e tratamento ocorridos entre 2013 e 2019 não foram suficientes para elevar os índices finalísticos. A queda no índice ponderado de coleta e tratamento é, em parte, fruto da entrada dos novos municípios à base de cálculo, sendo que estes o fizeram com percentuais menores de atendimento. Há, também, municípios onde a população cresceu e as condições de atendimento não, gerando queda no índice resultante. Dos 13 municípios que já contavam com serviços em 2013 e que aprimoraram seus índices em 2019, a média dessa melhora foi de 13% (2,2% ao ano).

QUADRO 3.37 - ÍNDICE DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTOS DO ATLAS ESGOTOS

Situação dos Municípios	*2013*	*2019*
Municípios com serviços de coleta e tratamento (dentre 211 com sede na bacia)	42	55
Média de coleta e tratamento, ponderada pela população total	57,1%	48,1%
Incremento médio no índice de coleta e tratamento dentre os 13 municípios que tiveram melhorias	-	13%

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de Atlas Esgotos (op. cit.)

Muito embora a análise pretérita aponte para uma situação bastante negativa para os serviços de esgotamento sanitário, há expectativa de que o Novo Marco Legal do Saneamento inaugure uma fase de maiores investimentos, como visto no item 3.2.5 - Ampliações no Capital Fixo. O diploma legal também traça a meta de universalização dos serviços até 2033 com atendimento de 90% da população. Essa meta está alinhada à do Plansab (*op. cit.*), cuja meta para 2033 para a região Sudeste é de 98% dos domicílios urbanos servidos com rede coletora ou fossa séptica para os esgotos, e de 90% para o tratamento do esgoto coletado.

Um indicativo complementar de que as perspectivas de investimentos no setor de saneamento poderão vir a se concretizar é a existência de Planos Municipais de Saneamento Básico: um total de 199 municípios da bacia do rio Doce conta com planos vigentes e disponíveis para consulta pública na internet[73], passos básicos para pleitear investimentos, seja via linhas dedicadas do Governo Federal (via Caixa econômica, Banco do Brasil e BNDES)[74] ou via outras modalidades ou instituições.

De forma a contemplar a expectativa de incremento de investimentos no setor, a perspectiva tendencial traz acréscimos anuais de coleta e tratamento de esgotos à taxa de 2,2%, espelhando os incrementos nos índices observados pelos municípios na bacia. Pressupõe-se a mesma taxa

[73] Dois desses planos são do ano de 2013, 5 do ano de 2014, 57 de 2015, 117 de 2016, 6 de 2017, 11 de 2018 e 1 de 2019. As informações completas dos PMSB foram apresentadas no Diagnóstico (PP 03).

[74] A Caixa Econômica Federal conta com as modalidades de concessão de crédito FINISA - Financiamento à Infraestrutura e ao Saneamento e Avançar Cidades - Saneamento para Todos (FGTS). Recursos do Avançar Cidades (FAT) são disponibilizados via Banco do Brasil. O BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social trabalha com o FINEM dos programas Desenvolvimento integrado dos municípios e Saneamento ambiental e recursos hídricos.

para o incremento nas soluções de fossa séptica/sumidouro para o meio rural. Uma vez que não se sabe qual município passará a ofertar os serviços de saneamento básico, aplica-se esse incremento para todos, com base na seguinte hierarquia:

- ✓ O incremento na coleta com tratamento ocorre sobre o percentual anterior de coleta sem tratamento; o incremento na coleta sem tratamento ocorre sobre o percentual anterior de sem coleta; o incremento na fossa séptica/sumidouro ocorre sobre o percentual anterior de sem coleta e de fossa rudimentar.
- ✓ Limita-se o índice de coleta com tratamento a 90% (segundo meta da Lei nº 14.026/2020), salvo quando o município já apresentar resultado acima desse patamar.

A visão tendencial, acima descrita, pode ser superada caso haja perspectivas de gestão proativas, podendo-se prever incrementos na coleta e tratamento de esgotos com o dobro da taxa tendencial. Essa expectativa positiva decorre dos esforços já empreendidos na bacia para o avanço do saneamento. O PIRH Doce de 2010 apresentou 4 programas associados à temática, quais sejam: P11- Programa de saneamento da bacia, P13 - Programa de apoio ao controle de efluentes em pequenas e microempresas, P41 - Programa de universalização do saneamento e P42 - Programa de expansão do saneamento rural. Conforme o Relatório de Implementação do PIRH Doce, todos esses programas foram priorizados no Plano de Aplicação Plurianual (PAP) 2016-2020, sendo que os resultados da avaliação da implementação do PIRH relativos a esses programas demostram que 60% das ações priorizadas foram executadas - trata-se dos melhores resultados de implementação do Plano.

A priorização e continuidade dessas ações foi mantida no plano de investimento do CBH Doce e dos afluentes mineiros no atual Plano de Aplicação Plurianual (PAP 2021-2025) pelos CBHs[75] (Quadro 3.38). Neste PAP, está prevista inversão de R$ 72,00 milhões para a implementação de ações do P11 e P41, bem como R$ 40,47 milhões para a implementação de ações do P42 e P12 (programa com interface ao saneamento).

QUADRO 3.38 - INVESTIMENTO PREVISTO NO PAP 2021-2025 DAS BACIAS AFLUENTES MINEIRAS PARA PROGRAMAS EM SANEAMENTO (MIL R$)

Bacia Afluente	*P11*	*P41*	*P42*	*Total*
DO1	7.500	6.000	5.800	19.300
DO2	11.250	5.900	77.640	94.790
DO3	1.800	1.200	11.711	14.711
DO4	700	553	2.760	4.013
DO5	1.312	250	2.800	4.362
D06	-	-	3.500	3.500

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base no PAP 2021-2025

As ações desses programas previstos no PAP 2021-2025, em sua grande maioria, compreendem a elaboração de estudos, o repasse de recursos aos municípios para fomento a implantação, expansão e adequação de SES e SAA e a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico.

[75] Disponível em: https://agedoce.org.br/plano-de-aplicacao-plurianual/

Destaca-se que as ações dos Programas P11 e P42, priorizadas no PAP 2021-2025, estão detalhadas no MOP Preliminar (PP 02), cujas ações são prescritas para o curtíssimo prazo, compreendendo os anos de 2021 e 2022.

- ✓ A ação do P11 envolve a publicação de chamamento público e o repasse de recursos aos municípios para elaboração de estudos para implantação de SES. Conforme o detalhamento, o repasse deverá ser concluído até final de 2022;
- ✓ Já as ações do P42 estão estruturadas junto com as atividades da Iniciativa Rio Vivo. Para além do P42, a iniciativa Rio Vivo contempla os programas P12 e P52. Ela objetiva desenvolver diversos estudos e implantar adequações ambientais em propriedades rurais, visando sua sustentabilidade e segurança hídrica. Essa estratégia visa aumentar a disponibilidade e qualidade de água nas regiões contempladas pela Iniciativa.

Destaca-se que os afluentes capixabas não possuem PAP, visto que o instrumento de cobrança pelo uso de recursos hídricos ainda não foi implementado no Espírito Santo. Desta forma, os afluentes capixabas recebem somente recursos oriundos da cobrança na calha do rio Doce para implementação desses programas, cujos montantes acabam sendo, portanto, mais tímidos.

Em consulta à Companhia Espíritosantense de Saneamento - CESAN, obtiveram-se os planos de expansão dos serviços de esgotamento sanitário para os municípios capixabas atendidos pela companhia que se localizam na bacia: Afonso Cláudio, Águia Branca, Alto Rio Novo, Brejetuba, Pancas, Santa Teresa, São Gabriel da Palha, São Roque do Canaã e Vila Valério. São diversas intervenções previstas para estações de tratamento de efluentes, elaboração de projetos previstos, porém, ainda sem definição do tipo de tratamento a ser adotado, e outros projetos de soluções já definidas, como lagoas de estabilização em São Gabriel da Palha e UASB com biofiltro aerado e decantador secundário em Vila Valério. O total de investimento previsto para o conjunto de municípios citados é de R$ 54,65 milhões até 2027, com adicionais R$ 35,92 milhões até 2032.

Outro fator relevante na bacia, oriundo do rompimento da barragem de Fundão, é a atuação da Fundação Renova. Segundo o Termo de Transação de Ajustamento de Conduta (TTAC), os 39 municípios da Área Ambiental 2 (municípios banhados pelo rio Doce e pelos trechos impactados dos rios Gualaxo do Norte e Carmo)[76] terão disponibilizados R$ 500 milhões para custeio na elaboração de planos de saneamento básico, projetos de sistemas de esgotamento sanitário, implementação de obras de coleta e tratamento de esgotos, erradicação de lixões e implantação de aterros sanitários (Cláusula nº 169).

Para a perspectiva de gestão moderada, portanto, pode-se prever que os municípios da Área Ambiental 2 incrementem os serviços de esgotamento sanitário de forma mais vigorosa. Consultou-se, como forma de balizar a expectativa de incrementos nos serviços desses municípios, as informações dos pleitos realizados por eles à Fundação. Eis que a organização de

[76] São eles: Barra Longa, Bom Jesus do Galho, Córrego Novo, Dionísio, Mariana, Marliéria, Pingo-d'Água, Raul Soares, Rio Casca, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, São José do Goiabal, São Pedro dos Ferros, Sem-Peixe, Ipatinga, São Domingos do Prata, Timóteo, Belo Oriente, Santana do Paraíso, Galiléia, Governador Valadares, Itueta, Naque, Periquito, Resplendor, Alpercata, Bugre, Caratinga, Conselheiro Pena, Fernandes Tourinho, Iapu, Ipaba, Sobrália, Tumiritinga, Aimorés, Baixo Guandu, Colatina, Marilândia e Linhares.

tais informações não permitiu compreender o estágio de desenvolvimento dos projetos ou mesmo sua abrangência em termos de resultado finalístico de variação no índice de coleta e/ou tratamento de esgoto. Não há, por exemplo, vinculação com os programas ou ações dos Planos Municipais de Saneamento Básico, ou indicação do público-alvo[77]. Dessa forma, optou-se por adotar, no contexto da perspectiva de gestão moderada, uma taxa de evolução do índice de coleta e tratamento de esgotos equivalente ao dobro dos demais municípios.

Já quanto as perspectivas de gestão intensa, como não poderia deixar de ser, tem-se a simulação da universalização dos serviços de esgotamento sanitário, compreendendo 90% de atendimento com coleta e tratamento e 10% com fossa séptica/sumidouro. Para realizar a simulação de cumprimento da meta, aplica-se aos índices de atendimento atuais o incremento suficiente para o atendimento de 90% em 2033, proporcionalizada para o ano de 2032, um antes do marco-final.

De forma a prospectar o resultado intermediário de 2027, assumiu-se o alcance parcial equivalente a cobertura de 35% da distância entre a cena atual e a meta. Esse percentual se estabelece considerando o estágio atual de implementação das mudanças do Novo Marco Legal do Saneamento, conforme discutido no item 3.2.5 – Ampliações no Capital Fixo. Como forma de reconhecer que os municípios da Área Ambiental 2 provavelmente estão mais bem preparados para avançar na temática de saneamento a partir dos esforços previstos no TTAC, assume-se que o percentual de cobertura da distância até a meta, em 2027, é de 50% e não de 35% como para os demais.

Em resumo, as perspectivas endógenas para o esgotamento sanitário são:

- ✓ ***Business as usual*** **(BAU**) – continuação das tendências de gestão passadas: incremento de 2,2% ao ano no índice de coleta com tratamento e fossa séptica/sumidouro;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: incremento de 4,3% ao ano no índice de coleta com tratamento e fossa séptica/sumidouro, com o dobro da taxa para os municípios da Área Ambiental 2 do TTAC; e
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: cumprimento da meta de atendimento prescrita pela Lei nº 14.026/2020 para 2033 (proporcional para 2032). Em 2042, mantém-se a meta plenamente cumprida (90% de coleta com tratamento e 10% de fossa séptica/sumidouro), salvo para os locais que já apontam resultados melhores na cena atual.

Com base nas premissas apresentadas, apresentam-se nos Quadros 3.39 a 3.41 as frações resultantes de coleta e tratamento, coleta sem tratamento e de adoção de fossa séptica/sumidouro. Quando a soma destes três percentuais resulta em valores menores do que 100%, revela a existência de frações da população ainda sem atendimento ou cuja destinação de seus esgotos se dá via fossas rudimentares. Os quadros apresentam o resultado da somatória

[77] A título de exemplo, seguem escopos solicitados: "Elaboração de projetos de sistema de esgotamento sanitário da sede do município e dois distritos" e "Execução de obras para coleta e tratamento de esgoto para a sede do município".

dos percentuais de atendimento de saneamento ponderados pela população total dos municípios com sede na bacia na cena atual, representando assim médias ponderadas pelo porte populacional.

Os resultados demonstram a mecânica adotada de substituição de destinações mais inadequadas para as mais adequadas, como é o caso das localidades que passam a aumentar sua destinação via fossa séptica/sumidouro em detrimento do uso de fossas rudimentares ou mesmo de situações sem coleta alguma. De forma geral, mesmo no cenário tendencial sem incremento de gestão, há um paulatino aprimoramento na prestação dos serviços.

QUADRO 3.39 - DESTINAÇÃO DOS ESGOTOS GERADOS NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU (%)

Bacia Afluente	Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)								
	2027			2032			2042		
	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica
DO1	15,2	65,9	2,0	23,9	58,7	2,5	39,2	45,8	3,3
DO2	41,0	48,1	1,2	47,1	42,8	1,5	57,7	33,4	1,8
DO3	40,0	44,0	2,0	45,7	39,2	2,6	56,0	30,6	3,7
DO4	13,9	68,8	2,7	22,2	61,2	3,6	37,0	47,8	5,1
DO5	12,2	60,8	4,0	20,8	54,2	4,6	36,1	42,3	5,7
DO6	16,0	70,2	1,3	24,7	62,5	1,7	40,3	48,8	2,3
UA7 I	40,2	52,5	2,5	46,0	46,8	3,0	56,4	36,5	3,8
UA7 II	47,2	47,2	2,4	52,4	42,0	2,8	61,6	32,8	3,3
UA7 III	10,0	54,2	9,2	16,5	48,3	9,9	28,1	37,7	9,9
UA8	22,8	59,4	3,6	29,8	52,8	4,7	42,4	41,2	6,5
UA9	64,8	8,4	5,3	66,3	7,5	7,1	68,8	5,8	9,4
Total	***27,2***	***55,5***	***2,5***	***34,2***	***49,4***	***3,1***	***46,8***	***38,6***	***4,3***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.40 - DESTINAÇÃO DOS ESGOTOS GERADOS NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO MODERADA (%)

Bacia Afluente	Perspectiva endógena de Gestão moderada								
	2027			2032			2042		
	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica
DO1	28,5	54,8	2,6	45,5	40,6	3,5	67,7	21,9	4,7
DO2	50,7	39,8	1,8	62,2	29,3	2,5	77,2	15,7	3,7
DO3	50,3	34,7	2,7	62,3	24,3	3,8	76,8	12,3	5,4
DO4	32,5	51,3%	3,8	51,8	33,5	5,4	71,8	15,4	7,7
DO5	31,3	45,6	5,2	51,2	30,0	6,6	71,8	13,9	8,0
DO6	25,6	61,7	1,7	40,6	48,3	2,3	63,7	27,6	3,3
UA7 I	54,0	38,8	3,0	67,9	25,0	3,8	81,4	11,2	5,1
UA7 II	52,7	41,7	2,8	61,6	32,8	3,3	75,7	18,8	4,2
UA7 III	16,9	47,9	9,7	28,0	37,7	9,8	45,6	21,6	9,9

Bacia Afluente	Perspectiva endógena de Gestão moderada								
	2027			2032			2042		
	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica
UA8	42,3	40,6	4,9	60,5	23,4	6,9	76,6	8,6	9,7
UA9	66,9	7,4	9,3	69,7	5,8	9,5	73,3	3,3	9,9
Total	***40,0***	***44,2***	***3,6***	***54,8***	***31,2***	***4,9***	***72,4***	***15,9***	***6,7***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.41 - DESTINAÇÃO DOS ESGOTOS GERADOS NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA (%)

Bacia Afluente	Perspectiva endógena de Gestão intensa								
	2027			2032			2042		
	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica	Coleta e Tratamento	Coleta sem Tratamento	Fossa Séptica
DO1	39,2	51,5	3,5	89,0	6,4	4,6	95,4	0,0	4,6
DO2	57,3	35,6	3,3	90,5	4,3	5,2	94,8	0,0	5,2
DO3	57,2	35,9	3,2	91,0	4,4	4,6	95,4	0,0	4,6
DO4	41,6	51,8	3,6	88,3	6,4	5,2	94,8	0,0	5,2
DO5	40,5	45,8	5,2	88,2	6,6	5,2	94,8	0,0	5,2
DO6	37,2	55,7	3,1	88,7	6,3	5,0	95,0	0,0	5,0
UA7 I	57,3	36,2	6,3	86,3	4,0	9,6	90,4	0,0	9,6
UA7 II	58,3	35,6	6,0	86,5	3,5	10,0	90,0	0,0	10,0
UA7 III	36,5	54,7	6,6	89,0	1,0	10,0	90,0	0,0	10,0
UA8	49,9	44,3	3,7	90,0	5,8	4,3	95,7	0,0	4,3
UA9	74,0	17,5	6,1	89,1	2,0	8,9	91,1	0,0	8,9
Total	***48,6***	***43,3***	***3,9***	***89,2***	***5,4***	***5,4***	***94,6***	***0,0***	***5,4***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Um outro importante elemento dos cenários de esgotamento sanitário é a eficiência no abatimento da carga orgânica obtida pelas estações de tratamento. Em última instância, o que define a eficiência requerida por uma estação de tratamento de esgoto é o corpo receptor. Uma vez que este apresente um enquadramento mais leniente, a eficiência da ETE pode ser reduzida de acordo; caso contrário, a eficiência da ETE deve ser maior para fazer frente a classes mais exigentes e a corpos d'água com menor capacidade de depuração.

O Atlas Esgotos (op. cit.) aponta, para o horizonte de 2035 e por município, a necessidade de remoção de carga orgânica em decorrência da capacidade de assimilação do corpo receptor, ou seja, considerando a capacidade de depuração. Uma vez que nem todos os corpos d'água contam com enquadramento (tal como os corpos d'água da bacia do rio Doce, atualmente e à exceção da bacia afluente rio Piracicaba), o citado planejamento adotou os parâmetros equivalentes ao de um enquadramento de Classe 2.

Dessa forma, os cenários utilizam das indicações do Atlas Esgotos (op. cit.) para as necessidades de remoção, por município, mesmo sabendo que a consideração dos corpos hídricos não enquadrados como Classe 2 poderá gerar alterações nas eficiências requeridas pelas ETEs em função do enquadramento a ser definido por este Plano de Bacia. Ou seja, após a definição das alternativas de enquadramento, será verificada, com apoio na modelagem matemática, a classe que poderá (ou não) ser atendida, recomendando-se, quando for o caso, o aumento da eficiência de remoção de cargas promovida pelas ETEs e/ou a opção por um novo corpo receptor.

As remoções indicadas pelo Atlas Esgotos (op. cit.) variam entre 60 e 80% ou acima de 80%. Como forma de contemplar as perspectivas de gestão, adotam-se as seguintes premissas:

- ✓ ***Business as usual* (BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: percentual de remoção mínimo indicado pelo Atlas Esgotos (op. cit.);
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: percentual de remoção médio entre as faixas indicadas pelo Atlas Esgotos (op. cit.) (70% para a indicação "entre 60 e 80%" e 85% para a indicação "acima de 80%");
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: percentual de remoção máximo entre as faixas indicadas pelo Atlas Esgotos (op. cit.) (limitado a 90% para a indicação "acima de 80%".

Os resultados estão no Quadro 3.42, sendo que os percentuais são fruto da compilação dos resultados atuais das ETEs que apresentam, na cena atual, graus de eficiência acima dos estabelecidos pelas perspectivas de gestão, e estes são mantidos - resultando nas frações apresentadas.

QUADRO 3.42 - EFICIÊNCIA MÉDIA DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTOS NA REMOÇÃO DE DBO (%)

Bacia Afluente	*Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)*	*Perspectiva Endógena de Gestão Moderada*	*Perspectiva Endógena de Gestão Intensa*
DO1	62,3	71,7	81,1
DO2	61,3	70,9	80,6
DO3	64,5	73,4	82,3
DO4	67,6	75,7	83,8
DO5	69,6	77,2	84,8
DO6	66,7	75,	83,3
UA7 I	70,0	77,5	85,0
UA7 II	80,0	85,0	90,
UA7 III	60,0	70,0	80,0%
UA8	75,0	81,3	87,5
UA9	76,0	83,0	90,0

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

O Atlas Esgotos (op. cit.) aponta, ainda, para a necessidade de atenção quanto ao tratamento dos nutrientes fósforo e nitrogênio. Das 211 sedes municipais na bacia do Doce, não há nenhuma indicação de preocupação com o nitrogênio. Entretanto, verificam-se 143 indicações de atenção ao fósforo (68% do total). Dessa forma, os capítulos seguintes abordam análises complementares para esse parâmetro.

3.3.1.7 Perspectivas Exógenas para a Área Ocupada pela Mancha Urbana

Para fins de modelagem da qualidade da água, não apenas as frações de coleta e tratamento de esgotos são relevantes, mas também a própria área ocupada pela mancha urbana (km^2). Afinal, é nessa área que são atribuídas as cargas geradas na área urbana, mas que não contam com um ponto específico de lançamento.

A forma de se estimar a variação das áreas urbanas nas perspectivas exógenas seguiu o roteiro aqui descrito. Primeiramente, foram investigadas as relações entre a variação da população urbana versus a variação na área ocupada pela mancha urbana. Para tanto, fez-se uso dos dados de população urbana e da área urbanizada mapeada pela plataforma MapBiomas. Em seguida, calcularam-se os graus de elasticidade entre a variação na população e a mudança na área, notando-se uma clara tendência de adensamento, ou seja, variações na área ocupada são menores do que as variações na população (Quadro 3.43).

QUADRO 3.43 - TAXAS ANUALIZADAS DE VARIAÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA E DA MANCHA URBANA (%)

Bacia Afluente	*1991-2000*		*2000-2010*		*2010-2020*	
	População Urbana	*Área Urbana*	*População Urbana*	*Área Urbana*	*População Urbana*	*Área Urbana*
DO1	2,43	2,81	1,38	1,25	1,55	1,15
DO2	1,76	2,20	1,16	0,78	1,05	0,61
DO3	2,63	2,35	1,65	1,01	1,67	1,16
DO4	1,79	3,01	1,08	1,45	1,45	0,89
DO5	2,42	2,28	1,31	1,23	1,68	1,14
DO6	2,84	2,67	1,53	1,32	1,95	1,09
UA7	2,45	1,66	2,58	1,16	2,01	1,05
UA8	2,42	2,96	1,66	1,51	1,76	1,64
UA9	2,71	3,35	2,46	1,95	2,38	1,45
Total	***2,25***	***2,53***	***1,47***	***1,17***	***1,59***	***0,98***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Um segundo passo foi a identificação da tendência de variação dos graus de elasticidade, desvendando-se que a relação logarítmica é a que melhor explica a relação entre as variáveis. O terceiro passo foi a projeção dos graus de elasticidade nos horizontes temporais do PIRH Doce, enquanto o quatro passo foi a sensibilização das projeções nas perspectivas de maior ou menor grau de urbanização. Os graus de elasticidade projetados foram, finalmente, aplicados nas projeções de população urbana em cada uma das perspectivas exógenas, gerando as projeções

da área ocupada pela mancha urbana, por município. O Quadro 3.44 apresenta os resultados obtidos.

QUADRO 3.44 - ÁREAS URBANAS PROJETADAS SEGUNDO AS PERSPECTIVAS POPULACIONAIS EXÓGENAS (KM²)

Bacia Afluente	Cena atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Urbanização			Perspectiva Exógena de Mais Urbanização		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	86,0	88,6	90,3	91,7	86,0	87,3	88,2	86,0	90,5	93,4
DO2	124,3	125,6	126,3	126,5	124,3	125,2	125,7	124,3	126,1	127,0
DO3	52,8	54,0	54,8	55,3	52,8	53,5	54,0	52,8	55,0	56,4
DO4	87,1	89,1	90,3	90,9	87,1	88,2	88,8	87,1	90,7	92,8
DO5	40,9	42,0	42,8	43,5	40,9	41,5	41,9	40,9	42,8	44,1
DO6	33,1	34,0	34,6	35,1	33,1	33,6	33,9	33,1	34,7	35,5
UA7	11,5	12,0	12,3	12,6	11,5	11,8	12,0	11,5	12,1	12,7
UA8	19,0	20,0	20,7	21,7	19,0	19,7	20,2	19,0	20,6	21,5
UA9	32,3	33,5	34,3	35,0	32,3	33,1	33,6	32,3	34,0	35,1
Total	***487,0***	***498,7***	***506,2***	***512,4***	***487,0***	***493,8***	***498,2***	***487,0***	***506,5***	***518,7***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

As projeções de áreas urbanas ocupadas compõem, em conjunto com as projeções das demais áreas ocupadas, a mecânica de do seu rebatimento no território da bacia do rio Doce, subsidiando assim o modelo de qualidade da água, como se discutirá no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Usos e Ocupação do Solo**Erro! Fonte de referência não encontrada.**.

3.3.2 Agricultura e Agricultura Irrigada

A agricultura é atividade que ocorre em todos os municípios da bacia do rio Doce, respeitando-se diferentes cultivos e a presença ou não de irrigação. A importância da atividade para a gestão dos recursos hídricos se dá tanto pela área ocupada, que compete com os demais usos do solo e é fonte de poluição difusa, quanto pelas altas demandas de irrigação.

Segundo o item 2.1.1 deste relatório, as demandas de retirada para irrigação correspondem a uma vazão de 35,14 m³/s, ou 53,2% do total demandado das águas da bacia do rio Doce. Tem-se, na irrigação, o principal usuário das águas na bacia, uso esse que está altamente concentrado na porção capixaba da bacia, onde perfaz 87,6% da demanda na UA7 I, 93,4% na UA7 II, 93,0% na UA7 III, 92,8% na UA8 e 71,3% na UA9 (somando uma vazão de 27,38 m³/s).

Em sua versão de 2010, o PIRH Doce havia previsto um forte crescimento para as demandas de irrigação, que haviam sido estimadas em 2006 (ano base) como sendo de 15,143m³/s. Mesmo na perspectiva mais intensa de desenvolvimento e sem a contrapartida da gestão, o plano trazia perspectivas de uma demanda de irrigação da ordem de 26,47 m³/s para 2030. Em contraste com a demanda atual, de 35,14 m³/s, nota-se que a perspectiva traçada em 2010 foi amplamente superada já na cena atual (2020).

QUADRO 3.45 - RETIRADA PROJETADA PARA IRRIGAÇÃO PELO PIRH DOCE 2010 (M³/S)

Cenários	*Retirada projetada para 2030*
Tendencial	23,234
Cenário de Desenvolvimento	26,467
Cenário de Desenvolvimento com gestão	25,143
Cenário de Pouco desenvolvimento	20,158
Cenário de Pouco desenvolvimento com gestão	19,150

Fonte: Adaptado do PIRH Doce de 2010

3.3.2.1 Perspectivas Exógenas para as Áreas de Agricultura

Conforme discutido no item 3.2.4 - Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo, as perspectivas para a produção agrícola no País apontam crescimento, pois atendem à demanda interna e externa. O Brasil está posicionado como um player relevante na comercialização de produtos vegetais, destacando-se o papel multifacetado da cana-de-açúcar para produção de açúcar ou álcool, a hegemonia da soja brasileira, a crescente produção do milho, especialmente em segunda safra, além do papel no café e do fumo, entre outros tantos destaques.

A produção de alimentos também é relevante para o suprimento da demanda interna com culturas como feijão, arroz e mandioca. Adicionalmente, observa-se um grande potencial de crescimento no consumo interno de frutas. Embora a Organização Mundial da Saúde recomende o consumo de, no mínimo, 400 g de frutas e hortaliças por dia por 5 ou mais dias na semana, pesquisa realizada em 2017 indica que apenas 40% dos brasileiros devem seguir essa orientação[78]. Enquanto esse consumo no Brasil revelou ser de 57 kg/ano, na Europa a média é 2,3 vezes maior. Outra conclusão interessante que emerge é a forte relação que a decisão de consumo de frutas e legumes tem com o conhecimento sobre os benefícios à saúde e com a escolaridade, ou seja, com o acesso à informação. A combinação de uma população com maior nível de renda e de escolaridade resultará, enfim, em maiores índices de consumo per capita de frutas e legumes.

O Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura (MAPA, 2018)[79] aponta um paradoxo na fruticultura brasileira: "*enquanto a citricultura voltada para produção de sucos se destaca como um dos exemplos mais bem sucedidos do mundo, a produção de frutas frescas, sucos tropicais e demais derivados, apesar do seu imenso potencial, e ao contrário dos grandes países produtores de frutas, ainda carece de uma efetiva estratégia que permita conciliar uma produção de alta qualidade, com frutas com atributos de segurança e rastreabilidade, para atendimento aos mercados interno e externo.*" (pág. 9). O referido Plano apresenta, ainda, a alta concentração na produção de frutas, sendo que apenas 5 delas (mangas, castanhas, melões, limões e uvas) concentram cerca de 75% das exportações.

A ênfase nas frutas se faz relevante devido ao papel destes cultivos na bacia do rio Doce, que não detém produções expressivas de commodities agrícolas, salvo por alguns enclaves. A agricultura mecanizada, moderna e de alta produtividade voltada ao atendimento dos mercados

[78] Disponível em: https://saberhortifruti.com.br/consumo-de-frutas-e-hortalicas-no-brasil-esta-abaixo-do-recomendado-diz-datafolha/
[79] MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Nacional de Desenvolvimento da Fruticultura - PNDF. Brasília, DF. 2018.

externos, exige solos planos ou suavemente ondulados, além de uma propensa fertilidade do solo e acesso ao para os mercados compradores[80]. Embora a bacia do rio Doce conte com diversos desses atributos, o primeiro deles acaba sendo escasso. Dessa forma, a agricultura de commodities não consegue se estender para além das áreas propícias na porção capixaba da bacia. Em grande parte da extensão mineira, a agricultura é restrita a cultivos permanentes e de menor escala.

A forma de prospectar os desenrolares exógenos para as diferentes culturas na bacia do rio Doce parte do histórico de vinte anos (2001 a 2020) de área plantada (para culturas temporárias) e de área destinada à colheita (para culturas permanentes), em cada município, trazidos pela pesquisa Produção Agrícola Municipal - PAM/IBGE[81]. Os dados municipais são então agrupados, para fins de identificação das tendências de longo prazo, por região rural do IBGE. Esta divisão territorial traz na produção agroindustrial o seu principal elemento de referência, identificando regiões geográfica e produtivamente aderentes quanto ao espaço rural.

A agregação das informações municipais nas regiões rurais, portanto, visa dirimir eventuais erros de entrada na base de dados e permite capturar movimentos mais estáveis e de longo prazo nas unidades geográficas onde os padrões mercadológicos e tecnológicos também devem encontram maior referência. São cinco regiões rurais que abrigam os municípios da bacia do rio Doce, quais sejam: Região Rural da Capital Regional de Teófilo Otoni, Região Rural das Capitais Regionais de Ipatinga e Governador Valadares, Região Rural da Capital Regional de Juiz de Fora, Região Rural da Metrópole de Belo Horizonte, e Região Rural da Capital Regional de Vitória.

Com base nas séries históricas de 68 cultivos agrícolas, dentre temporários e permanentes[82], foi identificado os 35 de maior relevância para as cinco regiões rurais consideradas. Em conjunto, estes 35 cultivos representam 99,8% da área plantada em 1ª safra, obtendo-se na média das séries históricas um mínimo de representatividade de 98,7%. Para a obtenção das áreas apenas em 1ª safra, evitando-se assim a dupla contagem de áreas em relação ao uso de uma mesma porção de solo para dois ou mais ciclos de cultivo, considerou-se exclusivamente estas áreas para as culturas assim discriminadas pelo IBGE, a saber: milho, feijão, batata-inglesa e amendoim.

Em seguida, estes 35 cultivos foram agrupados em seis grupos pela afinidade de cultivo e de mercado, quais sejam:

- ✓ Café: grupo exclusivo para o café;
- ✓ Cana-de-açúcar: grupo exclusivo para a cana-de-açúcar;
- ✓ Frutas: banana, coco-da-baía, mamão, tangerina, manga, laranja, abacate, goiaba, maracujá, maçã, melancia, pêssego, limão, abacaxi, uva e caqui;

[80] FERREIRA, Manuel E.; FERREIRA, Laerte G. Jr.; LATRUBESSE, Edgardo M.; MIZIARA, Fausto. Considerations about the land use and conversion trends in the savanna environments of Central Brazil under a geomorphological perspective. Journal of Land Use Science, 2013.
[81] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas
[82] São eles: Abacate, Abacaxi, Açaí, Alfafa fenada, Algodão arbóreo, Algodão herbáceo, Alho, Amendoim, Arroz, Aveia, Azeitona, Banana, Batata-doce, Batata-inglesa, Borracha, Cacau, Café, Caju, Cana-de-açúcar, Cana para forragem, Caqui, Castanha de caju, Cebola, Centeio, Cevada, Chá-da-índia, Coco-da-baía, Dendê, Erva-mate, Ervilha, Fava, Feijão, Figo, Fumo, Girassol, Goiaba, Guaraná, Juta, Laranja, Limão, Linho, Maçã, Malva, Mamão, Mamona, Mandioca, Manga, Maracujá, Marmelo, Melancia, Melão, Milho, Noz, Palmito, Pera, Pêssego, Pimenta-do-reino, Rami, Sisal ou agave, Soja, Sorgo, Tangerina, Tomate, Trigo, Triticale, Tungue, Urucum e Uva.

- ✓ Grãos: milho, feijão, trigo, soja, arroz e amendoim;
- ✓ Olerícolas: pimenta-do-reino, mandioca, tomate, batata-doce, batata-inglesa, cebola e alho; e
- ✓ Outras: cacau, borracha, urucum e palmito.

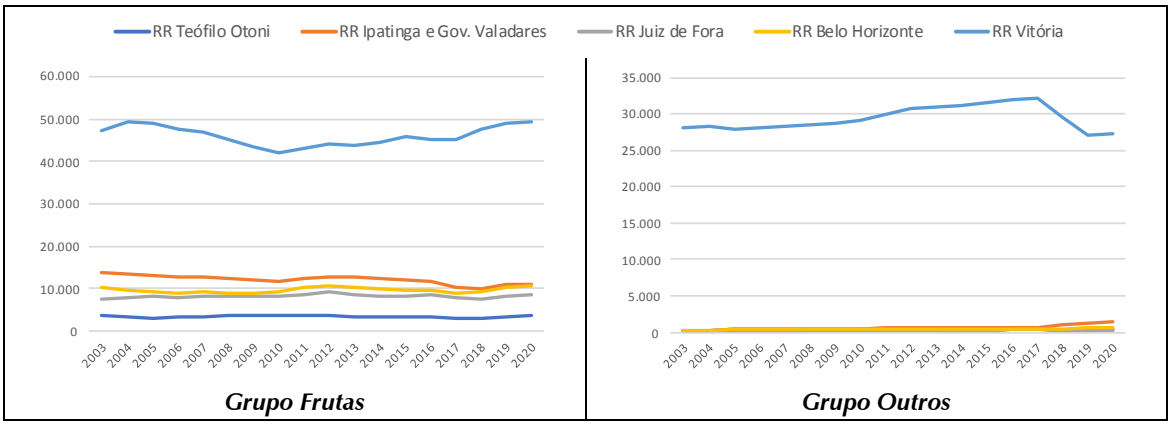
O Quadro 3.46 apresenta as áreas cultivadas na cena atual, na bacia do rio Doce, segundo o recorte das regiões rurais adotado.

QUADRO 3.46 - ÁREAS CULTIVADAS NA CENA ATUAL NA BACIA DO RIO DOCE, SEGUNDO O RECORTE DE REGIÃO RURAL (HA)

Grupos	*RR de Teófilo Otoni*	*RR de Ipatinga e Governador Valadares*	*RR de Juiz de Fora*	*RR de Belo Horizonte*	*RR de Vitória*	*Total*
Frutas	205	13.929	2.260	1.581	26.098	44.072
Outros	8	1.356	93	203	28.821	30.479
Grãos	2.299	55.892	22.176	8.111	11.173	99.651
Olerícolas	323	4.267	786	488	19.446	25.311
Café	3.788	401.736	14.835	643	262.279	683.281
Cana-de-açúcar	529	28.750	2.877	3.303	20.826	56.284
Total	***7.151***	***505.930***	***43.027***	***14.327***	***368.642***	***939.078***

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base em PAM/IBGE

Os gráficos da Figura 3.28 apresentam a evolução da área plantada (para culturas temporárias) e da área destinada à colheita (para culturas permanentes) na somatória de todos os municípios pertencentes as regiões rurais, com base nos resultados médios de duas safras por grupos de culturas apenas descritos. Facilmente se pode observar a predominância, em área, do cultivo do café, assim como a relevância das frutas frente aos demais grupos. Nota-se, também, a hegemonia da região rural de Vitória sobre as demais em todos os grupos exceto o de grãos, onde as maiores áreas são cultivadas na região rural de Juíz de Fora.



Grupo Frutas ***Grupo Outros***

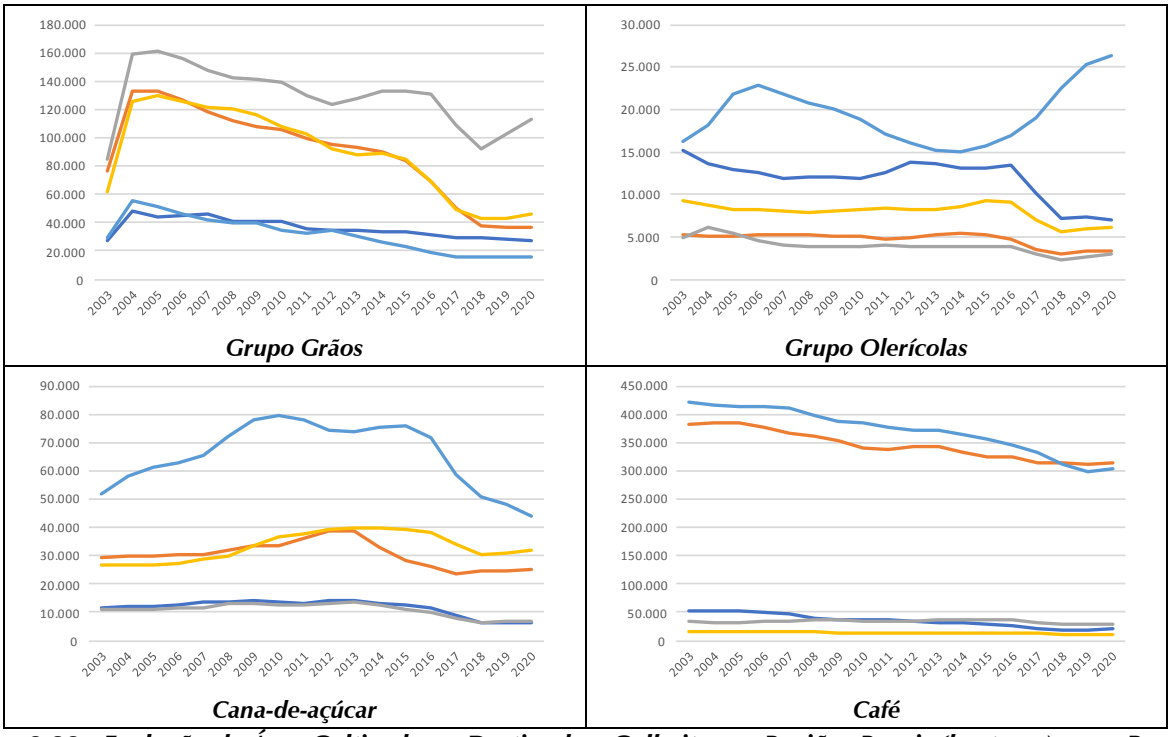


Figura 3.28 - Evolução da Área Cultivada ou Destinada a Colheita nas Regiões Rurais (hectares), com Base em PAM/IBGE

Com base na série histórica de cada grupo de cultura, é possível capturar as tendências específicas de longo prazo por região rural, assim como observar se os resultados atuais (dados pela média dos dois últimos anos, 2019-2020) estão acima ou abaixo da média dos últimos dez anos (entre 2011 e 2020). Pode-se, ainda, capturar a tendência anual de variação das áreas plantadas e destinadas a colheita. Nota-se que os municípios componentes da bacia do rio Doce perfazem frações significativas das áreas cultivadas de suas respectivas regiões rurais, a saber: 39% da RR de Teófilo Otoni, 92% da RR de Ipatinga e Governador Valadares, 44% da RR de Juiz de Fora, 24% da RR de Metrópole de Belo Horizonte, e 62% da RR de Vitória.

Adicionalmente, nota-se relevante abordar os resultados trazidos em Projeções do Agronegócio do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020)[83]. O estudo, publicado recorrentemente, apresenta projeções de área plantada que já consideram as variações na produtividade de diversas culturas. Lavouras como a mandioca, o café, o arroz, a laranja e o feijão, devem perder área de produção, muito embora essa redução venha a ser compensada por ganhos de produtividade.

As projeções do MAPA não são publicadas em base municipais ou mesmo pelas regiões rurais, mas trazem detalhamentos e recortes que tornam possível realizar associações entre as projeções e os grupos de cultura de interesse na bacia do Doce:

- ✓ As projeções MAPA para o cacau no Espírito Santo passam a ser tidas como representativas para todo o grupo Outros;

[83] MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Projeções do Agronegócio - Brasil 2020/21 a 2030/2031. MAPA, Brasília, 2020.

- ✓ As projeções MAPA para a cana-de-açúcar em Minas Gerais passam a ser tidas como representativas para este mesmo cultivar também no Espírito Santo;
- ✓ As projeções MAPA para os grãos na região Sudeste no Brasil passam a ser tidas como representativas para todo o grupo Grãos nos dois estados;
- ✓ As projeções MAPA para o café para as principais regiões produtoras brasileiras passam a ser tidas como representativas para este mesmo cultivar nos dois estados que, inclusive, figuram entre os principais produtores de café do Brasil;
- ✓ As projeções MAPA para a mandioca, a nível país, passam a ser tidas como representativas para todo o grupo Olerícolas; e
- ✓ As projeções MAPA agregadas para as frutas laranja, uva, maçã, banana, manga, melão e mamão, a nível país, passam a ser tidas como representativas para todo o grupo Frutas.

Com base nestas associações, é possível estimar as taxas anualizadas de crescimento tendencial e para os limites superiores e inferiores das projeções de MAPA (2020), como mostra o Quadro 3.47.

QUADRO 3.47 - TAXAS DE VARIAÇÃO ANUALIZADAS DE PROJEÇÕES ENTRE 2020/2021-2030/2031 PARA A ÁREA PLANTADA

Grupos	*Taxa Tendencial*	*Limite Inferior*	*Limite Superior*
Frutas	-0,93%	-5,00%	+1,69%
Outros	+0,44%	-0,71%	+1,43%
Grãos	+0,58%	-2,87%	+3,07%
Olerícolas	-1,81%	-8,89%	+1,86%
Café	-0,83%	-2,76%	+0,60%
Cana-de-açúcar	+1,97	-1,02%	+4,20%

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base em MAPA, 2020

Com base tanto nas estatísticas compiladas para as regiões rurais por meio das séries históricas dos grupos de cultura, como nas projeções do MAPA (2020), e ainda considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro**Erro! Fonte de referência não encontrada.**, é possível traçar as perspectivas exógenas para os grupos de culturas da seguinte forma:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: dada as incertezas que envolvem o momento atual, traça-se na perspectiva tendencial um retorno e/ou manutenção de níveis históricos de plantio. Uma vez que todos os grupos de cultura, em praticamente todas as regiões rurais, apresentam, na cena atual, níveis abaixo da média dos últimos dez anos, assume-se um retorno à essa média ao longo dos próximos dez anos (até 2032), enquanto se prevê um retorno à média de 20 anos até 2042, independente dessa média estar acima ou não dos níveis atuais;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: as perspectivas de maior crescimento para cada grupo de cultura são obtidas pela aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite superior das projeções MAPA (2020) para a área plantada, aplicada sobre as projeções tendenciais; e

- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: as perspectivas de menor crescimento para cada grupo de cultura são obtidas pela aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite inferior das projeções MAPA (2020) para a área plantada, aplicada sobre as projeções tendenciais.

Os resultados das projeções acima descritas são as áreas cultivadas, para cada região rural, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, sob as perspectivas regionais alinhadas aos cenários conjunturais econômicos. A partir das perspectivas para cada região rural, o passo seguinte é realizar o rebatimento destas nos municípios componentes da bacia do rio Doce. Para tanto, foi aplicada a taxa de variação da região sobre a área de cada grupo de cultura em cada município.

Os resultados obtidos para as perspectivas exógenas de variação da área cultivada de cada grupo de culturas são então somados para produzir as perspectivas de variação na ocupação total das áreas agrícolas, conforme pode ser observado no Quadro 3.48. Note-se que as áreas agrícolas deste quadro estão somadas nas bacias afluentes após espacialização nas ottobacias, refletindo de forma precisa as áreas projetadas para a bacia do rio Doce.

QUADRO 3.48 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DAS ÁREAS AGRÍCOLAS (MIL HA)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Exógena Tendencial*			*Perspectiva Exógena de Menos Crescimento*			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	182,5	194,4	208,8	215,8	171,7	190,3	179,9	210,8	221,7	243,5
DO2	6,4	6,9	7,6	8,0	6,4	7,1	7,0	7,7	8,2	9,2
DO3	10,4	12,1	13,8	14,6	10,8	12,6	12,3	13,8	15,2	17,9
DO4	20,0	24,0	28,2	30,3	20,4	25,2	24,0	27,8	31,3	36,7
DO5	62,6	66,2	70,1	72,0	59,3	64,5	61,1	69,9	73,1	78,7
DO6	160,4	168,0	176,6	180,6	143,7	158,4	145,5	176,8	183,4	195,5
UA7 I	35,5	36,4	37,9	38,7	30,9	33,6	30,6	38,1	39,2	41,2
UA7 II	22,2	22,5	23,2	23,5	20,1	21,3	20,0	23,4	23,8	24,8
UA7 III	41,5	42,7	44,2	44,9	38,6	41,1	39,0	44,4	45,5	47,7
UA8	230,3	233,1	237,6	239,8	215,8	224,8	215,2	239,3	242,0	248,2
UA9	167,2	169,5	174,6	176,9	154,2	163,6	155,4	175,6	178,5	182,9
Total	**939,1**	**975,8**	**1.022,7**	**1.045,2**	**871,8**	**942,7**	**889,9**	**1.027,5**	**1.062,0**	**1.126,4**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.2.2 Perspectivas Endógenas para as Áreas de Agricultura

A ocupação de áreas agrícolas é vinculada à geração de poluição hídrica difusa, notadamente pela lixívia de adubos químicos, fertilizantes e agrotóxicos, mas também pelas condições de erodibilidade dos solos, que passam a estar mais propensos a carrear sedimentos aos corpos d'água. Segundo o mapeamento diagnóstico, 10,9% da paisagem da bacia do rio Doce é de áreas agrícolas, cobrindo uma extensão de 9,4 mil km^2.

Além das demandas hídricas, portanto, a investigação prospectiva da área ocupada pela atividade agrícola deve abordar as suas consequências na qualidade da água. Embora não seja prática corrente, a ocupação e manejo das áreas agrícolas podem ser objeto de gestão de recursos hídricos. Como conclui o PERH-ES e o próprio diagnóstico deste PIRH Doce, a relação entre uso do solo e gestão ambiental não pode se dissociar do gerenciamento de recursos hídricos, todos devendo promover o seu uso eficiente.

Como perspectivas endógenas para a área de atividade agrícola, portanto, articulam-se formas de condução dessa expansão sobre áreas de pastagens degradadas e com grau moderado de degradação, favorecendo a substituição de usos antrópicos em detrimento da abertura de novas áreas produtivas sobre as áreas de vegetação nativa. Essa mecânica é abordada e detalhada no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo.

3.3.2.3 Perspectivas Exógenas para a Agricultura Irrigada

A agricultura irrigada vem apresentando forte expansão no Brasil, uma vez que a prática permite aumentos de produtividade, viabiliza a produção de segundas e terceiras safras e garante a produtividade mesmo sob períodos de escassez hídrica. Segundo o Atlas de Irrigação da ANA (op. cit.), embora o crescimento da atividade resulte em aumento do uso da água, são observados benefícios como o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos, a redução de custos unitários, a atenuação dos impactos da variabilidade climática e a otimização de insumos e equipamentos.

O Atlas Irrigação identifica, na bacia do rio Doce, o Polo de Irrigação do Norte do ES, cujos principais municípios irrigantes são: Linhares, São Mateus, Rio Bananal, Pinheiros, Vila Valério, Jaguaré, Nova Venécia, Governador Lindenberg, Boa Esperança, Montanha, Águia Branca, São Domingos do Norte, Sooretama e São Gabriel da Palha.

O referido Atlas aponta as áreas irrigadas em cada município brasileiro, segregadas nos seguintes grupos de culturas/equipamentos: arroz, café, cana-de-açúcar, culturas irrigadas com pivô central, e outros, grupo este que agrega diversas culturas e métodos de irrigação. É com base nesse mesmo levantamento que as demandas diagnósticas do presente Plano foram estimadas. Além do mapeamento das áreas irrigadas na cena atual, o Atlas Irrigação (op. cit.) apresenta perspectivas tendenciais para 2030 e 2040, conforme se observa no Quadro 3.49 com base nos resultados dos municípios, ponderados pela participação de suas áreas na bacia do rio Doce.

QUADRO 3.49 - ÁREAS IRRIGADAS NAS SUB-BACIAS DO RIO DOCE E PROJEÇÕES PARA 2030 E 2040 (HA)

Bacia Afluente	*Arroz*	*Café*	*Cana*	*Pivô*	*Outros*	*Total*
DO1	0	24	18	78	5.748	5.868
DO2	0	0	0	0	3.280	3.280
DO3	0	0	0	0	2.832	2.832
DO4	0	758	0	330	9.945	11.033
DO5	0	169	0	224	8.154	8.547
DO6	191	801	0	0	10.097	11.090
UA7 I	0	7.504	0	0	93	7.597

Bacia Afluente	*Arroz*	*Café*	*Cana*	*Pivô*	*Outros*	*Total*
UA7 II	0	6.430	0	0	130	6.560
UA7 III	0	6.732	0	9	76	6.817
UA8	0	54.706	0	19	1.494	56.219
UA9	0	56.431	23	1.981	7.749	66.184
Total (Cena atual)	***191***	***133.556***	***40***	***2.642***	***49.598***	***186.027***
Total projetado para 2030	***0***	***156.608***	***52***	***3.675***	***90.170***	***250.506***
Total projetado para 2040	***0***	***179.276***	***63***	***4.719***	***122.775***	***306.833***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de Atlas Irrigação (op. cit.)

Primeiramente, nota-se que a maior parte das áreas agrícolas são irrigadas na bacia do rio Doce (186,03 mil ha de 939,08 mil ha cultivados, ou seja, 20%), o que denota a importância da atividade. Parte desse expressivo resultado advém do perfil de culturas, haja vista que frutas e verduras são alimentos produzidos sob alto percentual de irrigação. Nas áreas irrigadas da bacia, prevalecem os grupos café (71,8%) e outros (26,7%). O café, que é o principal cultivo também em termos de área plantada na bacia do Doce (73% da área cultivada), é uma cultura produzida com alto percentual de irrigação. Não é comum a prática da irrigação de arroz e de cana-de-açúcar, o que converge com os dados de áreas cultivadas: apenas 6% do total cultivado na bacia o é em cana-de-açúcar.

A tipologia "Outros" (demais culturas e sistemas) está concentrada em áreas de menores chuvas e maiores evapotranspirações, além de englobar muitas culturas perenes (banana, uva, manga, laranja etc.), o que resulta em lâminas médias anuais proporcionalmente maiores. A nível Brasil, a demanda dessa tipologia deverá crescer 79% até 2040, aumentando sua participação na demanda hídrica total de 29% para 31%.

As taxas de crescimento anualizadas trazidas pelo Atlas Irrigação (op. cit.) para a área irrigada na bacia do Doce são bastante elevadas; não obstante, convergem com aquelas já registradas pelos últimos dois Censos Agropecuários do IBGE (2006 e 2017)[84]: no conjunto de municípios componentes das cinco regiões rurais analisadas, a taxa de crescimento anualizada a área irrigada foi de 3,73% entre 2006 e 2017. Segundo o Atlas Irrigação (op. cit.), esperam-se as seguintes taxas anuais de crescimento da agricultura irrigada, fruto da somatória das áreas irrigadas em cada um dos municípios, ponderadas pela participação de suas áreas totais na bacia do rio Doce:

- ✓ Até 2030: geral (3,36%), café (1,78%), cana (2,96%), pivô (3,74%), outros (6,87%);
- ✓ Entre 2030-2040: geral (2,05%), café (1,36%), cana (1,85%), pivô (2,53%), outros (3,13%).

O Atlas Irrigação (op. cit.), além de trazer projeções tendenciais para a área irrigada, também apresenta projeções agregadas a nível Brasil para um cenário de aceleração econômica. De forma

[84] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017

tendencial, a referida publicação aponta para um crescimento da área total irrigada no Brasil de 5,29 milhões de ha para 7,40 milhões de ha em 2030 (taxa anual de 3,79%) chegando em 9,38 milhões de ha irrigados em 2040 (taxa anual de 2,40%). Já como cenário acelerado, o Atlas traz a perspectiva de se chegar em 2040 com um total de 11,29 milhões de ha irrigados, o que corresponde a uma taxa anualizada de 5,04% até 2030 e de 3,20% entre 2030 e 2040.

O Atlas Irrigação (op. cit.), ademais, realiza um completo levantamento de potencial de expansão e intensificação da agricultura irrigada, reunindo variáveis explicativas na tentativa de apontar áreas passíveis de instalação da agricultura irrigada. Um importante pressuposto para o exercício é na conversão de áreas já abertas e ocupadas com produções agropecuárias menos rentáveis (agricultura de sequeiro e/ou pastagens) para a agricultura irrigada. A adoção da irrigação com água superficial sobre áreas de agricultura de sequeiro é denominada como intensificação, enquanto a conversão potencial de pastagens para agricultura irrigada é denominada de expansão.

A partir de sofisticada modelagem territorial que considera o uso da terra atual, a aptidão agrícola (solos, clima e relevo), a demanda hídrica e o balanço hídrico climático, outros usos da água, a disponibilidade hídrica dos mananciais e, por fim, a infraestrutura para produção (energia, transporte e armazenamento), o Atlas Irrigação (op. cit.) aponta as áreas adicionais irrigáveis (AAI). Em um recorte destas áreas, denominadas de AAI Potencial Total, o Atlas identifica aquelas de maior potencial de ocupação no curto e médio prazo por contarem com uma combinação entre aptidão de solo-relevo média ou alta e infraestrutura de classe alta. Este recorte do potencial total foi denominado de AAI Potencial Efetivo. A subtração do potencial efetivo no potencial total revela, portanto, o potencial restante, que não detém preferência para a ocupação imediata, pois demanda de aportes de infraestrutura maiores e/ou de maiores investimentos nos preparos da terra para viabilizar a produção via agricultura irrigada.

Importante notar que os dados de potencial total e efetivo são disponibilizados pelo Atlas Irrigação (op. cit.), guardando assim a devida fidelidade espacial com a análise realizada. Ademais, o Atlas apresenta três subdivisões das áreas adicionais de irrigação, quais sejam: aquelas com água superficial em agricultura de sequeiro, as com superficial em pastagem e ainda as com água subterrânea. Nota-se pelo Quadro 3.50, que a expansão da atividade de agricultura irrigada não pode contar com a disponibilidade subterrânea, pois isso representa apenas 5,4% da área potencial total. A maior fração de área de expansão (61,5%) está na intensificação, ou seja, na irrigação de áreas atualmente já dedicadas à agricultura, porém de sequeiro. Um total de 33,1% do potencial de expansão recai sobre as áreas de pastagem, representando assim a denominada expansão da atividade da agricultura irrigada. Outro fato notável é que não há, em geral, expressiva área de potencial efetivo (3,7% do total). A distribuição desse potencial efetivo, no entanto, privilegia justamente a porção do Doce onde a irrigação é mais intensa (sub-bacias capixabas), onde o potencial efetivo sobe para 28% do potencial total, especialmente na UA9, onde representa 54% do total. Os resultados apresentam a somatória das áreas dos municípios, ponderados pela participação de suas áreas totais na bacia do rio Doce.

QUADRO 3.50 - ÁREAS ADICIONAIS DE IRRIGAÇÃO (AAI) IDENTIFICADAS PELO ATLAS IRRIGAÇÃO (HA)

Bacia Afluente	*AAI com Água Superficial em Agricultura de Sequeiro*	*AAI com Água Superficial em Pastagem*	*AAI com Água Subterrânea*	*AAI - Potencial Total*	*AAI - Potencial Efetivo*
DO1	150.561	149.998	23.633	324.192	1.325
DO2	38.016	36.814	4.062	78.892	416
DO3	81.145	65.776	7.294	154.215	1.101
DO4	199.678	65.641	11.998	277.317	2.961
DO5	63.267	21.310	4.674	89.251	2.075
DO6	71.691	25.808	5.758	103.257	379
UA7 I	19.724	3.126	1.226	24.076	354
UA7 II	728	24	320	1.072	1
UA7 III	7.877	48	389	8.313	16
UA8	28.355	5.185	1.451	34.991	5.769
UA9	44.582	6.472	1.136	52.190	27.992
Total	**705.623**	**380.201**	**61.943**	**1.147.767**	**42.388**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base em Atlas Irrigação (op. cit.)

Com base nos dados levantados, e considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro, os seguintes pressupostos são adotados para as perspectivas exógenas da evolução da área irrigada na bacia do rio Doce:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: adotam-se as perspectivas de crescimento tendencial trazidas pelo Atlas Irrigação (op. cit.) para 2030 e 2040, aplicando-se as taxas anualizadas para composição das cenas de 2027, 2032 e 2042, sendo este último ano uma extrapolação das taxas entre 2030 e 2040. As taxas são aplicadas para cada município e grupo de cultura/método, permitindo manter a coerência entre os instrumentos de planejamento e as especificidades locais. Pressupõe-se, ainda, uma ocupação mínima de 75% das áreas de potencial efetivo. Em contrapartida, impõe-se a limitação da expansão de áreas até os limites da área potencial total;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: adotam-se as perspectivas de crescimento acelerado trazidas pelo Atlas Irrigação (op. cit.). Mantém-se o pressuposto de ocupação mínima de 75% das áreas de potencial efetivo. Também é mantida a imposição de limitação da expansão de áreas até os limites da área potencial total, porém com uma tolerância de 15%, condizendo com o contexto da perspectiva de Mais crescimento onde há maiores retornos econômicos para a atividade e, assim, uma viabilização de eventuais novas áreas de expansão potencial mediante aplicação de novas tecnologias e/ou conversão de outras classes de uso do solo; e
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: dadas as perspectivas para a agricultura irrigada, não se vislumbra perspectiva de arrefecimento da tendência.

Os resultados práticos das projeções acima descritas são taxas de variação nas áreas ocupadas com irrigação, para cada grupo de cultura/método, em cada município da bacia do rio Doce, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, alinhadas aos cenários conjunturais econômicos (Quadro 3.51).

QUADRO 3.51 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA AS ÁREAS DE AGRICULTURA IRRIGADA (HA)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Exógena Tendencial*			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	5.868	7.353	8.877	10.942	8.566	10.584	13.030
DO2	3.280	4.103	4.945	6.087	4.448	5.694	7.208
DO3	2.832	3.543	4.270	5.256	4.585	5.622	6.891
DO4	11.033	13.734	16.518	20.275	14.870	18.250	23.079
DO5	8.547	10.730	12.978	16.022	11.601	14.382	18.084
DO6	11.090	13.632	16.433	20.228	14.400	18.185	21.460
UA7 I	7.597	8.965	13.168	14.145	9.471	14.070	15.023
UA7 II	6.560	7.260	7.632	7.632	7.260	7.792	7.792
UA7 III	6.817	7.856	12.733	12.083	7.925	12.733	12.394
UA8	56.219	66.654	79.922	83.100	66.728	81.787	85.051
UA9	66.184	78.424	89.965	94.965	78.424	90.770	95.846
Total	**186.027**	**222.255**	**267.440**	**290.735**	**228.278**	**279.868**	**305.859**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

A partir das áreas irrigadas, cabe estimar as lâminas de irrigação para cada grupo de cultura, notando-se que os coeficientes técnicos de demanda hídrica de irrigação seguem a metodologia aposta no Atlas Irrigação (op. cit.). Esta parte das necessidades fisiológicas de cada cultivar em cada mês do ano, em cada município e a cada fase de desenvolvimento da cultura (quatro fases). A partir da localização do plantio e das condições climáticas esperadas em termos de evapotranspiração e pluviosidade, estimou-se o déficit hídrico que precisa, então, ser coberto pela irrigação.

Os coeficientes técnicos de demanda hídrica, portanto, foram consultados quanto ao déficit de retirada, equivalente a necessidade de irrigação em L/s/ha, considerando a plena eficiência no uso da água e a plena ocorrência da precipitação esperada. A partir destes coeficientes, é posteriormente estimado o acréscimo de demanda dada a ineficiência no uso da água, bem como simulam-se variações de precipitação sob a influência da mudança do clima. Essa consulta seguiu os passos metodológicos abaixo descritos.

Para os grãos, identificou-se junto à PAM/IBGE a composição das safras de milho e feijão, uma vez que estas duas culturas, em conjunto, representam 93% da área cultivada de grãos na média das cinco regiões rurais. Desvendou-se que praticamente a totalidade do cultivo do milho se dá em 1ª safra. Já o cultivo do feijão ocorre em 1ª e 2ª safra, sendo aproximadamente metade da área plantada em cada (a distribuição entre safras varia de acordo com a região rural). Estes dados

permitem elaborar os calendários de plantio conforme as indicações da CONAB (2020) para os cultivos na região Sudeste[85].

Para fins de simplificação da consulta dos coeficientes de retirada de cada cultivo, a cada mês do ano, respeitando-se ainda a fase de desenvolvimento de cada cultura, utilizou-se dos coeficientes do município onde ocorre a maior fração de área plantada (de cada cultura) como representativo da região rural. Para o milho de 1ª safra, por exemplo, os municípios representativos foram: Água Boa - MG para a RR de Teófilo Otoni; Inhapim - MG para a RR de Ipatinga e Governador Valadares, Alto Rio Doce - MG para a RR de Juiz de Fora; Peçanha - MG para a RR de Belo Horizonte e Afonso Cláudio - ES para a RR de Vitória. Com base nos coeficientes e nas áreas dedicadas a cada safra, foram compilados os coeficientes médios anuais para o milho e para o feijão, respeitando-se as especificidades das fases da cultura e dos locais onde os plantios ocorrem.

Procedimento similar foi realizado para o arroz, café, mandioca, batata-inglesa e batata-doce, respeitando-se os calendários de cultivo de cada qual[86]. Já para os cultivares temporários, foram consultados os coeficientes de retirada médios anuais do Atlas Irrigação (op. cit.), desconsiderando-se assim as fases de cultivo. A consulta aos coeficientes foi realizada, ao todo, para 18 culturas que representam 90% do total cultivado. Os resultados dos coeficientes médios anuais são apresentados no Quadro 3.52, sendo que os resultados marcados por "-" representam regiões rurais onde não há o determinado cultivo.

QUADRO 3.52 - COEFICIENTES MÉDIOS ANUAIS DE RETIRADA DE IRRIGAÇÃO POR CULTURA E REGIÃO RURAL (L/S/HA)

Cultura	*RR de Teófilo Otoni*	*RR de Ipatinga e Governador Valadares*	*RR de Juiz de Fora*	*RR de Belo Horizonte*	*RR de Vitória*
Grãos (milho e feijão)	0,065	0,055	0,029	0,045	0,051
Arroz	0,132	0,134	0,078	0,132	0,104
Café	0,159	0,093	0,088	0,141	0,142
Cana-de-açúcar	0,160	0,117	0,090	0,114	0,138
Mandioca	0,119	0,121	0,102	0,126	0,092
Batata-inglesa	0,174	0,142	0,127	0,159	0,074
Batata-doce	0,070	0,051	-	0,034	0,054
Abacaxi	0,143	-	-	0,113	0,003
Banana	0,212	0,180	0,101	0,175	0,201
Coco	0,192	0,165	0,106	-	0,177
Mamão	-	0,043	-	-	0,038
Tangerina	0,122	0,113	0,068	0,084	-
Laranja	0,123	0,099	0,061	0,084	0,096
Cacau	0,163	0,141	-	-	0,150
Borracha	-	0,127	0,086	-	0,154
Goiaba	-	-	0,095	0,144	-
Tomate	0,159	0,129	0,075	0,116	0,103

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de Atlas Irrigação (op. cit.)

[85] CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil. CONAB, Brasília, 2020.
[86] Os calendários de cultivo da mandioca, batata-inglesa e batata-doce foram consultados em: https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/C22F9A4962A6E2E68325771C0065A2E4/$File/NT0004404E.pdf

Diferentemente dos coeficientes de retirada industrial ou de extração mineral, estes relativos as demandas hídricas das culturas irrigadas dizem respeito às necessidades fisiológicas da planta, não cabendo, portanto, ações de gestão. Dentre as diversas possibilidades de interferência de gestão, aquelas tangentes ao manejo dos equipamentos de irrigação podem ser modeladas, como é abordado na sequência.

Por fim, resgatam-se as conclusões do item 3.2.3.2 – Mudanças de Clima, que apresentam as perspectivas de maior evapotranspiração concomitante a menores disponibilidades pluviométricas e também menores disponibilidades hídricas. O conjunto desses efeitos só é testado no balanço hídrico, muito embora o presente item traga, na seção de combinações entre as perspectivas exógenas e endógenas, os resultados combinados dos dois primeiros efeitos.

3.3.2.4 Perspectivas Endógenas para a Agricultura Irrigada

A partir das projeções de áreas de expansão da agricultura irrigada e da consulta às demandas de irrigação das culturas, em suas determinadas regiões, a sequência de estimação das demandas hídricas requer projetar tanto os métodos de irrigação que equiparão estas áreas adicionais, bem como os graus de eficiência no manejo dos equipamentos. Estas projeções, diferente das anteriores, dizem respeito às escolhas dos produtores rurais e podem, assim, estar sujeitas à gestão (perspectiva endógena).

Do ponto de vista do uso racional da água, exigências legais e instrumentos de gestão, como a outorga (sazonal ou não) de direito de uso de recursos hídricos e a cobrança pelo uso, buscam garantir a sustentabilidade da atividade, o aumento da eficiência e a consequente redução do desperdício.

Dentre os aspectos fundamentais para a consideração endógena da agricultura irrigada, destacam-se: (i) o manejo dos equipamentos de irrigação; (ii) a substituição de culturas, que pode privilegiar aquelas com menor consumo ou ainda com um maior rendimento (t/m^3 ou R$/m^3); e (iii) o escalonamento sazonal da irrigação, que também passa pela substituição de cultura e pode estar associado ao conceito de outorga sazonal. Inicia-se a investigação pelo primeiro dos temas (manejo dos equipamentos de irrigação), sendo que a substituição de culturas é abordada no próximo subitem (3.3.2.5 - Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas).

Já o tema de escalonamento sazonal da irrigação encontra limitações para ser considerado via modelagem, pois demandaria a elaboração um plano de aproveitamento agrícola na bacia. O desenvolvimento de tal instrumento, inobstante a impossibilidade de ser modelado neste Prognóstico, pode vir a ser uma ação de gestão importante para as áreas mais críticas devido à demanda muito alta de irrigação.

Como forma de se compreender os efeitos de gestão do manejo dos equipamentos de irrigação, desvendam-se primeiramente os métodos utilizados. O Censo Agropecuário de 2017 permite identificar que na bacia do rio Doce prevalecem os métodos de irrigação localizados (62,84%) e a aspersão por outros métodos que não-pivô (24,20%). Estes dados convergem com os apontados

pelo Atlas de Irrigação (op. cit.), uma vez que a cultura do café utiliza, preponderantemente a irrigação localizada. Com base na amostra de 1.180 interferências outorgadas na bacia do rio Doce para a finalidade de irrigação que apresenta, concomitantemente, informações sobre o método de irrigação e a cultura produzida, pode-se estimar a distribuição de métodos de irrigação por grupo de cultura na cena atual, conforme apresenta-se no Quadro 3.53 (não ponderada por área).

QUADRO 3.53 - MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO E PERCENTUAIS DA ÁREA IRRIGADA POR MÉTODO ESTIMADOS NA BACIA DO RIO DOCE (%)

Método	*Detalhamento*	*Eficiência Máxima do Método1*	*Estimativa de Alocação dos Métodos de Irrigação por Grupo de Cultura*				
			Arroz	*Café*	*Cana*	*Pivô*	*Outros*
Superfície	Sulcos abertos	65	0	0	0	0	0
	Sulcos fechados ou interligados em bacias	75	0	0	0	0	0
	Inundação	60	20	0	0	0	0
Subterrâneo	Gotejamento subterrâneo ou enterrado	95	0	0	0	0	0
	Subirrigação ou elevação do lençol freático	60	0	0	0	0	0
Aspersão	Convencional com linhas laterais ou malha	80	80	0	47	0	70
	Mangueiras perfuradas	85	0	0	0	0	0
	Canhão autopropelido / Carretel enrolador	80	0	0	53	0	15
	Pivô central (fixo ou rebocável)	85	0	0	0	100	0
	Linear	90	0	0	0	0	5
Localizado	Gotejamento	95	0	10	0	0	5
	Microaspersão	90	0	90	0	0	5
-	Eficiência ponderada	-	76	91	80	85	82

1: Atlas Irrigação (op. cit.)
Elaboração ENGECORPS, 2022

Uma importante constatação é quanto ao movimento tendencial de substituição de métodos menos eficientes de irrigação por métodos mais eficientes. Os Censos Agropecuários distinguem as áreas irrigadas com base nos seus métodos de irrigação, podendo-se observar que, entre 2006 e 2017, os métodos mais eficientes responderam pelo crescimento da área irrigada total, haja vista que os menos eficientes perderam área.

No recorte geográfico das cinco regiões rurais que entrecortam a bacia do rio Doce, as áreas irrigadas por inundação reduziram-se à taxa anualizada de 11,2%; as irrigadas por sulcos reduziram-se à taxa de 29,6%; enquanto as áreas irrigadas com aspersão por pivô central também perderam espaço à taxa de 3,3% ao ano. As áreas irrigadas com outros métodos de aspersão também foram reduzidas à taxa relativamente menos intensa de 1,8%; enquanto as áreas irrigadas com outros métodos de irrigação, denominados também como molhação pelo Censo, reduziram-se à taxa anual de 13,1%. O único método de irrigação que não apenas aumentou a

participação na área irrigada como o fez ao ponto de mais do que compensar a queda dos demais, foi o de irrigação localizada (gotejamento, microaspersão etc.), cuja taxa de acréscimo anual de área foi de impressionantes 17,1%.

A maior eficiência dos métodos de irrigação é fruto de fatores como a economicidade da adoção de equipamentos mais eficientes e do perfil da cultura. Não há, frente aos fatos levantados, perspectivas de interferência de gestão quanto a escolha do método, ainda mais porque este é em grande parte condicionado ao perfil da cultura. Dessa forma, adotam-se percentuais crescentes de eficiência ponderada para as perspectivas de crescimento da agricultura irrigada, sem distinção de gestão, conforme Quadro 3.54. As eficiências convergem, no longo prazo, para o estado da arte tecnológica: no caso do café, que é irrigado por métodos localizados, prevê-se incremento da eficiência rumo à do gotejamento (95% de eficiência), e assim sucessivamente para as demais culturas. Importante notar que as eficiências apresentadas são adotadas pelas áreas incrementais de irrigação.

QUADRO 3.54 - EFICIÊNCIA DOS MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO NAS PERSPECTIVAS CENARIZADAS (%)

Horizonte temporal	*Estimativa de Eficiência Ponderada dos Métodos de Irrigação por Grupo de Cultura*			
	Café	*Cana*	*Pivô*	*Outros*
Cena atual	91	80	85	82
2027	92	87	85	92
2032	94	89	85	94
2042	95	90	85	95

Elaboração ENGECORPS, 2022

O último aspecto relevante para a composição das demandas hídricas de irrigação é quanto à eficiência no manejo (uso) dos equipamentos de irrigação. Um sistema de gotejamento, por exemplo, pode ter eficiência teórica de 95%, mas na prática, o atingimento desse elevado grau de eficiência demanda o correto uso do equipamento, o que implica na administração de água apenas suficiente para cobrir o déficit hídrico da cultura, respeitando-se ainda os horários de menor evaporação e outros condicionantes, como as vazões das bombas e tempo de acionamento dos equipamentos.

Eis aqui o aspecto fundamental para a consideração endógena da agricultura irrigada, pois o correto manejo dos equipamentos de irrigação pode ser fomentado no âmbito da gestão dos recursos hídricos. O Atlas Irrigação (op. cit.) apresenta um padrão de 90% de eficiência no manejo, o que é notoriamente otimista. Por esse padrão, um sistema de gotejamento cuja eficiência é de 95%, por exemplo, operaria com um grau finalístico de eficiência de 85,5%, o que é bastante elevado. Referências anedóticas apontam que a eficiência no manejo da irrigação pode ser tão baixa quanto 50% a 60%.

Com base no arrazoado realizado, pode-se traçar as perspectivas de gestão endógena da agricultura irrigada, no tangente à eficiência dos métodos de irrigação, da seguinte forma:

- ✓ ***Business as usual*** (**BAU**) – continuação das tendências de gestão passadas: prevê-se grau de eficiência no manejo da irrigação equivalente a 65%;

- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: prevê-se grau de eficiência no manejo da irrigação equivalente a 80%;
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: prevê-se grau de eficiência no manejo da irrigação equivalente a 90%.

3.3.2.5 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Finalmente, torna-se possível combinar as perspectivas exógenas e endógenas (considerando a eficiência no manejo da irrigação) para calcular os resultados finais em termos de demandas de retirada da agricultura irrigada (m^3/s). Nota-se que as repercussões das demandas de áreas de expansão da agricultura em geral (irrigada e de sequeiro) são apresentadas no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo.

Uma última passagem metodológica que se faz necessária, é a alocação das demandas hídricas de irrigação, por meio das perspectivas de ocupação de área com essa atividade para cada grupo de cultura/sistema, nas respectivas áreas de agricultura por ottobacia, pois é nesse nível de espacialização que tanto as demandas quanto as cargas poluentes são modeladas. Essa alocação se faz de forma proporcional à área de agricultura em cada ottobacia e município, obtida a partir da combinação única entre estes dois compartimentos espaciais que permite distribuir as áreas agrícolas de cada município na categoria de uso do solo correspondente[87]. Adicionalmente, essa área de agricultura é também cenarizada de acordo com as combinações exógenas e endógenas abordadas no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo.

Os Quadros 3.55 a 3.57 apresentam os resultados das demandas de retirada para irrigação nas três perspectivas endógenas, por bacia afluente.

QUADRO 3.55 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO (M^3/S)

Bacia Afluente	Cena atual	Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,9297	1,134	1,402	1,751	1,448	1,837	2,297
DO2	0,7637	0,838	1,032	1,291	1,101	1,439	1,843
DO3	0,5673	0,772	0,951	1,190	0,935	1,182	1,478
DO4	2,2230	2,686	3,319	4,152	3,144	3,979	5,111
DO5	1,2589	1,634	2,019	2,532	1,795	2,281	2,923
DO6	2,0150	2,196	2,711	3,396	2,799	3,629	4,308
UA7 I	1,5510	1,694	2,685	2,910	2,045	3,211	3,534
UA7 II	1,1372	1,160	1,356	1,777	1,312	1,543	2,017
UA7 III	1,8327	2,731	4,250	4,507	2,265	3,744	3,793
UA8	13,6425	16,097	21,452	23,903	17,124	23,071	25,639
UA9	9,2184	12,093	15,298	17,610	11,376	14,370	16,556
Total	**35,1393**	**43,035**	**56,477**	**65,019**	**45,343**	**60,285**	**69,500**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

[87] A bacia do rio Doce conta com 9.655 ottobacias, 238 municípios com alguma fração de área na bacia (mesmo que mínima) e 15.082 combinações exclusivas entre ottobacias e municípios.

QUADRO 3.56 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA GESTÃO MODERADA - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO (M³/S)

Bacia Afluente	Cena atual	Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,9297	1,085	1,303	1,587	1,351	1,666	2,040
DO2	0,7637	0,802	0,959	1,170	1,038	1,312	1,641
DO3	0,5673	0,739	0,884	1,078	0,866	1,066	1,307
DO4	2,2230	2,569	3,084	3,761	2,971	3,649	4,569
DO5	1,2589	1,562	1,876	2,292	1,694	2,089	2,611
DO6	2,0150	2,100	2,518	3,075	2,652	3,327	3,878
UA7 I	1,5510	1,632	2,441	2,624	1,952	2,896	3,165
UA7 II	1,1372	1,132	1,299	1,686	1,279	1,472	1,906
UA7 III	1,8327	2,631	3,865	4,077	2,184	3,386	3,423
UA8	13,6425	15,492	19,988	22,175	16,471	21,411	23,698
UA9	9,2184	11,656	14,373	16,513	10,972	13,499	15,545
Total	***35,1393***	***41,400***	***52,590***	***60,036***	***43,428***	***55,774***	***63,784***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.57 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO (M³/S)

Bacia Afluente	Cena atual	Perspectiva Endógena de Gestão intensa no manejo da irrigação					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,9297	1,061	1,255	1,508	1,303	1,584	1,916
DO2	0,7637	0,784	0,924	1,111	1,007	1,251	1,543
DO3	0,5673	0,723	0,852	1,024	0,832	1,011	1,225
DO4	2,2230	2,513	2,971	3,572	2,887	3,490	4,308
DO5	1,2589	1,528	1,806	2,176	1,645	1,997	2,460
DO6	2,0150	2,054	2,425	2,920	2,581	3,181	3,671
UA7 I	1,5510	1,603	2,323	2,486	1,908	2,745	2,988
UA7 II	1,1372	1,118	1,272	1,642	1,263	1,438	1,853
UA7 III	1,8327	2,582	3,679	3,869	2,145	3,213	3,245
UA8	13,6425	15,200	19,284	21,343	16,157	20,612	22,764
UA9	9,2184	11,446	13,927	15,985	10,777	13,079	15,058
Total	***35,1393***	***40,612***	***50,718***	***57,637***	***42,506***	***53,601***	***61,031***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Segundo o Atlas Irrigação (op. cit.), no horizonte de 2040 é prevista uma maior participação dos pivôs centrais e da irrigação localizada (concentrada na tipologia outras culturas e sistemas) nas demandas da agricultura irrigada. Esses métodos são mais eficientes no uso da água, embora todos os grupos devam apresentar crescimento em área e demanda. Assim, o Atlas Irrigação estima que o aumento da participação de sistemas mais eficientes resulta em crescimento da área irrigada de 76% até 2040, enquanto a demanda hídrica cresce 66%. Estes resultados, a nível

país, assim contrastados para a bacia do rio Doce: sob perspectiva exógena Tendencial para 2042, prevê-se crescimento de 58,4% na área irrigada e de 85% na demanda hídrica. A diferença é, em grande parte, fruto da consideração da questão endógena de eficiência no manejo da irrigação. Na perspectiva de gestão intensa, que traz o mesmo pressuposto de eficiência de manejo da irrigação que o Atlas Irrigação (op. cit.) (90%), o crescimento da demanda hídrica é previsto em 64%.

Torna-se claro que a diferença nas demandas promovida pela gestão no manejo da eficiência dos equipamentos de irrigação é potencialmente muito elevada. Eis que uma outra possibilidade de gestão da atividade de irrigação no tangente ao uso dos recursos hídricos é a substituição de culturas, que pode vir a privilegiar aquelas com menor consumo ou ainda com um maior rendimento (t/m³ ou R$/m³). Essa eventual substituição pode ocorrer de forma concomitante às melhorias de eficiência dos métodos de irrigação, pois são ações independentes.

As perspectivas exógenas, tratadas no item 3.3.2.3 (Perspectivas Exógenas para a Agricultura Irrigada), já ilustram uma modificação no perfil das culturas na bacia do rio Doce, fruto das projeções adotadas. A composição das culturas é fruto de decisão individual dos irrigantes, condicionadas pelos aspectos tecnológicos e mercadológicos que, além de serem de difícil previsão, se alteram no tempo. Dessa forma, os resultados trazidos pelas perspectivas exógenas representam uma das diversas situações que podem se materializar.

Conforme se observa no Quadro 3.58, prevê-se uma redução da importância relativa da cultura do café, tendo como contrapartida o aumento do grupo "outros". Esse movimento é ainda mais intenso na perspectiva exógena de Mais crescimento.

QUADRO 3.58 - PARTICIPAÇÃO RELATIVA DA ÁREA IRRIGADA POR GRUPO DE CULTURA/SISTEMA NAS PERSPECTIVAS EXÓGENAS (%)

Perspectiva Exógena	*Horizonte Temporal*	*Grupos de Cultura / Sistema*			
		Café	*Cana*	*Pivô*	*Outros*
Cena Atual		79,9	0	1,8	37,9
Tendencial	Curto prazo (2027)	66,8	0	1,5	31,7
	Médio prazo (2032)	57,6	0	1,4	41,0
	Longo prazo (2042)	55,1	0	1,6	43,3
Mais crescimento	Curto prazo (2027)	65,5	0	1,5	33,0
	Médio prazo (2032)	56,2	0	1,4	42,4
	Longo prazo (2042)	53,6	0	1,6	44,8

Elaboração ENGECORPS, 2022

Nota-se que há pouca perspectiva de avanço do uso de pivôs de irrigação, bem como da cana-de-açúcar. Conforme já fora observado, tanto o café como as culturas irrigadas no agrupamento "outros", são irrigados com equipamentos de alta eficiência. A substituição de culturas, trazida pelas perspectivas exógenas, é componente dos resultados apresentados - juntamente com as perspectivas de gestão da eficiência no manejo da irrigação.

Pode-se, a partir da modelagem estabelecida, simular mudanças na composição de culturas de forma a identificar os efeitos que seriam produzidos nas demandas de retirada. O primeiro destes exercícios simula a substituição hipotética de todas as culturas para o café, que já é o principal cultivo, embora essa tendência seja de queda na participação relativa. Para essa simulação, as áreas irrigadas totais (hectares irrigados em cada horizonte temporal e perspectiva exógena) são mantidas constantes, variando-se exclusivamente a composição das culturas nestas áreas.

Importante ressaltar que não se trata de uma perspectiva identificada de substituição de todas as culturas por café, tal como não se trata de recomendação, mas sim uma simulação dessa hipotética configuração. Uma vez que essa cultura é permanente e tem lâminas de irrigação menores, relativas aos demais grupos, com essa simulação é possível observar os limites inferiores das projeções de demanda hídrica sob essa potencial ação endógena. Ou seja, a substituição hipotética de todas as culturas pelo café é representativa da adoção de ações de gestão intensa que privilegiam a eficiência hídrica na seleção de culturas agrícolas.

Os Quadros 3.59 a 3.61 (abaixo) apresentam os resultados das demandas de retirada para irrigação nas três perspectivas endógenas de gestão no manejo da irrigação, por bacia afluente, adicionados da substituição hipotética de todas as culturas por café.

QUADRO 3.59 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO HIPOTÉTICA DE TODAS AS CULTURAS POR CAFÉ (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena atual*	*Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e substituição hipotética todas as culturas por café*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,93	1,11	1,38	1,73	1,48	1,89	2,37
DO2	0,76	0,85	1,05	1,33	1,12	1,47	1,90
DO3	0,57	0,72	0,89	1,12	0,95	1,21	1,53
DO4	2,22	2,59	3,19	4,01	3,17	4,01	5,17
DO5	1,26	1,58	1,96	2,48	1,83	2,34	3,03
DO6	2,02	2,15	2,64	3,34	2,79	3,60	4,32
UA7 I	1,55	1,67	2,06	2,60	2,16	2,66	3,38
UA7 II	1,14	1,17	1,33	1,74	1,34	1,53	2,00
UA7 III	1,83	2,73	3,37	4,17	2,42	2,99	3,68
UA8	13,64	15,94	19,19	22,31	17,39	21,06	24,47
UA9	9,22	12,19	14,68	17,38	11,69	14,07	16,64
Total	***35,14***	***42,69***	***51,76***	***62,23***	***46,34***	***56,84***	***68,48***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.60 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA GESTÃO MODERADA - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO HIPOTÉTICA DE TODAS AS CULTURAS POR CAFÉ (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena atual*	*Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e substituição hipotética de todas as culturas por café*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,93	1,06	1,28	1,57	1,37	1,71	2,10
DO2	0,76	0,81	0,98	1,20	1,05	1,34	1,69
DO3	0,57	0,68	0,83	1,01	0,88	1,09	1,35
DO4	2,22	2,47	2,97	3,63	2,99	3,67	4,62
DO5	1,26	1,50	1,82	2,24	1,72	2,14	2,69
DO6	2,02	2,06	2,46	3,03	2,65	3,30	3,88
UA7 I	1,55	1,59	1,91	2,35	2,04	2,45	3,04
UA7 II	1,14	1,14	1,28	1,66	1,31	1,46	1,89
UA7 III	1,83	2,60	3,13	3,78	2,31	2,77	3,33
UA8	13,64	15,30	18,01	20,79	16,69	19,70	22,72
UA9	9,22	11,71	13,79	16,28	11,23	13,21	15,60
Total	***35,14***	***40,94***	***48,44***	***57,53***	***44,24***	***52,85***	***62,91***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.61 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA GESTÃO INTENSA - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E SUBSTITUIÇÃO HIPOTÉTICA DE TODAS AS CULTURAS POR CAFÉ (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena atual*	*Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e substituição hipotética de todas as culturas por café*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,93	1,03	1,23	1,49	1,32	1,62	1,97
DO2	0,76	0,79	0,94	1,14	1,02	1,28	1,59
DO3	0,57	0,67	0,79	0,96	0,85	1,03	1,26
DO4	2,22	2,42	2,86	3,45	2,90	3,51	4,35
DO5	1,26	1,47	1,75	2,12	1,67	2,04	2,53
DO6	2,02	2,02	2,37	2,88	2,58	3,16	3,68
UA7 I	1,55	1,56	1,84	2,24	1,99	2,35	2,88
UA7 II	1,14	1,13	1,25	1,62	1,29	1,43	1,85
UA7 III	1,83	2,55	3,01	3,59	2,26	2,67	3,16
UA8	13,64	14,99	17,44	20,05	16,35	19,04	21,87
UA9	9,22	11,47	13,36	15,74	11,01	12,80	15,09
Total	***35,14***	***40,10***	***46,85***	***55,27***	***43,23***	***50,93***	***60,23***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Observa-se que a substituição hipotética de todas as culturas por café, mantendo-se as mesmas áreas irrigadas em cada perspectiva e recorte temporal, provocaria uma redução das demandas projetadas, mas não em uma intensidade muito grande.

Outra simulação possível - e hipotética - prevê a distribuição igual de áreas irrigadas para os três grupos de culturas/sistemas que ocorrem na bacia do rio Doce, quais sejam: café, pivô e outros. Claramente, trata-se de nova simulação hipotética, onde a quantidade total de área irrigada não se altera nas perspectivas, mas sim passa a ser distribuída em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros. Uma vez que a lâmina de irrigação por pivô é maior que a do café e do grupo outros, tem-se por meio dessa simulação um extremo de aumento de demanda. Essa configuração intenta demonstrar a falta de consideração endógena pela eficiência hídrica na escolha das culturas agrícolas.

Os Quadros 3.62 a 3.64 (abaixo) apresentam os resultados das demandas de retirada para irrigação nas três perspectivas endógenas de gestão no manejo da irrigação, por bacia afluente, adicionados da composição hipotética de áreas em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros. Para essa simulação, assim como para a de substituição com café, mantêm-se as áreas irrigadas totais nos cenários, variando-se exclusivamente a composição das culturas nestas áreas.

QUADRO 3.62 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E COMPOSIÇÃO HIPOTÉTICA DE ÁREAS EM 1/3 CAFÉ, 1/3 PIVÔ E 1/3 OUTROS (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena atual*	*Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e composição hipotética de áreas em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,93	1,12	1,85	2,03	1,51	2,44	2,71
DO2	0,76	0,88	1,46	1,60	1,12	1,93	2,17
DO3	0,57	0,68	1,08	1,20	0,94	1,42	1,59
DO4	2,22	2,67	4,39	4,80	3,26	5,23	5,77
DO5	1,26	1,69	2,88	3,14	1,99	3,32	3,68
DO6	2,02	2,37	3,98	4,34	2,88	5,04	5,63
UA7 I	1,55	1,68	2,72	3,01	2,02	3,43	3,67
UA7 II	1,14	1,22	1,84	2,11	1,30	1,97	2,25
UA7 III	1,83	2,47	3,97	4,31	2,33	3,62	3,90
UA8	13,64	15,68	24,80	25,30	17,16	26,24	26,70
UA9	9,22	10,90	16,70	17,61	10,64	15,84	16,68
Total	***35,14***	***41,36***	***65,66***	***69,44***	***45,15***	***70,50***	***74,75***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.63 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA GESTÃO MODERADA - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E COMPOSIÇÃO HIPOTÉTICA DE ÁREAS EM 1/3 CAFÉ, 1/3 PIVÔ E 1/3 OUTROS (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena atual*	*Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e composição hipotética de áreas em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,93	1,08	1,67	1,82	1,40	2,16	2,37
DO2	0,76	0,84	1,31	1,43	1,05	1,71	1,91
DO3	0,57	0,66	0,98	1,08	0,87	1,26	1,40
DO4	2,22	2,56	3,96	4,29	3,06	4,66	5,10

Bacia Afluente	Cena atual	Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e composição hipotética de áreas em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO5	1,26	1,61	2,57	2,78	1,85	2,94	3,22
DO6	2,02	2,26	3,56	3,86	2,72	4,48	4,95
UA7 I	1,55	1,62	2,47	2,70	1,94	3,08	3,28
UA7 II	1,14	1,19	1,71	1,97	1,27	1,82	2,09
UA7 III	1,83	2,39	3,61	3,88	2,24	3,28	3,51
UA8	13,64	15,19	22,71	23,27	16,50	23,94	24,49
UA9	9,22	10,67	15,48	16,39	10,38	14,67	15,53
Total	**35,14**	**40,09**	**60,04**	**63,47**	**43,27**	**64,01**	**67,86**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.64 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA GESTÃO INTENSA - EFICIÊNCIA NO MANEJO DA IRRIGAÇÃO E COMPOSIÇÃO HIPOTÉTICA DE ÁREAS EM 1/3 CAFÉ, 1/3 PIVÔ E 1/3 OUTROS (M³/S)

Bacia Afluente	Cena atual	Perspectiva Endógena de Gestão moderada no manejo da irrigação e composição hipotética de áreas em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,93	1,06	1,58	1,72	1,35	2,02	2,21
DO2	0,76	0,83	1,24	1,34	1,02	1,61	1,78
DO3	0,57	0,65	0,94	1,02	0,83	1,18	1,31
DO4	2,22	2,51	3,75	4,05	2,97	4,39	4,78
DO5	1,26	1,57	2,42	2,61	1,79	2,75	3,01
DO6	2,02	2,21	3,37	3,63	2,64	4,20	4,63
UA7 I	1,55	1,59	2,34	2,55	1,89	2,91	3,09
UA7 II	1,14	1,18	1,65	1,90	1,25	1,75	2,02
UA7 III	1,83	2,36	3,44	3,68	2,19	3,12	3,32
UA8	13,64	14,96	21,70	22,29	16,18	22,84	23,42
UA9	9,22	10,57	14,89	15,80	10,25	14,11	14,97
Total	**35,14**	**39,47**	**57,33**	**60,60**	**42,37**	**60,89**	**64,54**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Como previsto pela observação das lâminas de irrigação, observa-se que a composição hipotética de culturas em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros, mantendo-se a mesma totalidade de áreas irrigadas em cada perspectiva e recorte temporal, provocaria um incremento significativo das demandas projetadas.

O Quadro 3.65 apresenta os resultados comparativos da composição de culturas cenarizadas, conforme perspectiva exógena, e as duas simulações hipotéticas de substituição de culturas. A observação da perspectiva endógena de *Business as usual* (BAU) permite identificar os efeitos nas demandas hídricas causadas especificamente pelas simulações realizadas. Na perspectiva de Mais crescimento, que apresenta as demandas hídricas mais intensas, a hipotética substituição

de culturas pelo café resulta em uma demanda apenas 1,5% menor, no intervalo de 20 anos. Já a composição de 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros eleva a demanda em 7,6%.

A observação das perspectivas endógenas de gestão - por meio da maior eficiência no manejo dos equipamentos de irrigação - permite identificar que seu efeito é também replicado nas simulações de substituição das culturas. No caso de uma combinação das duas perspectivas endógenas (eficiência no manejo correspondente à gestão intensa e substituição de culturas pelo café), em 2042 a demanda hídrica pode vir a ser 15% inferior (passando de 65,02 m^3/s para 55,27 m^3/s). Mesmo na perspectiva exógena de Mais crescimento, nota-se o potencial de uma redução de 13,3%.

Nota-se, no entanto, que a gestão endógena via eficiência de manejo da irrigação é a responsável pela maior fração das reduções de demanda frente as perspectivas tendenciais: caso não haja substituição de culturas pelo café (ou seja, sem gestão para substituição de culturas menos demandantes de recursos hídricos), o manejo da irrigação consegue reduzir em 11,4% a demanda sob cenário tendencial, atingindo redução de 12% com Mais crescimento (em 2042).

QUADRO 3.65 - COMPARAÇÃO DAS DEMANDAS HÍDRICAS EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS CULTURAS (AGREGADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE) (M^3/S)

Simulação	*Perspectiva endógena*	*Comparação das demandas hídricas nas hipotéticas substituições de cultura (m^3/s)*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
		2027	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
Composição cenarizada	BAU	43,03	56,48	65,02	45,34	60,29	69,50
	G. Moderada	41,40	52,59	60,04	43,43	55,77	63,78
	G. Intensa	40,61	50,72	57,64	42,51	53,60	61,03
Apenas Café	BAU	42,69	51,76	62,23	46,34	56,84	68,48
	G. Moderada	40,94	48,44	57,53	44,24	52,85	62,91
	G. Intensa	40,10	46,85	55,27	43,23	50,93	60,23
1/3 café, 1/3 pivô, 1/3 outros	BAU	41,36	65,66	69,44	45,15	70,50	74,75
	G. Moderada	40,09	60,04	63,47	43,27	64,01	67,86
	G. Intensa	***39,47***	***57,33***	***60,60***	***42,37***	***60,89***	***64,54***

Elaboração ENGECORPS, 2022

Já na hipótese de não se levar em consideração a eficiência hídrica na escolha das culturas, simulada pela configuração de composição das áreas irrigadas por 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros, ter-se-ia em 2042 uma demanda 6,8% maior sob perspectiva Tendencial. Pode-se observar a combinação do manejo da irrigação com essa falta de gestão: a redução potencial da demanda cai para 6,8% sob Tendencial e 7,1% sob Mais crescimento, frente ao potencial de redução respectivo de 11% e 12% caso a composição de culturas siga o curso cenarizado.

O Quadro 3.66 apresenta a variação percentual das demandas hídricas simuladas, em função da composição das culturas, contra as demandas cenarizadas. Nota-se que, no intervalo temporal de dez anos, a substituição de culturas pode ser uma importante aliada na gestão das demandas hídricas.

QUADRO 3.66 - VARIAÇÃO PERCENTUAL DAS DEMANDAS HÍDRICAS SIMULADAS, EM FUNÇÃO DA COMPOSIÇÃO DAS CULTURAS (AGREGADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE), CONTRA AS DEMANDAS CENARIZADAS (%)

Simulação	Perspectiva endógena	Variação percentual das demandas hídricas simuladas, em função da composição das culturas, contra as demandas cenarizadas (%)					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
		2027	2032	2042	2027	2032	2042
Apenas Café	BAU	-0,8	-8,4	-4,3	2,2	-5,7	-1,5
	G. Moderada	-1,1	-7,9	-4,2	1,9	-5,2	-1,4
	G. Intensa	-1,3	-7,6	-4,1	1,7	-5,0	-1,3
1/3 café, 1/3 pivô, 1/3 outros	BAU	-3,9	16,3	6,8	-0,4	16,9	7,6
	G. Moderada	-3,2	14,2	5,7	-0,4	14,8	6,4
	G. Intensa	***-2,8***	***13,0***	***5,1***	***-0,3***	***13,6***	***5,7***

Elaboração ENGECORPS, 2022

Interessante notar que a média dos resultados das simulações realizadas (substituição por café e composição em 1/3 café, 1/3 pivô e 1/3 outros) não se distancia muito da composição de culturas cenarizada. Ou seja, tem-se nos resultados produzidos uma composição representativa das variações possíveis, podendo-se interpretar a eventual adoção endógena da substituição de culturas como uma estratégia complementar que potencializará o resultado da maior eficiência no manejo dos equipamentos de irrigação. Mais importante, tem-se a noção do efeito reverso que o incremento de culturas com maiores demandas hídricas faria. Os resultados das simulações serão considerados quando da avaliação das opções de gestão para o setor usuário de irrigação.

Finalmente, apresentam-se as demandas de retirada para a agricultura irrigada sob as forçantes climáticas alteradas pela mudança do clima. Conforme observado no item 3.2.3.2 - Mudanças do Clima, as maiores temperaturas elevam a demanda hídrica das culturas de forma concomitante com a redução das precipitações, o que gera uma potencialização do efeito adaptativo de incremento das demandas de irrigação. Os Quadros 3.67 a 3.69 apresentam os cenários combinados de demanda hídrica para o ano de 2042 com base nas forçantes de três cenários climáticos globais.

O cenário otimista sob o ponto de vista da irrigação (representado pelo modelo CNRMCM5_rcp45), assim o é pois, em relação aos outros dois cenários, apresenta os maiores índices de precipitação e os menores aumentos na evapotranspiração.

QUADRO 3.67 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO SOB MUDANÇA DO CLIMA OTIMISTA (M^3/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Cenário Otimista de Mudança do Clima					
		Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)		Perspectiva Endógena Gestão Moderada		Perspectiva Endógena Gestão Intensa	
		Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento
	2020	2042	2042	2042	2042	2042	2042
DO1	0,9297	1,656	2,202	1,492	1,945	1,413	1,821
DO2	0,7637	1,264	1,816	1,142	1,614	1,084	1,516
DO3	0,5673	1,190	1,478	1,078	1,307	1,024	1,225
DO4	2,2230	4,245	5,204	3,853	4,662	3,665	4,400

Bacia Afluente	Cena Atual	Cenário Otimista de Mudança do Clima					
		Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)		Perspectiva Endógena Gestão Moderada		Perspectiva Endógena Gestão Intensa	
		Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento
	2020	2042	2042	2042	2042	2042	2042
DO5	1,2589	2,518	2,909	2,278	2,597	2,163	2,447
DO6	2,0150	3,366	4,278	3,045	3,848	2,890	3,641
UA7 I	1,5510	2,956	3,580	2,670	3,211	2,532	3,034
UA7 II	1,1372	1,858	2,098	1,766	1,987	1,722	1,933
UA7 III	1,8327	4,721	4,007	4,291	3,637	4,083	3,459
UA8	13,6425	25,550	27,286	23,822	25,345	22,990	24,411
UA9	9,2184	19,355	18,301	18,258	17,290	17,730	16,803
Total	**35,1393**	**68,679**	**73,160**	**63,696**	**67,444**	**61,297**	**64,691**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

O cenário de mudança do clima intermediário (representado pelo modelo global CCSM4_rcp85) sinaliza menores chuvas, embora não tão menos que o cenário crítico, no entanto apresenta uma mudança menos intensa na evapotranspiração.

QUADRO 3.68 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO SOB MUDANÇA DO CLIMA INTERMEDIÁRIA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Cenário Intermediário de Mudança do Clima					
		Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)		Perspectiva Endógena Gestão Moderada		Perspectiva Endógena Gestão Intensa	
		Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Cresc.
	2020	2042	2042	2042	2042	2042	2042
DO1	0,9297	1,703	2,249	1,538	1,992	1,459	1,868
DO2	0,7637	1,318	1,870	1,196	1,668	1,138	1,570
DO3	0,5673	1,244	1,533	1,132	1,362	1,079	1,279
DO4	2,2230	4,244	5,203	3,852	4,661	3,664	4,399
DO5	1,2589	2,511	2,902	2,271	2,590	2,156	2,440
DO6	2,0150	3,394	4,306	3,073	3,876	2,918	3,669
UA7 I	1,5510	3,134	3,758	2,848	3,389	2,710	3,212
UA7 II	1,1372	2,004	2,244	1,912	2,133	1,868	2,079
UA7 III	1,8327	5,005	4,291	4,574	3,921	4,367	3,743
UA8	13,6425	26,956	28,692	25,228	26,751	24,396	25,817
UA9	9,2184	20,239	19,185	19,142	18,174	18,614	17,687
Total	**35,1393**	**71,751**	**76,232**	**66,768**	**70,516**	**64,369**	**67,763**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Já o cenário de irrigação crítico (representado pelo modelo bcccsm11_rcp85) é assim considerado por apresentar perspectivas de pouca precipitação em conjunto com aumentos significativos na evapotranspiração.

QUADRO 3.69 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA IRRIGAÇÃO SOB MUDANÇA DO CLIMA CRÍTICA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Cenário Crítico de Mudança do Clima					
		Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)		Perspectiva Endógena Gestão Moderada		Perspectiva Endógena Gestão Intensa	
		Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Mais Crescimento	Exógeno Tendencial	Exógeno Mais cresc.
	2020	2042	2042	2042	2042	2042	2042
DO1	0,9297	1,985	2,531	1,821	2,274	1,742	2,151
DO2	0,7637	1,525	2,078	1,404	1,875	1,346	1,778
DO3	0,5673	1,381	1,669	1,269	1,498	1,215	1,416
DO4	2,2230	5,022	5,982	4,631	5,439	4,443	5,178
DO5	1,2589	2,965	3,356	2,725	3,044	2,610	2,894
DO6	2,0150	4,185	5,097	3,864	4,667	3,709	4,460
UA7 I	1,5510	3,666	4,289	3,380	3,921	3,242	3,743
UA7 II	1,1372	2,369	2,609	2,278	2,498	2,233	2,444
UA7 III	1,8327	5,623	4,910	5,193	4,540	4,986	4,362
UA8	13,6425	30,663	32,399	28,935	30,459	28,103	29,524
UA9	9,2184	22,776	21,722	21,679	20,711	21,151	20,224
Total	***35,1393***	***82,161***	***86,642***	***77,179***	***80,926***	***74,780***	***78,174***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.3 Silvicultura

Segundo IBÁ (Indústria Brasileira de Árvores), a demanda de madeira plantada vem crescendo nos últimos vinte anos, e não obstante o País conte com 9,6 milhões de hectares de florestas plantadas (principalmente com eucalipto e Pinus), ainda existem perspectivas de uma maior demanda em relação à oferta[88]. Como variáveis-chave para o setor, estão o comportamento do mercado externo, os níveis de controle ambiental da madeira de desmatamento, assim como as restrições ao uso do carvão vegetal de desmatamento.

Uma das formas que as empresas florestais têm adotado para aumentar a área de produção é por meio do arrendamento de terras e parcerias com proprietários para contornar a baixa disponibilidade de terras. Nos locais tradicionais de plantio florestal, onde o retorno de produtividade pelo solo e pela disponibilidade hídrica são altos, as empresas do segmento vêm criando esses mecanismos, além do fomento público e os programas de financiamento como PROPFLORA, PRONAF Florestal e outros.

[88] Disponível em: https://www.iba.org/dados-estatisticos

Nota-se que a expansão dos plantios florestais é influenciada pela dinâmica de intensificação da produção agrícola nos solos tradicionalmente ocupados pela silvicultura, principalmente nos estados do Paraná e São Paulo, fazendo com que a disponibilidade de novas grandes áreas seja ou restrita ou muito cara. A pressão por novas áreas é agravada pelos prazos de maturação da atividade, que a depender do propósito do plantio giram em torno de sete anos. De qualquer forma, trata-se de uma imobilização de terras e giro de estoque em prazos mais longos que os do agronegócio e da pecuária. Dessa forma, uma vez que há um acréscimo de demanda externa e também interna por produtos madeireiros como papel, celulose e painéis, dormentes, postes e construção civil de forma geral, a busca por novas áreas se torna uma premissa básica, resultando no comprometimento de áreas silvícolas por um prazo longo de tempo.

A silvicultura é atividade realizada por poucas grandes empresas florestais, e o nível de controle e monitoramento cresce exponencialmente nessa escala de atividades. Relevante, ainda, é o transporte de toras de madeira da produção para o processamento primário, que é bastante caro. Isso faz com que as fábricas e os plantios nunca estejam em um raio muito distante. A tecnologia florestal de ponta permite o uso de clones que demandam água em menor intensidade. Não obstante as técnicas, o eucalipto por vezes requer irrigação, principalmente nos primeiros anos após o plantio. Estas demandas não estão dimensionadas pela presente revisão e atualização do PIRH Doce, e devem ser estudadas para que sejam consideradas nos próximos. Por fim, nota-se que a silvicultura não demanda necessariamente relevos planos, podendo ser estendida sobre áreas inclusive de topografia movimentada, para as quais existem maquinários específicos de colheita.

3.3.3.1 Perspectivas Exógenas

A forma de prospectar os desenrolares exógenos para as a silvicultura na bacia do rio Doce parte do histórico de oito anos (2013 a 2020) de área plantada, em cada município, com as espécies de eucalipto, pinus e outras, trazidos pela pesquisa Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura - PEVS/IBGE[89]. Os dados municipais são então agrupados, para fins de identificação das tendências de longo prazo, por região rural do IBGE, seguindo a mesma lógica que para a agregação das culturas agrícolas. Com base na PEVS, observa-se que de toda a área plantada, 99,3% o é com eucalipto, sendo apenas 0,5% plantado com pinus e 0,2% com outras espécies. A Figura 3.29 apresenta a evolução da área plantada com espécies florestais. Facilmente se pode observar a predominância, em área, da silvicultura na região rural de Ipatinga e Governador Valadares.

[89] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2020

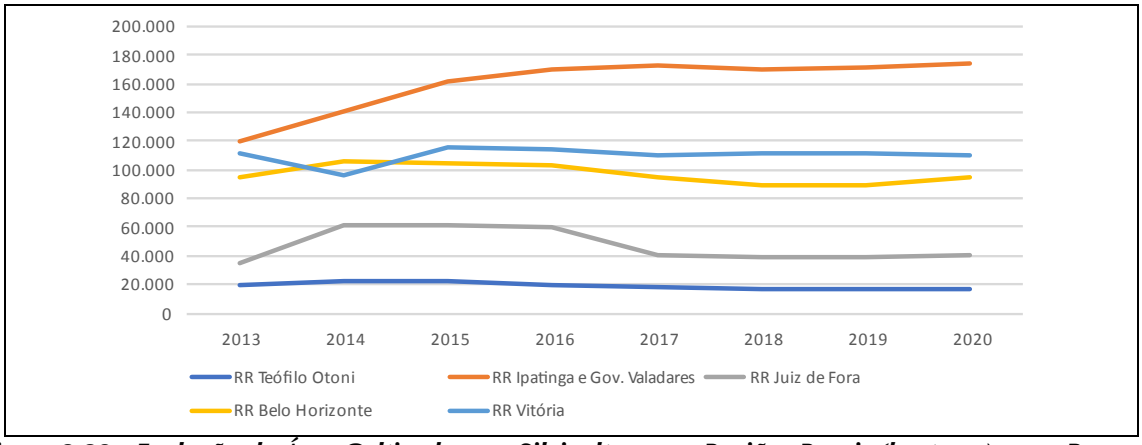


Figura 3.29 - Evolução da Área Cultivada com Silvicultura nas Regiões Rurais (hectares), com Base em PEVS/IBGE

Com base na série histórica do cultivo do eucalipto, é possível capturar as tendências específicas de longo prazo por região rural, assim como observar se os resultados atuais (dados pela média dos dois últimos anos, 2019-2020) estão acima ou abaixo da média dos oito anos de dados existentes (entre 2013 e 2020). Pode-se, ainda, capturar a tendência anual de variação das áreas cultivadas.

Adicionalmente, nota-se relevante abordar os resultados trazidos em Projeções do Agronegócio do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, *op. cit.*), que traz projeções para o setor de papel e celulose considerando tanto as perspectivas de consumo interno como de exportação. As projeções MAPA a nível país passam a ser tidas como representativas para os estados de MG e ES. As taxas de variação anualizadas entre 2021 e 2031 são: 1,95% na projeção tendencial, 0,63% no limite inferior e de 2,95% no limite superior.

Com base tanto nas estatísticas compiladas para as regiões rurais por meio das séries históricas, como nas projeções do MAPA (2020), e ainda considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro, é possível traçar as perspectivas exógenas para a silvicultura, que se alinham às da área de agricultura:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: dada as incertezas que envolvem o momento atual, traça-se na perspectiva tendencial um retorno e/ou manutenção de níveis históricos de cultivo, assumindo-se um retorno à média de longo prazo ou um crescimento tendencial;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: as perspectivas de maior crescimento são obtidas pela aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite superior das projeções MAPA (2020) para a área plantada, aplicada sobre as projeções tendenciais;
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: as perspectivas de menor crescimento são obtidas pela aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite inferior das projeções MAPA (2020) para a área plantada, aplicada sobre as projeções tendenciais.

Os resultados das projeções acima descritas são as áreas cultivadas, para cada região rural, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, sob as perspectivas regionais alinhadas aos cenários conjunturais econômicos. A partir das perspectivas para cada região rural, o passo seguinte é realizar o rebatimento destas nos municípios componentes da bacia do rio Doce. Para tanto, foi aplicada a taxa de variação da região sobre a área de cultivo com espécies florestais em cada município.

3.3.3.2 Perspectivas Endógenas

A ocupação de áreas silvícolas é vinculada à geração de poluição hídrica difusa, pois os plantios são geralmente refeitos a cada sete anos ou menos, o que deixa o solo exposto por um considerável tempo durante a colheita e replantio. Adicionalmente, e especialmente nos primeiros anos, são aplicados agrotóxicos, inclusive por via aérea. Ainda, as próprias áreas florestadas são fontes de nutrientes como o fósforo e o nitrogênio. Segundo o mapeamento diagnóstico, 3,4% da paisagem da bacia do rio Doce são de de áreas silvícolas, especialmente na porção capixaba, cobrindo uma extensão de 2,95 mil km^2.

A investigação prospectiva da área ocupada pela atividade silvícola deve abordar as consequências destas na qualidade da água. Embora não seja prática corrente, a ocupação e manejo destas áreas podem ser objeto de gestão de recursos hídricos. Como perspectivas endógenas, portanto, articulam-se formas de condução da expansão silvícola sobre áreas de pastagens degradadas e com grau moderado de degradação, favorecendo a substituição de usos antrópicos em detrimento da abertura de novas áreas produtivas sobre as áreas de vegetação nativa. Essa mecânica é abordada e detalhada no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo.

3.3.3.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Uma vez que as perspectivas endógenas para a atividade serão apresentadas no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo, os resultados são aqui expostos apenas para as perspectivas exógenas de variação da área plantada com espécies florestais.

QUADRO 3.70 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DAS ÁREAS DE SILVICULTURA (MIL HA)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	36,39	38,42	37,33	38,21	36,77	36,18	35,89	45,07	41,84	47,99
DO2	78,80	81,74	78,92	80,50	78,23	76,49	75,61	95,88	88,45	101,12
DO3	69,72	72,45	71,17	73,23	69,35	68,97	68,78	84,99	79,76	91,99
DO4	76,61	79,66	78,52	80,94	76,24	76,10	76,02	93,44	88,00	101,67
DO5	26,04	26,94	25,33	25,49	25,78	24,55	23,94	31,60	28,39	32,01
DO6	1,07	1,11	1,04	1,05	1,06	1,01	0,99	1,30	1,17	1,32
UA7 I	0,28	0,29	0,27	0,28	0,28	0,26	0,26	0,34	0,31	0,35

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
UA7 II	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UA7 III	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,12	0,11	0,13
UA8	0,29	0,30	0,30	0,31	0,29	0,29	0,29	0,36	0,33	0,38
UA9	5,85	6,18	6,06	6,24	5,92	5,88	5,86	7,25	6,80	7,84
Total	**295,14**	**307,19**	**299,05**	**306,34**	**294,01**	**289,83**	**287,74**	**360,35**	**335,16**	**384,79**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PEVS/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

3.3.4 Criação Animal

A criação animal é uma atividade que ocorre em todos os municípios da bacia do rio Doce, respeitando-se diferentes graus de especialização, tecnologia e de propósito da criação (corte, produtos derivados ou mesmo lazer, como a criação de equinos). As demandas de dessedentação animal, somadas, resultam em uma retirada de 2,88 m³/s, o que corresponde a 4,4% do total demandado das águas da bacia do rio Doce.

Em sua versão de 2010, o PIRH Doce havia estimado uma demanda de retirada de 2,018 m³/s para a dessedentação animal, com ano base de 2006. Mesmo na perspectiva mais intensa de desenvolvimento e sem a contrapartida da gestão, o plano trazia perspectivas de uma demanda da ordem de 2,13 m³/s para 2030 (Quadro 3.71), o que é superado já na cena atual (2020), com demanda de 2,88 m³/s.

QUADRO 3.71 - RETIRADA PROJETADA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL PELO PIRH DOCE 2010 (M³/S)

Cenários	Retirada projetada para 2030
Tendencial	1,846
Cenário de Desenvolvimento	2,126
Cenário de Desenvolvimento com gestão	2,018
Cenário de Pouco desenvolvimento	1,619
Cenário de Pouco desenvolvimento com gestão	1,538

Fonte: Adaptado de PIRH Doce 2010

3.3.4.1 Perspectivas Exógenas

Conforme discutido no item 3.2.4 – Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo, as perspectivas para a criação animal no País apontam crescimento. O Brasil está posicionado como um player relevante na comercialização de produtos animais, destacando-se a carne bovina e a de frango. A demanda interna também cresce à medida que a renda aumenta, permitindo aumentar o consumo per capita de proteína animal.

Observa-se uma inexorável tendência a aumentar o consumo de calorias por dia e de alterar sua a composição com um porcentual maior de proteínas animais. Segundo Alexandratos (2012)[90], o consumo médio de calorias por pessoa por dia no Brasil era de aproximadamente 2,7 mil calorias em 1999, passando para 2,9 mil cerca de dez anos depois. As estimativas atuais apontam para um consumo ligeiramente abaixo de 3,0 mil calorias. O acréscimo, embora modesto em valor absoluto, é aplicado a um mercado muito maior e embute uma maior fração de proteína.

Tal como para o acréscimo de calorias à dieta, embora as taxas de crescimento do consumo de carne e de leite e derivados na dieta dos brasileiros ainda sejam positivas, serão menores do que já foram no passado recente, o que demonstra que o movimento está reduzindo a velocidade e deverá se estabilizar em um futuro próximo aos vinte anos. Isso ocorre porque então todos os brasileiros deverão contar com uma dieta equivalente à hoje observada nos países mais desenvolvidos.

A demanda hídrica de dessedentação animal é estimada com base em coeficientes de retirada por perfil de rebanho animal, sendo que para os bovinos e bubalinos, estima-se uma necessidade de 50 litros por animal por dia. O rebanho de vacas leiteiras tem uma demanda maior, de 85 L/d. Equinos têm uma demanda de 40 L/a, enquanto ovinos e caprinos têm demanda de 10 L/d; suínos de 12,5 L/d; enquanto galináceos e codornas de 0,18 L/d. Cabe, portanto, avaliar individualmente cada um dos rebanhos, permitindo concluir, pela soma destes, as demandas totais.

A forma de prospectar os desenrolares exógenos para cada um dos rebanhos na bacia do rio Doce parte do histórico de vinte anos (2001 a 2020) de unidades animais, em cada município, trazidos pela Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM/IBGE[91]. Os dados municipais são então agrupados, para fins de identificação das tendências de longo prazo, por região intermediária do IBGE. Esta divisão territorial traz na rede urbana o seu principal elemento de referência, e agrupa municípios com base nos arranjos estruturados com vistas a satisfação das necessidades imediatas e intermediárias das populações. A criação animal para fins de corte (carne) e aproveitamento de derivados, quando voltada ao mercado interno, se abriga na lógica de atendimento das demandas de alimentação nos raios de proximidade condizentes aos das regiões imediatas e intermediárias. A agregação das informações municipais nas regiões intermediárias, portanto, visa dirimir eventuais erros de entrada na base de dados e permite capturar movimentos mais estáveis e de longo prazo.

Com base nas séries históricas de cada rebanho animal em cada uma das dez regiões intermediárias com municípios da bacia do rio Doce[92], é possível capturar as tendências específicas de longo prazo de cada rebanho. Para tanto, são calculados os seguintes indicadores: rebanhos médios recentes, entre 2015 e 2020; rebanhos médios de longo prazo, entre 2001 e 2020; rebanhos atuais, dados pela média dos dois últimos anos (2019-2020); rebanhos máximos e mínimos registradas entre 2001 e 2020; e a tendência anual de variação dos rebanhos. Nota-

[90] ALEXANDRATOS, N.; J. BRUINSMA. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Roma, Itália, FAO, 2012.
[91] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/tabelas
[92] As Regiões Intermediárias mineiras são: Juíz de Fora, Barbacena, Ipatinga, Belo Horizonte, Teófilo Otoni e Governador Valadares. Já as capixabas são: Cachoeiro do Itapemirim, Vitória, Colatina e São Mateus.

se que os resultados máximos e mínimos das séries foram subtraídos de ¼ de desvio padrão, como forma de retirar eventuais pontos fora da curva (*outliers*).

Com base nas estatísticas apenas descritas, é possível identificar as variações anualizadas entre a média de longo prazo e os rebanhos máximos e mínimos, bem como a média anualizada destas variações (entre a variação máxima e a mínima, representando assim uma banda limite de movimento para o comportamento dos rebanhos). É também possível calcular a variação anual tendencial por meio da média de longo prazo e da tendência anual de variação da série.

Com base nos indicadores, e considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro, os seguintes pressupostos são adotados para as perspectivas exógenas dos rebanhos:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: dada as incertezas que envolvem o momento atual, traça-se na perspectiva tendencial um retorno e/ou manutenção de níveis históricos de rebanhos:
  - ✧ Para os rebanhos que apresentam, na cena atual, níveis abaixo da média dos últimos dez anos, assume-se ao menos um retorno à essa média ao longo dos próximos dez anos (até 2032), sendo considerado, após esse período, a taxa de crescimento tendencial até 2042; e
  - ✧ Para os rebanhos que apresentam, na cena atual, níveis acima da média dos últimos dez anos, assume-se o crescimento até 2032 pela média entre a taxa tendencial e a taxa média de variação entre as taxas máxima e mínima, o que faz, na prática, um ajuste na tendência para que não haja extrapolações acima do que já ocorrera no histórico. Já para o período entre 2032 e 2042, aplica-se a taxa de crescimento tendencial;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: as perspectivas de maior crescimento para cada rebanho evoluem a partir de uma conjuntura nacional e internacional favoráveis, demandando representar, nos recortes de curto, médio e longo prazos, um incremento possivelmente acima do histórico. Portanto, o crescimento dos rebanhos se dá, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima. Na prática, essa mecânica permite vislumbrar o crescimento prospectivo às taxas máximas médias já observadas, mas limitado quanto a extrapolações descoladas das possibilidades de produtividade já observados. Esta mesma mecânica é então extrapolada entre 2032 e 2042;
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: dada a suscetibilidade da produção animal às condições do mercado consumidor interno, perspectivas de menor crescimento podem decorrer dos efeitos da alta da inflação, assim como abordam os cenários da EPE para uma recuperação econômica mais lenta. Estas reduções não necessariamente serão compensadas pelo mercado externo, o que faz com que se vislumbre uma perspectiva de arrefecimento da tendência para a criação animal. Para representar tal efeito, as variações nos rebanhos se dão, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, subtraída da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima. Na prática, essa mecânica

permite vislumbrar movimento de retração com base na tendência já marcada pela série histórica. Esta mesma lógica é então extrapolada entre 2032 e 2042.

Os resultados práticos das projeções acima descritas são taxas de variação, para cada rebanho em cada região intermediária, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, sob as perspectivas regionais alinhadas aos cenários conjunturais econômicos. A partir das perspectivas para cada região intermediária, o passo seguinte é realizar o rebatimento destas nos municípios componentes da bacia do rio Doce. Para tanto, são identificados os municípios que se destacam na composição dos rebanhos de suas respectivas regiões intermediárias (participação relativa). A comparação entre a cena atual e a média dos últimos dez anos da participação relativa permite identificar os locais que podem voltar a crescer em termos de importância, bem como aqueles que estão acima de seus patamares históricos. Da mesma forma, é calculada a taxa de variação da participação relativa nos últimos 10 anos, permitindo compreender quais municípios apresentam maior tendência a aumentar e/ou a diminuir sua participação na criação de determinado rebanho.

Com base nestes novos indicadores, é realizada a calibração da taxa de variação da região intermediária para cada um dos municípios, respeitando-se a perspectiva Tendencial (retorno à média, caso o resultado atual esteja abaixo, e de crescimento pela média de longo prazo), de Mais crescimento (perspectiva de crescimento médio máximo) e de Menos crescimento (perspectiva de crescimento médio mínimo).

Os resultados obtidos para as perspectivas exógenas de variação de cada rebanho podem ser observados nos Quadros 3.72 a 3.77, alguns agrupados, para simplificação da apresentação. Nota-se que os rebanhos estão somados nas sub-bacias pela ponderação dos resultados em base municipal e da fração da área do município localizada na bacia do rio Doce.

QUADRO 3.72 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DOS REBANHOS BOVINOS DE CORTE (MIL ANIMAIS)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Exógena Tendencial*			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*			*Perspectiva Exógena de Menos Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	532	559	588	626	612	684	727	456	366	383
DO2	111	115	119	123	124	136	144	84	54	56
DO3	265	276	288	298	295	321	341	259	252	263
DO4	867	923	982	1.009	963	1.049	1.110	757	626	658
DO5	321	339	359	365	354	384	405	287	247	258
DO6	274	298	322	345	320	361	388	223	163	175
UA7 I	76	77	79	79	84	91	96	62	46	46
UA7 II	19	20	20	19	21	21	22	14	7	7
UA7 III	23	24	25	26	25	27	29	22	21	22
UA8	122	123	123	126	132	141	147	116	109	112
UA9	164	164	164	167	172	179	185	153	140	141
Total	***2.773***	***2.918***	***3.069***	***3.183***	***3.102***	***3.394***	***3.593***	***2.433***	***2.031***	***2.122***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

QUADRO 3.73 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DOS REBANHOS BOVINOS DE LEITE (MIL ANIMAIS)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	127	138	151	164	154	178	195	125	122	133
DO2	20	22	24	28	25	29	32	19	17	18
DO3	61	68	75	83	75	87	96	66	73	81
DO4	185	198	212	228	214	240	260	170	154	166
DO5	81	85	90	96	92	102	110	74	67	71
DO6	74	80	86	96	89	101	110	74	74	82
UA7 I	13	14	15	16	15	17	18	13	12	13
UA7 II	3	4	4	4	4	4	4	3	2	2
UA7 III	3	4	5	5	5	6	7	4	4	4
UA8	18	20	23	26	23	28	30	17	17	19
UA9	11	12	13	14	13	15	17	10	10	10
Total	**596**	**646**	**698**	**759**	**708**	**807**	**879**	**575**	**551**	**599**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

QUADRO 3.74 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DOS REBANHOS BUBALINOS E EQUINOS (MIL ANIMAIS)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	31	34	38	41	36	39	41	31	31	33
DO2	10	10	11	12	11	12	13	10	9	11
DO3	26	28	29	31	30	33	35	27	28	30
DO4	48	52	57	62	56	62	65	49	50	54
DO5	17	18	20	21	20	22	23	18	18	19
DO6	11	12	13	14	12	13	14	11	11	11
UA7 I	2	3	3	4	2	3	3	2	2	2
UA7 II	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UA7 III	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UA8	4	4	5	5	5	5	5	4	4	5
UA9	7	7	8	8	8	9	9	7	8	8
Total	**158**	**171**	**184**	**198**	**180**	**200**	**208**	**160**	**162**	**174**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

QUADRO 3.75 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DOS REBANHOS SUÍNOS (MIL ANIMAIS)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	990	1.100	1.215	1.355	1.235	1.453	1.579	1.047	1.114	1.221
DO2	21	28	35	44	31	40	44	22	24	28
DO3	15	17	19	23	19	24	26	13	10	11
DO4	43	48	55	58	57	69	76	42	41	43
DO5	19	22	25	26	24	29	32	19	18	20
DO6	29	33	38	50	41	52	58	29	30	34
UA7 I	5	6	8	11	6	8	9	5	6	7
UA7 II	1	2	2	4	2	3	3	2	3	3
UA7 III	6	7	8	10	8	11	12	6	5	6
UA8	15	16	18	19	19	23	24	15	15	16
UA9	7	8	9	11	10	12	13	6	5	6
Total	**1.150**	**1.288**	**1.432**	**1.609**	**1.453**	**1.722**	**1.875**	**1.205**	**1.271**	**1.395**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

QUADRO 3.76 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DOS REBANHOS CAPRINOS E OVINOS (MIL ANIMAIS)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	11	14	17	20	17	22	24	12	14	16
DO2	1	2	2	3	2	3	3	1	2	2
DO3	3	3	4	5	4	5	6	3	3	4
DO4	7	9	11	13	11	14	15	8	8	9
DO5	7	9	11	12	11	15	16	8	9	10
DO6	6	8	9	11	9	12	13	7	8	9
UA7 I	3	3	4	4	3	4	5	3	3	3
UA7 II	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
UA7 III	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
UA8	4	5	5	6	5	6	7	4	4	5
UA9	5	5	6	7	6	7	8	5	5	6
Total	**47**	**58**	**71**	**83**	**70**	**91**	**100**	**52**	**58**	**65**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

QUADRO 3.77 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DOS REBANHOS GALINÁCEOS E CODORNAS (MIL ANIMAIS)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	7.296	8.659	10.082	12.596	9.700	11.839	12.952	7.514	7.771	8.746
DO2	478	601	729	781	692	882	959	420	353	380
DO3	286	362	443	524	448	592	655	282	278	308
DO4	673	808	949	1.134	927	1.153	1.271	701	734	831
DO5	284	340	399	490	424	549	601	283	283	314
DO6	351	400	452	510	494	622	689	356	363	400
UA7 I	150	187	226	281	214	270	298	145	139	159
UA7 II	91	93	96	104	131	167	186	89	86	89
UA7 III	412	451	492	539	577	724	798	367	314	329
UA8	228	257	286	327	291	347	375	206	180	194
UA9	1.720	2.048	2.391	2.711	2.357	2.923	3.177	1.508	1.258	1.383
Total	***11.968***	***14.206***	***16.545***	***19.998***	***16.255***	***20.070***	***21.963***	***11.872***	***11.759***	***13.134***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

Observa-se pelas perspectivas Tendencial, de Mais crescimento e de Menos crescimento que cada rebanho responde de forma distinta às pressões exógenas. Prepondera, claramente, o rebanho bovino de corte, sendo que o rebanho bovino de leite é também expressivo e cresce mais do que o de corte em termos relativos. Estes resultados se alinham às projeções de médio prazo (dez anos) trazidas pelo MAPA (op. cit) quando da elaboração das projeções entre 2021 e 2031 para a carne bovina e para o leite. No primeiro caso (carne), o órgão apresenta taxa anualizada de 1,29% para o cenário tendencial de consumo de carne, considerando tanto o mercado interno quanto o externo. Já nas projeções inferiores e superiores, respectivamente, as taxas são de -2,94% a 3,99%. Em contrapartida, para o leite, a taxa anualizada tendencial é de 1,74%, enquanto o limite inferior é de 0,59% e o superior é de 2,78%.

A partir da quantidade de rebanhos, torna-se possível aplicar os coeficientes de demanda de retirada de água para cada animal de forma a revelar a demanda hídrica total. Estes resultados são apresentados no item de combinações entre as perspectivas exógena e endógenas, uma vez que os padrões de ocupação no solo podem ter rebatimento sobre as demandas. Abaixo são apresentadas as demandas hídricas totais para a bacia do rio Doce, na somatória dos municípios, ainda não ponderados pela área exclusivamente na bacia.

Nota-se que em todas as perspectivas exógenas o rebanho bovino perde importância relativa, mesmo com aumento de seu efetivo, pois outros animais passam a crescer de forma mais intensa, como é o caso dos rebanhos bovinos de leite (Quadro 3.78). Atualmente, as vacas ordenhadas participam de aproximadamente 23% da demanda hídrica de dessedentação, fração essa que deve aumentar tendencialmente para 24%, podendo chegar a 25% na perspectiva de Mais crescimento e a 27% na de Menos crescimento. Outro rebanho que aumenta sua participação

relativa é o suíno, que pode passar a representar de 7% a 8% do total de demanda, sendo que atualmente é em torno de 6%.

QUADRO 3.78 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A DEMANDA HÍDRICA DE DESSEDENTAÇÃO ANIMAL NA BACIA DO RIO DOCE, POR REBANHO (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
Bovino de Corte	2,082	2,182	2,287	2,372	2,323	2,538	2,682	1,833	1,540	1,606
Vacas Ordenhadas	0,754	0,816	0,881	0,956	0,890	1,011	1,100	0,726	0,694	0,754
Bubalino	0,010	0,011	0,012	0,014	0,013	0,015	0,016	0,012	0,015	0,015
Equinos	0,086	0,093	0,101	0,109	0,097	0,107	0,112	0,085	0,083	0,091
Suíno	0,185	0,209	0,234	0,264	0,236	0,282	0,307	0,194	0,204	0,224
Caprino	0,003	0,004	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,003	0,004	0,004
Ovino	0,005	0,007	0,008	0,009	0,008	0,010	0,011	0,006	0,006	0,007
Aves	0,101	0,125	0,151	0,175	0,142	0,179	0,195	0,106	0,112	0,124
Total	***3,226***	***3,447***	***3,678***	***3,904***	***3,714***	***4,147***	***4,429***	***2,965***	***2,657***	***2,825***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.4.2 Perspectivas Endógenas

Os coeficientes de retirada de água por rebanho, embora simplifiquem a realidade, são obtidos por estudos empíricos pretéritos e referências bibliográficas, conforme traz em detalhes o Manual de Usos Consuntivos de Água no Brasil (op. cit.). Diferentemente dos coeficientes de retirada industrial ou de extração mineral, estes relativos ao rebanho animal advêm de questões fisiológicas. Tal como para a agricultura irrigada, onde a quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma determinada cultura não está sob gestão, a dessedentação animal tem coeficientes dados.

Não há, portanto, perspectivas de gestão que possam vir a reduzir as demandas hídricas dos rebanhos no tangente às suas demandas fisiológicas. As possibilidades de interferência de gestão podem estar vinculadas às práticas de limpeza de estabelecimentos e outros tratos da criação animal, mas, mesmo assim, se identifica um potencial pequeno de eficiência. Tratam-se, afinal, de processos produtivos em geral pouco sofisticados.

Não obstante, um elemento fulcral de gestão da criação animal está relacionado não à quantidade de retirada hídrica per se, mas sim à forma de criação animal, que interfere tanto na demanda quando na geração de cargas poluentes. A criação de suínos, por exemplo, ocorre de forma geralmente intensificada, concentrando os animais em um local relativamente pequeno. Nesse caso, tanto a demanda hídrica como a geração de carga poluidora passam a ser pontuais. A criação de animais a pasto, ao contrário, gera demandas e cargas difusas pela paisagem.

A vinculação dos rebanhos com a poluição hídrica difusa e o uso do solo é bastante evidente quando se observa que as pastagens predominam na paisagem da bacia do rio Doce: constituem praticamente metade (48%) do uso do solo, cobrindo uma área de 41,5 mil km^2 (segundo o mapeamento do diagnóstico). As áreas de pastagem superam em 12,6 mil km^2 as áreas de vegetação nativa na bacia, e se apresentam em contínuos mais conectados do que as próprias matas, que tendem a dispersão e concentração apenas em unidades de conservação e áreas de relevo mais acidentado.

Além das demandas hídricas, portanto, a investigação prospectiva da criação animal deve abordar as consequências dos rebanhos e das áreas ocupadas por pastagem. Embora não seja prática corrente, a forma de criação animal, bem como a intensidade dessa criação, mesmo quando ocorre a pasto, podem ser objeto de gestão de recursos hídricos. Como conclui o PERH-ES e o próprio diagnóstico deste PIRH Doce, a relação entre uso do solo e gestão ambiental não pode se dissociar do gerenciamento de recursos hídricos, todos devendo promover o seu uso eficiente. Como perspectivas endógenas para a criação animal, portanto, articulam-se elevados graus de eficiência na intensidade de ocupação das pastagens.

Primeiramente, assim, torna-se mister investigar as condições atuais e pretéritas das pastagens. A plataforma MapBiomas[93] realizou levantamento histórico (entre 1985 e 2020) específico para tais áreas, não apenas identificando os locais no espaço onde ocorrem (em grade rasterizada de 30x30 metros), mas também classificando seu estágio de degradação em três níveis: degradada, degradação moderada, e não degradada. Com base nestas informações, é possível estimar as áreas de pastagem onde se supõe o uso de pastoreio efetivo e também aquelas que, apresentando um grau elevado de degradação, não trazem condições de suportar rebanhos.

As áreas apostas no Quadro 3.79 exigem duas observações. A primeira é que os resultados são fruto da somatória das áreas mapeadas por município, contando-se com os 228 municípios com as maiores frações de área na bacia, independente dessa fração. Adicionalmente, frisa-se que o levantamento da qualidade da pastagem foi realizado exclusivamente para as áreas classificadas como tal por MapBiomas, excluindo-se, portanto, áreas sobrepostas com outros usos agropecuários que são denominadas de mosaico de agricultura e pastagem.

QUADRO 3.79 - LEVANTAMENTO HISTÓRICO DO GRAU DE DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS (KM^2)

Bacia Afluente	*Degradada em 2000*	*Degradada em 2010*	*Degradada em 2020*	*Degradação Moderada em 2020*	*Não Degradada em 2020*	*Total de Pastagem em 2020*
DO1	2.243	660	356	3.636	3.760	7.753
DO2	441	131	77	594	773	1.445
DO3	306	168	90	859	1.817	2.767
DO4	1.836	679	494	3.545	6.020	10.059
DO5	1.128	539	344	2.553	1.657	4.553
DO6	716	418	234	1.772	1.740	3.747
UA7 I	222	166	103	584	495	1.182
UA7 II	57	42	27	182	152	361
UA7 III	137	122	59	237	139	435

[93] Disponível em: www.mapbiomas.org

Bacia Afluente	*Degradada em 2000*	*Degradada em 2010*	*Degradada em 2020*	*Degradação Moderada em 2020*	*Não Degradada em 2020*	*Total de Pastagem em 2020*
UA8	574	586	264	1.016	804	2.083
UA9	806	728	341	902	975	2.218
Total	***8.464***	***4.240***	***2.389***	***15.880***	***18.333***	***36.602***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de MapBiomas

Mesmo com as restrições descritas, a comparação intertemporal não é prejudicada, uma vez que utiliza dos mesmos critérios para os três recortes temporais. Pode-se facilmente observar a redução na quantidade absoluta de pastagens de elevado grau de degradação entre os anos 2000, 2010 e 2020. Atualmente, as pastagens degradadas representam 6,5% do total de pastagens, enquanto em 2010 esse mesmo percentual era de 10,2%; já em 2000, vinte anos antes, era de 18,6%. A quantidade absoluta de pastagens (independente do grau de degradação) também apresenta redução histórica: em 2000, ocupava 45,4 mil km^2 nos municípios componentes da bacia do rio Doce; em 2010, ocupava 41,61 mil km^2; já em 2020, passa a ocupar 36,60 mil km^2.

Os rebanhos, no entanto, não deixaram de crescer nesse mesmo conjunto de municípios: em 2000, o rebanho bovino de corte e uma terça-parte do rebanho bovino de leite (haja vista se tratar de um rebanho que passa a maior parte do tempo confinado) era de 2,56 milhões de animais, crescendo para 3,09 milhões em 2010 e atingindo a marca atual de 3,28 milhões. Além de melhores técnicas de pastoreio, rotação de pastos, complemento com forragens e até pastos irrigados, conquistaram-se ganhos expressivos de produtividade por meio de genética, sanidade, nutrição e reprodução animal.

O contraste dos dados de áreas e rebanhos reforçam a hipótese de que as pastagens degradadas não suportam rebanhos volumosos que, quando alocados em pastos de maior nível de qualidade, acabam por reduzir a pressão pela ocupação de novas áreas - em resumo, há aumento de produtividade via maior adensamento dos plantéis, o que libera áreas de pastagem de menor qualificação para outros usos, desde os mais rentáveis economicamente, até a conversão para vegetação nativa com vistas a prestação de serviços ambientais. A valorização da terra, seguindo a teoria de Johann von Thünen[94], acaba por forçar uma maior especialização.

A comparação entre as áreas de pastagens utilizadas (excluídas das áreas de alto teor de degradação, portanto) e a quantidade de rebanho bovino em cada município, permite estimar a evolução da densidade de ocupação nos recortes de 2000, 2010 e 2020, como se apresenta no

[94] Segundo a teoria de Johann von Thünen (1826) sobre o uso da terra, à terra é atribuído o uso que lhe dá o melhor retorno. Uma mudança de cobertura florestal é explicada como resultado de mudanças no retorno econômico da terra com floresta contra a mesma terra com outros usos (não-florestais). A determinação do retorno econômico da terra é uma função combinada entre suas propriedades físicas e de localização, sendo que a distância até os centros consumidores está a ela negativamente correlacionada. Diversos autores testaram e atualizaram a teoria de von Thünen, dentre eles BARRETO et. al, 2013 [BARRETTO, Alberto G. O. P; BERNDES, Göran; SPAROVEK, Gerd; e WIRSENIUS, Stefan. Agricultural intensification in Brazil and its effects on land-use patterns: an analysis of the 1975–2006 period. Global Change Biology (2013)], ANGELSEN, 2007 [ANGELSEN, A. Forest cover change in time and space: Combining the Von Thunen and Forest transition theories. Banco Mundial – Policy Research Working Paper no 4117, 2007] e MATHER, 1998 [MATHER, A.S.; NEEDLE, C.L. The forest transition: a theoretical basis. Area (1998) 30.2, 117-124].

Quadro 3.80. Os valores são ponderados pela área de pastagem de cada município, de forma a produzir dados representativos para cada bacia afluente.

QUADRO 3.80 - ESTIMATIVA DE DENSIDADE DOS REBANHOS BOVINOS (ANIMAIS/HA)

Bacia Afluente	*Densidade em 2000*	*Densidade em 2010*	*Densidade em 2020*	*Taxa Anualizada de Variação entre 2000-2010*	*Taxa Anualizada de Variação entre 2010-2020*	*Taxa Anualizada de Variação entre 2000-2020*
DO1	0,761	0,648	0,881	-1,6%	3,1%	0,7%
DO2	0,649	0,756	0,857	1,5%	1,3%	1,4%
DO3	0,733	1,000	1,158	3,2%	1,5%	2,3%
DO4	0,713	0,884	0,992	2,2%	1,2%	1,7%
DO5	0,515	0,694	0,825	3,0%	1,7%	2,4%
DO6	0,496	0,692	0,868	3,4%	2,3%	2,8%
UA7	0,484	0,726	0,800	4,1%	1,0%	2,6%
UA8	0,506	0,836	0,765	5,1%	-0,9%	2,1%
UA9	1,478	1,811	1,709	2,1%	-0,6%	0,7%
Total	**0,694**	**0,827**	**0,960**	**1,8%**	**1,5%**	**1,6%**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de PPM/IBGE e MapBiomas

De forma prospectiva, pode-se concluir que há uma tendência de continuidade no aumento da densidade dos rebanhos. Não obstante, a velocidade com a qual esse aumento se dará é passível de ingerência de gestão. Afinal, salvo pela sub-bacia DO1, nas demais o ritmo de adensamento dos rebanhos diminuiu grandemente nos últimos dez anos em relação ao ritmo verificado entre os anos de 2000 e 2010. Isso pode ser indicação de que as melhorias mais fáceis já foram obtidas, tornando-se progressivamente mais custoso e/ou mais dificultoso adensar.

Pode-se supor, portanto, que sem interferências proativas de gestão, o ritmo de adensamento tende a ser o menor possível. Já sob a perspectiva de gestão ativa, moderada ou intensa, os ritmos de adensamento podem ser majorados. Com os elementos discutidos, pode-se traçar as perspectivas de gestão endógena da seguinte forma:

- ✓ ***Business as usual*** **(BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: prevê-se continuidade no ritmo de adensamento dos rebanhos, mediante a taxa tendencial de 0,7% ao ano aplicada para todas as sub-bacias. Trata-se da mínima taxa anualizada verificada no conjunto das sub-bacias, nos recortes temporais analisados;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: prevê-se continuidade no ritmo de adensamento dos rebanhos, mediante a mínima taxa anualizada verificada em cada uma das sub-bacias para os recortes temporais analisados, aplicada na própria sub-bacia;
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: prevê-se continuidade no ritmo de adensamento dos rebanhos, mediante a máxima taxa anualizada verificada em cada uma das sub-bacias para os recortes temporais analisados, aplicada na própria sub-bacia. Para essa perspectiva, limita-se a densidade

resultante em 2 animais por hectare, como forma de se resguardar as tecnologias típicas de pastoreio extensivo de aplicação massificada. Sabe-se, no entanto, haver exemplos de criações animais com densidades bastante superiores.

O Quadro 3.81 traz as taxas de densidade de animal por hectare utilizados na composição das três perspectivas endógenas.

QUADRO 3.81 - DENSIDADES PERSPECTIVAS PARA OS REBANHOS BOVINOS (ANIMAIS/HA)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena Business as usual (BAU)			Perspectiva Endógena de Gestão Moderada			Perspectiva Endógena de Gestão Intensa		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,88	0,92	0,94	1,00	0,93	0,96	1,03	1,09	1,27	1,73
DO2	0,86	0,89	0,92	0,97	0,93	0,99	1,13	0,95	1,03	1,20
DO3	1,16	1,21	1,24	1,31	1,28	1,38	1,60	1,44	1,68	2,00
DO4	0,99	1,03	1,06	1,13	1,08	1,14	1,28	1,15	1,28	1,59
DO5	0,82	0,86	0,88	0,94	0,93	1,02	1,21	1,02	1,18	1,59
DO6	0,87	0,90	0,93	0,99	1,02	1,14	1,43	1,10	1,29	1,80
UA7	0,80	0,83	0,86	0,91	0,86	0,90	0,99	1,06	1,30	1,95
UA8	0,76	0,80	0,82	0,87	0,81	0,85	0,93	1,09	1,40	2,00
UA9	1,71	1,78	1,83	1,94	1,78	1,83	1,94	1,97	2,00	2,00

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.4.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Finalmente, torna-se possível combinar as perspectivas exógenas e endógenas para calcular os resultados finais, tanto em termos de demandas de retirada de dessedentação animal (m^3/s) como de área ocupada com pastagem (esse último resultado é apresentado em no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo).

Uma última passagem metodológica que se faz necessária é a alocação dos rebanhos nas respectivas áreas de pastagem por ottobacia, pois é nesse nível de espacialização que tanto as demandas quanto as cargas poluentes são modeladas. Essa alocação se faz de forma proporcional à área de pastagem em cada ottobacia e município, obtida a partir da combinação única entre estes dois compartimentos espaciais que permite distribuir os rebanhos de cada município em suas áreas de pastagem[95]. Adicionalmente, essa área de pastagem é também cenarizada de acordo com as combinações exógenas e endógenas abordadas no item 3.5 – Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo.

Tem-se, portanto, um resultado fiel em termos espaciais, pois a alocação dos rebanhos tem como dado de entrada a área cenarizada para a pastagem em cada combinação de perspectiva endógena e exógena, por ottobacia. A demanda por áreas de pastagem e as perspectivas de incremento dos plantéis, resultante das perspectivas exógenas e endógenas, deu base para o rebatimento da cenarização no uso do solo, conforme se apresenta no item respectivo

[95] A bacia do rio Doce conta com 9.655 ottobacias, 238 municípios com alguma fração de área na bacia (mesmo que mínima) e 15.082 combinações exclusivas entre ottobacias e municípios.

(Repercussões das Perspectivas de Futuro no Uso e Ocupação do Solo). Conforme é ali exposto, nem todos os cenários permitem alocar a totalidade dos rebanhos previstos pelas perspectivas exógenas, demostrando-se as limitações de uso do solo na gestão das águas. Dessa feita, as perspectivas de gestão (endógenas) de uso do solo e de adensamento dos plantéis convergem para limitar as demandas hídricas, mesmo que de forma marginal, nas combinações respectivas.

Os resultados permitem observar que não é preciso limitar a produção animal para que haja a promoção do uso eficiente do recurso hídrico, pois nas combinações em que há gestão proativa, moderada e intensa, os rebanhos continuam a crescer de forma mais intensa que a área por eles ocupada, permitindo abrigar maior quantidade de animais de forma concomitante com a abertura de espaço para a recuperação da vegetação nativa. Os resultados das demandas hídricas das combinações entre as perspectivas exógenas e endógenas são apresentados por bacia afluente, calculados ao nível de ottobacia com base na somatória das demandas de todos os rebanhos, nos Quadros 3.82 a 3.84.

QUADRO 3.82 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU (M³/S)

Bacia Afluente		*Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)*								
	Cena Atual	*Perspectiva Exógena Tendencial*			*Perspectiva Exógena de Menos Crescimento*			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,793	0,855	0,918	0,997	0,749	0,697	0,750	0,942	1,072	1,146
DO2	0,099	0,105	0,110	0,118	0,083	0,066	0,070	0,113	0,126	0,135
DO3	0,278	0,296	0,315	0,334	0,277	0,275	0,294	0,322	0,360	0,389
DO4	0,811	0,908	0,968	1,011	0,726	0,672	0,713	0,957	1,053	1,123
DO5	0,280	0,297	0,315	0,326	0,255	0,225	0,238	0,313	0,342	0,360
DO6	0,309	0,335	0,363	0,394	0,275	0,235	0,256	0,366	0,418	0,452
UA7 I	0,055	0,058	0,059	0,062	0,048	0,040	0,042	0,061	0,067	0,071
UA7 II	0,018	0,017	0,018	0,018	0,014	0,009	0,010	0,019	0,020	0,021
UA7 III	0,045	0,047	0,049	0,052	0,044	0,043	0,045	0,051	0,056	0,059
UA8	0,114	0,116	0,119	0,123	0,108	0,101	0,105	0,125	0,135	0,140
UA9	0,080	0,080	0,080	0,081	0,077	0,075	0,075	0,081	0,083	0,083
Total	***2,882***	***3,114***	***3,317***	***3,515***	***2,658***	***2,438***	***2,597***	***3,349***	***3,733***	***3,979***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.83 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO MODERADA (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva endógena de Gestão Moderada*								
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Menos Crescimento*			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,793	0,851	0,914	0,994	0,746	0,695	0,748	0,938	1,070	1,145
DO2	0,099	0,104	0,109	0,117	0,082	0,065	0,069	0,112	0,125	0,134
DO3	0,278	0,296	0,315	0,334	0,277	0,275	0,294	0,321	0,360	0,388
DO4	0,811	0,909	0,969	1,011	0,727	0,672	0,713	0,958	1,053	1,122

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva endógena de Gestão Moderada								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO5	0,280	0,297	0,316	0,326	0,255	0,226	0,238	0,313	0,343	0,361
DO6	0,309	0,333	0,359	0,389	0,273	0,233	0,253	0,362	0,412	0,444
UA7 I	0,055	0,058	0,060	0,062	0,048	0,040	0,042	0,061	0,067	0,071
UA7 II	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015	0,010	0,010	0,019	0,020	0,021
UA7 III	0,045	0,047	0,049	0,051	0,044	0,043	0,045	0,050	0,056	0,058
UA8	0,114	0,115	0,118	0,121	0,108	0,102	0,105	0,123	0,133	0,138
UA9	0,080	0,079	0,079	0,079	0,077	0,075	0,075	0,080	0,081	0,081
Total	***2,882***	***3,105***	***3,306***	***3,503***	***2,653***	***2,437***	***2,593***	***3,338***	***3,719***	***3,963***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.84 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa								
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,793	0,845	0,909	0,987	0,741	0,691	0,743	0,932	1,064	1,142
DO2	0,099	0,103	0,109	0,116	0,082	0,064	0,069	0,112	0,125	0,133
DO3	0,278	0,296	0,315	0,333	0,277	0,275	0,294	0,321	0,358	0,386
DO4	0,811	0,909	0,969	1,011	0,727	0,672	0,713	0,958	1,053	1,122
DO5	0,280	0,296	0,314	0,324	0,254	0,225	0,237	0,312	0,342	0,360
DO6	0,309	0,331	0,356	0,385	0,272	0,232	0,252	0,359	0,406	0,437
UA7 I	0,055	0,057	0,059	0,061	0,048	0,040	0,042	0,060	0,066	0,069
UA7 II	0,018	0,018	0,018	0,018	0,015	0,010	0,011	0,019	0,020	0,020
UA7 III	0,045	0,046	0,048	0,050	0,043	0,043	0,045	0,049	0,054	0,057
UA8	0,114	0,116	0,118	0,122	0,109	0,104	0,107	0,123	0,132	0,137
UA9	0,080	0,079	0,079	0,080	0,077	0,075	0,076	0,080	0,081	0,081
Total	***2,882***	***3,096***	***3,295***	***3,489***	***2,647***	***2,433***	***2,587***	***3,325***	***3,701***	***3,946***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.5 Aquicultura

A demanda hídrica de aquicultura representa apenas 0,7% do total na baca do rio Doce, representando uma vazão de 0,49 m³/s. Não obstante, o registro da quantidade produzida de peixes nos oito anos de histórico da Pesquisa da Pecuária Municipal - PPM/IBGE (2013 a 2020)[96], permite identificar uma tendência de crescimento, principalmente no estado de Minas Gerais. Essa tendência não se espelha nos municípios mineiros da bacia do Doce, onde a produção atual é concentrada em municípios capixabas. Os gráficos da Figura 3.30 permitem observar a

[96] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2020

evolução da quantidade produzida em tilápia (toneladas) e o valor econômico dessa produção (R$ mil) nos dois estados e na somatória dos municípios componentes da bacia do rio Doce.

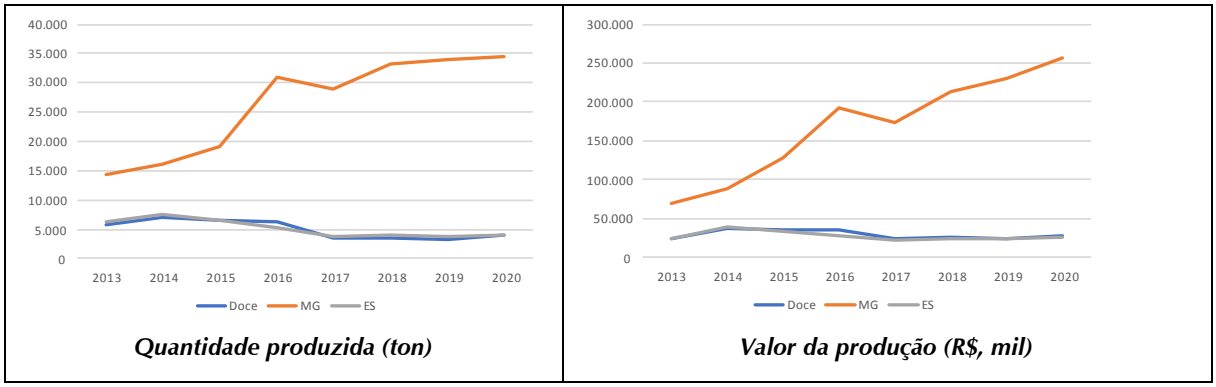


Figura 3.30 - Evolução da Produção e Valor da Produção da Tilápia, com Base em PPM/IBGE

A produção da aquicultura nos dois estados é praticamente toda voltada para a tilápia: a espécie representa 95% do volume de produção em Minas Gerais em 2020 e 99% no Espírito Santo. Ao compilar os dados dos municípios componentes da bacia do rio Doce, verifica-se a manutenção da hegemonia da tilápia: 98% da quantidade produzida em 2020.

A produção de tilápia é uma das que mais cresce dentro da piscicultura brasileira, dada a facilidade de comercialização e manejo, que combina um ciclo curto de produção, quando comparado a espécies nativas e peixes de maior porte (chega ao peso de abate com seis meses) com uma alta adaptabilidade. Nota-se que a espécie consegue se adaptar inclusive a ambientes de salinidade intermediária, o que aumenta os locais onde sua criação é possível (EMBRAPA, 2017)[97]. A espécie, de origem africana, adapta-se com facilidade ao cultivo em tanque-rede, sistema que está em avanço no estado de Minas Gerais, principalmente em áreas de represas hidrelétricas. Doravante, a análise prospectiva para a atividade aquícola é realizada para essa espécie apenas.

3.3.5.1 Perspectivas Exógenas

Embora a cena atual apresente uma certa estagnação da produção de tilápia na bacia do rio Doce, existem perspectivas negativas para a produção do pescado extrativo, o que reforça a perspectiva de aumento na atividade de aquicultura. Segundo FAO (2020)[98], a aquicultura está dentre os setores produtores de alimentos que mais deverá crescer no mundo, sendo que já é responsável por 75 milhões de toneladas de peixe no mundo. Nota-se ainda a inversão entre a produção do peixe de extrativismo e o de criação. Segundo Schulter e Vieira Filho (2018)[99], o Brasil é um potencial protagonista na produção aquícola, com possíveis 20 milhões de toneladas ao ano a serem produzidas até 2030. Por enquanto, o país segue aquém desse potencial, com produção registrada pela PPM/IBGE de apenas 629 mil toneladas em 2020.

[97] EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pesca e aquicultura. Palmas: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/>.
[98] FAO - Food and Agriculture Organization. The state of world fisheries and aquaculture. Rome: FAO, 2020.
[99] SCHULTER, E. P. & VIEIRA FILHO, J. E. R., Desenvolvimento e potencial da tilapicultura no Brasil. Revista de Economia e Agronegócio, Vol. 16, Nº 2, 2018.

Claramente, esse incremento de cultivo de peixes não necessariamente ocorrerá na bacia do rio Doce, mas haja vista haver tal produção, cabe perscrutar suas possibilidades de desenvolvimento. Com base na série histórica da quantidade produzida de tilápia em cada uma das dez regiões intermediárias com municípios da bacia do rio Doce (seguindo a mesma lógica apresentada no item 3.3.4 (Criação Animal), é possível capturar as tendências específicas de longo prazo. Os mesmos indicadores utilizados para a projeção dos rebanhos são aqui utilizados, adequando-se os prazos para os oito anos de histórico da produção da aquicultura[100].

Com base nos indicadores, e considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro, adotam-se para a produção de tilápia os mesmos pressupostos adotados para as perspectivas exógenas dos rebanhos animais, resumindo-se em:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: dada as incertezas que envolvem o momento atual, traça-se na perspectiva tendencial um retorno e/ou manutenção de níveis históricos de produção;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: crescimento da produção se dá, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima. Esta mesma mecânica é então extrapolada entre 2032 e 2042; e
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: crescimento da produção se dá, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, subtraída da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima. Esta mesma lógica é então extrapolada entre 2032 e 2042.

Os resultados das projeções acima descritas são taxas de variação, para a produção da tilápia em cada região intermediária, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, sob as perspectivas regionais alinhadas aos cenários conjunturais econômicos. A partir das perspectivas para cada região intermediária, o passo seguinte é realizar o rebatimento destas nos municípios componentes da bacia do rio Doce. Para tanto, são identificados os municípios que se destacam na produção de peixe de suas respectivas regiões intermediárias (participação relativa). Os mesmos indicadores de participação relativa calculados para os rebanhos são replicados para a tilápia, e com base neles, é realizada a calibração da taxa de variação da região intermediária para cada um dos municípios.

Os resultados obtidos para as perspectivas exógenas de variação da produção aquícola podem ser observados no Quadro 3.85.

[100] Da mesma forma que para os rebanhos, tendo como base as estatísticas obtidas pelo histórico, é possível identificar as variações anualizadas entre a média de longo prazo e as produções de peixe máximas e mínimas, bem como a média anualizada destas variações (entre a variação máxima e a mínima, representando assim uma banda limite de movimento para o comportamento da produção). É também possível calcular a variação anual tendencial por meio da média de longo prazo e da tendência anual de variação da série.

QUADRO 3.85 - PERSPECTIVAS EXÓGENAS PARA A VARIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE TILÁPIA (TONELADAS)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	541	634	731	697	825	1.077	1.179	508	468	493
DO2	56	102	149	133	87	115	122	89	129	142
DO3	43	51	59	58	57	69	74	42	41	46
DO4	260	281	302	294	328	387	417	245	227	230
DO5	32	40	48	48	46	59	64	35	39	48
DO6	68	96	125	122	124	173	191	78	91	95
UA7 I	647	667	688	686	790	917	1.015	618	583	590
UA7 II	7	10	13	11	11	14	16	9	12	14
UA7 III	192	196	200	200	220	245	263	182	169	170
UA8	114	130	147	148	194	265	295	106	96	102
UA9	1.624	1.746	1.875	1.873	1.972	2.281	2.304	1.467	1.282	1.294
Total	***3.586***	***3.953***	***4.337***	***4.269***	***4.654***	***5.604***	***5.940***	***3.380***	***3.137***	***3.225***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Fonte: Cena atual com base em PPM/IBGE.
Elaboração ENGECORPS, 2022, para as perspectivas

De forma a traduzir as perspectivas de produção da tilápia em toneladas para as demandas hídricas de retirada da atividade, manteve-se constante a relação estabelecida entre a demanda hídrica diagnosticada e a quantidade produzida na cena atual (0,0448 litros por tonelada). Esse parâmetro foi adotado na falta de outra referência.

3.3.5.2 Perspectivas Endógenas

Muito embora a criação de tilápias deva apresentar amplas possibilidades para a promoção do uso eficiente dos recursos hídricos, principalmente em relação à geração de efluentes da atividade, não há referências que permitam inferir de forma plausível quais seriam. Dessa forma, não se trazem perspectivas endógenas para esse setor usuário.

3.3.5.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Uma vez que não há perspectivas endógenas para a atividade, os resultados são apresentados apenas para as perspectivas exógenas, apresentando as demandas hídricas por bacia afluente, calculadas ao nível de ottobacia.

QUADRO 3.86 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA ATIVIDADE DE AQUICULTURA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,161	0,177	0,179	0,178	0,173	0,172	0,172	0,183	0,190	0,193
DO2	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033
DO3	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045	0,045
DO4	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049	0,049

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Menos Crescimento			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO5	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098	0,098
DO6	0,095	0,096	0,097	0,097	0,096	0,096	0,096	0,097	0,099	0,099
UA7 I	0,000	0,028	0,029	0,029	0,026	0,024	0,024	0,034	0,039	0,044
UA7 II	0,000	0,004	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004
UA7 III	0,001	0,032	0,034	0,034	0,027	0,024	0,024	0,036	0,041	0,042
UA8	0,005	0,039	0,041	0,041	0,034	0,030	0,030	0,044	0,051	0,052
UA9	0,000	0,013	0,014	0,014	0,011	0,010	0,010	0,015	0,018	0,018
Total	***0,487***	***0,615***	***0,623***	***0,623***	***0,597***	***0,584***	***0,585***	***0,639***	***0,668***	***0,677***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

3.3.6 Mineração

A atividade minerária é responsável por uma demanda de 3,11 m^3/s (equivalente a 4,7% do total da bacia), e a área ocupada pela mineração, de cerca de 86,13 mil km^2, contribui para a poluição dos corpos d'água devido à lixívia dos terrenos. Trata-se, ainda, de setor que encadeia parte da produção industrial, como é abordado no próximo item.

A mineração é uma importante atividade econômica na bacia do rio Doce, com a presença de vários grupos empresariais atuando na extração e beneficiamento de diversas substâncias minerárias, cada qual com sua característica de técnica de extração, volume de produção e valor de comercialização. Os valores pagos aos municípios componentes da bacia do rio Doce em 2020 pelas mineradoras, a título de compensação financeira por extração mineral, revelam o porte da atividade: R$ 1,05 bilhão, sendo que 99% destes se concentra na DO3 (R$ 572 milhões), DO2 (R$ 263 milhões) e DO1 (R$ 209 milhões).

Com base nas informações disponibilizadas pela Agência Nacional de Mineração[101], foi possível identificar a produção minerária em volume (gramas, quilogramas ou toneladas), por substância minerada, para cada município correspondente. Essas substâncias minerais foram então classificadas em 4 grandes categorias e 11 grupos, conforme o Quadro 3.87.

QUADRO 3.87 - CLASSIFICAÇÃO DAS SUBSTÂNCIAS MINERÁRIAS

Categoria	Grupo	Principais substâncias
Carvão Mineral	Carvão mineral	Não há registros de extração na bacia do rio Doce
Minério de Ferro	Ferro	ferro, itabirito, hematita
Minerais metálicos não-ferrosos	Alumínio	alumínio, agalmatolito, bauxita, hidrargilita, gibbsita
	Estanho	Não há registros de extração na bacia do rio Doce
	Manganês	manganês, ferro manganês
	Preciosos	água marinha, berilo, diamante, esmeralda, gema, ouro, prata, topázio, turmalina, granada, alexandrita
	Outros	cianita, berílio, chumbo, tântalo, pirocloro, tantalita, zinco, cobre, titânio, sapropelito, níquel

[101] Disponível em: https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/colecoes/colecao-de-planilhas-arrecadacao-da-cfem

Categoria	Grupo	Principais substâncias
Minerais não-metálicos	Pedra, areia e argila	ardósia, areia, arenito, argila, argilito, basalto, cascalho, charnoquito, diabásio, gnaisse, granito, mármore, saibro, sienito, xisto, pedra corada, diorito
	Adubos, fertilizantes e químicos	apatita, calcário, calcita, caulim, dolomito, fosfato, pirita, rocha potássica
	Sal marinho e Sal gema	não há registros de extração na bacia do rio doce
	Outros	espodumênio, esteatito, feldspato, filito, fonólito, grafita, leucita, mica, migmatito, lítio, ocre, pegmatito, pirofilita, quartzito, quartzo, saponito, serpentinito, talco, tinguaíto, tonalito, vermiculita, amianto, citrino, kunzita, magnetita, turfa

Compilação ENGECORPS, 2022, com base nos dados de ANM

Nota-se que não há registros, na bacia, de exploração de carvão mineral, estanho e sal. Recortando-se os dados para os anos de 2003 (mais antigo possível), 2010 e 2020, tem-se uma representação de duas décadas da atividade na bacia do rio Doce.

O Quadro 3.88 permite identificar que os maiores volumes de produção se concentram no minério de ferro, com um aumento expressivo na extração de pedras ornamentais na categoria dos minerais não-metálicos. A produção de minerais metálicos preciosos registrou 438 toneladas em 2020, o que é irrisório frente ao volume extraído em minério de ferro, muito embora o valor econômico de cada tonelada extraída seja inversamente irrisório. Outro fato notável é o aumento da extração de minerais não-metálicos do grupo "outros", que incluem, dentre outros, minerais utilizados em componentes eletrônicos. Enquanto em 2003 se extraiu 69 mil toneladas, em 2010 o volume foi de 156 mil e, em 2020, de 366 mil toneladas.

QUADRO 3.88 - PRODUÇÃO MINERÁRIA NA BACIA DO RIO DOCE (TONELADAS)

Categoria	2003	2010	2020
Carvão Mineral	-	-	-
Minério de Ferro	41.997.485	247.977.958	123.137.997
Minerais metálicos não-ferrosos	454.228	275.820	1.201.208
Minerais não-metálicos	1.179.884	1.873.107	32.122.573

Compilação ENGECORPS, 2022, com base nos dados de ANM

3.3.6.1 Perspectivas Exógenas

Conforme discutido no item 3.2.4 - Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo, parte expressiva da demanda por produtos minerários brasileiros é externa, o que faz com que uma retomada do mercado internacional e uma taxa de câmbio nacional (relativamente) desvalorizada propiciem uma expansão da atividade. Cabe investigar o momento atual de produção nacional e na bacia do rio Doce, para então traçar as perspectivas exógenas dessa produção em suas vertentes tendencial, de menor e de maior crescimento.

Uma análise dos dados de emprego, consultados via a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Programa de Disseminação de Estatísticas do Trabalho do Ministério do Trabalho entre os anos de 2003 e 2019 permite identificar as significativas mudanças ocorridas ao longo destes

quase 20 anos[102]. Para a extração de minérios metálicos, dentre os quais predomina o minério de ferro, nota-se uma queda acentuada dos empregos na DO3 e aumento nas sub-bacias DO1 e DO2.

QUADRO 3.89 - EMPREGOS FORMAIS NOS SETORES DE MINERAÇÃO

Bacia Afluente	*Minerais Metálicos*		*Minerais não Metálicos*	
	2003	***2019***	***2003***	***2019***
DO1	1.107	5.802	1.125	819
DO2	681	7.756	413	353
DO3	11.686	5.609	713	495
DO4	0	92	375	429
DO5	0	22	117	248
DO6	0	1	188	402
UA7 I	0	0	528	440
UA7 II	0	0	130	69
UA7 III	0	0	319	237
UA8	0	0	1.547	1.420
UA9	0	0	668	393
Total	***13.474***	***19.282***	***6.123***	***5.305***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de RAIS

Com os dados da produção mineral nacional disponibilizados pela Pesquisa Industrial Anual (PIA) do IBGE[103], em especial a quantidade produzida dos produtos industriais segundo as classes de atividades para os anos de 2005 a 2019, é possível identificar as séries históricas de produção de cada um dos onze grupos de minérios por meio da associação das classes econômicas correspondentes, de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). Por exemplo, a classe "extração de minério de ferro" é associada à atividade de extração desse mesmo minério, bem como a classe de atividade denominada "extração de minério de alumínio" é associada à produção de alumínio e assim sucessivamente.

Uma vez que a PIA é fruto da declaração do volume produzido de uma amostra de empresas de cada classe de atividade econômica, fez-se um ajuste nos dados pretéritos com base na quantidade produzida ponderada pela quantidade de informantes de cada ano, gerando séries equivalentes à quantidade de informantes de cada classe no último ano disponível (2019). Por exemplo, em 2019 foram 144 informantes para a classe "extração de minério de ferro", número idêntico ao ano de 2018. Já no ano de 2017, foram 146 informantes. Dessa forma, a quantidade média produzida em 2017, para cada um destes 146 informantes, é multiplicada pela quantidade de informantes de 2019 (ou seja, 144), produzindo informações padronizadas em 144 informantes.

[102] Para minerais metálicos, foram consideradas as seguintes classes CNAE: Extração de minério de ferro, Extração de minério de alumínio, Extração de minério de estanho, Extração de minério de manganês, Extração de minério de metais preciosos, Extração de minerais radioativos, Extração de minerais metálicos não ferrosos não especificados anteriormente. Para não metálicos: Extração de pedra, areia e argila, Extração de minerais para fabricação de adubos, fertilizantes e outros produtos químicos, Extração e refino de sal marinho e sal-gema, Extração de gemas (pedras preciosas e semipreciosas), Extração de minerais não metálicos não especificados anteriormente.
[103] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-produto/quadros/brasil/2019

Avaliou-se, em um segundo passo, a consistência das séries de quantidades produzidas (em toneladas), uma vez que de 2005 até 2013 a listagem de produtos que dá base para a PIA era uma (Lista de Produtos da Indústria - Prodlist 2013) e, de 2014 em diante, passa a ser outra (Prodlist 2016). Essa diferença afetou a série de extração de pedra, areia e argila, mas não os demais grupos. Os gráficos da Figura 3.31 permitem identificar as informações obtidas, sendo que os agrupamentos realizados são para fins de compatibilidade de escala.

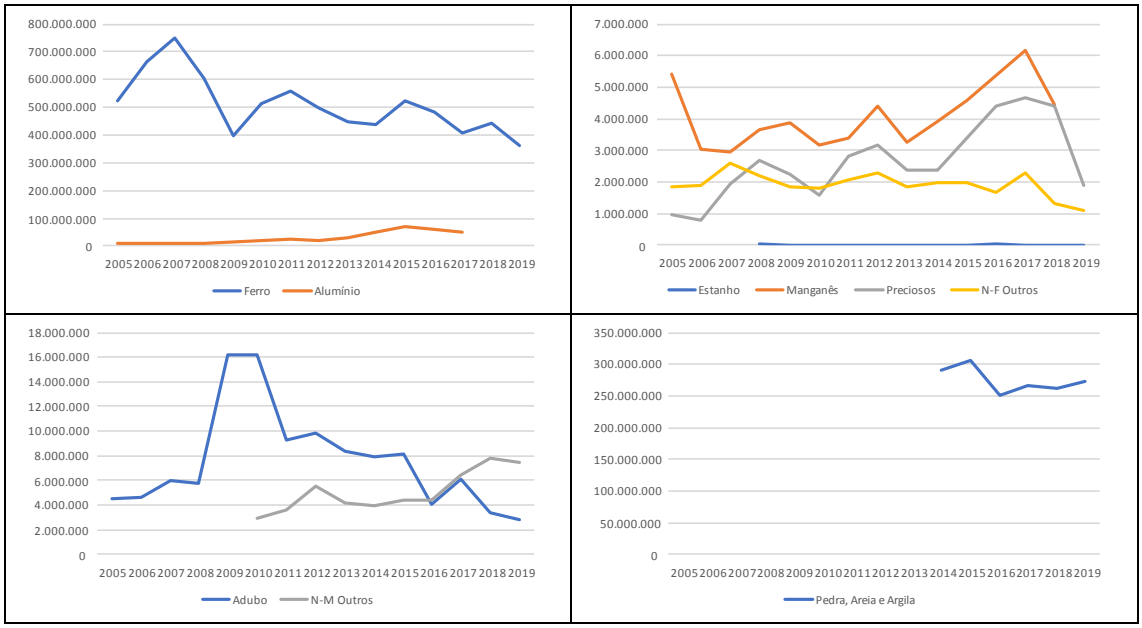


Figura 3.31 - Evolução da Produção Minerária Nacional com Nase na PIA/IBGE (toneladas)

Observa-se que há uma notável sazonalidade na produção mineral, como era de se esperar para o setor, que atende a demandas externas e a um mercado nacional (principalmente para fins de construção civil) que passou o último quinquênio estagnado e com um nível bastante baixo de investimento em capital fixo. Aplicou-se então o filtro de *Hodrick-Prescott*[104] de forma a se obter as séries históricas com movimentos sazonais suavizados.

Com base nas séries dessazonalizadas, é possível capturar as tendências específicas de cada grupo minerário de longo prazo, ainda em nível nacional. Para tanto, são calculados os seguintes indicadores: a produção média recente, entre 2014 e 2019; a produção média de longo prazo, entre 2005 e 2019; a produção atual, dada pela média dos dois últimos anos (2018-2019); as produções máxima e mínima registradas entre 2005 e 2019; e a tendência anual de variação da série. É possível então identificar as variações anualizadas entre a média de longo prazo e a produção máxima e mínima, assim como a média anualizada destas variações (entre a variação máxima e a mínima, representando assim uma banda limite de movimento). É também possível calcular a variação anual tendencial por meio da média de longo prazo e da tendência anual de variação da série.

[104] Modelo matemático bastante utilizado em aplicações econométricas para remover o componente cíclico de uma série temporal, obtendo-se uma curva suavizada. Objetiva-se que o resultado seja mais sensível às flutuações de longo prazo em detrimento das de curto prazo. O ajuste da sensibilidade da é fruto do multiplicador λ, e uma vez que se trabalha com séries anuais, utiliza-se $\lambda = 50$.

Com base nos indicadores, e considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro, os seguintes pressupostos são adotados para as perspectivas exógenas:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: dada as incertezas que envolvem o momento atual, traça-se na perspectiva tendencial um retorno e/ou manutenção de níveis históricos de produção;
  - ✧ Para as atividades que apresentam, na cena atual, níveis de produção abaixo da média dos últimos dez anos, assume-se ao menos um retorno à essa média ao longo dos próximos dez anos (até 2032), sendo considerado, após esse período, a taxa de crescimento tendencial até 2042;
  - ✧ Para as atividades que apresentam, na cena atual, níveis de produção acima da média dos últimos dez anos, assume-se o crescimento até 2032 pela média entre a taxa tendencial e a taxa média de variação entre as taxas máxima e mínima, o que faz, na prática, um ajuste na tendência para que não haja extrapolações acima do que já ocorrera no histórico. Já para o período entre 2032 e 2042, aplica-se a taxa de crescimento tendencial;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: as perspectivas de maior crescimento para o setor da mineração evoluem a partir de uma conjuntura nacional e internacional favoráveis, demandando representar, nos recortes de curto, médio e longo prazos, não apenas um retorno às taxas de produção já registradas no passado, como uma superação destas. Portanto, o crescimento dos níveis atuais de produção se dá, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima. Na prática, essa mecânica permite vislumbrar o crescimento prospectivo às taxas máximas médias já observadas, mas limitado quanto a extrapolações descoladas das possibilidades de investimentos e produtividade já observados. Esta mesma mecânica é então extrapolada entre 2032 e 2042; e
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: dada a conjuntura econômica e os níveis baixos atuais de produção, com capacidade ociosa, não se vislumbra perspectiva de arrefecimento da tendência para o setor da mineração.

Os resultados práticos das projeções acima descritas são taxas de crescimento, para cada grupo mineral, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, sob as perspectivas nacionais alinhadas aos cenários conjunturais econômicos. A partir das perspectivas nacionais, o passo seguinte é realizar o rebatimento destas no contexto da bacia do rio Doce.

A comparação das quantidades produzidas por cada grupo de minério a nível país e na bacia do rio Doce, entre os anos de 2010 e 2020, permite compilar os graus de elasticidade históricos. Ou seja, nos últimos dez anos, a cada 1% de variação na produção nacional de minério de ferro resultou em que variação na produção desse mesmo minério na bacia do rio Doce? Para esse caso específico, o grau de elasticidade identificado é negativo (-2,39), fruto da exaustão das reservas minerárias e exploração de reservas amazônicas, em especial a S11D. Itabira, que abriga a primeira mina da companhia Vale, deve ser também uma das primeiras a encerrar o ciclo de exploração desse recurso natural não renovável. Não obstante, outras reservas de minério de

ferro podem passar a ser viabilizadas, tal como indica o informe institucional da Arcelor Mital que prevê investimentos de cerca de R$ 4 bilhões na ampliação da Usina de Monlevade e da Mina de Serra Azul, com perspectiva de dobrar a produção de minério de ferro.

Já outros grupos de minério apresentam elasticidades positivas, como é o caso dos metais preciosos (4,26). Com base no roteiro apenas descrito, e partindo-se da quantidade de produção na cena atual para cada grupo de minério (obtido para o ano de 2020 junto à ANM), é possível projetar a produção mineral na bacia para os próximos vinte anos. O Quadro 3.90 permite observar os resultados obtidos em mil toneladas.

QUADRO 3.90 - PROJEÇÕES DE PRODUÇÃO MINERAL NA BACIA DO RIO DOCE (MIL TONELADAS)

Grupo Mineral	*Cena Atual*	*Perspectiva Tendencial*			*Perspectiva de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
Ferro	123.138	119.050	114.905	113.686	131.617	140.333	146.740
Alumínio	171,11	203,00	237,59	175,36	223,32	282,76	287,05
Manganês	98,64	88,75	78,49	58,91	107,48	116,68	139,96
Preciosos	0,44	0,49	0,54	0,29	0,62	0,83	0,63
Outros minerais metálicos não-ferrosos	931	937	943	931	998	1.067	1.060
Pedra, areia e argila	29.506	30.712	31.951	33.526	32.677	35.978	41.605
Adubos, fertilizantes e químicos	2.251	2.453	2.668	2.182	2.661	3.108	2.651
Outros minerais não-metálicos	366,23	438,08	519,34	586,69	486,55	628,57	864,16

Elaboração ENGECORPS, 2022

Nota-se que as projeções embutem a sazonalidade de longo prazo capturada pela mecânica de cálculo adotada, o que faz com que os resultados de 2042 não necessariamente sejam superiores aos de 2032. Essa oscilação é mais marcante para os grupos minerários de maior volatilidade, como os metais preciosos e os não-metálicos utilizados como adubos e fertilizantes. Em contrapartida, a extração de pedras ornamentais, areia e argila, assim como a extração de outros minerais não-metálicos tende a crescer de forma constante ao longo dos próximos 20 anos.

As projeções para a produção mineral apresentam, diferentemente de outros setores, um dirigismo espacial que condiciona a exploração de um determinado minério à localidade específica onde aquela substância ocorre. Os desígnios da natureza devem ainda ser combinados com a tecnologia minerária e com as condições mercadológicas a fim de determinar a viabilidade de exploração de uma determinada reserva. Dessa forma, as projeções apresentadas devem ser combinadas com a existência dos minérios (exata localização) e com os anseios empresariais de explorá-los.

Para essa próxima etapa da cenarização, foi consultada a base da ANM em que constam informações sobre o processo de concessão de lavra minerária de acordo com os ritos federais prescritos pelo Decreto nº 227/1967 (Código de Minas), pela Lei nº 6.567/1978 e também pelo Decreto nº 9.406/2018. De todas as fases do processo de mapeamento inicial, estudo, delimitação da área e eventual solicitação do direito de exploração, tem-se que as mais

condizentes com a sinalização de possíveis expansões da atividade são as de requerimento de lavra, concessão de lavra e direito de requerer a lavra. Dentre estas, o direito de requerer a lavra pode ser interpretado como o mais avançado.

Parte do processo também é dedicada à tecnologia de exploração, notadamente as lavras garimpeiras. Estas, no entanto, são aqui desconsideradas dado seu baixo nível de produção, pequeno porte e grande dispersão. A Figura 3.32 apresenta as áreas em cada uma destas três fases, observando-se que mesmo a mais avançada, direito de requerer a lavra, é abrangente na área geográfica da bacia do rio Doce, ocorrendo em todas as suas bacias afluentes. Importante notar que a figura não distingue a substância, pois a visualização das informações ficaria prejudicada; inobstante, cada polígono está devidamente associado a substância ali presente e para a qual o processo junto à ANM foi iniciado.

O diagnóstico de uso do solo deste Plano de Bacia identificou um total de 86,13 mil km^2 dedicados à atividade minerária, e a sobreposição destas áreas com as áreas sob direito de requerer a lavra resultam em um total adicional potencial de 822,83 mil km^2. Essa área representa, enfim, aquelas onde a expansão da atividade tem maiores probabilidades de vir a ocorrer.

As projeções de incremento de produção por grupo de minério encontram, no território da bacia do rio Doce, amplo espaço para expansão, sendo que a quantidade absoluta de áreas sob direito de requerer a lavra supera a projeção mais intensa de incremento de produção, mesmo quando se considera uma razão de 1:1 entre a variação na quantidade produzida de minério e a ocupação territorial dessa produção.

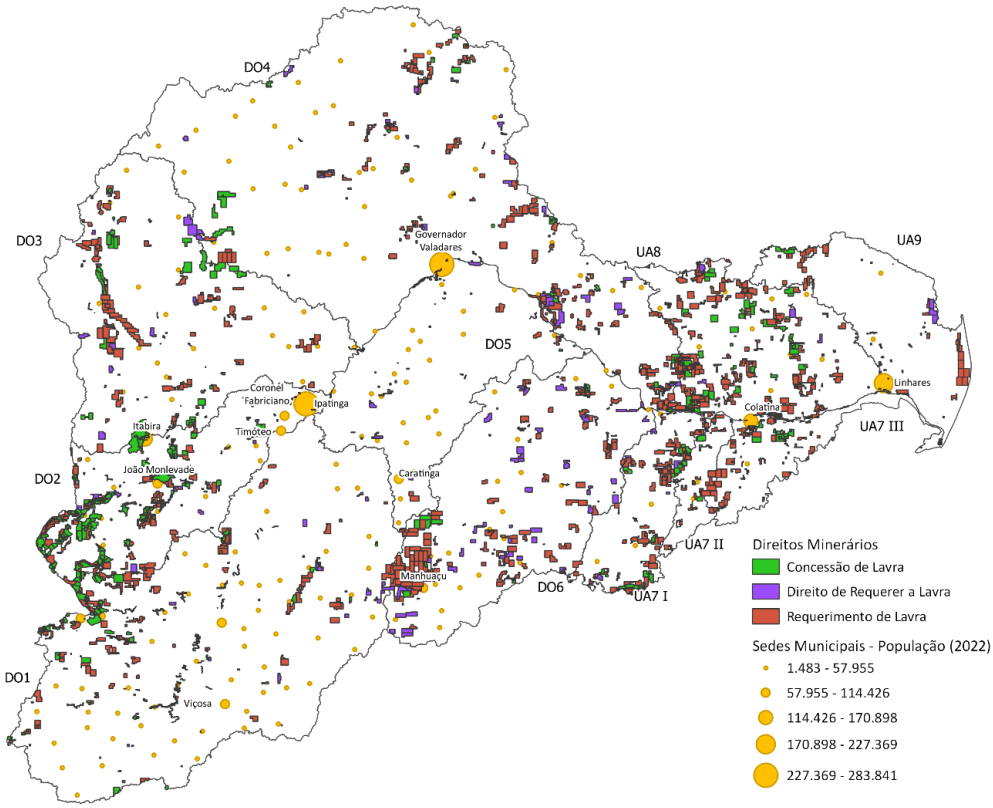


Figura 3.32 - Fases Avançadas de Expansão da Mineração, com Base nos Registros junto à ANM

Eis que, em uma análise pretérita, observa-se que a relação entre produção mineral (toneladas) e ocupação de área territorial não é de 1:1, mas sim de 1:0,56 para os minerais metálicos e de 1:0,62 para os minerais não-metálicos. Utilizou-se, para chegar a estes resultados, o mapeamento histórico (entre 1985 e 2020) específico de áreas mineradas da plataforma MapBiomas[105]. Por estes dados, pode-se identificar a evolução das áreas dedicadas à exploração de minerais metálicos, não-metálicos e outros minerais. Para os minerais metálicos, a área mapeada na bacia passou de 6,49 em 2003 para 11,44 mil km^2 em 2020, sendo que no mesmo intervalo, a produção minerária passou de 42,45 para 124,34 milhões de toneladas. Já para os minerais não-metálicos, a área mapeada passou de 0,44 em 2003 para 1,64 mil km^2 em 2020, sendo que no mesmo intervalo, a produção passou de 1,18 para 32,12 milhões de toneladas.

Com base nas áreas de maior propensão à expansão da atividade de cada grupo de minerais, pode-se aplicar os coeficientes de relação entre a variação na produção mineral e a ocupação em área dessa produção, obtendo-se assim a variação prospectiva em área. Uma vez que a quantidade de área sob direito de requerer a lavra supera a projeção mais intensa de ocupação destas áreas, realizou-se o rateio proporcional da demanda por novas áreas nas áreas mapeadas para expansão.

Exemplifica-se mecânica adotada para o minério de alumínio: na perspectiva tendencial de curto prazo, a produção passa de 171 mil toneladas para 203 mil toneladas, ou seja, um acréscimo de 18,6%. Dada a relação entre produção e área de 0,56 para minerais metálicos, a demanda por área, nesse mesmo período, passa a ser equivalente a um acréscimo de 10,5% sobre a ocupação atual, que é de 2,38 mil km^2 e passaria, em 2027, a ser de 2,63 mil km^2. O resultado da projeção, portanto, demanda alocar uma área adicional de mineração de alumínio de 0,25 mil km^2. Sob o direito de requerer a lavra de alumínio, na bacia do Doce, existe um total de 59,75 mil km^2 distribuídos em centenas de pequenos polígonos. Claramente, não há como se prever o início da atividade de mineração do alumínio em um destes polígonos em detrimento aos demais, pois simplesmente não há informações nesse nível de granulometria. De forma simplificada, portanto, as áreas de expansão são rateadas de forma linear frente a demanda de área de 0,25 mil km^2. Esse cálculo é realizado ao nível de ottobacia, e distribui a área de expansão nos diversos polígonos indicados como potencial.

O Quadro 3.91 apresenta os resultados das perspectivas Tendencial e de Mais crescimento na ocupação das áreas mais propensas à expansão da atividade minerária.

QUADRO 3.91 - PROJEÇÕES DE OCUPAÇÃO DE ÁREAS MINERÁRIAS ADICIONAIS NA BACIA DO RIO DOCE (MIL KM²)

Grupo Mineral	*Total Potencial para Expansão*	*Perspectiva Tendencial*			*Perspectiva de Mais Crescimento*		
		2027	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
Ferro	83,53	0,00	0,00	0,00	3,85	7,81	10,73
Alumínio	59,75	0,25	0,52	0,52	0,41	0,87	0,91
Manganês	2,98	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05
Preciosos	71,54	0,27	0,54	0,54	0,98	2,06	2,06

[105] Disponível em: www.mapbiomas.org

Grupo Mineral	Total Potencial para Expansão	Perspectiva Tendencial			Perspectiva de Mais Crescimento		
		2027	2032	2042	2027	2032	2042
Outros minerais metálicos não-ferrosos	78,03	0,00	0,01	0,01	0,04	0,09	0,09
Pedra, areia e argila	492,26	0,10	0,20	0,32	0,25	0,52	0,97
Adubos, fertilizantes e químicos	12,18	0,08	0,16	0,16	0,16	0,34	0,34
Outros minerais não-metálicos	22,55	0,15	0,33	0,47	0,26	0,56	1,06
Total	***822,83***	***0,85***	***1,75***	***2,02***	***5,97***	***12,27***	***16,20***

Elaboração ENGECORPS, 2022

As áreas adicionais de mineração correspondem a um dos resultados esperados da cenarização do setor de mineração, pois passam a ser dados de entrada para o modelo de qualidade da água, além da quantificação das demandas hídricas consuntivas.

3.3.6.2 Perspectivas Endógenas

Para que as possíveis variações de produção mineral na bacia do rio Doce sejam compreendidas em seus efeitos sobre a demanda hídrica, é necessário fazer uso de coeficientes unitários de retirada. O Manual de Usos Consuntivos da ANA (op. cit.) apresenta coeficientes de retirada por tonelada produzida para cada um dos 11 grupos de minérios abordados. Com vistas a aprimorar a estimativa de demanda desse importante setor no país, a ANA vem promovendo a revisão e o refinamento das estimativas de demanda hídrica das atividades extrativas no país, de forma a subsidiar as estimativas de vazões de retirada. Segundo resultados ainda preliminares desse esforço, os coeficientes de retirada para o minério de ferro, minério de alumínio e minério de manganês, foram revistos para baixo.

Para fins de estimativa das demandas de retirada da mineração, faz-se uso destes coeficientes revistos como aderentes à perspectiva endógena de *Business as usual* (BAU), uma vez que esta pressupõe a continuação das tendências de gestão passadas. As duas outras perspectivas endógenas demandam investigar possíveis avanços de eficiência no uso da água da atividade minerária, permitindo a produção de uma mesma quantidade de minério mediante o consumo de menores quantidades unitárias de água.

De acordo com os levantamentos preliminares de revisão e refinamento da estimativa da demanda hídrica das atividades minerárias, conduzidos pela ANA, existem registros de retiradas hídricas mais eficientes que os coeficientes propostos, o que permite inferir que ações de gestão poderão tornar tais exemplos em regras, fazendo com que o setor reduza sua dependência hídrica. Dessa forma, e com base nos resultados médios, medianos e propostos para os coeficientes de retirada do minério de ferro, minério de alumínio e minério de manganês, as perspectivas de gestão passam a ter as seguintes configurações:

- ✓ ***Business as usual* (BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: utilização dos coeficientes revistos de retirada;

- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: redução de 7,5% nos coeficientes revistos de retirada, representando um ganho de eficiência plausível mediante a adoção de técnicas poupadoras de recurso hídrico e de reúso que não demandam modificações em processos produtivos; e
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: redução de 20% nos coeficientes revistos de retirada, representando a adoção em massa do estado da arte (*Best Available Technology - BAT*) na eficiência hídrica. Trata-se de redução já identificada como prática por empresas do setor, mas que potencialmente demandem modificações em processos produtivos para adoção massificada.

O Quadro 3.92 traz os coeficientes de referência e aqueles utilizados para as três perspectivas endógenas.

QUADRO 3.92 - COEFICIENTES DE RETIRADA POR PRODUÇÃO MINERAL (M³/TONELADA)

Grupo Mineral	*Manual de Usos Consuntivos*	*BAU (Revisão Preliminar dos Coeficientes)*	*Coeficientes sob Gestão Moderada*	*Coeficientes sob Gestão Intensa*
Ferro	1,05	0,80	0,74	0,64
Alumínio	3,42	1,12	1,04	0,90
Manganês	6,25	0,85	0,79	0,68
Preciosos	1,64	1,64	1,52	1,31
Outros minerais metálicos não-ferrosos	1,86	1,86	1,72	1,49
Pedra, areia e argila	0,04	0,04	0,04	0,03
Adubos, fertilizantes e químicos	15,55	15,55	14,38	12,44
Outros minerais não-metálicos	6,25	6,25	5,78	5,00

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base no Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (op. cit.)

3.3.6.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Haja vista a plena capacidade de absorção das projeções de incremento de produção mineral na bacia do rio Doce, pode-se aplicar os coeficientes de retirada sob as três perspectivas de gestão às perspectivas de incremento na produção, gerando finalmente as combinações finais de demanda hídrica de retirada.

Os resultados são apresentados nos Quadros 3.93 a 3.95, por bacia afluente, calculados ao nível de ottobacia com base na somatória das demandas hídricas de retirada de cada grupo mineral e seu respectivo coeficiente de retirada.

QUADRO 3.93 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA A MINERAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,672	0,673	0,675	0,677	0,681	0,691	0,702
DO2	2,086	2,087	2,089	2,090	2,134	2,183	2,221
DO3	0,192	0,200	0,209	0,217	0,289	0,391	0,481
DO4	0,053	0,147	0,247	0,248	0,326	0,620	0,662

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO5	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
DO6	0,045	0,047	0,049	0,050	0,049	0,053	0,058
UA7 I	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
UA7 II	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UA7 III	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
UA8	0,009	0,018	0,028	0,031	0,026	0,046	0,055
UA9	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004
Total	**3,113**	**3,231**	**3,356**	**3,371**	**3,565**	**4,045**	**4,242**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.94 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA A MINERAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO MODERADA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Moderada					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,672	0,673	0,675	0,676	0,680	0,690	0,699
DO2	2,086	2,087	2,089	2,090	2,130	2,176	2,211
DO3	0,192	0,200	0,208	0,215	0,282	0,376	0,459
DO4	0,053	0,140	0,233	0,233	0,306	0,577	0,616
DO5	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031
DO6	0,045	0,047	0,049	0,050	0,048	0,053	0,057
UA7 I	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
UA7 II	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UA7 III	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
UA8	0,009	0,018	0,027	0,029	0,025	0,043	0,052
UA9	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004
Total	**3,113**	**3,222**	**3,337**	**3,352**	**3,531**	**3,975**	**4,158**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.95 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA A MINERAÇÃO NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,672	0,673	0,674	0,676	0,679	0,687	0,696
DO2	2,086	2,087	2,088	2,089	2,124	2,164	2,194
DO3	0,192	0,199	0,206	0,212	0,270	0,351	0,423
DO4	0,053	0,128	0,208	0,209	0,272	0,506	0,540
DO5	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031	0,031

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO6	0,045	0,046	0,048	0,049	0,048	0,051	0,056
UA7 I	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002
UA7 II	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UA7 III	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
UA8	0,009	0,016	0,024	0,027	0,023	0,038	0,046
UA9	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,004
Total	***3,113***	***3,207***	***3,307***	***3,320***	***3,474***	***3,859***	***4,017***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

As diferentes expectativas de crescimento econômico (perspectivas exógenas) podem resultar em demandas hídricas bastante diferentes. Caso o crescimento seja tendencial, prevê-se incremento de 7,8% na retirada em 2032, podendo este ser de 29,9% no caso de mais crescimento econômico. Estes resultados, exógenos, não estão sob o controle da gestão hídrica, mas sim são fruto de respostas econômicas exacerbadas pelas condições favoráveis à atividade extrativa que a bacia do rio Doce apresenta.

A combinação mais crítica para os recursos hídricos é aquela de perspectiva exógena de maior crescimento que não é acompanhada de maiores esforços de gestão (perspectiva endógena BAU). Para o horizonte de médio prazo (2032), essa combinação aponta para um acréscimo de 29,9% em relação à demanda atual. Em contrapartida, caso esse mesmo crescimento econômico seja acompanhado de esforços intensos de gestão, o crescimento da demanda hídrica é limitado a 23,9%. Já sob a perspectiva de gestão moderada, onde apenas eficiências marginais são realizadas, o crescimento da demanda de retirada passa a ser de 27,7%.

3.3.7 Indústria

O setor industrial é o segundo maior demandante de água na bacia do rio Doce, com 12,48 m^3/s (18,9% do total), atrás apenas da irrigação e à frente da demanda por consumo humano (de 8,10 m^3/s). As conclusões do PIRH Doce de 2010 já apontavam para o crescimento expressivo das demandas desse setor, descrevendo: "*A participação da retirada para abastecimento industrial é o tipo de demanda com maior projeção de crescimento (123,4%) passando de uma participação atual de 16,6% na retirada total para 23,9%, superando, em 2030, a retirada para abastecimento humano.*" Nota-se que o PIRH Doce 2010 não discrimina as demandas de mineração daquelas industriais, portanto, a comparação dos resultados exige a soma das projeções de mineração à aqui tratada.

Muito embora o PIRH Doce 2010 tenha apontado para a perspectiva de forte crescimento das demandas industriais, que na ocasião foram consideradas em conjunto com as demandas de mineração, nota-se que mesmo as projeções de maior crescimento foram superadas. Nota-se que o ponto de partida destas projeções foi o ano de 2006, quando as demandas estimadas

eram de apenas 4,927 m³/s. As demandas de retirada da cena atual (2020) da revisão do Plano, considerando mineração e indústria, são de 15,60 m³/s.

QUADRO 3.96 - RETIRADA PROJETADA PARA O ABASTECIMENTO INDUSTRIAL PELO PIRH DOCE 2010 (M³/S)

Cenários	*Retirada Projetada para 2030*
Tendencial	11,008
Cenário de Desenvolvimento	12,642
Cenário de Desenvolvimento com gestão	12,010
Cenário de Pouco desenvolvimento	9,437
Cenário de Pouco desenvolvimento com gestão	8,965

Fonte: Adaptado do PIRH Doce de 2010

Com base nos cadastros de captações para a finalidade industrial, foi possível classificar 16 atividades econômicas que, em conjunto, representam 99,1% do volume total outorgado para as indústrias. O Quadro 3.97 permite identificar que apenas 3 interferências, cuja atividade econômica é a fabricação de papel e celulose, são responsáveis por 65,8% do volume outorgado. A metalurgia voltada ao beneficiamento de minérios, com 31 interferências, é a segunda atividade industrial que mais demanda água, com uma fração de 26,1% do total.

QUADRO 3.97 - ATIVIDADES ECONÔMICAS INDUSTRIAIS OUTORGADAS NA BACIA DO RIO DOCE

Atividade Econômica Endustrial	*Quantidade de Cadastros*	*Volume Outorgado (m³/ano)*	*Fração do Total*
Papel e Celulose	3	244.463.568	65,75%
Metalurgia - Beneficiamento de Minérios	31	96.985.572	26,09%
Metalurgia - Siderurgia	14	14.230.640	3,83%
Agroindústria - Outros	11	4.016.466	1,08%
Energia	2	3.502.726	0,94%
Agroindústria - Laticínio	24	2.928.353	0,79%
Agroindústria - Abatedouro	13	2.686.476	0,72%
Construção	9	803.987	0,22%
Cimenteira	5	789.667	0,21%
Têxtil	10	740.595	0,20%
Beneficiamento de Minerais não metálicos	18	370.843	0,10%
Agroindústria - Curtume	4	185.110	0,05%
Mecânica	5	76.431	0,02%
Química	2	12.782	0,0034%
Borracha	2	9.660	0,0026%
Madeira	1	934	0,0003%
Total	***154***	***371.803.809***	***100%***

Elaboração ENGECORPS, 2022, mediante compilação dos cadastros de usuários da ANA, IGAM e AGERH

A demanda industrial é bastante concentrada nas bacias afluentes DO2, DO3, DO4 e UA9, onde poucos empreendimentos apresentam demandas muito significativas. Nota-se que a maior parte das indústrias existentes na bacia é de menor porte e não detém sistemas próprios de captação,

mas os empreendimentos são abastecidos pelas redes de abastecimento urbano e têm, portanto, suas demandas computadas em conjunto com as demandas de abastecimento urbano.

A classificação das interferências industriais em seus perfis de atividade econômica permite traçar o olhar prospectivo de forma assim diferenciada. No conjunto dessas 16 principais atividades econômicas, optou-se por considerar de forma individual as perspectivas das seguintes 11 atividades: Papel e Celulose; Metalurgia - Ben. de Minérios; Metalurgia - Siderurgia; Ben. de Minerais não metálicos; Cimenteira; Agroindústria - Laticínio; Agroindústria - Abatedouro; Agroindústria - Curtume; Agroindústria - Outros; Têxtil e Mecânica. Em conjunto, estas 11 atividades perfazem 98,8% do total demandado, e trazem relações estreitas com o setor agropecuário e de extração mineral, que auxilia a compreender as perspectivas de futuro de tais atividades na bacia do rio Doce.

3.3.7.1 Perspectivas Exógenas

Conforme discutido no item 3.2.4 - Contexto Econômico e Ampliações no Capital Fixo, as perspectivas para a indústria nacional são incertas, pois não há uma política específica de reversão do quadro de desindustrialização. Por outro lado, o momento atual pode promover uma recuperação setorial devido à expressiva capacidade ociosa. Cabe investigar o momento atual de produção nacional e na bacia do rio Doce, para então traçar as perspectivas exógenas dessa produção em suas vertentes tendencial, de menor e de maior crescimento.

Como ponto de partida, tem-se o estabelecimento das seguintes associações entre as 11 atividades econômicas industriais selecionadas e as classes CNAE correspondentes, sendo que a mais geral é a da indústria mecânica:

- ✓ Papel e Celulose: Fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel;
- ✓ Metalurgia - Ben. de Minérios: Metalurgia dos metais não-ferrosos e suas ligas não especificados anteriormente, Fundição de ferro e aço, Fundição de metais não-ferrosos e suas ligas, Produção de forjados de aço e de metais não-ferrosos e suas ligas, Produção de artefatos estampados de metal e metalurgia do pó;
- ✓ Metalurgia - Siderurgia: Produção de ferro-gusa, Produção de ferroligas, Produção de semi-acabados de aço, Produção de laminados planos de aço, Produção de laminados longos de aço, Produção de relaminados, trefilados e perfilados de aço, Produção de tubos de aço com costura, Produção de outros tubos de ferro e aço;
- ✓ Beneficiamento de Minerais não Metálicos: Fabricação de artefatos de concreto, cimento, fibrocimento, gesso e materiais semelhantes, Fabricação de produtos cerâmicos refratários, Fabricação de produtos cerâmicos não-refratários para uso estrutural na construção, Fabricação de produtos cerâmicos não-refratários não especificados anteriormente, Aparelhamento e outros trabalhos em pedras, Fabricação de cal e gesso, Fabricação de produtos de minerais não-metálicos não especificados anteriormente, Fabricação de intermediários para fertilizantes;
- ✓ Cimenteira: Fabricação de cimento;

- ✓ Agroindústria - Laticínio: Fabricação de margarina e outras gorduras vegetais e de óleos não-comestíveis de animais, Preparação do leite, Fabricação de laticínios;
- ✓ Agroindústria - Abatedouro: Abate de reses, exceto suínos, Abate de suínos, aves e outros pequenos animais, Fabricação de produtos de carne;
- ✓ Agroindústria - Curtume: Curtimento e outras preparações de couro;
- ✓ Agroindústria - Outros: Fabricação de alimentos para animais, Moagem e fabricação de produtos de origem vegetal não especificados anteriormente, Fabricação de produtos de panificação, Fabricação de biscoitos e bolachas, Fabricação de produtos derivados do cacau, de chocolates e confeitos, Fabricação de massas alimentícias, Fabricação de especiarias, molhos, temperos e condimentos, Fabricação de alimentos e pratos prontos, Fabricação de produtos alimentícios não especificados anteriormente;
- ✓ Têxtil: Fabricação de artefatos têxteis para uso doméstico, Fabricação de artefatos de tapeçaria, Fabricação de artefatos de cordoaria, Fabricação de tecidos especiais, inclusive artefatos, Fabricação de outros produtos têxteis não especificados anteriormente;
- ✓ Mecânica: Fabricação de artigos de cutelaria, Fabricação de artigos de serralheria, exceto esquadrias, Fabricação de ferramentas, Fabricação de equipamento bélico pesado, armas de fogo e munições, Fabricação de embalagens metálicas, Fabricação de produtos de trefilados de metal, Fabricação de artigos de metal para uso doméstico e pessoal, Fabricação de produtos de metal não especificados anteriormente, Fabricação de componentes eletrônicos, Fabricação de equipamentos de informática, Fabricação de periféricos para equipamentos de informática, Fabricação de equipamentos transmissores de comunicação, Fabricação de aparelhos telefônicos e de outros equipamentos de comunicação, Fabricação de aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo, Fabricação de aparelhos e equipamentos de medida, teste e controle, Fabricação de cronômetros e relógios, Fabricação de aparelhos eletromédicos e eletroterapêuticos e equipamentos de irradiação, Fabricação de equipamentos e instrumentos ópticos, fotográficos e cinematográficos, Fabricação de mídias virgens, magnéticas e ópticas, Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos, Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos, exceto para veículos automotores, Fabricação de baterias e acumuladores para veículos automotores, Fabricação de aparelhos e equipamentos para distribuição e controle de energia elétrica, Fabricação de material elétrico para instalações em circuito de consumo, Fabricação de fios, cabos e condutores elétricos isolados, Fabricação de lâmpadas e outros equipamentos de iluminação, Fabricação de fogões, refrigeradores e máquinas de lavar e secar para uso doméstico, Fabricação de aparelhos eletrodomésticos não especificados anteriormente, Fabricação de equipamentos e aparelhos elétricos não especificados anteriormente, Fabricação de motores e turbinas, exceto para aviões e veículos rodoviários, Fabricação de equipamentos hidráulicos e pneumáticos, exceto válvulas, Fabricação de válvulas, registros e dispositivos semelhantes, Fabricação de compressores, Fabricação de equipamentos de transmissão para fins industriais, Fabricação de aparelhos e equipamentos para instalações térmicas, Fabricação de máquinas, equipamentos e aparelhos para transporte e elevação de cargas e pessoas, Fabricação de máquinas e aparelhos de refrigeração e ventilação para uso industrial e comercial, Fabricação

de aparelhos e equipamentos de ar condicionado, Fabricação de máquinas e equipamentos para saneamento básico e ambiental, Fabricação de máquinas e equipamentos de uso geral não especificados anteriormente, Fabricação de tratores agrícolas, Fabricação de equipamentos para irrigação agrícola, Fabricação de máquinas e equipamentos para a agricultura e pecuária, exceto para irrigação, Fabricação de máquinas-ferramenta, Fabricação de máquinas e equipamentos para a prospecção e extração de petróleo, Fabricação de outras máquinas e equipamentos para uso na extração mineral, exceto na extração de petróleo, Fabricação de tratores, exceto agrícolas, Fabricação de máquinas e equipamentos para terraplenagem, pavimentação e construção, exceto tratores, Fabricação de máquinas para a indústria metalúrgica, exceto máquinas-ferramenta, Fabricação de máquinas e equipamentos para as indústrias de alimentos, bebidas e fumo, Fabricação de máquinas e equipamentos para a indústria têxtil, Fabricação de máquinas e equipamentos para as indústrias do vestuário, do couro e de calçados, Fabricação de máquinas e equipamentos para as indústrias de celulose, papel e papelão e artefatos, Fabricação de máquinas e equipamentos para a indústria do plástico, Fabricação de máquinas e equipamentos para uso industrial específico não especificados anteriormente.

Uma análise dos dados de emprego, consultados via a RAIS entre os anos de 2003 e 2019 permite identificar as significativas mudanças ocorridas ao longo desses quase 20 anos nas atividades de papel e celulose, fabricação de cimento, indústria têxtil e mecânica.

QUADRO 3.98 - EMPREGOS FORMAIS NOS SETORES DE PAPEL E CELULOSE, FABRICAÇÃO DE CIMENTO, TÊXTIL E MECÂNICA – 2003 E 2019

Bacia Afluente	Papel e Celulose		Cimenteira		Têxtil		Mecânica	
	2003	2019	2003	2019	2003	2019	2003	2019
DO1	191	160	231	371	245	592	47	240
DO2	111	0	0	0	93	99	47	179
DO3	1.464	1.000	15	49	0	12	43	14
DO4	352	0	0	0	14	15	0	23
DO5	25	0	0	0	0	2	0	3
DO6	0	0	0	0	8	21	0	4
UA7 I	0	0	0	0	0	1	18	2
UA7 II	0	0	0	0	0	0	0	0
UA7 III	1.132	695	0	0	14	6	861	128
UA8	0	0	0	0	40	87	43	26
UA9	0	0	0	0	19	49	98	8
Total	***3.275***	***1.855***	***246***	***420***	***433***	***884***	***1.157***	***627***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados da RAIS

O Quadro 3.99 apresenta os dados da RAIS para os setores vinculados à extração de minérios, em que se nota o crescimento da base de empregos, diferentemente das tipologias industriais acima apresentadas.

QUADRO 3.99 - EMPREGOS FORMAIS NOS SETORES DE METALURGIA E BENEFICIAMENTO DE MINERAIS – 2003 E 2019

Bacia Afluente	Metalurgia - Beneficiamento de Minérios		Metalurgia - Siderurgia		Beneficiamento de Minerais Não Metálicos	
	2003	2019	2003	2019	2003	2019
DO1	100	175	4.380	5.428	1.110	2.032
DO2	582	1.239	12.818	11.616	966	755
DO3	77	281	108	436	193	200
DO4	26	84	86	12	747	691
DO5	4	3	0	0	532	865
DO6	9	71	0	1	223	369
UA7 I	0	7	0	0	303	384
UA7 II	0	0	0	0	5	60
UA7 III	105	122	324	287	844	688
UA8	250	302	0	0	840	2.656
UA9	5	33	92	138	702	1.403
Total	***1.158***	***2.317***	***17.808***	***17.918***	***6.465***	***10.103***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados da RAIS

Por fim, o Quadro 3.100 apresenta os dados da RAIS para as agroindústrias, onde se nota crescimento na base de empregos formais.

QUADRO 3.100 - EMPREGOS FORMAIS NOS SETORES AGROINDUSTRIAIS – 2003 E 2019

Bacia Afluente	Agroindústria - Laticínio		Agroindústria - Abatedouro		Agroindústria - Curtume		Agroindústria - Outros	
	2003	2019	2003	2019	2003	2019	2003	2019
DO1	1.283	2.295	5.491	8.713	6	5	1.729	2.618
DO2	95	263	372	402	161	6	1.053	1.541
DO3	43	196	230	639	0	0	232	617
DO4	1.354	1.859	552	877	0	0	1.172	1.095
DO5	276	264	48	397	9	0	597	868
DO6	280	473	20	165	0	0	556	978
UA7 I	53	204	18	76	14	116	142	448
UA7 II	9	97	0	5	0	0	28	23
UA7 III	3	66	0	80	0	0	206	535
UA8	69	12	1.726	1.833	0	0	127	301
UA9	296	361	454	698	2	3	209	1.080
Total	***3.761***	***6.090***	***8.911***	***13.885***	***192***	***130***	***6.051***	***10.104***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados da RAIS

Com os dados da produção industrial nacional disponibilizados pela Pesquisa Industrial Anual (PIA) do IBGE[106], em especial a quantidade produzida dos produtos industriais segundo as classes de atividades para os anos de 2005 a 2019, é possível identificar as séries históricas de produção de cada um dos onze grupos de atividades econômicas industriais por meio da associação das classes econômicas correspondentes, de acordo com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE).

Uma vez que a PIA é fruto da declaração do volume produzido de uma amostra de empresas de cada classe de atividade econômica, fez-se um ajuste nos dados pretéritos com base na quantidade produzida ponderada pela quantidade de informantes de cada ano, gerando séries equivalentes à quantidade de informantes de cada classe no último ano disponível (2019), tal como exemplificado para o setor de mineração.

Avaliou-se, em um segundo passo, a consistência das séries de quantidades produzidas, uma vez que de 2005 até 2013 a listagem de produtos que dá base para a PIA era uma (Lista de Produtos da Indústria - Prodlist 2013) e, de 2014 em diante, passa a ser outra (Prodlist 2016). Essa diferença afetou algumas séries, como se identifica nos gráficos da Figura 3.33, sendo que os agrupamentos realizados são para fins de compatibilidade de escala.

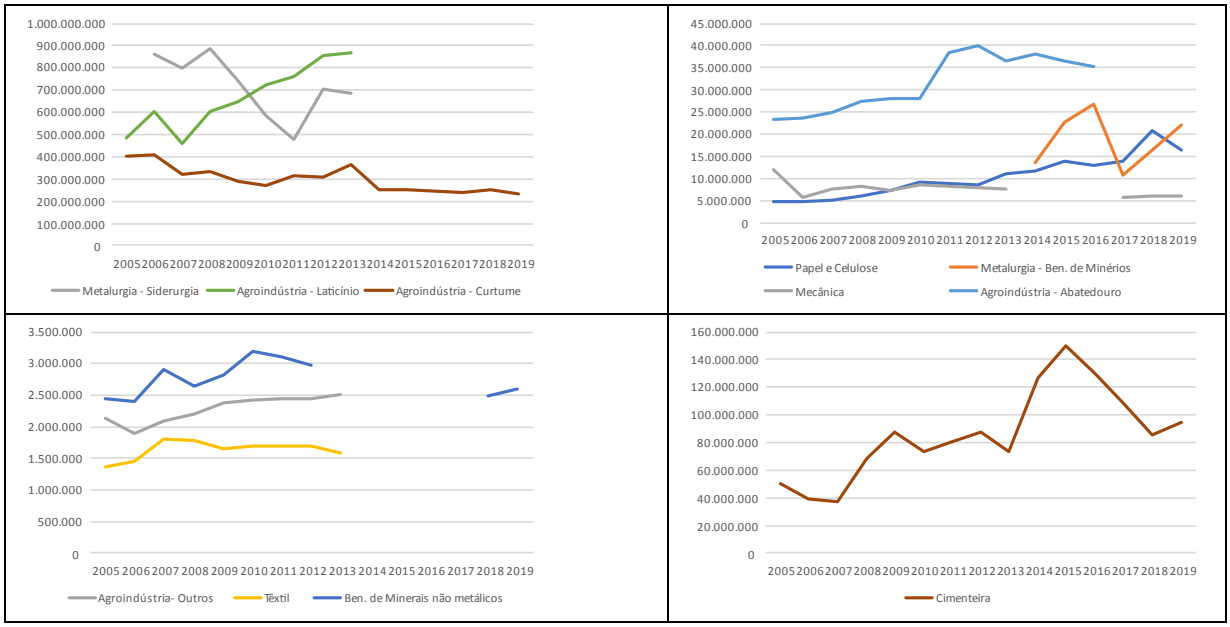


Figura 3.33 - Evolução da Produção Industrial Nacional com Base na PIA/IBGE

Uma vez que as séries apresentam marcante sazonalidade, aplicou-se o filtro de *Hodrick-Prescott* de forma a se obter as séries históricas com movimentos sazonais suavizados. Com base nas séries dessazonalizadas, é possível capturar as tendências específicas de cada grupo de atividades industriais de longo prazo, ainda em nível nacional. Para tanto, são calculados os mesmos indicadores descritos para o setor de mineração.

[106] Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pia-produto/quadros/brasil/2019

Com base nos indicadores, e considerando as análises qualitativas apostas no item 3.2 – Sementes de Futuro, os seguintes pressupostos são adotados para as perspectivas exógenas:

- ✓ **Tendencial** – continuação das tendências passadas: dada as incertezas que envolvem o momento atual, traça-se na perspectiva tendencial um retorno e/ou manutenção de níveis históricos de produção:
  - ✧ Para as atividades que apresentam, na cena atual, níveis de produção abaixo da média dos últimos dez anos, assume-se ao menos um retorno à essa média ao longo dos próximos dez anos (até 2032), sendo considerado, após esse período, a taxa de crescimento tendencial até 2042;
  - ✧ Para as atividades que apresentam, na cena atual, níveis de produção acima da média dos últimos dez anos, assume-se o crescimento até 2032 pela média entre a taxa tendencial e a taxa média de variação entre as taxas máxima e mínima, o que faz, na prática, um ajuste na tendência para que não haja extrapolações acima do que já ocorrera no histórico. Já para o período entre 2032 e 2042, aplica-se a taxa de crescimento tendencial;
- ✓ **Mais crescimento** – intensificação da tendência: as perspectivas de maior crescimento para o setor industrial evoluem a partir de uma conjuntura nacional e internacional favoráveis, além da adoção de um conjunto de políticas específicas para diminuir os desincentivos atuais, demandando representar, nos recortes de curto, médio e longo prazos, não apenas um retorno às taxas de produção já registradas no passado, como uma superação destas. Portanto, o crescimento dos níveis atuais de produção se dá, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima. Na prática, essa mecânica permite vislumbrar o crescimento prospectivo às taxas máximas médias já observadas, mas limitado quanto a extrapolações descoladas das possibilidades de investimentos e produtividade já observados. Esta mesma mecânica é então extrapolada entre 2032 e 2042;
- ✓ **Menos crescimento** – arrefecimento da tendência: dada a conjuntura econômica e os níveis baixos atuais de produção, com capacidade ociosa, não se vislumbra perspectiva de arrefecimento da tendência para o setor industrial.

Os resultados práticos das projeções acima descritas são taxas de crescimento, para cada grupo de atividade econômica, entre os intervalos de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos, sob as perspectivas nacionais alinhadas aos cenários conjunturais econômicos. A partir das perspectivas nacionais, o passo seguinte é realizar o rebatimento destas no contexto da bacia do rio Doce.

Diferentemente da mineração, não se tem conhecimento sobre as quantidades produzidas pelos diferentes grupos industriais especificamente na bacia do rio Doce. Dessa forma, analisou-se para cada agrupamento a elasticidade entre os níveis de produção nacional e a produção de insumos específicos na bacia do rio Doce, sempre que possível:

- ✓ Para o grupo de Papel e celulose, desvendou-se um grau de elasticidade de +0,14 em relação a área plantada com espécies arbóreas vegetais (silvicultura), corrigindo-se então as taxas esperadas de crescimento da atividade em nível nacional para a bacia do rio Doce por meio das expectativas correspondentes de variação na área plantada;
- ✓ Para o grupo de atividades econômicas da agroindústria, foi aplicado o grau de elasticidade de +0,22, resultado aproximado a partir das seguintes relações: rebanho bovino de leite e agroindústria de laticínios, rebanhos de bovinos, suínos e galináceos de corte e agroindústria de abatedouro, rebanho de bovinos de corte e agroindústria de curtume, e área plantada com frutas e outras culturas permanentes e agroindústria de "outros". Corrigiram-se, dessa forma, as taxas esperadas de crescimento das atividades industriais em nível nacional para a bacia do rio Doce por meio das expectativas correspondentes de variação nas produções primárias;
- ✓ Para os demais grupos de atividades industriais, não foi identificada relação explicativa entre os insumos locais (na bacia do rio Doce) e as produções nacionais, adotando-se então as mesmas taxas nacionais para as variações dos grupos correspondentes na bacia do rio Doce.

As taxas de crescimento de cada grupo de atividade econômica industrial foram, então, aplicadas diretamente nas demandas hídricas outorgadas na cena atual. Essa aplicação assume, implicitamente, uma razão de 1:1 entre a variação na quantidade produzida e a demanda hídrica. Essa relação é, posteriormente, sensibilizada em relação às perspectivas endógenas de gestão.

Nota-se que as demandas hídricas do Diagnóstico foram estimadas com base nos dados cadastrados de uso efetivo de água e não somente de outorga, muito embora para a cenarização se considere o volume outorgado, haja vista que, dentro dos preceitos de decisão empresarial dos estabelecimentos industriais, eles podem a qualquer momento se utilizarem dos volumes outorgados. Mesmo que o volume outorgado não seja plenamente utilizado, e possa inclusive haver folga de outorga para se ter garantia de disponibilidade hídrica, as decisões de gestão devem considerar esse total comprometido, independentemente do uso.

O Quadro 3.101 apresenta o resultado das projeções de demanda sob a perspectiva exógena.

QUADRO 3.101 - PROJEÇÕES DE DEMANDA HÍDRICA INDUSTRIAL NA BACIA DO RIO DOCE (MIL M³/ANO)

Grupo de Atividade Industrial	*Cena Atual*	*Perspectiva Tendencial*			*Perspectiva de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
Papel e Celulose	244.464	252.038	261.310	267.531	259.358	277.989	289.396
Metalurgia - Ben. de Minérios	96.986	99.782	102.659	105.368	102.603	108.394	113.520
Metalurgia - Siderurgia	14.231	15.877	17.713	20.119	18.153	22.650	27.436
Ben. de Minerais não metálicos	371	377	384	383	391	412	410
Cimenteira	790	858	933	924	953	1.133	1.116
Agroindústria - Laticínio	2.928	3.041	3.175	3.311	3.522	4.237	4.925

Grupo de Atividade Industrial	Cena Atual	Perspectiva Tendencial			Perspectiva de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
Agroindústria - Abatedouro	2.686	2.750	2.819	2.864	2.967	3.278	3.478
Agroindústria - Curtume	185	189	192	197	203	223	241
Agroindústria - Outros	4.016	4.080	4.147	4.213	4.271	4.545	4.796
Têxtil	741	760	779	788	762	784	793
Mecânica	76	83	91	98	84	93	100

Elaboração EBGECORPS, 2022

Nota-se que as projeções embutem a sazonalidade de longo prazo capturada pela mecânica de cálculo adotada, assim como as características intrínsecas de cada grupo de atividade industrial. O segmento têxtil, por exemplo, apresenta pouca perspectiva de crescimento, embora esse crescimento não deva ser muito diferente entre as perspectivas tendencial e de maior crescimento. Já na perspectiva de crescimento maior, as atividades industriais de base tendem a apresentar variações maiores em relação a tendencial.

Como próximo passo, o crescimento projetado para as demandas hídricas industriais deve ser alocado na bacia do rio Doce, o que demanda a adoção de certas premissas. Afinal, a manifestação das novas demandas se dá com base na implantação de novas plantas industriais, para as quais se desconhece a exata localização. Como forma de contornar o impasse locacional, as novas demandas foram distribuídas em municípios com sede na bacia que detém alguma pré-disposição para receber as novas potenciais unidades industriais. Dessa forma, para cada grupo de atividade industrial, foi realizada uma mecânica distinta de identificação destes locais, conforme se descreve abaixo:

- ✓ Metalurgia - Ben. de Minérios, Ben. de Minerais não metálicos, Cimenteira, Têxtil e Mecânica
  - ✧ A identificação dos municípios de maior pré-disposição para receber esse variado conjunto de indústrias foi realizada a partir de uma combinação entre o porte e a dinâmica recente do VAB Industrial.
  - ✧ O racional que embasa esse critério é o de seleção de municípios que já tenham algum encadeamento e polarização industrial perante os demais, na bacia, e que esteja, ao mesmo tempo, em uma tendência de crescimento industrial, o que implica na existência de crescentes serviços correlatos, como educação, transportes e outros.
  - ✧ Assumiu-se como município de porte industrial de destaque aquele cujo grau de participação relativo na bacia, na somatória do VAB industrial dos últimos dez anos, é acima do 3º quartil da série do conjunto dos municípios. Já em relação à dinâmica, assumiu-se como município dinâmico de destaque aquele cujo grau de participação do VAB Industrial no seu próprio PIB cresceu acima do 3º quartil da série do conjunto dos municípios. Um total de 64 municípios foram destaque em um ou outro critério, sendo que um conjunto de 21 municípios se destacou em ambos os critérios.

- ✧ Os municípios selecionados são: Urucânia - MG, Antônio Dias - MG, Bela Vista de Minas - MG, Catas Altas - MG, Jaguaraçu - MG, Rio Piracicaba - MG, Santa Bárbara - MG, São Gonçalo do Rio Abaixo - MG, Conceição do Mato Dentro - MG, Dores de Guanhães - MG, Guanhães - MG, Manhuaçu - MG, Martins Soares - MG, Mutum - MG, São João do Manhuaçu - MG, Baixo Guandu - ES, Brejetuba - ES, Itarana - ES, Colatina - ES, São Domingos do Norte - ES e Sooretama - ES.
- ✧ Dentre estes municípios, a forma de se alocar as demandas teve como base a ponderação dos resultados do porte relativo e do grau de crescimento relativo com a seguinte ponderação de importância, respectivamente, de 65% e 35%. Dessa forma, por exemplo, o município de São Gonçalo do Rio Abaixo recebe 24,7% da nova demanda hídrica, uma vez que é, dentre os 21 municípios, o de maior destaque industrial. Colatina, por outro lado, recebe 7,8% do total, e assim sucessivamente para os demais municípios.

✓ Papel e Celulose:

- ✧ A identificação dos municípios de maior pré-disposição para receber a atividade de papel e celulose foi realizada a partir de uma combinação entre o porte econômico/industrial e a relevância em termos de área plantada com espécies vegetais arbóreas.
- ✧ O racional que embasa esse critério é o de seleção de municípios que já tenham alguma relevância industrial perante os demais, na bacia, e que seja relevante, ao mesmo tempo, em termos de produção da matéria-prima requerida.
- ✧ Para a identificação do porte econômico/industrial, adotou-se a mesma mecânica utilizada na identificação de municípios-destaque para os grupos de atividades industriais acima (Metalurgia - Ben. de Minérios, Ben. de Minerais não metálicos, Cimenteira, Têxtil e Mecânica), mas sem limitar a ocorrência concomitante de destaques em porte e dinâmica, o que eleva o conjunto de municípios de 21 para 85.
- ✧ Já para a identificação da relevância na silvicultura, assumiu-se como município de destaque aquele cujo grau de participação da área plantada total na bacia é superior a duas vezes o 3º quartil da série do conjunto dos municípios.
- ✧ A concomitância dos dois critérios acima seleciona 11 municípios, quais sejam: Alvinópolis - MG, Antônio Dias - MG, Catas Altas - MG, Nova Era - MG, Santa Bárbara - MG, São Gonçalo do Rio Abaixo - MG, Belo Oriente - MG, Itabira - MG, Santana do Paraíso - MG, Guanhães - MG e Caratinga - MG.
- ✧ Dentre estes municípios, a forma de se alocar as demandas teve como base a fração da área plantada dentre o conjunto de municípios selecionados, de forma que Caratinga, que representa 12,1% da área total plantada, recebe essa mesma fração da demanda hídrica incremental da indústria de papel e celulose.

- ✓ Metalurgia - Siderurgia:
  - ✧ A identificação dos municípios de maior pré-disposição para receber as novas demandas do setor siderúrgico se deu com base na participação (em termos de volume e de valor da produção) na extração de minerais metálicos.
  - ✧ O racional que embasa esse critério é o de seleção de municípios que já tenham relevância no segmento extrativo de grande correlação ao siderúrgico, como de fato se observa na bacia.
  - ✧ A identificação dos municípios de destaque é realizada com base na fração do volume de produção (em toneladas) em relação ao volume total produzido na bacia; e com base na fração de recebimento do CFEM (R$) em relação ao total recebido na bacia. Ao todo, são 15 municípios que apresentam destaque em ambos os critérios concomitantemente.
  - ✧ Os municípios selecionados são: Mariana - MG, Ouro Preto - MG, Pedra do Anta - MG, Teixeiras - MG, Antônio Dias - MG, Barão de Cocais - MG, Bela Vista de Minas - MG, Catas Altas - MG, Rio Piracicaba - MG, São Gonçalo do Rio Abaixo - MG, Alvorada de Minas - MG, Conceição do Mato Dentro - MG, Itabira - MG, Santa Maria de Itabira - MG, Guanhães - MG.
  - ✧ Dentre estes municípios, a forma de se alocar as demandas teve como base a ponderação dos resultados de ambos os critérios com pesos iguais. O município de Itabira, por exemplo, recebe 24,9% da nova demanda hídrica, uma vez que representa 21,8% do volume de produção de minério de ferro e 16,6% da arrecadação do CFEM.
- ✓ Agroindústrias:
  - ✧ A identificação dos municípios de maior pré-disposição para receber as atividades agroindustriais foi realizada a partir de uma combinação entre o porte econômico/industrial e a relevância em termos de produção animal ou vegetal correspondente.
  - ✧ O racional que embasa esse critério é o de seleção de municípios que já tenham alguma relevância industrial perante os demais, na bacia, e que seja relevante, ao mesmo tempo, em termos de produção da matéria-prima requerida.
  - ✧ Para a identificação do porte econômico/industrial, adotou-se a mesma mecânica utilizada na identificação de municípios-destaque para os grupos de atividades industriais acima (Metalurgia - Ben. de Minérios, Ben. de Minerais não metálicos, Cimenteira, Têxtil e Mecânica), mas sem limitar a ocorrência concomitante de destaques em porte e dinâmica, o que eleva o conjunto de municípios de 21 para 85.
  - ✧ Já para a identificação da relevância na produção do insumo, assumiu-se como município de destaque aquele cujo grau de participação relativo na bacia é superior a duas vezes o 3º quartil da série do conjunto dos municípios.
  - ✧ Dentre os municípios selecionados, a forma de se alocar as demandas teve como base a fração da produção do insumo dentre o conjunto de municípios selecionados.

- Para a agroindústria de laticínio, considerou-se como insumo o rebanho de bovinos de leite.
- A concomitância dos dois critérios seleciona 7 municípios, quais sejam: Governador Valadares - MG, Guanhães - MG, Itambacuri - MG, Resplendor - MG, Caratinga - MG, Aimorés - MG e Mutum - MG.
- Para a agroindústria de abatedouro, considerou-se como insumo o rebanho de bovinos de corte, suínos de corte e galináceos de corte.
- A concomitância dos dois critérios seleciona 8 municípios, quais sejam: Ponte Nova - MG, Urucânia - MG, Governador Valadares - MG, Itambacuri - MG, Aimorés - MG, Mutum - MG, Colatina - ES e Linhares - ES.
- Para a agroindústria de curtume, considerou-se como insumo o rebanho de bovinos de corte.
- A concomitância dos dois critérios seleciona 14 municípios, quais sejam: Açucena - MG, Franciscópolis - MG, Frei Inocêncio - MG, Galiléia - MG, Governador Valadares - MG, Guanhães - MG, Itambacuri - MG, Resplendor - MG, Caratinga - MG, Aimorés - MG, Mutum - MG, Baixo Guandu - ES, Colatina - ES, Linhares - ES.
- Para a agroindústria de curtume, considerou-se como insumo a área plantada em frutas e outras culturas permanentes.
- A concomitância dos dois critérios seleciona 11 municípios, quais sejam: Caratinga - MG, Manhuaçu - MG, Colatina - ES, Governador Lindenberg - ES, Marilândia - ES, Rio Bananal - ES, São Domingos do Norte - ES, Jaguaré - ES, Linhares - ES, São Gabriel da Palha - ES e Sooretama - ES.

Ainda outra alocação necessária para as demandas adicionais industriais é quanto à sua localização nas ottobacias. Essa distribuição é realizada com base na fração da área urbana de cada município, simplificação que se faz necessária haja vista a falta de outro critério que permita antever, com algum grau de plausibilidade, a localização exata das novas demandas.

Os resultados da alocação das demandas industriais com base nas perspectivas exógenas Tendencial e de Mais crescimento são apresentadas no item subsequente de combinações entre as perspectivas exógenas e endógenas. Nota-se, por fim, que o município de Linhares, ES, deve ter sua demanda hídrica industrial majorada devido à conclusão de fábrica de fertilizantes, na esteira do Plano Nacional de Fertilizantes.

3.3.7.2 Perspectivas Endógenas

As demandas hídricas industriais calculadas acima, sob as perspectivas exógenas, refletem a perspectiva endógena de *Business as usual* (BAU), uma vez que não supõe incrementos na eficiência de uso dos recursos hídricos, mas sim uma relação linear entre as perspectivas de incremento na produção industrial e uso de água. Pode-se conceber, no entanto, aprimoramentos na eficiência hídrica à medida que se adotam técnicas poupadoras de água e

de reúso, bem como se adotam padrões tecnológicos que remetem às melhores tecnologias disponíveis, mesmo que se demande para isso adequações em processos produtivos.

Estudo recente sobre a eficiência de uso da água em setores industriais de relevância para a bacia hidrográfica do rio Paranapanema intitulado A indústria na bacia do rio Paranapanema (ANA, 2020)[107] revelou coeficientes otimizados e potenciais para os setores industriais sucroenergético, fabricação de celulose e papel, fabricação de bebidas alcoólicas e abate e produtos de carne. Destes, dois setores figuram entre os grupos de atividades relevantes também para a bacia do rio Doce, quais sejam: fabricação de celulose e papel e abate e produtos de carne.

Para a indústria de celulose, o referido estudo apontou um potencial de redução no coeficiente de retirada de 6,4% mediante otimizações, assim como uma redução de 19,4% em uma situação potencial. Já para indústrias integradas de papel e celulose, o potencial de redução é ainda mais marcante: 34,4% com otimização e potencial de redução de 42,5%. Já para as indústrias de abate e fabricação de produtos de carne, a redução no coeficiente de retirada mediante otimização é de 10,53%, sendo que a redução potencial chega a 29,30%.

Uma vez que o propósito das perspectivas endógenas de gestão é a investigação e simulação do alcance de ações sob a ingerência da gestão que permita a manutenção da produção econômica mediante redução da dependência hídrica, estas perspectivas passam a ter as seguintes configurações:

- ✓ ***Business as usual* (BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: utilização da razão 1:1 entre o crescimento da produção e a demanda hídrica;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: redução equivalente a 35% da demanda hídrica na perspectiva de gestão intensa, representando um ganho de eficiência plausível mediante a adoção de técnicas poupadoras de recurso hídrico e de reúso que não demandam modificações em processos produtivos; e
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: redução equivalente a otimização até 2032 e equivalente ao potencial em 2042, segundo os valores de referência do estudo na bacia do rio Paranapanema, representando a adoção em massa do estado da arte (*Best Available Technology - BAT*) na eficiência hídrica.

O Quadro 3.102 traz os percentuais de redução nos coeficientes de retirada utilizados para as perspectivas endógenas de gestão, aplicados sobre as demandas da perspectiva *Business as usual* (BAU). Nota-se que, na ausência de referências para o potencial de redução de demanda hídrica para os demais grupos de atividades industriais (à exceção de Papel e celulose e de Abate e fabricação de produtos de carne), adota-se arbitrariamente as reduções de 7,5% para o médio prazo e 15% para o longo prazo na perspectiva de gestão intensa. Trata-se de reduções menores

[107] ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. A Indústria na Bacia do Rio Paranapanema – Uso da Água e Boas Práticas. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/b653fcab-47fa-49e5-903a-9f0a9a951fe6

do que as apontadas pelos dois setores industriais investigados em detalhes no contexto do rio Paranapanema, mas que certamente são possíveis de serem atingidos.

QUADRO 3.102 - REDUÇÃO DOS COEFICIENTES DE RETIRADA POR PRODUÇÃO INDUSTRIAL (%)

Grupo de Atividade Industrial	*Redução nos Coeficientes de Retirada sob Gestão Moderada*		*Redução nos Coeficientes de Retirada sob Gestão Intensa*	
	em 10 anos	*em 20 anos*	*em 10 anos*	*em 20 anos*
Papel e Celulose	2,22	6,79	6,35	19,39
Abate e fabricação de produtos de carne	3,68	10,25	10,53	29,30
Demais grupos de atividades industriais	2,63	5,25	7,50	15,00

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base em ANA, 2020 *(op. cit.)*

3.3.7.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Os resultados das combinações entre as perspectivas exógenas e endógenas são apresentados por bacia afluente, nos Quadro 3.103 a 3.105, calculados ao nível de ottobacia com base na somatória das demandas hídricas de retirada de cada grupo de atividade industrial.

QUADRO 3.103 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA A INDÚSTRIA NA PERSPECTIVA ENDÓGENA BAU (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Endógena de Business as usual (BAU)*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,621	0,654	0,694	0,729	0,694	0,781	0,848
DO2	4,437	4,657	4,914	5,116	4,882	5,411	5,790
DO3	2,351	2,418	2,495	2,562	2,490	2,653	2,781
DO4	1,241	1,260	1,283	1,299	1,284	1,336	1,371
DO5	0,029	0,051	0,078	0,096	0,074	0,131	0,167
DO6	0,250	0,262	0,274	0,285	0,280	0,312	0,341
UA7 I	0,013	0,017	0,020	0,023	0,020	0,028	0,034
UA7 II	0,003	0,004	0,006	0,008	0,006	0,009	0,012
UA7 III	0,030	0,032	0,034	0,036	0,034	0,039	0,043
UA8	0,048	0,056	0,065	0,073	0,067	0,086	0,102
UA9	3,462	3,465	3,469	3,472	3,472	3,482	3,491
Total	**12,484**	**12,876**	**13,332**	**13,700**	**13,302**	**14,268**	**14,981**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.104 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA A INDÚSTRIA NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO MODERADA (M³/S)

Bacia Afluente	*Cena Atual*	*Perspectiva Endógena de Gestão Moderada*					
		Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2020	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	0,621	0,647	0,672	0,665	0,686	0,756	0,777
DO2	4,437	4,601	4,749	4,655	4,824	5,234	5,287

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Moderada					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO3	2,351	2,403	2,449	2,439	2,474	2,603	2,645
DO4	1,241	1,255	1,268	1,255	1,279	1,320	1,322
DO5	0,029	0,045	0,061	0,043	0,068	0,113	0,109
DO6	0,250	0,258	0,263	0,262	0,276	0,300	0,314
UA7 I	0,013	0,016	0,017	0,017	0,019	0,024	0,027
UA7 II	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,008	0,009
UA7 III	0,030	0,031	0,032	0,032	0,034	0,037	0,038
UA8	0,048	0,053	0,056	0,055	0,064	0,077	0,083
UA9	3,462	3,464	3,465	3,463	3,470	3,478	3,480
Total	**12,484**	**12,776**	**13,036**	**12,889**	**13,199**	**13,950**	**14,092**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 3.105 - DEMANDAS DE RETIRADA PARA A INDÚSTRIA NA PERSPECTIVA ENDÓGENA DE GESTÃO INTENSA (M³/S)

Bacia Afluente	Cena Atual	Perspectiva Endógena de Gestão Intensa					
		Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2020	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	0,621	0,633	0,631	0,546	0,671	0,711	0,644
DO2	4,437	4,497	4,442	3,797	4,717	4,906	4,351
DO3	2,351	2,374	2,364	2,210	2,445	2,511	2,392
DO4	1,241	1,246	1,240	1,173	1,269	1,290	1,231
DO5	0,029	0,034	0,029	-0,055	0,057	0,078	0,002
DO6	0,250	0,251	0,243	0,219	0,269	0,278	0,266
UA7 I	0,013	0,013	0,011	0,004	0,017	0,018	0,013
UA7 II	0,003	0,003	0,002	-0,001	0,004	0,005	0,003
UA7 III	0,030	0,030	0,028	0,024	0,032	0,033	0,029
UA8	0,048	0,048	0,041	0,022	0,058	0,060	0,048
UA9	3,462	3,461	3,457	3,445	3,467	3,469	3,460
Total	**12,484**	**12,591**	**12,487**	**11,384**	**13,007**	**13,359**	**12,440**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

As diferentes expectativas de crescimento econômico (perspectivas exógenas) podem resultar em demandas hídricas maiores do que as atualmente registradas, mas não em um volume muito significativo. Caso o crescimento seja tendencial, prevê-se incremento de 6,8% na retirada em 2032, podendo este ser de 14,3% no caso de mais crescimento econômico. Estes resultados, exógenos, não estão sob o controle da gestão hídrica, mas sim são fruto de respostas econômicas da expansão da atividade industrial prevista para a bacia do rio Doce.

A combinação mais crítica para os recursos hídricos é aquela de perspectiva exógena de maior crescimento que não é acompanhada de maiores esforços de gestão (perspectiva endógena BAU). Para o horizonte de médio prazo (2032), essa combinação aponta para um acréscimo de 14,3% em relação à demanda atual. Em contrapartida, caso esse mesmo crescimento econômico seja acompanhado de esforços intensos de gestão, o crescimento da demanda hídrica é limitado a 7,0%. Ou seja, a gestão intensa é capaz de reduzir pela metade o incremento previsto nas demandas, mesmo sob as perspectivas de maior crescimento destas. Já sob a perspectiva de gestão moderada, onde apenas eficiências marginais são realizadas, o crescimento da demanda de retirada passa a ser de 11,7%.

3.3.8 Geração de Energia Termoelétrica

As duas interferências hídricas de Usinas Termelétricas que constaram do Diagnóstico do presente estudo perfazem uma vazão de retirada de 1,76 m³/s. Embora essa vazão represente apenas 2,7% da retirada total da bacia do rio Doce, na bacia afluente onde as interferências ocorrem (DO2), a relevância sobe para 15,1% do total. Assim como para o setor industrial, uma quantidade pequena de empreendimentos de grande porte pode vir a representar aumentos significativos na demanda hídrica, o que requer do Prognóstico uma consideração cuidadosa.

3.3.8.1 Perspectivas Exógenas

Conforme abordado no item 3.2 – Sementes de Futuro, em Linhares, ES, está instalada a termelétrica de ciclo combinado e torres úmidas denominada UTE Luis Oscar Rodrigues de Melo (LORM). Trata-se de produtor independente de energia elétrica que possui contratos de comercialização no ambiente regulado, atendendo a demanda de energia firme que compensa, em épocas de crise hídrica ou mesmo em horários de pico, a falta de geração de fontes intermitentes. A UTE se conecta ao Sistema Integrado Nacional na subestação de Linhares, e o combustível utilizado é o gás natural liquefeito (GNL) fornecido pela BR Distribuidora/Petrobras via gasoduto Cacimbas-Vitória. A UTE possui uma potência instalada de 204 megawatts (MW)[108]. Embora a UTE não opere de forma constante, consequentemente também não demandando recursos hídricos de forma contínua, pode-se estimar o despacho em cerca de 2 meses por ano e, em casos extremos, 4 meses por ano.

Conforme abordado no item 3.2.5 - Ampliações no Capital Fixo, recentemente a UTE a biomassa Lasa, que também se localiza em Linhares - ES, sinalizou investimentos na ampliação de sua potência instalada, que é atualmente de 3,2 MW com foco no autoconsumo e passa, potencialmente, a 33 MW para operação no ambiente regulado.

Identificaram-se, mediante consulta na base da ANEEL, três novos empreendimentos termelétricos (todos em Linhares - ES) a serem potencialmente instalados no horizonte do PIRH Doce, conforme lista abaixo. Dentre estes, nota-se que os dois primeiros estão em fase bastante avançada para instalação e operação, sendo considerados tanto na perspectiva Tendencial como na perspectiva Mais crescimento.

[108] Disponível em: https://www.lgsa.com.br/a-empresa/

- ✓ Linhares 2 (36 MW): trata-se da ampliação da UTE LORM, que atualmente tem a capacidade instalada de 204 MW passa a contar com os 240 MW de potência já outorgada pela ANEEL. Consultou-se a Resolução Autorizativa nº 10.871, de 5 de novembro de 2021 da ANEEL, que autoriza a ampliação de capacidade.
- ✓ Povoação 1 (74,96 MW): Trata-se de termelétrica a gás natural, de grupo empresarial distinto da UTE LORM, que recentemente foi enquadrada no Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI), conforme Portaria nº 1.122/SPE/MME, de 5 de janeiro de 2022, trazendo então grandes chances de vir a se instalar. Nota-se que a UTE consta da base SIGA/ANEEL como empreendimento em fase de construção não iniciada, mas com outorga vigente.
- ✓ Linhares III (102 MW): Pertencente ao mesmo grupo empresarial da LORM, essa UTE se encontra em fase de estudo (autorizado pela ANEEL), mas sem a identificação de avanços para sua instalação efetiva. Aloca-se, portanto, uma probabilidade de 25% de instalação na perspectiva Tendencial, enquanto a perspectiva Mais crescimento inclui a plena instalação.

Conforme o item 3.2.5 - Ampliações no Capital Fixo, o planejamento do setor elétrico aponta como oportunidade a geração de energia via biomassa, para a qual há perspectivas de crescimento, inclusive mediante avanços tecnológicos. A produção agroindustrial na bacia do rio doce que tem potencial de gerar insumos para eventuais novas termelétricas a biomassa é vinculada a atividade industrial de papel e celulose, abatedouros e produtos da carne, e agroindústrias em geral. Em um exercício prospectivo, pode-se agregar a identificação de municípios-destaque nesses três quesitos (papel e celulose, abatedouros e agroindústria "outros"), tal como foi realizado para a alocação das demandas hídricas industriais, prospectando-se onde, na bacia do rio Doce, estariam os locais mais propensos a novas UTEs a biomassa. O resultado aponta para um total de 12 municípios, nos quais há convergência de destaque em ao menos dois dos três quesitos: Urucânia - MG, Itambacuri - MG, Caratinga - MG, Aimorés - MG, Mutum - MG, Colatina - ES, Marilândia - ES, Rio Bananal - ES, São Domingos do Norte - ES, Linhares - ES, São Gabriel da Palha - ES e Sooretama - ES.

Observando-se a totalidade de empreendimentos termelétricos em operação nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo que têm como combustível biomassa de resíduos florestais (seis, no total), identifica-se que a capacidade média de geração é e 6,12 MW. Caso cada um dos 12 municípios potenciais venha a contar com uma UTE a biomassa de porte médio, a potência instalada somaria 73 MW. Trata-se de exercício especulativo, mas interessante para dimensionar no território em análise o potencial desta fonte de geração de energia elétrica.

O Quadro 3.106 resume a prospecção das fontes de geração termelétrica na bacia a serem consideradas no prognóstico.

QUADRO 3.106 - PROSPECÇÃO DE NOVAS FONTES DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA NA BACIA

Empreendimento	*Fonte*	*Potência (MW)*	*Consideração nas Perspectivas Exógenas*	*Localização*
Linhares 1	Gás Natural	204	Em operação (Tendencial & Mais crescimento)	Linhares - ES (coordenadas exatas)
Linhares 2	Gás Natural	36	Construção latente (Tendencial & Mais crescimento)	Linhares - ES (coordenadas exatas)
Linhares 3	Gás Natural	102	Em estudo (Tendencial c/ 25% de probabilidade & Mais crescimento c/ 100%)	Linhares - ES (coordenadas exatas)
Povoação 1	Gás Natural	74,96	Financiamento latente (Tendencial & Mais crescimento)	Linhares - ES (sem coordenadas exatas)
LASA	Biomassa	33	Ampliação latente (Tendencial c/ 75% de probabilidade & Mais crescimento c/ 100%)	Linhares - ES (coordenadas exatas)
Outras UTEs a biomassa	Biomassa	73	Consideração especulativa	Doze municípios potenciais (sem coordenadas exatas)

Elaboração ENGECORPS, 2022

Uma vez conhecendo as novas termelétricas que potencialmente se instalarão na bacia do rio Doce, cabe investigar dois aspectos fundamentais para a compreensão de seus impactos nas demandas hídricas de retirada: primeiramente, tem-se a necessidade de estimar o coeficiente de consumo (em litros por KWh); e, também, o tempo de funcionamento das usinas ao longo de um ano, haja vista se tratar de fontes geradoras que não se mantém funcionando de forma contínua.

Conforme identificado pelo Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (op. cit.), as UTEs a gás natural são geralmente associadas à tecnologia de ciclo combinado, tendo como sistema de resfriamento torres úmidas. O coeficiente de demanda hídrica para estes casos é de 0,9 L/KWh. Já para as usinas a biomassa, não há indicação de tecnologia padrão. Pode-se, no entanto, estimar que o coeficiente de retirada seja equivalente ao emprego de geração pelo ciclo Rankine, cuja tecnologia é mais simples que a de ciclo combinado, mas que também pode fazer uso de torres úmidas para resfriamento. Esse coeficiente é de 2,85 L/KWh.

Quanto ao tempo de funcionamento das usinas termelétricas (Quadro 3.98), essencial para a estimativa de demanda hídrica média ao longo do ano, pode-se prever um incremento na frequência de despacho, a médio e longo prazo, devido a dois motivos. O primeiro deles é a consecução da estratégia de aumento da participação de geração elétrica por fontes renováveis e intermitentes, tais como a solar e a eólica, na matriz nacional, delineada pelo Plano Nacional de Energia (conforme abordado no item 3.2.5 - Ampliações no Capital Fixo).

O outro motivo, exógeno, é por consequência da mudança do clima. Como visto no respectivo item 3.2.3.2, há convergência entre os cenários climáticos globais para aumento de temperatura (tanto temperaturas mínimas como máximas) na bacia do rio Doce e no Brasil de forma geral. Além disso, as perspectivas de maiores ocorrência de extremos climáticos favorecerão eventos de estiagem, o que tende a aumentar a intermitência das fontes hidráulicas e demandar, como resposta para a garantia do abastecimento, o despacho de fontes termelétricas.

QUADRO 3.107 - EXPECTATIVA DE DIAS POR ANO DE FUNCIONAMENTO DAS TERMELÉTRICAS

Tipo de Usina	*2027*	*2032*	*2042*
Usinas termelétricas a gás natural	60,8	68,4	76,0
Usinas termelétricas a biomassa	91,3	98,9	106,5

Elaboração ENGECORPS, 2022

A expectativa de funcionamento para as termelétricas a biomassa, além de estarem sujeitas aos mesmos motivos citados, caso operem no mercado de comercialização (e não operem para fins exclusivos de autogeração), devem funcionar por tempos mais longos no médio e longo prazo devido ao desenvolvimento tecnológico que permite o aproveitamento de uma gama maior de insumos, tendência que já pode ser observada no presente.

3.3.8.2 Perspectivas Endógenas

O papel da gestão não é abordado de forma direta para o setor termelétrico, pois se pressupõe que tanto as novas UTEs a gás natural quanto a biomassa adotarão como sistema de resfriamento as torres úmidas nas persepctivas Tencendial e de Mais crescimento. Essa tecnologia permite evitar uma retirada significativa de recursos hídricos, como pode ser observado no Quadro 3.108. Tem-se mister, portanto, que qualquer nova UTE só venha a ser instalada com esse processo de resfriamento.

QUADRO 3.108 - COEFICIENTES DE RETIRADA DE USINAS TERMELÉTRICAS (L/KWH)

Ciclo	*Resfriamento por Circulação Aberta*	*Resfriamento por Torres Úmidas*
Ciclo Rankine	130	2,85
Ciclo Combinado	52	0,90

Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (op. cit.)

3.3.8.3 Combinações entre as Perspectivas Exógenas e Endógenas

Com base nas informações acima descritas, pode-se finalmente estimar as demandas de retirada para geração de energia termoelétrica. O Quadro 3.109 apresenta os resultados, que são bastante singelos. Nota-se que se trata da demanda de retirada de um ano típico onde o despacho das térmicas ocorre em apenas 2 meses por ano. Em um ano de crise hídrica, como 2020 e 2021, as térmicas podem ser acionadas por períodos mais longos, o que representa acréscimo nas demandas. Adicionalmente, todas as novas termelétricas com localização conhecida se concentram no município capixaba de Linhares.

QUADRO 3.109 - EXPECTATIVA DE DIAS POR ANO DE FUNCIONAMENTO DAS TERMELÉTRICAS (M^3/S)

Empreendimento	*Perspectiva Endógena Única*					
	Perspectiva Exógena Tendencial			*Perspectiva Exógena de Mais Crescimento*		
	2027	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
Linhares 1	0,0085	0,0096	0,0106	0,0085	0,0096	0,0106
Linhares 2	0,0015	0,0017	0,0019	0,0015	0,0017	0,0019
Linhares 3	0,0021	0,0024	0,0027	0,0043	0,0048	0,0053
Povoação 1	0,0031	0,0035	0,0039	0,0031	0,0035	0,0039

Empreendimento	Perspectiva Endógena Única					
	Perspectiva Exógena Tendencial			Perspectiva Exógena de Mais Crescimento		
	2027	2032	2042	2027	2032	2042
LASA	0,0049	0,0053	0,0057	0,0065	0,0071	0,0076
Outras UTEs a biomassa	0,0036	0,0039	0,0042	0,0145	0,0157	0,0170
Total	***0,0238***	***0,0264***	***0,0290***	***0,0384***	***0,0424***	***0,0463***

Elaboração ENGECORPS, 2022

Nota-se que as demandas das outras eventuais UTEs a biomassa podem vir a ocorrer de forma fragmentada em cada um dos 12 municípios destacados como tendo maior potencial para tal. Dado o pequeno porte de tais demandas, ainda mais quanto atribuídas a cada uma das localidades, optou-se por não as considerar na composição das demandas do prognóstico.

3.4 RISCOS HIDROLÓGICOS À LUZ DAS MUDANÇAS DO CLIMA

3.4.1 Riscos de Inundações e Enxurradas

A bacia do rio Doce é suscetível a desastres naturais de origem hidrológica como inundações, enxurradas e alagamentos. Desses eventos, nota-se que os alagamentos mantêm uma relação estreita com a pluviosidade e a drenagem urbana[109], enquanto inundações e enxurradas são decorrências das vazões. O Quadro 3.110 apresenta a definição desses eventos de acordo com a Classificação Brasileira de Desastres - COBRADE[110].

QUADRO 3.110 - CLASSIFICAÇÃO COBRADE DE EVENTOS DE INTERESSE, CATEGORIA "NATURAIS", GRUPO "HIDROLÓGICOS"

Cód. COBRADE	Subtipo de Desastre	Definição
12100	Inundações	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.
12200	Enxurradas	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial. Apresenta grande poder destrutivo.

Fonte: Adaptado de COBRADE

Foram levantados e organizados registros de eventos de desastres de inundações e enxurradas, seus danos e prejuízos (aqui nomeados "perdas") em cada município da bacia do rio Doce. Foi utilizada, para tanto, a base de dados do "Relatório de Danos Materiais e Prejuízos Decorrentes de Desastres Naturais no Brasil: 1995 – 2019" (Banco Mundial, 2020)[111]. Esta base de dados é proveniente dos registros de desastres informados pelos municípios ao órgão estadual de Defesa Civil ou à Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil para declarações municipais de Situação

[109] Alagamentos são extrapolações da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.
[110] Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/DOCU_cobrade2.pdf.
[111] Banco Mundial. Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. Fundação de Amparo à Pesquisa e Extensão Universitária. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. [Organização Rafael Schadeck] – 2ª ed. – Florianópolis: FAPEU, 2020. Disponível em https://relatoriodedesastres.ceped.ufsc.br.

de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) que foram reconhecidas pelo Governo Federal. Assim sendo, foi possível obter dados no nível municipal para as ocorrências e agregá-los para representar a situação na bacia do rio Doce.

Foi encontrado um total de 68 registros de desastres de inundação e enxurrada, englobando ao todo 555 municípios (o que denota a recorrência desses desastres em diversos municípios). O valor somado dos danos e prejuízos de tais eventos é de R$ 3,04 bilhões (em valores de 2019), ou seja, uma média de R$ 44,76 milhões por evento, ou ainda R$ 5,49 milhões por município afetado a cada evento.

O Quadro 3.111 traz os 20 maiores desses eventos, ordenados pelo valor das perdas geradas. As datas estão consolidadas nos meses de ocorrência uma vez que os municípios envolvidos declaram as situações de emergência ou calamidade pública em datas diferentes, embora remetam-se aos mesmos fenômenos hidrológicos.

QUADRO 3.111 - EVENTOS DE DESASTRES DE INUNDAÇÕES E ENXURRADAS REGISTRADOS NOS MUNICÍPIOS DA BACIA DO RIO DOCE

Referência do Evento	*Data*	*Municípios Envolvidos*	*Perdas (mil R$)*	*Ref.*	*Data*	*Municípios Envolvidos*	*Perdas (mil R$)*
1	4-2004	14	364.756	11	10-2009	6	91.654
2	1-2012	48	277.656	12	12-2004	9	79.523
3	11-2001	9	236.510	13	12-2010	23	78.282
4	3-2005	34	208.791	14	12-2006	24	78.237
5	1-2003	55	206.820	15	12-2009	7	59.138
6	1-2009	37	178.068	16	2-2005	10	58.743
7	12-2013	13	146.918	17	1-2005	14	58.436
8	12-2008	16	145.391	18	3-2004	10	54.359
9	12-2005	17	118.826	19	1-2002	9	42.177
10	1-2004	51	116.408	20	2-2004	12	37.891

Elaboração ENGECORPS, 2022, com base nos dados de Banco Mundial, 2020

As perdas econômicas são resultado da soma dos danos e prejuízos trazidos pela base de dados do relatório do CEPED (Banco Mundial, 2020), que organizou as informações disponibilizadas pelos municípios no Formulário de Informações do Desastre quanto: (i) aos danos materiais em habitações, infraestrutura e instalações públicas e privadas; e (ii) aos prejuízos, os quais se referem às perdas reportadas nos setores público e privado, sendo que, no segundo, os valores informados estão segmentados nos setores econômicos de agricultura, pecuária, indústria e serviços.

Uma vez que os eventos hidrológicos de enxurrada guardam forte associação às vazões (diferentemente dos eventos de inundações), coube consolidar dados hidrológicos a fim de construir curvas de probabilidade de ocorrência de danos em função dos tempos de retorno dos eventos, que podem vir a serem alterados no futuro devido à mudança do clima. Assume-se que cada evento extremo de enxurrada esteja relacionado a uma determinada vazão também extrema (máxima) dos corpos d'água associados, vazões estas que foram computadas a partir dos

dados disponíveis no Portal HidroWeb, da ANA[112]. Foram identificados, para tanto, as estações fluviométricas mais próximas das sedes urbanas onde ocorreram os vinte eventos de maiores perdas.

Com base nas vazões máximas associadas aos eventos, pode-se compará-las às respectivas séries históricas a fim de produzir os tempos de retorno (TR) dos eventos. Adotou-se a premissa de que os eventos de pior materialização de perdas econômicas estão associados a TR superiores a 100 anos. Realizou-se então a associação das perdas dos eventos de TR inferiores, por meio de interpolação com base nas vazões e nos registros de perdas econômicas, alocadas na proporção da TR dos eventos ocorridos de maior proximidade aos de 10, 25 e 50 anos.

A Figura 3.34 apresenta as perdas econômicas associadas a cada TR, construída a partir dos 20 piores eventos de enxurradas que envolveram ao todo 222 municípios e tiveram intensidade suficiente para terem gerado declarações de situação de emergência ou calamidade pública, ocorridos nos últimos vinte anos (com dados de Banco Mundial, 2020). Nota-se que cada município tem sua própria curva, em função dos eventos e das perdas a eles associados, sendo que a figura traz a somatória de todos os envolvidos nos eventos.

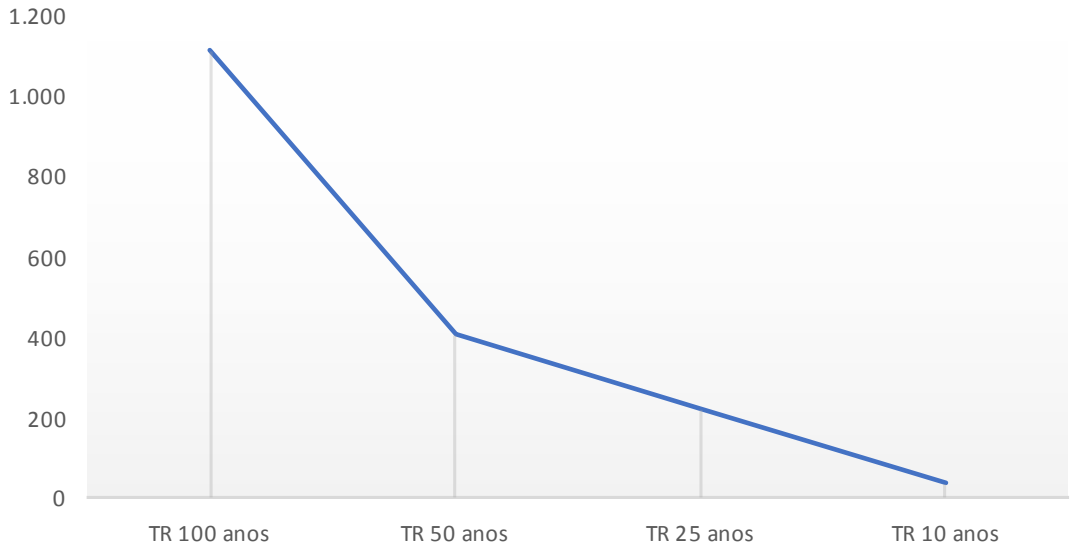


Figura 3.34 - Curva de Perdas Históricas Associadas aos TRs de Eventos de Enxurradas (R$, milhões)

Em complemento aos valores históricos, pode-se construir uma curva equivalente contabilizando-se a probabilidade associada aos valores em risco, uma vez que o TR de 100 anos tem uma probabilidade de 1% de ocorrência, 2% para o TR de 50 anos, 4% para o TR de 25 anos e 10% para o TR de 10 anos. A perda associada à probabilidade remete a expectativa de materialização do valor econômico em um ano qualquer. Esse valor pode ser calculado com base na média do dano previsto no ano_t com o dano previsto no ano_{t-1}, multiplicada pela diferença na probabilidade de excedência. Trata-se de um dos métodos propostos por Olsen et. al (2015)[113].

[112] Disponível em: http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao
[113] OLSEN, A. et.al; 2015. Comparing Methods of Calculating Expected Annual Damage in Urban Pluvial Flood Risk Assessments. Water 2015, 7, 255-270; doi:10.3390/w7010255

O resultado revela uma expectativa de perdas anuais associada aos eventos de enxurrada de R$ 54,03 milhões na bacia do rio Doce (cerca de R$ 1,1 bilhão no horizonte de 20 anos do Plano). Este valor, que já é bastante significativo, tende a aumentar no futuro em decorrência tanto da crescente vulnerabilidade e exposição dos ativos ao risco, como pelos perigos hidrometeorológicos crescentes, promovidos pela mudança do clima.

A mudança do clima deverá trazer um efeito de deslocamento nas curvas de perdas e suas probabilidades, já que os eventos hoje terão seus períodos de retorno (probabilidades de ocorrer) alterados no futuro - uma chuva com TR 50 hoje poderá ter uma TR 45 no futuro, por exemplo.

A expectativa de incremento no risco para cada um dos cenários de mudança do clima (crítico e intermediário) varia em função das variações nos tempos de retorno. Estes foram calculados para as precipitações das séries sintéticas (ver item 3.2.3.2 – Mudanças do Clima), comparando o futuro projetado pelos cenários com o passado observado.

As Figuras 3.35 a 3.38 apresentam as variações esperadas para o TR 50 e o TR 100 para cada ponto da bacia do rio Doce, podendo-se observar que é em todos os pontos que há previsão de piora.

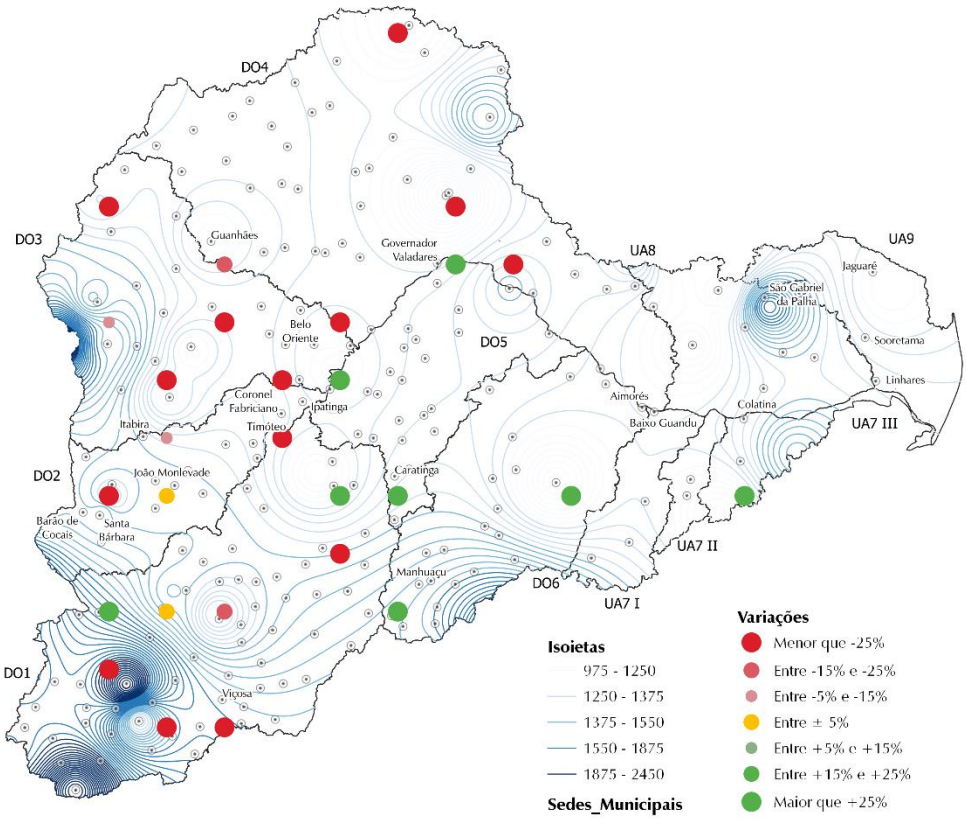


Figura 3.35 - Variação Projetada pela Mudança do Clima nos Tempos de Retorno dos Eventos de Precipitação - MC Intermediário (CCSM4_rcp85) – TR 50 anos

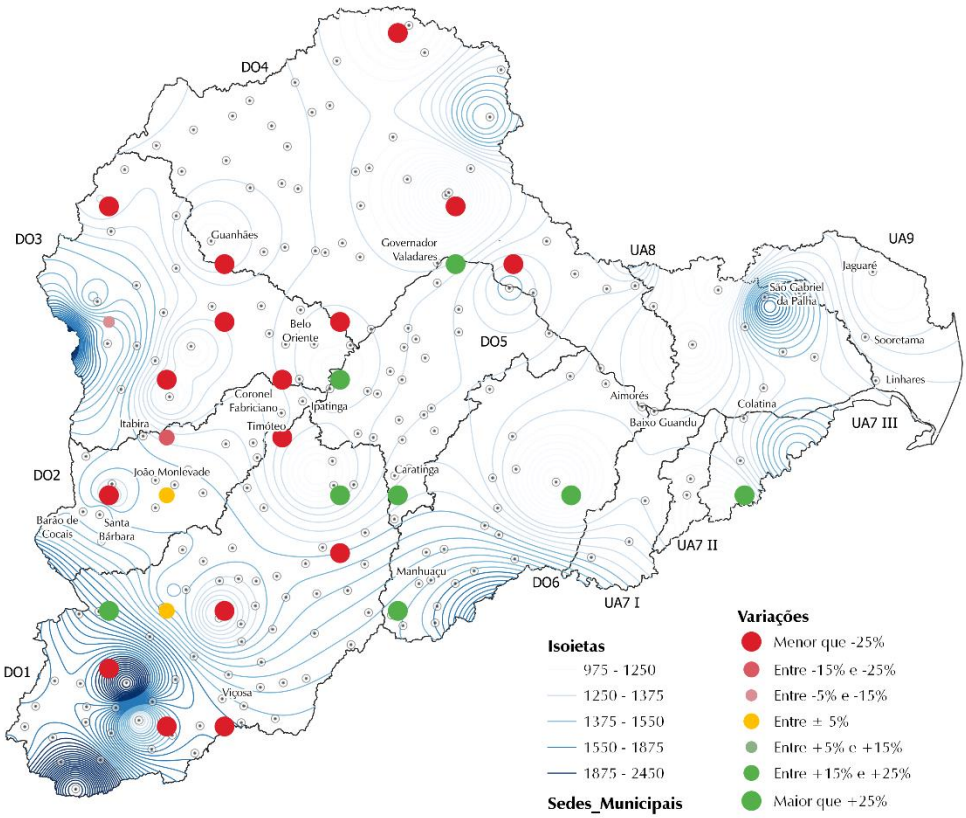


Figura 3.36 - Variação Projetada pela Mudança do Clima nos Tempos de Retorno dos Eventos de Precipitação - MC Intermediário (CCSM4_rcp85) – TR 100 Anos

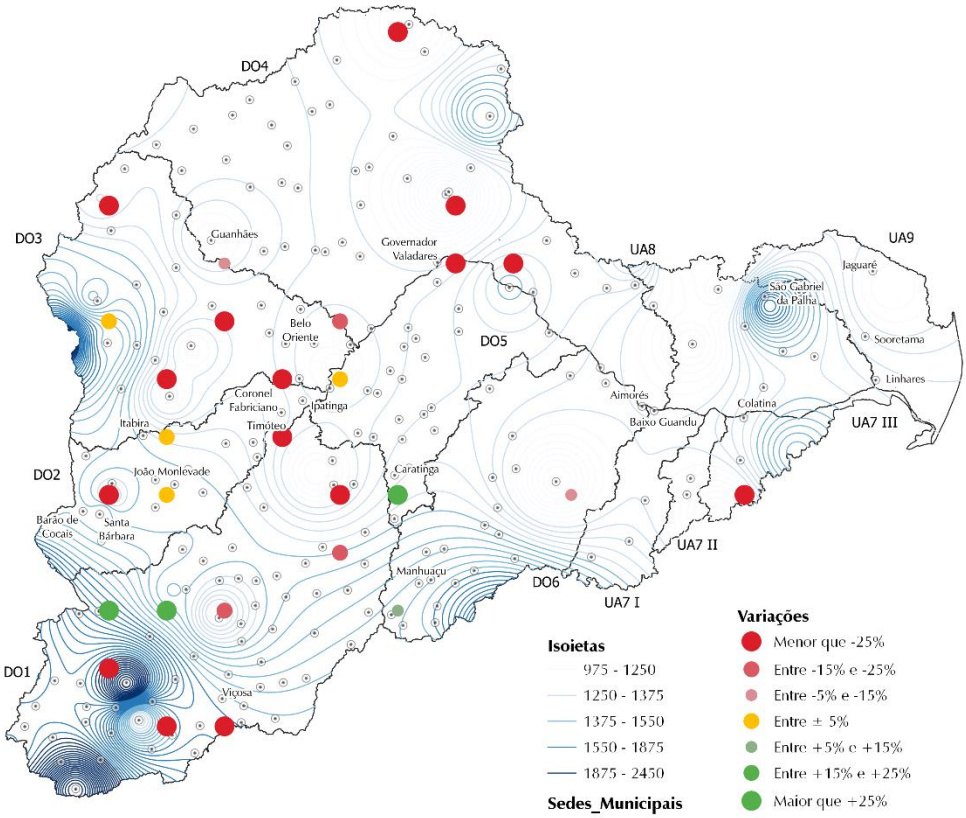


Figura 3.37 - Variação Projetada pela Mudança do Clima nos Tempos de Retorno dos Eventos de Precipitação - MC Crítico (bcccsm11_rcp85) – TR 50 Anos

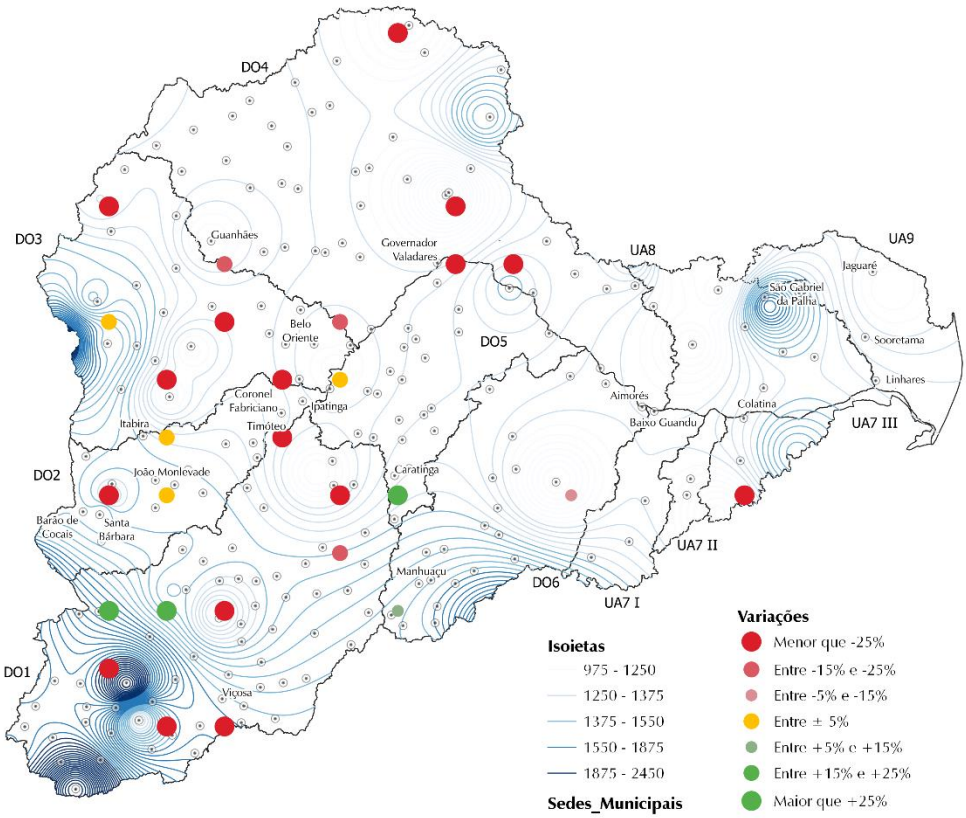


Figura 3.38 - Variação Projetada pela Mudança do Clima nos Tempos de Retorno dos Eventos de Precipitação - MC Crítico (bcccsm11_rcp85) – TR 100 Anos

Assumindo-se uma relação de 1:1 entre a variação nos TR de precipitação para os TR das vazões, pode-se recalcular as perdas anuais associadas aos eventos de enxurrada sob a perspectiva das mudanças do clima. O Quadro 3.112 apresenta os valores obtidos para os dois cenários de mudança do clima, revelando uma expectativa de acréscimo de cerca de R$ 5,8 milhões por ano nas perdas por enxurradas (cerca de R$ 116 milhões no horizonte de 20 anos do Plano).

QUADRO 3.112 - VARIAÇÕES NO VALOR ANUAL ESPERADO PARA AS PERDAS POR ENXURRADAS NA BACIA DO RIO DOCE

	Cena Atual	*Cenário de MC Intermediário*	*Cenário de MC Crítico*
Perda anual (R$, mil)	R$ 54.034	R$ 59.824	R$ 59.953
Variação na perda anual (R$, mil)	-	+ R$ 5.790	+ R$ 5.919
Variação percentual	-	+10,7%	+11,0%

Elaboração ENGECORPS, 2022

Nota-se que a metodologia utilizada não é fruto de modelagem hidrológica que associa as vazões dos eventos passados com seus respectivos tempos de retorno, o que teria gerado curvas precisas que poderiam ser, por sua vez, associadas às áreas de inundação em polígonos - mensurando-se também o risco da mudança do clima para estes eventos (inundação). Desta forma, ressalva-se que os resultados aqui gerados deverão ser lidos como mínimos, bem como deverão ser confrontados com estudos futuros mais aprofundados.

Não obstante, os resultados estão alinhados a recente investigação da relação entre o risco de desastres hidrológicos com a mudança do clima. Para os Estados Unidos, Wing et al. (2022)[114] identificaram um aumento de 24,1%-29,1% até 2050 sob o cenário RCP4.5 apenas, devendo ser ainda maior caso outros cenários de emissão se concretizem.

É importante destacar, também, que há um elevado grau de incerteza associado às projeções, como fica claro pelos resultados dos modelos e cenários de emissão. Além das incertezas, imprecisões podem ocorrer na aplicação dos métodos de *downscaling* e correção de viés. No entanto, como salienta o Atlas Irrigação (op. cit.), não é apenas o clima que muda no futuro, mas também os sistemas socioeconômicos. Parte do risco de enxurradas e inundações pode decorrer de ocupações antrópicas irregulares, que muitas vezes se encontram dentro do leito menor ou até mesmo dentro do leito vazante dos cursos d'água.

3.4.2 Riscos do Rompimento de Barragens

O Estado de Minas Gerais foi impactado por dois rompimentos de barragem de grandes proporções, a da Barragem de Fundão em Mariana e a da Barragem B1 em Brumadinho. À luz dos riscos de inundações e enxurradas, majorados pela mudança do clima, cabe uma investigação desse rebatimento para o risco de rompimento de outras barragens de mineração, bem como de outras barragens de forma geral. Afinal, mesmo sabendo-se que os níveis de pluviosidade não foram elementos determinantes para o rompimento das barragens de Fundão e B1, a intensidade de eventos de pluviosidade extrema, projetada pelos modelos climáticos e desvendada no item anterior, pode representar um fator adicional que não pode ser ignorado.

A investigação das consequências da mudança do clima no risco de rompimento de barragens não cabe ao escopo da presente revisão do PIRH Doce; recomenda-se, outrossim, que haja a devida consideração nos instrumentos de planejamento pertinentes.

Vale mencionar a existência de muitas barragens de mineração na bacia do rio Doce, várias delas barragens de rejeito, tal como descrito e mapeado no item 4.5.1 do PP 03 (Diagnóstico).

Dos 62 cadastros de barragens com uso principal de contenção de rejeitos de mineração levantados pela ANA, e que estão reguladas pela Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB)[115], situadas na bacia do rio Doce, 13 apresentam CRI Alto (21,3%), três foram classificadas com CRI Médio (4,9%), e 44 com CRI Baixo (72,1%), em função de características técnicas, estado de conservação do empreendimento e atendimento ao PSB, além de uma barragem que não obteve classificação em relação ao CRI.

Em relação à distribuição dessas barragens, tem-se que o município de Itabira situado na DO2 possui o maior número de barragens cadastradas, contemplando 15 ao total (11 de CRI Baixo; quatro de CRI Alto), seguido pelo município de Mariana, com território localizado na DO1 e DO2, que possui 12 barragens de uso de contenção de rejeitos de mineração (nove de CRI Baixo; três de CRI Alto). Vale ressaltar outros municípios com presença significativa de barragens

[114] WING, O.E.J., LEHMAN, W., BATES, P.D. et al. Inequitable patterns of US flood risk in the Anthropocene. Nat. Clim. Chang. 12, 156–162 (2022). https://doi.org/10.1038/s41558-021-01265-6
[115] Lei Federal nº 14.066/2020.

de rejeito: Ouro Preto (três de CRI Baixo; duas de CRI Alto; uma de CRI Médio) e Santa Bárbara (seis de CRI Baixo).

Levando em consideração o Dano Potencial Associado (DPA), indicador de potencial de perdas de vidas humanas e impactos econômicos, sociais e ambientais decorrentes de uma possível ruptura da barragem, é possível observar que as barragens cadastradas situadas na bacia hidrográfica do rio Doce e que estão inseridas na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) estão prioritariamente classificadas como Alto DPA (47 barragens – 75,0%), seis barragens de Médio DPA (9,8%), sete de Baixo DPA (11,5%) e uma que não foi classificada quanto ao DPA (1,6%).

As barragens de rejeito de mineração com Alto DPA, assim como Alta Categoria de Risco (CRI), estão concentradas no município de Itabira (13 barragens), Mariana (10 barragens), Santa Bárbara (seis barragens) e Ouro Preto (quatro barragens). Vale ressaltar que segundo o Relatório de Segurança de Barragens 2019, da ANA, de 2020, a Barragem ED Xingu situada no município de Mariana e pertencente à Vale S.A., foi classificada como barragem crítica, e que requer maior atenção, demandando uma avaliação da existência de Planos de Ação de Emergência, de Planos de Contingência Municipais e de estruturas de Defesas Civis locais, bem como da previsão climática de chuvas extremas no País.

Outro risco que pode se agravar em decorrência das mudanças do clima é devido, especificamente, ao rompimento da barragem de Fundão. Uma vez que parte dos sedimentos da barragem foram sendo depositados na calha dos cursos d'água afetados diretamente pelo rompimento, quando ocorrem chuvas muito intensas, eles entram em ressuspensão. Quando isso ocorre, além de aumentarem os níveis de turbidez das águas, também ficam em suspensão na coluna d'água metais pesados que se depositaram nos sedimentos. Alguns desses metais estão presentes naturalmente nos solos da bacia, mas suas concentrações nos sedimentos se elevaram após o rompimento da barragem.

Com esse fenômeno, os usuários dos recursos hídricos que demandam níveis mínimos de qualidade para exercerem suas atividades, notadamente os prestadores dos serviços de saneamento básico, enfrentam dificuldades e até a possibilidade de suspenderem a captação devido aos altos níveis de turbidez das águas captadas. Uma vez que as mudanças do clima deverão afetar a distribuição das chuvas, tendendo a concentrá-las em eventos de alta pluviosidade, o risco associado à ressuspensão também aumenta.

3.5 REPERCUSSÕES DAS PERSPECTIVAS DE FUTURO NO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO DOCE

A unidade territorial de análise para fins de balanços hídricos quantitativos e Enquadramento dos corpos d'água na bacia do rio Doce não é o município, mas a ottobacia. É nela que se auferem as repercussões de demandas hídricas e de geração de carga poluidora nos diversos cenários e recortes temporais. Como forma de se retratar as diversas perspectivas tratadas setorialmente nas ottobacias, adotou-se outro recorte espacial, resultante da interseção da base de 238 municípios

com alguma fração do território localizada na bacia (mesmo que mínima) e 15.082 combinações exclusivas entre ottobacias e municípios.

Uma vez que as projeções foram realizadas ao nível de município, a sua interseção com as ottobacias permite obter uma base unificada que serve de elo de ligação entre as entradas socioeconômicas e as saídas de demandas hídricas e cargas poluidoras. Quase todas as perspectivas setoriais relevantes, afinal, detêm expressão em área, e para cada uma, pode-se aplicar essa combinação resultante e verificar, assim, suas consequências no uso do solo da bacia. Embora a espacialização das projeções nas ottobacias não crie um novo uso do solo ao nível de feições geográficas, dá origem a um conjunto de leituras integradoras que se formam a partir dos movimentos antevistos.

Uma vez que a unidade territorial de análise que combina a ottobacia e o município detém uma dada área, todas as atividades que de certa forma demandam áreas de expansão precisam compartilhar esse espaço, que pode estar limitado por usos não substituíveis ou mesmo por restrições de ordem física (tais como afloramentos rochosos). Adota-se, então, uma mecânica de priorização de ocupação das áreas de cada uma dessas configurações de análise, de forma a simular os reordenamentos que se passam em cada combinação. Dessa mecânica, emerge uma última perspectiva endógena (gestão), com interface direta nos recursos hídricos, abordada na sequência.

O primeiro passo para a mecânica de espacialização é a identificação e desconsideração de áreas de restrição para quaisquer usos antrópicos, quais sejam:

- ✓ Massas d'água, afloramentos rochosos, outras áreas não vegetadas, Unidades de Conservação de Proteção Integral, áreas vegetadas sob Unidades de Conservação de Uso Sustentável, Terras Indígenas e as áreas afetadas pela lama da barragem de Fundão; e
- ✓ Adotou-se ainda o pressuposto de manutenção de ao menos 25% de vegetação nativa em cada unidade de análise, fração condizente, de modo aproximado, ao cumprimento das exigências da Lei de Proteção à Vegetação Nativa (Lei nº 12.651/2012) quanto às áreas de conservação privadas em reserva legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APP) de cursos d'água, alta declividade, topo de morro e fundo de vale.

O segundo passo é a determinação de prioridades para a ocupação das áreas cenarizadas, de acordo com a lógica do custo de oportunidade da terra, que é mais baixo quando coberta por vegetação nativa e sobe, progressivamente, até chegar no uso urbano, salvo quando há restrições proativas de gestão. Afinal, como conclui o PERH-ES e o próprio Diagnóstico deste PIRH Doce, a relação entre uso do solo e gestão ambiental não pode se dissociar do gerenciamento de recursos hídricos, todos devendo promover o seu uso eficiente.

São estabelecidas três ordens de prioridade para a ocupação de áreas com as novas atividades cenarizadas, compondo assim as perspectivas endógenas do uso do solo, quais sejam:

- ✓ ***Business as usual* (BAU)** – continuação das tendências de gestão passadas: ordem de prioridade de ocupação: vegetação nativa > pastagem degradada > pastagem com degradação moderada > pastagem não degradada > agricultura > silvicultura > mineração > urbano;
- ✓ **Gestão moderada** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos com esforço limitado de gestão: ordem de prioridade de ocupação: pastagem degradada > vegetação nativa > pastagem com degradação moderada > pastagem não degradada > agricultura > silvicultura > mineração > urbano; e
- ✓ **Gestão intensa** – modificação de formas de uso dos recursos hídricos mediante maiores esforços de gestão: ordem de prioridade de ocupação: pastagem degradada > 33% da área de pastagem com degradação moderada > vegetação nativa > 66% da área de pastagem com degradação moderada > pastagem não degradada > agricultura > silvicultura > mineração > urbano.

Tem-se que a distribuição das áreas de expansão sob as áreas de cruzamento entre municípios e ottobacias se dá de forma proporcional à sua disponibilidade, e se inicia na ordem inversa da prioridade de ocupação acima listada.

Exemplificando-se a mecânica, tem-se que a primeira atividade a ser espacializada é a das áreas urbanas, que precedem os demais usos do solo em termos de preferência de ocupação. Para a espacialização dessas áreas, utilizou-se das informações contidas na malha setorial censitária de 2020 do IBGE[116], que identifica as seguintes informações: área urbana de alta densidade de edificações, área urbana de baixa densidade de edificações, núcleo urbano, povoado, núcleo rural, lugarejo, área rural (exclusive aglomerados). Adotou-se como premissa para a alocação das áreas urbanas incrementais a preferência de ocupação das áreas com alta densidade de edificações e as áreas urbanas de baixa densidade de edificações.

As áreas de expansão urbana, então, avançam prioritariamente sobre as áreas de vegetação nativa (BAU) ou sobre as áreas de pastagem degradada (Gestão), e caso essas não sejam suficientes para comportar toda a área requerida, avança-se como um segundo critério sobre as áreas de pastagem, e assim sucessivamente.

A segunda atividade a ser espacializada é a da mineração que, diferentemente das demais classes de uso do solo, traz um dirigismo intransponível: só se pode exercer a atividade extrativa onde o minério ocorre naturalmente. Dessa forma, e tomando como base os mapeamentos disponibilizados pela ANM (item 3.3.6 - Mineração), manteve-se a fidelidade espacial destas áreas, que tem prioridade de ocupação sobre as demais devido ao alto valor agregado da atividade.

[116] Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/26565-malhas-de-setores-censitarios-divisoes-intramunicipais.html

Na sequência da mineração, a terceira atividade a ser espacializada é a silvicultura, a quarta é a agricultura e, por fim, a pastagem. Nem todas as áreas requeridas pelas atividades encontram espaço para tal, pois pode-se chegar ao limite de disponibilidade, respeitando-se as ordens de prioridade e as restrições impostas como primeiro critério da mecânica.

A metodologia adotada permite criar a expressão espacial necessária para a modelagem das cargas poluidoras e para fins de embasamento das estratégias de gestão territorial na bacia do rio Doce.

Nota-se que as perspectivas de gestão são articuladas com base na priorização de ocupação das áreas com pastagens degradadas e em estágio moderado de degradação, o que cede espaço para a substituição de usos em detrimento da ocupação de novas áreas de vegetação nativa. Pode-se conduzir a atividade agrícola a ocupar, portanto, áreas de pastagens degradadas e com grau moderado de degradação, favorecendo a substituição de usos antrópicos em detrimento da abertura de novas áreas produtivas sobre as áreas de vegetação nativa.

A tendência, tal como demonstra a perspectiva *Business as usual* (BAU), é a de substituição da vegetação nativa, mesmo que isso gere ineficiência em termos de usos econômicos (tais como as pastagens degradadas) que passam, em um momento seguinte, a se recuperarem ambientalmente. Como esclarece Rosa et al. (2021)[117], a manutenção dos percentuais de cobertura de vegetação nativa na Mata Atlântica acaba por mascarar a paulatina substituição de florestas maduras por matas secundárias, mais pobres em biodiversidade e em carbono estocado. Ou seja, apesar da dinâmica de perda e ganho de florestas nativas ter mantido a quantidade de floresta praticamente estável nos últimos 20 anos, o rejuvenescimento das florestas pode ser extremamente danoso para a conservação do bioma e da biodiversidade associada.

As perspectivas de gestão, que priorizam a ocupação das áreas de pastagem degradada e em estágio moderado de degradação, podem vir a "liberar" áreas para a recuperação da vegetação nativa, principalmente na composição de corredores que incrementem a conectividade dos diversos fragmentos de vegetação nativa distribuídos na bacia do rio Doce. Conforme apontam Arroyo-Rodríguez et al. (2020)[118], deve-se chegar a um mínimo de 40% de mata nativa em uma dada paisagem para garantir a sobrevivência de espécies florestais.

Nesse sentido, nota-se de importância ímpar a identificação de áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade, que podem se sobrepor às áreas de restrição de usos visando à proteção dos recursos hídricos. As perspectivas de gestão moderada e intensa denotam as possibilidades de conciliar a ampliação dos usos produtivos do solo com a conservação, cabendo ao Plano de Recursos Hídricos a importante interface de recomendar a recuperação da vegetação

[117] ROSA, M. R.; BRANCALION, P. H. S.; CROUZEILLES, R.; TAMBOSI, L. R.; PIFFER, P. R.; LENTI, F. E. B.; HIROTA, M.; SANTIAMI, E.; METZGER, J. P. (2021) Hidden destruction of older forests threatens Brazil's Atlantic Forest and challenges restoration programs. Science Advances, Vol 7, Issue 4.

[118] Arroyo-Rodríguez, V., Fahrig, L., Tabarelli, M., Watling, J.I., Tischendorf, L., Benchimol, M., Cazetta, E., Faria, D., Leal, I.R., Melo, F.P.L., Morante-Filho, J.C., Santos, B.A., Arasa-Gisbert, R., Arce-Peña, N., Cervantes-López, M.J., Cudney-Valenzuela, S., Galán-Acedo, C., San-José, M., Vieira, I.C.G., Slik, J.F., Nowakowski, A.J. and Tscharntke, T. (2020), Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. Ecol Lett, 23: 1404-1420. https://doi.org/10.1111/ele.13535

nativa em áreas estratégias para os serviços ecossistêmicos hídricos (como áreas de recargas de aquíferos e de alta produção de sedimentos, por exemplo).

O Diagnóstico apresentou as Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade (APCBs) conforme diretrizes nacionais do MMA, 2017)[119], sendo que o estado de Minas Gerais conta com um detalhamento e aprofundamento denominado de "Áreas prioritárias: Estratégias para a Conservação da Biodiversidade e dos Ecossistemas de Minas Gerais" (IEF, 2021)[120]. Trata-se de instrumento de gestão territorial que utiliza critérios técnicos, juntamente com a participação de especialistas e da sociedade civil, para definir conjuntos de áreas nos quais há maiores margens de retorno aos esforços de gestão ambiental.

A Figura 3.39, adaptada de IEF (2021) apresenta o detalhamento dessas áreas, que serão utilizadas como complementares à identificação das áreas de restrição de usos visando à proteção dos recursos hídricos.

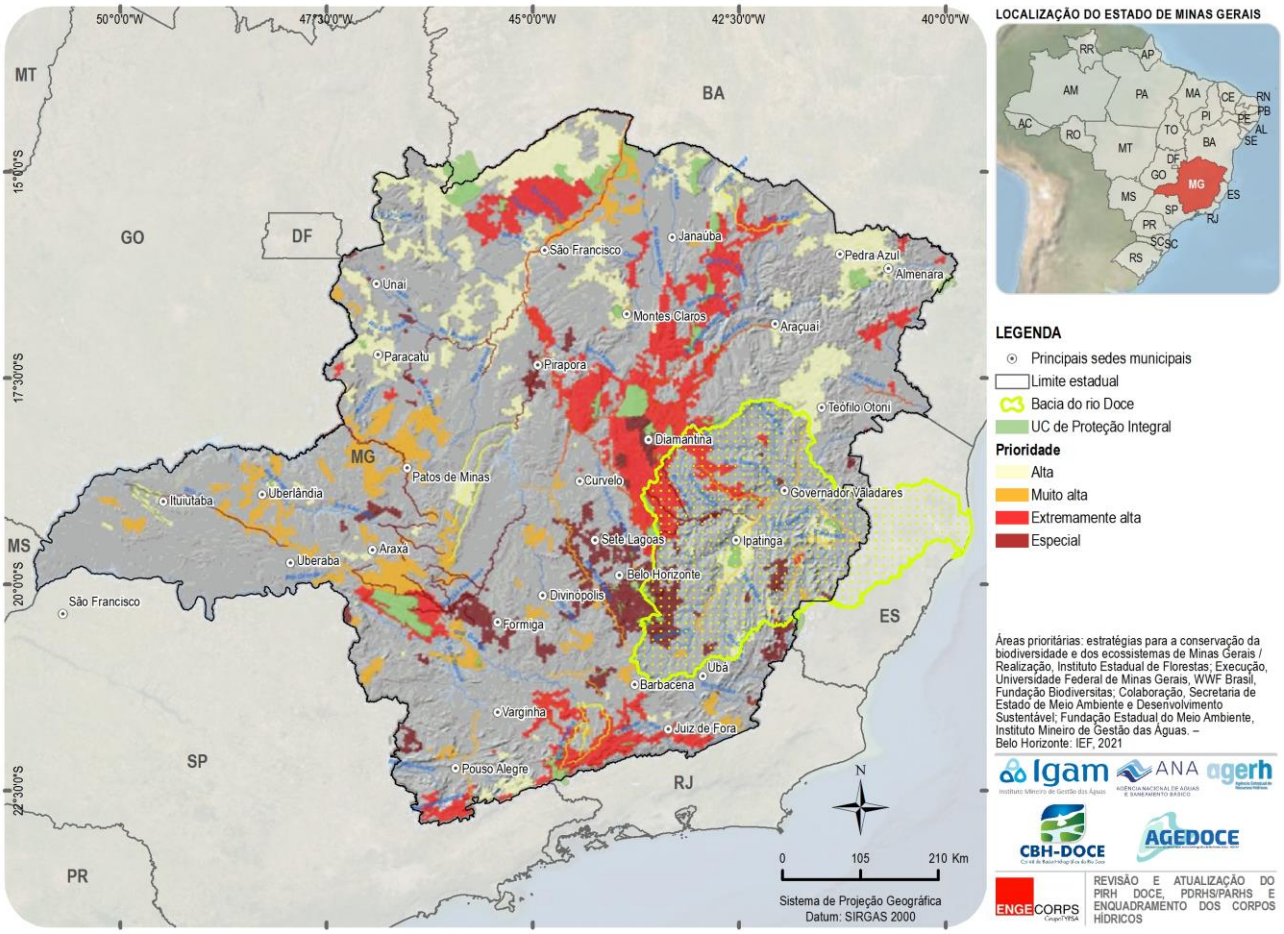


Figura 3.39 - Áreas Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade em Minas Gerais (Adaptado de IEF, 2021, op. cit.)

[119] MMA. Áreas Prioritárias para a conservação da Biodiversidade, 2017. Disponível: http://areasprioritarias.mma.gov.br/oque-e 100 http://areasprioritarias.mma.gov.br/2-atualizacao-das-areas-prioritarias

[120] IEF-MG - Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais. Áreas prioritárias: estratégias para a conservação da biodiversidade e dos ecossistemas de Minas Gerais / Realização, Instituto Estadual de Florestas; Execução, Universidade Federal de Minas Gerais, WWF Brasil, Fundação Biodiversitas; Colaboração, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável; Fundação Estadual do Meio Ambiente, Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: IEF, 2021.

Os resultados da articulação apresentada são apresentados no Quadro 3.113, apenas para o recorte de médio prazo (2032) como forma de facilitar a visualização e comparação entre as perspectivas. Nota-se que em todas as nove combinações, as áreas urbanas conseguem áreas suficientes sem restrições para que se expandam conforme a demanda. Da mesma forma, as áreas de mineração não encontram restrições para sua expansão almejada, mesmo havendo uma diferença de 10,5 km^2 entre as perspectivas Tendencial e Mais crescimento.

Já o crescimento das áreas de silvicultura chega a enfrentar algumas restrições, mesmo na perspectiva endógena BAU. Na combinação mais restritiva, cerca de 4% da área demandada não consegue ser alocada. Entre as perspectivas Tendencial e Mais crescimento, a silvicultura apresenta uma demanda por adicionais 382 km^2. De forma análoga, a agricultura e a pecuária enfrentam algumas restrições, mas sempre na margem do que é requerido para a plena expansão de suas atividades. Entre as perspectivas Tendencial e Mais crescimento, a agricultura e a pecuária apresentam demandas adicionais respectivas de 519 km^2 e 4,78 mil km^2.

A interação das áreas de pastagem e de vegetação nativa, pelo próprio conceito da modelagem acaba sendo a maior dentre os usos concorrentes: comparando-se apenas a perspectiva exógena Tendencial contra as perspectivas de gestão, tem-se no BAU que a perda de vegetação nativa chega a 14,9%, enquanto na de Gestão moderada, a perda é reduzida para 7,5%; já na Gestão intensa, quando 1/3 das áreas de pastagem moderadamente degradadas também são substituídas pelos demais usos, promove-se a recuperação de 11,3% da vegetação nativa. Mesmo sob Gestão intensa, a fração não atendida das demandas dos usos econômicos é marginal.

QUADRO 3.113 - RESULTADOS DOS REBATIMENTOS DOS CENÁRIOS NO USO DO SOLO NO MÉDIO PRAZO - 2032 (KM²)

Perspectivas		*Horizontes Temporais/Variações*	*Área Urbana*	*Mineração*	*Silvicultura*	*Agricultura*	*Pastagem*	*Vegetação Nativa*
		Cena atual	***487,00***	***176,30***	***2.951,4***	***9.390,8***	***41.510,6***	***28.931,2***
Exógena Tendencial	Endógena BAU	Área final	505,03	178,05	3.078,3	10.227,2	44.840,4	24.618,3
		Variação rel. a cena atual	3,70%	0,99%	4,30%	8,91%	8,02%	-14,91%
		Área demandada	505,03	178,05	3.161,5	10.402,5	45.976,7	-
		Fração atendida	100%	100%	97,37%	98,31%	97,53%	-
Exógena Tendencial	Endógena Gestão moderada	Área final	505,03	178,05	3.078,3	10.227,2	42.696,9	26.761,9
		Variação rel. a cena atual	3,70%	0,99%	4,30%	8,91%	2,86%	-7,50%
		Área demandada	505,03	178,05	3.161,5	10.402,5	43.345,3	-
		Fração atendida	100%	100%	97,37%	98,31%	98,50%	-
Exógena Tendencial	Endógena Gestão Intensa	Área final	505,03	178,05	3.078,3	10.227,2	37.273,2	32.185,5
		Variação rel. a cena atual	3,70%	0,99%	4,30%	8,91%	-10,21%	11,25%
		Área demandada	505,03	178,05	3.161,5	10.402,5	37.401,1	-
		Fração atendida	100%	100%	97,37%	98,31%	99,66%	-
Exógena Menos crescimento	Endógena BAU	Área final	497,53	178,05	2.990,2	9.426,6	42.926,0	27.428,9
		Variação rel. a cena atual	2,16%	0,99%	1,31%	0,38%	3,41%	-5,19%
		Área demandada	497,53	178,05	3.064,0	9.462,8	43.116,5	-
		Fração atendida	100%	100%	97,59%	99,62%	99,56%	-
Exógena Menos crescimento	Endógena Gestão Moderada	Área final	497,53	178,05	2.990,2	9.426,6	40.753,0	29.602,0
		Variação rel. a cena atual	2,16%	0,99%	1,31%	0,38%	-1,83%	2,32%
		Área demandada	497,53	178,05	3.064,0	9.462,8	40.851,6	-
		Fração atendida	100%	100%	97,59%	99,62%	99,76%	-
Exógena Menos crescimento	Endógena Gestão Intensa	Área final	497,53	178,05	2.990,2	9.426,6	35.535,7	34.819,3
		Variação rel. a cena atual	2,16%	0,99%	1,31%	0,38%	-14,39%	20,35%
		Área demandada	497,53	178,05	3.064,0	9.462,8	35.553,3	-
		Fração atendida	100%	100%	97,59%	99,62%	99,95%	-
Exógena Mais crescimento	Endógena BAU	Área final	517,09	188,57	3.400,0	10.620,3	47.585,4	21.135,9
		Variação rel. a cena atual	6,18%	6,96%	15,20%	13,09%	14,63%	-26,94%
		Área demandada	517,09	188,57	3.543,3	10.921,2	50.752,1	-
		Fração atendida	100%	100%	95,96%	97,24%	93,76%	-

Perspectivas		*Horizontes Temporais/Variações*	*Área Urbana*	*Mineração*	*Silvicultura*	*Agricultura*	*Pastagem*	*Vegetação Nativa*
		Cena atual	***487,00***	***176,30***	***2.951,4***	***9.390,8***	***41.510,6***	***28.931,2***
Exógena Mais crescimento	Endógena Gestão Moderada	Área final	517,09	188,57	3.400,0	10.620,3	45.597,4	23.123,9
		Variação rel. a cena atual	6,18%	6,96%	15,20%	13,09%	9,85%	-20,07%
		Área demandada	517,09	188,57	3.543,3	10.921,2	47.580,0	-
		Fração atendida	100%	100%	95,96%	97,24%	95,83%	-
Exógena Mais crescimento	Endógena Gestão Intensa	Área final	517,09	188,57	3.400,0	10.620,2	39.917,5	28.803,9
		Variação rel. a cena atual	6,18%	6,96%	15,20%	13,09%	-3,84%	-0,44%
		Área demandada	517,09	188,57	3.543,3	10.921,2	40.425,1	-
		Fração atendida	100%	100%	95,96%	97,24%	98,74%	-

Elaboração ENGECORPS, 2022

3.6 SÍNTESE DA CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS

3.6.1 Considerações Iniciais

O presente item apresenta uma síntese da construção dos cenários para a revisão do PIRH Doce e Enquadramento, salientando os principais tópicos considerados, bem como as repercussões nas demandas setoriais.

A forma mais usual de se compreender o futuro é projetá-lo com base nos comportamentos dominantes do passado. À essa visão retrospectiva deve-se incorporar, minimamente: as maiores incertezas presentes; os investimentos estruturantes já anunciados ou muito prováveis; enfim, todas as condicionantes e hipóteses que estão amadurecendo na realidade atual. Trata-se do cenário tendencial, que leva a um futuro relativamente previsível.

Porém, uma vez que o futuro não necessariamente repetirá o passado de forma tendencial, deve-se também elaborar outros cenários alternativos, que demonstrem situações-limite do vasto espectro de possibilidades futuras (Figura 3.40). Dessa forma não se compreendem os cenários como representações de "onde queremos chegar". Ao contrário, almeja-se justamente explicitar e articular a imprevisibilidade, ordenando, assim, as percepções sobre o futuro e permitindo que, a partir daí, seja orientada a construção do futuro desejado.

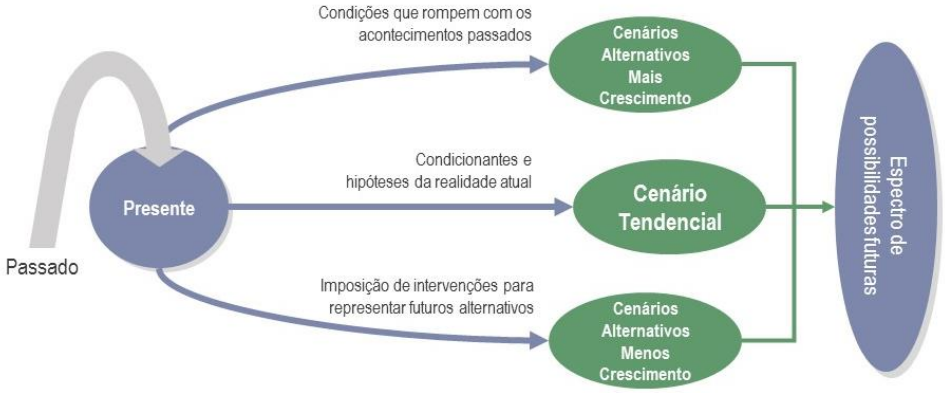


Figura 3.40– Conceituação Metodológica Básica dos Cenários

Para a bacia do rio Doce, os cenários foram construídos pela combinação de duas perspectivas:

- ✓ As perspectivas exógenas, que articulam os fatores que estão fora do controle da gestão dos recursos Hídricos, sendo uma tendencial, uma de mais crescimento socioeconômico e outra de menos crescimento socioeconômico; e
- ✓ As perspectivas endógenas, que articulam, por sua vez, as modificações nas formas e padrão de uso dos recursos hídricos que estão, direta ou indiretamente, sob controle da gestão dos Recursos Hídricos. As perspectivas são de continuação do *status quo* (*Business as usual* ou BAU), gestão moderada e gestão intensa.

A combinação das perspectivas Tendencial (exógena) e *Business as usual* (endógena) configura o cenário tendencial, sendo que as demais combinações são representativas de cenários alternativos.

A mecânica de compreensão e articulação entre perspectivas endógenas e exógenas se dá por setor usuário e/ou gerador de cargas poluidoras. O intuito é ter, nos cenários, uma síntese de fácil comunicação em relação às situações tendencial e alternativas (limites) que a gestão/regulação deve enfrentar e para a qual deve se programar de forma proativa.

A concepção dos cenários, principalmente para as perspectivas exógenas, passou pela análise de diversas "sementes de futuro" (fatos ou sinais presentes que podem vir a "germinar e dar frutos"). Esses temas, transversais foram identificados pelo PNHR 2022-2040 e avaliados para a bacia do rio Doce, perfazendo o contexto de alterações que estrutura o pensar de futuro para os setores usuários de suas águas, como ilustrado de forma sintética na Figura 3.41.

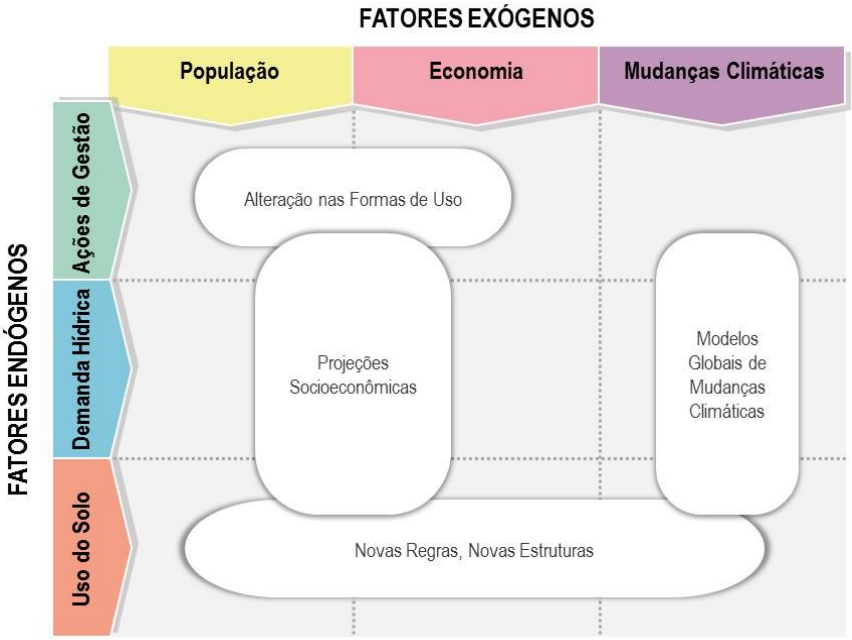


Figura 3.41 – Cruzamentos Conceituais para os Cenários Alternativos

Foram abordados os seguintes temas característicos das perspectivas exógenas:

- ✓ Alterações no regime hidrológico devido à ocupação e uso do solo e às mudanças do clima;
- ✓ Pressão por crescimento econômico, geração de emprego e renda, por meio do contexto econômico e ampliações no capital fixo;
- ✓ Crescimento da população (demografia), concluindo-se que o Brasil atravessa fase de transição demográfica cuja repercussão na bacia do rio Doce aponta para um arrefecimento do crescimento populacional, concomitante com uma modificação no perfil etário. Além dessa modificação, deverá ocorrer nas próximas décadas, outras duas mudanças significativas: a continuidade da diminuição da razão de habitantes por domicílio e a continuidade no processo de urbanização;

✓ Produção agropecuária crescente e mais tecnificada.

Quanto às mudanças do clima, foram analisados modelos globais de mudanças climáticas do IPCC ("Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas", em Português), visando analisar tendências nos padrões de temperatura e precipitação e identificar convergências e divergências entre os resultados dos modelos incidentes na bacia do rio Doce (Figura 3.42).



Figura 3.42- Conceituação Metodológica para Análise da Mudança do Clima na Bacia do Rio Doce

3.6.2 Análises por Setor Usuário de Recursos Hídricos

A partir das sementes de futuro avaliadas, foram pormenorizadas análises para os setores usuários dos recursos hídricos, conforme descrito a seguir.

✓ **Abastecimento Humano Urbano**, tomando como base as variações nas demandas em função das perdas nas redes de distribuição, embora os usos per capita também possam ser reduzidos devido a uma maior eficiência do uso da água. Os principais resultados para a demanda hídrica urbana são que, em 20 anos, ela passa de 7,4 para 9,7 m^3/s no cenário tendencial. As ações de gestão intensa podem vir a reduzir a demanda para 6,1 m^3/s.

✓ **Abastecimento Humano Rural**, considerando aprimoramento do abastecimento de água no meio rural, avaliado conforme o Programa Saneamento Brasil Rural (PSBR) da Fundação Nacional da Saúde. Na perspectiva tendencial, em 20 anos, a demanda rural passa de 0,98 para 0,85 m^3/s devido à queda na população rural e manutenção de serviços aquém do desejado; ações de gestão intensa podem vir a oferecer serviços melhores mediante uma redução de demanda atual para 0,90 m^3/s.

✓ **Esgotamento Sanitário**, considerando que a geração de carga poluidora varia diretamente em função da quantidade da população e de sua distribuição nos meios urbano e rural. Identificou-se uma tendência de melhoria nos índices de coleta e de tratamento de esgotos, mas em ritmo ainda insuficiente para a provisão de serviços com a abrangência necessária. A eficiência no abatimento da carga orgânica obtida pelas ETEs foi cenarizada com base no Atlas Esgotos, que aponta (horizonte de 2035) a necessidade de remoção em decorrência da capacidade de assimilação do corpo receptor equivalente à Classe 2 (quando não há enquadramento pretérito). No cenário tendencial, em 2042, a maior parte das bacias afluentes teria índices de coleta e tratamento de esgotos superiores a 36%. Já na perspectiva de gestão moderada, esse índice sobe para 60%, com algumas bacias afluentes atingindo

médias de 70% ou mais de coleta com tratamento. A perspectiva de gestão intensa, pela sua própria concepção, apresenta a plena universalização dos serviços com o mínimo de 90% de coleta e tratamento, e o restante com destinação em fossas sépticas/sumidouros.

- ✓ **Agricultura (áreas agrícolas)**, com apoio em estatísticas compiladas para as regiões rurais que abrangem a bacia do rio Doce, em projeções do MAPA, e análises qualitativas das sementes de futuro. Tendencialmente, identificou-se que, em 20 anos, a área ocupada com a atividade de agricultura pode passar dos atuais 939 mil ha para 1.085 mil. Sob a perspectiva de menos crescimento, a área atual deve ser reduzida para 896 mil ha. No entanto, sob mais crescimento, o acréscimo de áreas pode fazer com que o total ocupado seja de 1.216 mil há.
- ✓ **Agricultura Irrigada**, com base nos dados levantados pelo Atlas Irrigação e pelos últimos dois Censos Agropecuários, e considerando as análises qualitativas resultantes das sementes de futuro. Concluiu-se que há perspectivas de continuação no crescimento das áreas irrigadas, especialmente na UA8 e UA9, cujas áreas podem passar de 60 e 93 mil ha para, respectivamente, 90 e 140 mil ha tendencialmente, em 20 anos. A mudança do clima deve aumentar a demanda de retirada da agricultura irrigada ao promover alterações na distribuição e volume das chuvas, além de aumentar as temperaturas, com rebatimento na evapotranspiração. Em um cenário intermediário de mudança do clima, combinado a fatores endógenos e exógenos tendenciais, em 2042 a demanda por irrigação pode ser 62% superior à atual; já em um cenário crítico de mudança do clima, essa demanda pode chegar a 78% a mais. Na perspectiva tendencial, em 20 anos a demanda passa de 35,1 para 65,0 m^3/s; já na perspectiva de forte crescimento econômico com mudança do clima em cenário crítico, a demanda pode chegar a 86,6 m^3/s. Ações de gestão intensa reduzem as pressões por meio de maior eficiência no manejo da irrigação. Com eficiência equivalente a 90%, as respectivas demandas em 2042 podem ser de 57,6 e 78,2 m^3/s.
- ✓ **Silvicultura**, considerando que na bacia do rio Doce, da área plantada com espécies florestais, 99,3% o é com eucalipto, sendo apenas 0,5% plantado com pinus e 0,2% com outras espécies. Com base em estatísticas compiladas por meio das séries históricas, como nas projeções do MAPA, verifica-se que, tendencialmente, em 20 anos, a área ocupada com a atividade de silvicultura pode passar dos atuais 295 mil ha para 306 mil. Sob a perspectiva de menos crescimento, a área atual pode ser ligeiramente reduzida para 288 mil ha. No entanto, sob mais crescimento, o acréscimo de áreas pode fazer com que o total ocupado seja de 385 mil ha.
- ✓ **Criação Animal**, considerando os seguintes rebanhos: bovinos de corte e de leite, bubalinos, equinos, ovinos, caprinos, suínos, galináceos e codornas. Alguns destes rebanhos tendem a crescer, enquanto outros mostram certa estagnação. Os maiores rebanhos são de bovino de corte, que na perspectiva tendencial passam dos atuais 2,77 milhões para 3,18 milhões em 20 anos (destaque para a DO4 e DO1); já os rebanhos de vacas de leite crescem mais, podendo passar dos atuais 596 mil para 759 mil em 20 anos. Tendencialmente, em 20 anos, a demanda de retirada para dessedentação animal passa de 2,88 para 3,52 m^3/s. Na perspectiva de mais crescimento, essa demanda pode chegar a 3,98 m^3/s, ou mesmo arrefecer-se para 2,60 m^3/s com menos crescimento

- ✓ **Aquicultura**, tendo-se em conta que a produção da aquicultura nos dois estados da bacia é praticamente toda voltada para a tilápia (95% do volume de produção em Minas Gerais e 99% no Espírito Santo). Tendencialmente, em 20 anos, a demanda de retirada para criação de tilápia passa de 0,49 para 0,62 m^3/s. Na perspectiva de mais crescimento, essa demanda pode chegar a 0,68 m^3/s, ou mesmo crescer em ritmo menor, chegando a 0,59 m^3/s com a perspectiva de menos crescimento
- ✓ **Mineração**, sendo a análise realizada para grupos de substância mineral, com base nas fases mais avançadas de expansão da atividade, segundo os registros de ANM. Foi mapeado um total de 2,0 mil km^2 de novas áreas tendenciais ou ainda 16,2 mil km^2 em resposta às perspectivas de maior crescimento econômico. Na perspectiva tendencial, em 20 anos a demanda de retirada passa de 3,11 para 3,37 m^3/s; já na perspectiva de forte crescimento econômico, a demanda pode chegar a 4,24 m^3/s. A adoção em massa do estado da arte na eficiência hídrica permite reduzir a pressão dessa demanda, que pode ser, respectivamente, de 3,32 m^3/s e 4,02 m^3/s.
- ✓ **Indústria**, sendo a análise foi realizada para grupos de atividades industriais (beneficiamento de minérios; siderurgia; beneficiamento de minerais não metálicos; papel e celulose; cimenteira; têxtil; mecânica; agroindústrias - laticínio, abatedouro, curtume e outros) que representam, atualmente, mais do que 90% da demanda de retirada do setor. Tendencialmente, em 20 anos a demanda de retirada passa de 12,48 para 13,70 m^3/s, e com a perspectiva de mais crescimento econômico, pode chegar a 14,98 m^3/s. A adoção em massa do estado da arte na eficiência hídrica permite reduzir a pressão dessa demanda, que pode ser, respectivamente, de 11,38 m^3/s e 12,44 m^3/s.
- ✓ **Geração de Energia Termoelétrica,** mediante a identificação de empreendimentos com perspectivas de serem instalados na bacia. Tendencialmente, a termoeletricidade pode passar de uma demanda de 0,02 para 0,03 m^3/s em 20 anos, bastante concentrada no município capixaba de Linhares.

3.6.3 Modificações no Uso e Ocupação do Solo

As modificações no uso e ocupação do solo trazem rebatimentos para as demandas hídricas qualitativas, uma vez que interferem na geração de cargas poluidoras difusas. Ademais remetem-se diretamente à semente de futuro "Demandas socioambientais por melhorias na distribuição de renda e na proteção ambiental".

Algumas atividades econômicas podem ser limitadas espacialmente devido às restrições físicas para sua expansão. Podem, ainda, estar sujeitas a imposições de gestão, como o favorecimento de ocupação de solos degradados. As modificações articularam, ao nível de ottobacia, a expansão das áreas urbanas; áreas de vegetação nativa; áreas de pastagem (com diferentes níveis de degradação); áreas de mineração; áreas de silvicultura; áreas de agricultura; e áreas de pastagem.

São estabelecidas três ordens de prioridade para a ocupação de áreas com as novas atividades cenarizadas, compondo assim perspectivas endógenas do uso do solo, quais sejam:

- ✓ *Business as usual* (BAU) – continuação das tendências passadas de ocupação de áreas de vegetação nativa ao invés de substituição de usos;
- ✓ Gestão moderada – a expansão das atividades econômicas se dá, prioritariamente, na substituição das pastagens com alto nível de degradação; e
- ✓ Gestão intensa – a expansão das atividades econômicas se dá, prioritariamente, na substituição das pastagens com alto nível de degradação e em uma terça-parte das pastagens com nível de degradação moderada.

Comparando-se apenas a perspectiva exógena Tendencial contra as perspectivas de gestão, tem-se no BAU que a perda de vegetação nativa pode chegar a 15%, enquanto na de Gestão moderada, a perda é reduzida para 7,5%.

Já uma ocupação prioritária sobre áreas de pastagem degradada e moderadamente degradada pode render a acomodação das atividades econômicas e ainda "liberar" áreas para recuperação da vegetação nativa, que se incrementaria em 11,3%. Mesmo sob Gestão intensa, a fração não atendida das demandas por novas áreas ocupadas pelos usos econômicos (silvicultura, agricultura e pastagem) é marginal.

3.6.4 Quadro-Resumo da Construção dos Cenários

O Quadro 3.114 resume o processo adotado para construção dos cenários tendencial e alternativos para a revisão do PIRH Doce e Enquadramento.

QUADRO 3.114 – QUADRO-RESUMO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DOS CENÁRIOS TENDENCIAL E ALTERNATIVOS DA REVISÃO DO PIRH DOCE E ENQUADRAMENTO

Setor Usuário	Variaveis	Perspectiva Exógena			Perspectiva Endógena		
		Tendencial	Mais Crescimento	Menos Crescimento	Business as Usual (BAU)	Gestão Moderada	Gestão Intensa
Abastecimento Urbano	Demografia	Manutenção das tendências passadas	Projeções refletem a manutenção dos graus mais altos de urbanização observados em cada município entre 2000 e 2020	Projeções refletem a manutenção dos graus mais baixos de urbanização observados em cada município entre 2000 e 2020	-	-	-
	Perdas na rede de distribuição	-	-	-	Manutenção dos índices atuais de perdas na distribuição	Atingimento da meta atual do Plansab (29% de perdas em 2033)	Redução das perdas de acordo com a matriz de avaliação da IWA
	Uso percapita	-	-	-	Manutenção da taxa de crescimento dos 10 últimos anos	Redução no crescimento do uso per capita equivalente a 3,75% até 2027, seguido de 7,5% em 2032 e de 10% até 2042	Redução no crescimento do uso per capita equivalente a 7,5% até 2027, seguido de 15% em 2032 e de 20% até 2042
Abastecimento Rural	Demografia	Manutenção das tendências passadas	Projeções refletem a manutenção dos graus mais altos de urbanização observados em cada município entre 2000 e 2020	Projeções refletem a manutenção dos graus mais baixos de urbanização observados em cada município entre 2000 e 2020	-	-	-
	Uso percapita	-	-	-	Manutenção do coeficiente de retirada rural em 125 L/hab.dia em Minas Gerais e a convergência para este coeficiente, até 2032, no Espírito Santo	Crescimento do uso per capita para 132 L/hab.dia	Uso per capita passa a ser metade daquelas entre as perspectivas BAU e Gestão moderada
Esgotamento Sanitário	Níveis de Coleta e Tratamento de Esgotos	-	-	-	Manutenção das tendências passadas com incremento de 2,2% ao ano no índice de coleta com tratamento e fossa séptica/sumidouro	Incremento de 4,3% ao ano no índice de coleta com tratamento e fossa séptica/sumidouro, com o dobro dessa taxa para os municípios da Área Ambiental 2 do TTAC	Cumprimento da meta de atendimento prescrita pela Lei nº 14.026/2020 para 2033
	Eficiência no abatimento de cargas nas ETEs	-	-	-	Percentual de remoção mínimo indicado pelo Atlas Esgotos	Percentual de remoção médio entre as faixas indicadas pelo Atlas Esgotos (70% para a indicação "entre 60 e 80%" e 85% para a indicação "acima de 80%")	Percentual de remoção máximo entre as faixas indicadas pelo Atlas Esgotos (limitado a 90% para a indicação "acima de 80%")
Agricultura	Níveis de plantio	Manutenção de níveis históricos de plantio	Aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite superior das projeções MAPA para a área plantada	Aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite inferior das projeções MAPA para a área plantada	-	-	-
	Eficiência do manejo da irrigação	Perspectivas de crescimento tendencial trazidas pelo Atlas Irrigação para 2030 e 2040 com ocupação mínima de 75% das áreas de potencial efetivo e máximo sendo a área potencial total	Perspectivas de crescimento acelerado trazidas pelo Atlas Irrigação com ocupação mínima de 75% das áreas de potencial efetivo e máximo sendo a área potencial total, com tolerância de 15%	-	Grau de eficiência no manejo da irrigação equivalente a 65%	Grau de eficiência no manejo da irrigação equivalente a 80%	Grau de eficiência no manejo da irrigação equivalente a 90%
	Crescimento da silvicultura	Manutenção de níveis históricos de plantio	Aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite superior das projeções MAPA para a área plantada	Aplicação da taxa anualizada correspondente ao limite inferior das projeções MAPA para a área plantada	-	-	-
Criação Animal	Produtividade prevista	Manutenção de níveis históricos de rebanhos	Crescimento para os próximos dez anos se dá pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima	Variações nos rebanhos se dão, para os próximos dez anos, pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, subtraída da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima	Continuidade no ritmo de adensamento dos rebanhos, mediante a taxa tendencial de 0,7% ao ano	Continuidade no ritmo de adensamento dos rebanhos, mediante a mínima taxa anualizada verificada em cada uma das bacias afluentes	Continuidade no ritmo de adensamento dos rebanhos, mediante a máxima taxa anualizada verificada em cada uma das bacias afluentes
Aquicultura	Produção prevista	Manutenção de níveis históricos de produção	Crescimento da produção pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima	Crescimento da produção pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, subtraída da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima	-	-	-
Mineração	Eficiência no uso da água	Manutenção de níveis históricos de produção	Crescimento para os próximos dez anos pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima	-	Utilização dos coeficientes revistos de retirada	Redução de 7,5% nos coeficientes revistos de retirada	Redução de 20% nos coeficientes revistos de retirada
Indústria	Eficiência no uso da água	Manutenção de níveis históricos de produção	Crescimento para os próximos dez anos pela taxa tendencial dos últimos 10 anos, acrescida da variação absoluta entre as taxas máxima e mínima	-	Utilização da razão 1:1 entre o crescimento da produção e a demanda hídrica	Redução equivalente a 35% da demanda hídrica na perspectiva de gestão intensa	Redução equivalente a otimização até 2032 e equivalente ao potencial em 2042
Geração de Energia Termoelétrica	Ampliação do parque instalado no ES	5 Novos empreendimentos em Linhares	5 Novos empreendimentos em Linhares	-	-	-	-

Elaboração ENGECORPS, 2022

4. REBATIMENTOS DOS CENÁRIOS ALTERNATIVOS NAS DEMANDAS HÍDRICAS E CARGAS POLUENTES FUTURAS

Os critérios adotados para construção dos cenários futuros para a bacia do rio Doce se rebatem em demandas hídricas quantitativas, ou seja, demandas de retirada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para suprimento de usos consuntivos e, também, de usos não consuntivos, bem como em balanços hídricos futuros. Também se rebatem em cargas poluentes futuras.

Esses temas são abordados em continuação.

4.1 DEMANDAS HÍDRICAS CONSUNTIVAS FUTURAS

A metodologia apresentada no Capítulo 3 foi aplicada, respectivamente, para cada finalidade de uso dos recursos hídricos considerado na atualização do PIRH Doce, e seus resultados foram especializados nas ottobacias da base BHO 2017 5K considerando critérios pertinentes para cada tipo de uso.

No caso das demandas para o abastecimento urbano, a parcela superficial das demandas foi alocada de acordo com os pontos de captação superficiais existentes e futuros identificados no âmbito do Atlas Águas (op. cit.). A parcela subterrânea foi alocada no ponto da sede urbana dos municípios.

Conforme já exposto no item 3.3 do Capítulo 3, um dos componentes das demandas hídricas advém da categoria de usuários denominada "outros", cuja vazão demandada foi obtida via cadastro de usuários junto aos órgãos responsáveis. Esse perfil de uso demanda uma vazão nada desprezível de 2,11 m^3/s (3,2% da vazão total), maior, inclusive, que a dos usos de geração de energia termelétrica e de aquicultura. Não obstante a relevância, torna-se difícil estimar as perspectivas para tais usos que não têm, por definição, uma associação clara às atividades econômicas subjacentes. Trata-se, no mais das vezes, de interferências de captação para consumo humano associadas a condomínios, clubes, áreas de lazer, indústrias ou mesmo a propriedades rurais afastados dos centros urbanos e da possibilidade de se conectarem às redes de abastecimento. Dessa forma, os cenários mantêm tais demandas hídricas constantes.

Os resultados da espacialização das demandas calculadas de acordo com as diversas perspectivas endógenas e exógenas construídas e descritas no Capítulo 3, sintetizadas nos Quadros 4.1 a 4.15, agregados por bacia afluente e total da bacia do rio Doce.

Vale ressaltar que as combinações de perspectivas eleitas como as mais representativas, com resultados de demandas hídricas consuntivas constantes dos referidos quadros foram descritas e justificadas no item 3.1.3 do Capítulo 3.

QUADRO 4.1 – RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 1 (ENDÓGENO BAU, EXÓGENO TENDENCIAL) PARA 2027 (M^3/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,49	0,25	0,85	1,13	0,67	0,18	0,65	0,00	0,38	5,61
DO2	2,32	0,05	0,10	0,84	2,09	0,03	4,66	1,76	0,46	12,32
DO3	0,45	0,07	0,30	0,77	0,20	0,05	2,42	0,00	0,17	4,42
DO4	1,19	0,17	0,91	2,69	0,15	0,05	1,26	0,00	0,45	6,86
DO5	0,71	0,08	0,30	1,63	0,03	0,10	0,05	0,00	0,33	3,24
DO6	0,59	0,15	0,34	2,20	0,05	0,10	0,26	0,00	0,25	3,92
UA7 I	0,08	0,04	0,06	1,69	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	1,92
UA7 II	0,04	0,02	0,02	1,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,26
UA7 III	0,02	0,02	0,05	2,73	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	2,92
UA8	1,15	0,08	0,12	16,10	0,02	0,04	0,06	0,00	0,03	17,59
UA9	0,25	0,05	0,08	12,09	0,00	0,01	3,47	0,02	0,01	15,97
Total	***8,30***	***0,97***	***3,11***	***43,03***	***3,23***	***0,61***	***12,88***	***1,78***	***2,11***	***76,03***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.2 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 1 (ENDÓGENO BAU, EXÓGENO TENDENCIAL) PARA 2032 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,60	0,24	0,92	1,40	0,68	0,18	0,69	0,00	0,38	6,09
DO2	2,51	0,05	0,11	1,03	2,09	0,03	4,91	1,76	0,46	12,96
DO3	0,53	0,07	0,32	0,95	0,21	0,05	2,49	0,00	0,17	4,79
DO4	1,37	0,16	0,97	3,32	0,25	0,05	1,28	0,00	0,45	7,84
DO5	0,80	0,08	0,32	2,02	0,03	0,10	0,08	0,00	0,33	3,76
DO6	0,63	0,14	0,36	2,71	0,05	0,10	0,27	0,00	0,25	4,52
UA7 I	0,09	0,04	0,06	2,69	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	2,93
UA7 II	0,05	0,02	0,02	1,36	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	1,47
UA7 III	0,03	0,03	0,05	4,25	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	4,45
UA8	1,41	0,09	0,12	21,45	0,03	0,04	0,06	0,00	0,03	23,24
UA9	0,27	0,05	0,08	15,30	0,00	0,01	3,47	0,02	0,01	19,21
Total	***9,29***	***0,95***	***3,32***	***56,48***	***3,36***	***0,62***	***13,33***	***1,78***	***2,11***	***91,24***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.3 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 1 (ENDÓGENO BAU, EXÓGENO TENDENCIAL) PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,65	0,21	1,00	1,75	0,68	0,18	0,73	0,00	0,38	6,57
DO2	2,53	0,04	0,12	1,29	2,09	0,03	5,12	1,76	0,46	13,45
DO3	0,54	0,06	0,33	1,19	0,22	0,05	2,56	0,00	0,17	5,12
DO4	1,40	0,14	1,01	4,15	0,25	0,05	1,30	0,00	0,45	8,75
DO5	0,83	0,07	0,33	2,53	0,03	0,10	0,10	0,00	0,33	4,31
DO6	0,65	0,13	0,39	3,40	0,05	0,10	0,29	0,00	0,25	5,25
UA7 I	0,10	0,04	0,06	2,91	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	3,16
UA7 II	0,06	0,02	0,02	1,78	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	1,90
UA7 III	0,03	0,03	0,05	4,51	0,03	0,03	0,04	0,00	0,01	4,71
UA8	1,52	0,09	0,12	23,90	0,03	0,04	0,07	0,00	0,03	25,81
UA9	0,29	0,05	0,08	17,61	0,00	0,01	3,47	0,02	0,01	21,54
Total	***9,59***	***0,87***	***3,51***	***65,02***	***3,37***	***0,62***	***13,70***	***1,79***	***2,11***	***100,58***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.4 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 3 (ENDÓGENO GESTÃO INTENSA, EXÓGENO TENDENCIAL) PARA 2032 (M^3/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,14	0,25	0,91	1,26	0,67	0,18	0,63	0,00	0,38	5,41
DO2	1,62	0,05	0,11	0,92	2,09	0,03	4,44	1,76	0,46	11,49
DO3	0,40	0,07	0,31	0,85	0,21	0,05	2,36	0,00	0,17	4,43
DO4	0,95	0,17	0,97	2,97	0,21	0,05	1,24	0,00	0,45	7,01
DO5	0,59	0,08	0,31	1,81	0,03	0,10	0,03	0,00	0,33	3,28
DO6	0,53	0,15	0,36	2,43	0,05	0,10	0,24	0,00	0,25	4,10
UA7 I	0,07	0,04	0,06	2,32	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	2,54
UA7 II	0,04	0,02	0,02	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,37
UA7 III	0,02	0,03	0,05	3,68	0,03	0,03	0,03	0,00	0,01	3,87
UA8	1,02	0,10	0,12	19,28	0,02	0,04	0,04	0,00	0,03	20,65
UA9	0,13	0,05	0,08	13,93	0,00	0,01	3,46	0,02	0,01	17,69
Total	***6,50***	***1,02***	***3,29***	***50,72***	***3,31***	***0,62***	***12,49***	***1,78***	***2,11***	***81,84***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.5 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 4 (ENDÓGENO BAU, EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO) PARA 2032 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,68	0,19	1,07	1,84	0,69	0,19	0,78	0,00	0,38	6,82
DO2	2,53	0,04	0,13	1,44	2,18	0,03	5,41	1,76	0,46	13,98
DO3	0,55	0,06	0,36	1,18	0,39	0,05	2,65	0,00	0,17	5,41
DO4	1,42	0,12	1,05	3,98	0,62	0,05	1,34	0,00	0,45	9,03
DO5	0,86	0,05	0,34	2,28	0,03	0,10	0,13	0,00	0,33	4,13
DO6	0,68	0,12	0,42	3,63	0,05	0,10	0,31	0,00	0,25	5,55
UA7 I	0,09	0,03	0,07	3,21	0,00	0,04	0,03	0,00	0,01	3,48
UA7 II	0,05	0,02	0,02	1,54	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	1,66
UA7 III	0,03	0,02	0,06	3,74	0,03	0,04	0,04	0,00	0,01	3,96
UA8	1,49	0,07	0,14	23,07	0,05	0,05	0,09	0,00	0,03	24,98
UA9	0,29	0,03	0,08	14,37	0,00	0,02	3,48	0,02	0,01	18,31
Total	***9,65***	***0,75***	***3,73***	***60,29***	***4,04***	***0,67***	***14,27***	***1,79***	***2,11***	***97,30***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.6 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 5 (ENDÓGENO GESTÃO MODERADA, EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO) PARA 2032 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,37	0,22	1,07	1,67	0,69	0,19	0,76	0,00	0,38	6,34
DO2	1,77	0,04	0,13	1,31	2,18	0,03	5,23	1,76	0,46	12,92
DO3	0,47	0,06	0,36	1,07	0,38	0,05	2,60	0,00	0,17	5,16
DO4	1,11	0,14	1,05	3,65	0,58	0,05	1,32	0,00	0,45	8,36
DO5	0,74	0,06	0,34	2,09	0,03	0,10	0,11	0,00	0,33	3,80
DO6	0,62	0,13	0,41	3,33	0,05	0,10	0,30	0,00	0,25	5,19
UA7 I	0,08	0,04	0,07	2,90	0,00	0,04	0,02	0,00	0,01	3,16
UA7 II	0,04	0,02	0,02	1,47	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	1,58
UA7 III	0,02	0,02	0,06	3,39	0,03	0,04	0,04	0,00	0,01	3,59
UA8	1,23	0,08	0,13	21,41	0,04	0,05	0,08	0,00	0,03	23,06
UA9	0,16	0,04	0,08	13,50	0,00	0,02	3,48	0,02	0,01	17,30
Total	***7,61***	***0,85***	***3,72***	***55,77***	***3,98***	***0,67***	***13,95***	***1,79***	***2,11***	***90,45***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.7 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 6 (ENDÓGENO GESTÃO INTENSA, EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO) PARA 2032 (M^3/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,19	0,20	1,06	1,58	0,69	0,19	0,71	0,00	0,38	6,01
DO2	1,63	0,04	0,12	1,25	2,16	0,03	4,91	1,76	0,46	12,37
DO3	0,41	0,06	0,36	1,01	0,35	0,05	2,51	0,00	0,17	4,92
DO4	0,99	0,13	1,05	3,49	0,51	0,05	1,29	0,00	0,45	7,97
DO5	0,63	0,06	0,34	2,00	0,03	0,10	0,08	0,00	0,33	3,57
DO6	0,56	0,12	0,41	3,18	0,05	0,10	0,28	0,00	0,25	4,95
UA7 I	0,07	0,04	0,07	2,74	0,00	0,04	0,02	0,00	0,01	2,98
UA7 II	0,04	0,02	0,02	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,54
UA7 III	0,02	0,02	0,05	3,21	0,03	0,04	0,03	0,00	0,01	3,41
UA8	1,07	0,08	0,13	20,61	0,04	0,05	0,06	0,00	0,03	22,07
UA9	0,14	0,04	0,08	13,08	0,00	0,02	3,47	0,02	0,01	16,86
Total	***6,76***	***0,80***	***3,70***	***53,60***	***3,86***	***0,67***	***13,36***	***1,79***	***2,11***	***86,65***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.8 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 8 (ENDÓGENO GESTÃO MODERADA, EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO) PARA 2032 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,23	0,33	0,70	1,30	0,67	0,17	0,67	0,00	0,38	5,45
DO2	1,74	0,07	0,06	0,96	2,09	0,03	4,75	1,76	0,46	11,92
DO3	0,43	0,10	0,28	0,88	0,21	0,05	2,45	0,00	0,17	4,56
DO4	1,02	0,22	0,67	3,08	0,23	0,05	1,27	0,00	0,45	7,00
DO5	0,66	0,10	0,23	1,88	0,03	0,10	0,06	0,00	0,33	3,39
DO6	0,54	0,19	0,23	2,52	0,05	0,10	0,26	0,00	0,25	4,14
UA7 I	0,06	0,06	0,04	2,44	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	2,65
UA7 II	0,03	0,02	0,01	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,39
UA7 III	0,02	0,04	0,04	3,86	0,03	0,02	0,03	0,00	0,01	4,05
UA8	1,13	0,12	0,10	19,99	0,03	0,03	0,06	0,00	0,03	21,48
UA9	0,14	0,07	0,08	14,37	0,00	0,01	3,46	0,02	0,01	18,15
Total	***7,00***	***1,31***	***2,44***	***52,59***	***3,34***	***0,58***	***13,04***	***1,78***	***2,11***	***84,19***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.9 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO DA COMBINAÇÃO 9 (ENDÓGENO GESTÃO INTENSA, EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO) PARA 2032 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,07	0,31	0,69	1,26	0,67	0,17	0,63	0,00	0,38	5,18
DO2	1,60	0,06	0,06	0,92	2,09	0,03	4,44	1,76	0,46	11,44
DO3	0,38	0,09	0,28	0,85	0,21	0,05	2,36	0,00	0,17	4,38
DO4	0,91	0,20	0,67	2,97	0,21	0,05	1,24	0,00	0,45	6,71
DO5	0,57	0,10	0,23	1,81	0,03	0,10	0,03	0,00	0,33	3,19
DO6	0,49	0,18	0,23	2,43	0,05	0,10	0,24	0,00	0,25	3,97
UA7 I	0,05	0,05	0,04	2,32	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	2,51
UA7 II	0,03	0,02	0,01	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,36
UA7 III	0,02	0,03	0,04	3,68	0,03	0,02	0,03	0,00	0,01	3,85
UA8	0,98	0,12	0,10	19,28	0,02	0,03	0,04	0,00	0,03	20,61
UA9	0,12	0,06	0,08	13,93	0,00	0,01	3,46	0,02	0,01	17,69
Total	***6,23***	***1,23***	***2,43***	***50,72***	***3,31***	***0,58***	***12,49***	***1,78***	***2,11***	***80,89***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.10 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO ENDÓGENO BAU, EXÓGENO TENDENCIAL E DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO CORRESPONDENTE À MUDANÇA CLIMÁTICA NO CENÁRIO CRÍTICO PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,65	0,21	1,00	1,99	0,68	0,18	0,73	0,00	0,38	6,80
DO2	2,53	0,04	0,12	1,53	2,09	0,03	5,12	1,76	0,46	13,68
DO3	0,54	0,06	0,33	1,38	0,22	0,05	2,56	0,00	0,17	5,32
DO4	1,40	0,14	1,01	5,02	0,25	0,05	1,30	0,00	0,45	9,62
DO5	0,83	0,07	0,33	2,97	0,03	0,10	0,10	0,00	0,33	4,75
DO6	0,65	0,13	0,39	4,18	0,05	0,10	0,29	0,00	0,25	6,04
UA7 I	0,10	0,04	0,06	3,67	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	3,92
UA7 II	0,06	0,02	0,02	2,37	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	2,49
UA7 III	0,03	0,03	0,05	5,62	0,03	0,03	0,04	0,00	0,01	5,83
UA8	1,52	0,09	0,12	30,66	0,03	0,04	0,07	0,00	0,03	32,57
UA9	0,29	0,05	0,08	22,78	0,00	0,01	3,47	0,02	0,01	26,71
Total	***9,59***	***0,87***	***3,51***	***82,16***	***3,37***	***0,62***	***13,70***	***1,79***	***2,11***	***117,73***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.11 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO ENDÓGENO BAU, EXÓGENO TENDENCIAL E DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO CORRESPONDENTE À MUDANÇA CLIMÁTICA NO CENÁRIO INTERMEDIÁRIO PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,65	0,21	1,00	1,70	0,68	0,18	0,73	0,00	0,38	6,52
DO2	2,53	0,04	0,12	1,32	2,09	0,03	5,12	1,76	0,46	13,47
DO3	0,54	0,06	0,33	1,24	0,22	0,05	2,56	0,00	0,17	5,18
DO4	1,40	0,14	1,01	4,24	0,25	0,05	1,30	0,00	0,45	8,84
DO5	0,83	0,07	0,33	2,51	0,03	0,10	0,10	0,00	0,33	4,29
DO6	0,65	0,13	0,39	3,39	0,05	0,10	0,29	0,00	0,25	5,25
UA7 I	0,10	0,04	0,06	3,13	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01	3,39
UA7 II	0,06	0,02	0,02	2,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	2,12
UA7 III	0,03	0,03	0,05	5,00	0,03	0,03	0,04	0,00	0,01	5,21
UA8	1,52	0,09	0,12	26,96	0,03	0,04	0,07	0,00	0,03	28,86
UA9	0,29	0,05	0,08	20,24	0,00	0,01	3,47	0,02	0,01	24,17
Total	***9,59***	***0,87***	***3,51***	***71,75***	***3,37***	***0,62***	***13,70***	***1,79***	***2,11***	***107,32***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.12 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO ENDÓGENO GESTÃO INTENSA, EXÓGENO TENDENCIAL E DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO CORRESPONDENTE À MUDANÇA CLIMÁTICA NO CENÁRIO CRÍTICO PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,07	0,23	0,99	1,74	0,68	0,18	0,55	0,00	0,38	5,80
DO2	1,45	0,05	0,12	1,35	2,09	0,03	3,80	1,76	0,46	11,10
DO3	0,37	0,07	0,33	1,22	0,21	0,05	2,21	0,00	0,17	4,62
DO4	0,85	0,15	1,01	4,44	0,21	0,05	1,17	0,00	0,45	8,34
DO5	0,53	0,07	0,32	2,61	0,03	0,10	0,00	0,00	0,33	3,95
DO6	0,52	0,14	0,39	3,71	0,05	0,10	0,22	0,00	0,25	5,37
UA7 I	0,07	0,04	0,06	3,24	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	3,46
UA7 II	0,04	0,02	0,02	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,32
UA7 III	0,02	0,03	0,05	4,99	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	5,17
UA8	0,97	0,09	0,12	28,10	0,03	0,04	0,02	0,00	0,03	29,41
UA9	0,13	0,05	0,08	21,15	0,00	0,01	3,45	0,02	0,01	24,90
Total	***6,02***	***0,93***	***3,49***	***74,78***	***3,32***	***0,62***	***11,38***	***1,79***	***2,11***	***104,44***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.13 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO ENDÓGENO GESTÃO INTENSA, EXÓGENO TENDENCIAL E DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO CORRESPONDENTE À MUDANÇA CLIMÁTICA NO CENÁRIO INTERMEDIÁRIO PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,07	0,23	0,99	1,46	0,68	0,18	0,55	0,00	0,38	5,52
DO2	1,45	0,05	0,12	1,14	2,09	0,03	3,80	1,76	0,46	10,89
DO3	0,37	0,07	0,33	1,08	0,21	0,05	2,21	0,00	0,17	4,48
DO4	0,85	0,15	1,01	3,66	0,21	0,05	1,17	0,00	0,45	7,56
DO5	0,53	0,07	0,32	2,16	0,03	0,10	-0,06	0,00	0,33	3,50
DO6	0,52	0,14	0,39	2,92	0,05	0,10	0,22	0,00	0,25	4,58
UA7 I	0,07	0,04	0,06	2,71	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	2,92
UA7 II	0,04	0,02	0,02	1,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,96
UA7 III	0,02	0,03	0,05	4,37	0,03	0,03	0,02	0,00	0,01	4,55
UA8	0,97	0,09	0,12	24,40	0,03	0,04	0,02	0,00	0,03	25,70
UA9	0,13	0,05	0,08	18,61	0,00	0,01	3,45	0,02	0,01	22,36
Total	***6,02***	***0,93***	***3,49***	***64,37***	***3,32***	***0,62***	***11,38***	***1,79***	***2,11***	***94,03***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.14 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO ENDÓGENO BAU, EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO E DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO CORRESPONDENTE À MUDANÇA CLIMÁTICA NO CENÁRIO CRÍTICO PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,73	0,16	1,15	2,53	0,70	0,19	0,85	0,00	0,38	7,69
DO2	2,55	0,03	0,14	2,08	2,22	0,03	5,79	1,76	0,46	15,07
DO3	0,57	0,05	0,39	1,67	0,48	0,05	2,78	0,00	0,17	6,15
DO4	1,45	0,11	1,12	5,98	0,66	0,05	1,37	0,00	0,45	11,20
DO5	0,88	0,04	0,36	3,36	0,03	0,10	0,17	0,00	0,33	5,27
DO6	0,70	0,10	0,45	5,10	0,06	0,10	0,34	0,00	0,25	7,09
UA7 I	0,10	0,03	0,07	4,29	0,00	0,04	0,03	0,00	0,01	4,58
UA7 II	0,06	0,02	0,02	2,61	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	2,74
UA7 III	0,03	0,02	0,06	4,91	0,03	0,04	0,04	0,00	0,01	5,13
UA8	1,58	0,07	0,14	32,40	0,06	0,05	0,10	0,00	0,03	34,43
UA9	0,33	0,03	0,08	21,72	0,00	0,02	3,49	0,03	0,01	25,71
Total	***9,97***	***0,66***	***3,98***	***86,64***	***4,24***	***0,68***	***14,98***	***1,79***	***2,11***	***125,05***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.15 - RESUMO DAS DEMANDAS DO CENÁRIO ENDÓGENO GESTÃO INTENSA, EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO E DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO CORRESPONDENTE À MUDANÇA CLIMÁTICA NO CENÁRIO CRÍTICO PARA 2042 (M³/S)

Bacia Afluente	*Abastecimento Urbano*	*Abastecimento Rural*	*Dessedentação Animal*	*Irrigação*	*Mineração*	*Aquicultura*	*Indústria*	*Termelétrica*	*Outros*	*Total*
DO1	1,12	0,17	1,14	2,15	0,70	0,19	0,64	0,00	0,38	6,50
DO2	1,46	0,04	0,13	1,78	2,19	0,03	4,35	1,76	0,46	12,21
DO3	0,38	0,05	0,39	1,42	0,42	0,05	2,39	0,00	0,17	5,27
DO4	0,89	0,11	1,12	5,18	0,54	0,05	1,23	0,00	0,45	9,58
DO5	0,57	0,05	0,36	2,89	0,03	0,10	0,00	0,00	0,33	4,34
DO6	0,55	0,11	0,44	4,46	0,06	0,10	0,27	0,00	0,25	6,23
UA7 I	0,08	0,03	0,07	3,74	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01	3,99
UA7 II	0,04	0,02	0,02	2,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,54
UA7 III	0,02	0,02	0,06	4,36	0,03	0,04	0,03	0,00	0,01	4,56
UA8	1,01	0,07	0,14	29,52	0,05	0,05	0,05	0,00	0,03	30,92
UA9	0,15	0,03	0,08	20,22	0,00	0,02	3,46	0,03	0,01	24,00
Total	***6,27***	***0,70***	***3,95***	***78,17***	***4,02***	***0,68***	***12,44***	***1,79***	***2,11***	***110,13***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

A seguir, na Figura 4.1, apresenta-se um gráfico comparativo entre os totais das demandas na bacia do rio Doce nos cenários considerados.

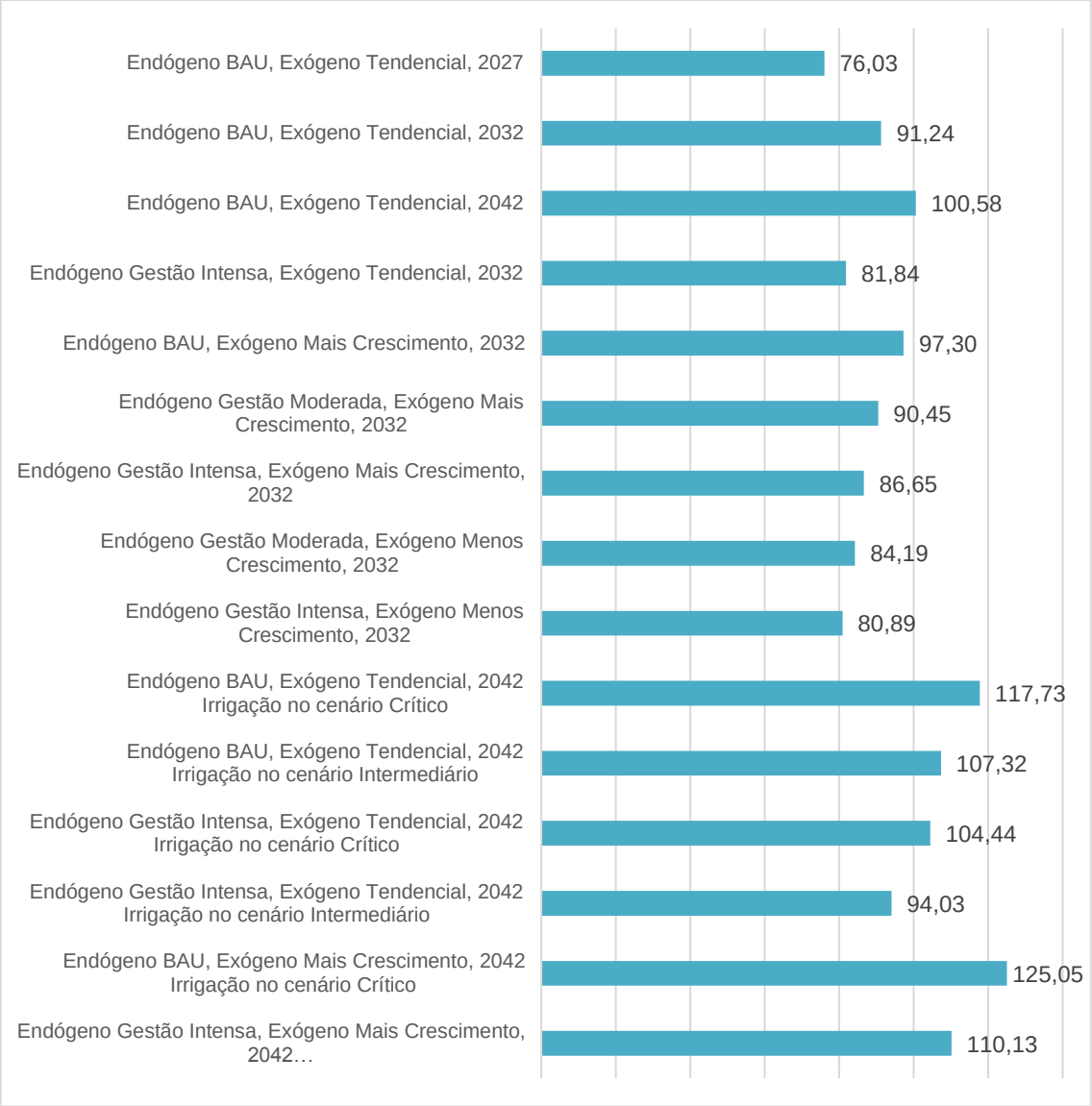


Figura 4.1 – Totais das Demandas Hídricas Consuntivas por Cenário, na Bacia do Rio Doce (m³/s)

Excluindo-se os cenários com mudanças climáticas, tem-se, para o horizonte de planejamento de médio prazo (ano de 2032), um destaque para os cenários Endógeno BAU e Exógeno de Maior Crescimento, que apresenta a maior somatória de demandas, confirmando os critérios e pressupostos adotados para construção desse cenário, que consideram as tendências de crescimento das demandas, impulsionadas pelo maior crescimento da população e das atividades econômicas, acompanhadas de medidas de gestão já em curso, sem a previsão de aumento nos esforços de redução das demandas via eficiência.

Ainda comparando os cenários para o horizonte de 2032, verifica-se que o contrário acontece para o cenário Endógeno Gestão Intensa e Exógeno Menos Crescimento, quando o maior controle e mudanças da forma do uso dos recursos hídricos, obtidos a partir de uma gestão mais

intensa, combinados com uma menor pressão sobre eles resulta em uma redução no total de demandas da bacia, como seria previsto.

Observa-se nas três primeiras barras da Figura 4.1 a expectativa que pode ser tida como "linha de base" para a bacia do rio Doce, pois contrasta as perspectivas tendenciais e BAU - *Business as usual* (exógena e endógena, respectivamente). Essa **combinação 1** pode ser tida como **cenário tendencial**, pois demonstra a continuação do *status quo*, ou seja, a projeção das tendências observadas no passado para cada setor usuário, de forma isenta de respostas mais intensas de gestão ou mesmo de perspectivas de flutuações econômicas que podem fazer com que as demandas variem para mais ou para menos.

No cenário tendencial, então, tem-se uma demanda crescente ao longo dos três intervalos temporais cenarizados: partindo dos atuais 66,14 m³/s, as retiradas crescem para 76,03 m³/s em 2027, crescendo 15%. Até 2032, em dez anos, prevê-se um acréscimo de 38%, computando-se demanda de 91,24 m³/s; por fim, em uma perspectiva de vinte anos, as retiradas podem chegar a 100,58 m³/s, um incremento de 52% em relação à atual.

Torna-se interessante comparar os resultados atuais com aqueles prescritos pelo PIRH Doce 2010: no ano base do Plano em sua versão inicial, 2006, a estimativa total de retirada era de 29,73 m³/s. Nas perspectivas de longo prazo, essa demanda cresceria em 55% para uma vazão de 45,96 m³/s em 2030. Tem-se um subdimensionamento do que de fato ocorreu, pois já na cena atual (2020), ou seja, dez anos antes do prazo final de projeção do PIRH Doce 2010, a demanda estimada é 122% maior.

As maiores projeções para a demanda total de recursos hídricos do Plano de 2010 eram no chamado cenário de desenvolvimento, no qual foram consideradas as maiores elevações de demanda sem alteração no cenário de sua gestão. Neste cenário, a retirada projetada para 2030 elevar-se-ia da então linha de base (29,73 m³/s) para 51,47 m³/s, correspondente a um crescimento de 73%.

Estariam as projeções tendenciais de demanda do atual Plano também subdimensionadas? Eis um risco que certamente se corre - afinal, o futuro é uma construção social que a ninguém pertence. À presente versão do PIRH Doce, cabe aprender com as prospecções pretéritas para esmiuçar as perspectivas setoriais e apontar os caminhos tendencial, de mais e de menos crescimento como balizadores de futuro, não como previsões. Para além da cuidadosa manipulação dos dados que conformam as trajetórias prospectivas, os gestores devem se apoiar nos instrumentos de monitoramento e acompanhamento do Plano para adequar as estratégias em resposta aos eventuais desvios que as projeções atuais possam vir a guardar.

Ademais, a evolução temporal das demandas em cenário tendencial demonstra que as pressões sobre os recursos hídricos na bacia do rio Doce tendem a continuar a se escalar, muito embora não ocorram de forma igualmente distribuída no território.

Conforme os apontamentos do PIRH Doce em sua versão inicial (2010), as bacias afluentes da UA9, devido à atividade agrícola e industrial, e DO2, em função da atividade industrial e concentração urbana, concentravam as maiores demandas totais em 2006 (15% e 13%,

respectivamente), sendo projetado aumento de participação para 2030 (27% e 16%, respectivamente). As maiores taxas de crescimento da demanda projetada pelo Plano inicial, de 2006 até 2030, ocorriam nas bacias afluentes UA9 (179%) e UA8 (160%), no Espírito Santo, e DO1 (98%), em Minas Gerais. Já as taxas de crescimento negativo da retirada eram projetadas para as bacias afluentes UA7-II (-67%), DO4 (-36%), DO5 (-33%) e incremental DO1 (-33%).

Na cena atual (2020), a participação da UA9 continua sendo expressiva, com 20% do total, embora a UA8 a tenha superado como principal demandante dos recursos hídricos da bacia do rio Doce, com 22%, ambas apontando forte crescimento, tal como prognosticado pelo Plano em sua versão inicial. Quanto à DO2, sua participação relativa elevou-se para 18%, também em linha com as projeções. As demandas hídricas das demais bacias afluentes cresceram, embora em ritmos mais modestos que estas aqui comentadas.

Conforme o cenário tendencial desta revisão do Plano, em 2032 a participação relativa da UA9 nas demandas totais deve se manter no entorno de 20%, enquanto a da UA8 deve continuar a crescer acima das demais, vindo a compor 25% do total. Uma vez que a DO2 não cresce no mesmo compasso, sua participação relativa se reduz para 14%. Uma vez que a demanda total tende a crescer, essas modificações nas participações relativas apontam para taxas diferentes entre as localidades. Nota-se, inclusive, que a UA7 III deve crescer de forma significativa, passando de 3% no total para 5%.

As demais combinações apresentadas na Figura 4.1são correspondentes às visões alternativas, que contrastam as diversas mudanças endógenas e exógenas que podem ocorrer. As comparações entre as combinações permitem derivar conclusões que vão desde os estados de mundo que independem da gestão, ou seja, sobre os quais não se tem controle, quanto aqueles onde a gestão gera modificações desejadas. Seu contraste é aqui explorado.

Enquanto o cenário tendencial (combinação 1) traz uma demanda total de retirada de 91,24 m^3/s para daqui a dez anos (2032), a **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) apresenta uma redução expressiva de 10% (81,84 m^3/s, ou seja, uma vazão "economizada" de 9,4 m^3/s). Essa redução demonstra os efeitos possíveis de serem obtidos exclusivamente com a gestão intensa sobre as condições tendenciais.

Isolando os usos com os maiores percentuais de queda, ou seja, de efeitos da gestão, tem-se a irrigação (cuja demanda cairia de 56,48 para 50,72 m^3/s, ou -10%), o abastecimento humano (de 9,29 para 6,5 m^3/s, ou seja, -30%) e a indústria (de 13,33 para 12,49 m^3/s, ou seja, -6%). O uso de abastecimento humano no meio rural continua a crescer de forma absoluta (de 0,95 para 1,02 m^3/s), mas não representa vazão significativa.

A comparação do cenário tendencial com a **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento), por outro lado, permite identificar quais os efeitos de uma perspectiva isolada de maior crescimento das demandas - função de pressões exógenas econômicas. Tem-se, nessa combinação, uma vazão de 97,30 m^3/s, produzida sem modificação nos esforços atuais de gestão. O crescimento desse total retirado é de 7% em relação ao cenário tendencial de 2032 e um acréscimo em dez anos de 47% em relação à cena atual.

Os usos que mais crescem em relação à demanda de 2032 no cenário tendencial e em relação à cena atual (respectivamente), são: a mineração (20% e 30%), a dessedentação animal (12% e 29%), a aquicultura (8% e 38%), a indústria (7% e 14%), a irrigação (7% e 72%) e o abastecimento humano urbano (4% e 35%).

Frente a esta situação exógena de maior pressão sobre os recursos hídricos, onde há acréscimos de demanda de retirada oriundos das flutuações econômicas, quais os efeitos esperados da gestão dos recursos hídricos? Na **combinação 5** (endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), que inclui os esforços moderados de gestão, pode-se reduzir a demanda de maior crescimento em 7%, chegando em 90,45 m^3/s em 2032. Essa vazão é ligeiramente inferior à do cenário tendencial, o que demonstra que os efeitos da gestão, mesmo moderada, são significativos. As demandas mais sensíveis à perspectiva endógena de gestão são a de abastecimento humano e irrigação, respectivamente menores em 21% e 7% em relação à **combinação 4** e 18% e 1% menores em relação ao cenário tendencial.

Caso o cenário exógeno de maior crescimento das demandas seja contrastado com a gestão mais intensa dos recursos hídricos (**combinação 6** - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento), a demanda total cai para 86,65 m^3/s em 2032. Essa vazão é significativamente inferior à do cenário tendencial (-5%), o que demonstra que os efeitos da gestão são significativos e mais do que suficientes para contornar os efeitos de uma perspectiva exógena de forte crescimento econômico sobre as demandas.

Os setores usuários mais sensíveis à perspectiva endógena de gestão continuam sendo o de abastecimento humano e irrigação, respectivamente menores em 30% e 11% em relação à **combinação 4** e 27% e 5% menores em relação ao cenário tendencial. Outros setores também respondem à gestão intensa: notadamente a indústria e a mineração, cujas demandas são reduzidas, respectivamente, em 6% e 4% frente à combinação 4, atenuando o crescimento econômico.

A gestão moderada e intensa, como apresentado pelos resultados das **combinações 5 e 6** (respectivamente), conseguem mais do que neutralizar o acréscimo de demandas projetado sob perspectiva de crescimento exógeno. Estariam exageradas estas respostas de gestão? Claramente não, pois o próprio cenário tendencial aponta um aumento de demanda hídrica de 38% em 2032 em relação à cena atual (a demanda de 66,14 passa para 91,24 m^3/s).

Caso a perspectiva de gestão moderada seja realizada em uma configuração exógena de menor pressão sobre os recursos hídricos, como traz a **combinação 8** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento), a demanda de retirada seria de 84,19 m^3/s, assim, um acréscimo de 27% em relação à cena atual. Essa demanda, no entanto, é 8% menor do que a do cenário tendencial, onde há maior crescimento econômico, mas não há gestão. Os setores usuários que são mais sensíveis à gestão moderada continuam sendo o abastecimento humano e irrigação. Os setores de dessedentação animal e de aquicultura, no entanto, têm suas demandas reduzidas em 27% e 6% (respectivamente) devido ao menor crescimento econômico.

Sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta os efeitos nas demandas de retirada com a gestão intensa, ou seja, nas melhores condições para os recursos naturais. Nesse cruzamento, a demanda de retirada na bacia do rio Doce, em 2032, seria de 80,89 m³/s, ainda assim 22% maior do que a demanda atual, porém 11% menor do que seria no cenário tendencial.

Essa combinação permite concluir que os esforços de gestão precisam ser levados a cabo independentemente da perspectiva exógena - em quase todas as bacias afluentes, é possível apenas atenuar a pressão por mais retirada: em relação à cena atual, apenas na DO1 e DO2 a combinação de gestão intensa e estado favorável de pressão sob os recursos hídricos consegue reduzir, marginalmente, os usos atuais (em 1% e 2%, respectivamente). Nas demais bacias afluentes, o crescimento em relação à cena atual continua sendo significativo: 95% na UA7 III, 42% na DO6, 40% na UA8 e 37% na UA9.

A conclusão a favor da consecução prática da perspectiva de gestão intensa dos recursos hídricos é amplamente reforçada pelos resultados de demanda sob a forçante do clima - conforme discutido no item 3.2.3.2 – Mudanças do Clima. Como esperado, as maiores demandas de retirada se encontram nos cenários que consideram as mudanças climáticas (seis últimas barras da Figura 4.1): além de serem apresentadas para o horizonte de planejamento mais distante (2042), têm uma maior contribuição da irrigação em sua composição, e este é o maior setor usuário da bacia. Nota-se, inclusive, que o efeito da mudança do clima só é considerado, de forma explícita, nas demandas de irrigação (item 3.3.2.3).

Sob cenário tendencial (**combinação 1** - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), a ocorrência de mudanças do clima compatíveis com o cenário climático intermediário (representado, por sua vez, pelo modelo climático CCSM4 no cenário de emissões RCP8.5) deve acarretar numa demanda de 71,75 m³/s para a irrigação. Essa retirada é 10% maior que a prevista pelo cenário tendencial (em 2042) e 104% maior do que a atual. Com isso, a demanda de retirada total da bacia passa a ser de 107,32 m³/s, 7% maior que no cenário tendencial para 2042 e 62% maior que a atual.

Caso o cenário tendencial encontre um clima crítico (modelo climático bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5) a demanda de irrigação deve ser de 82,16 m³/s. Essa retirada é 26% maior que a prevista pelo cenário tendencial (em 2042) e 134% maior do que a atual. Com isso, a demanda total da bacia passa a ser de 117,73 m³/s, 17% maior do que a tendencial em 2042 e 78% do que a demanda total na cena atual.

Frente a essas combinações de grande pressão pelos recursos hídricos na bacia do rio Doce, cabe simular o efeito da gestão endógena intensa: se posta em prática, consegue reduzir as demandas totais da bacia, no cenário tendencial, para 94,03 m³/s e 104,44 m³/s no ano de 2042, a depender do cenário de mudança do clima intermediário ou crítico (respectivamente). Essas demandas representam, respectivamente, uma redução de 7% e um aumento de 4% na demanda tendencial. Ou seja, a gestão intensa consegue contornar e até reduzir (no cenário de clima intermediário) a demanda total tendencial de 2042. Mesmo assim, no entanto, a depender

do cenário de clima, a gestão intensa ainda resulta em demandas hídricas 42% a 58% maiores que as da cena atual (2020).

Uma vez que a mudança do clima é exógena sob a perspectiva da bacia do rio Doce, cabe combiná-la à variação exógena de demanda, fruto de crescimento econômico: a consideração dos cenários de clima intermediário e crítico em conjunto com a **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) faz com que a demanda total da bacia possa ser de até 125,05 m^3/s (cenário de clima crítico), ou seja, 89% a mais do que a demanda atual e 24% a mais do que a demanda tendencial prevista para o longo prazo (ano de 2042).

Nessa perspectiva de pressão máxima pelos recursos hídricos, a gestão intensa consegue reduzir a demanda total para 110,13 m^3/s, fruto da redução de 20% nas demandas de irrigação, que passam a ser de 78,17 m^3/s. O acréscimo de retirada total é 9% maior que no cenário tendencial de 2042, e 67% maior que as demandas na cena atual.

Cabe ao desenho do Plano de Ação do presente instrumento, portanto, prescrever a gestão intensa para que se esteja preparado para todas as configurações de clima que se delineiam como possíveis, pois o acréscimo de 67% na demanda total não necessariamente será atendido pelas condições de oferta hídrica do rio Doce, gerando perspectivas de maiores conflitos.

A Figura 4.2 traz uma comparação entre a contribuição de cada tipologia de uso consuntivo dos recursos hídricos nos totais das demandas, em cada cenário considerado.

Observa-se a grande contribuição percentual da irrigação para o total das demandas na bacia em todos os cenários, permanecendo sempre acima dos 57%.

Como já citado, observa-se, novamente, que nos cenários que consideram as mudanças climáticas (seis últimas barras) a contribuição da irrigação perante os outros usos é ainda superior, podendo chegar a cerca de 70% no cenário de clima crítico, quando as perspectivas de menores chuvas ocorrem concomitantemente a maiores níveis de evapotranspiração.

Conforme observado no Quadro 4.16, os totais das demandas consuntivas representam percentuais que variam de 15% no cenário com componente Endógeno BAU e Exógeno Tendencial em 2027 a 89% no cenário com componente Endógeno BAU e Exógeno de Maior Crescimento em 2042 com irrigação no cenário crítico se comparados com o total de demandas referentes ao Diagnóstico, as quais foram revisadas na atual etapa do Prognóstico e estão apresentadas no Quadro 2.2, no Capítulo 2.

Também pode-se observar no Quadro 4.16 que os usos mais demandantes de água na bacia no Diagnóstico - a irrigação, o abastecimento industrial e o abastecimento urbano - permanecem como os três maiores usos consuntivos em todos os cenários apresentados.

A irrigação, o maior deles, tem sua menor parcela percentual no Diagnóstico, com um valor de 53%, e chega a ter uma contribuição no total de demandas na bacia de 72% no cenário com componente Endógeno de Gestão Intensa e Exógeno Tendencial em 2042 e irrigação no cenário crítico de mudanças climáticas. A indústria e o abastecimento urbano apresentam seus maiores

valores percentuais no Diagnóstico, com valores de 19% e 11% respectivamente, tendo uma redução desses percentuais até os valores de 11% e 6%, respectivamente, no cenário com componente Endógeno de Gestão Intensa e Exógeno Tendencial em 2042 e irrigação no cenário crítico de mudanças climáticas.

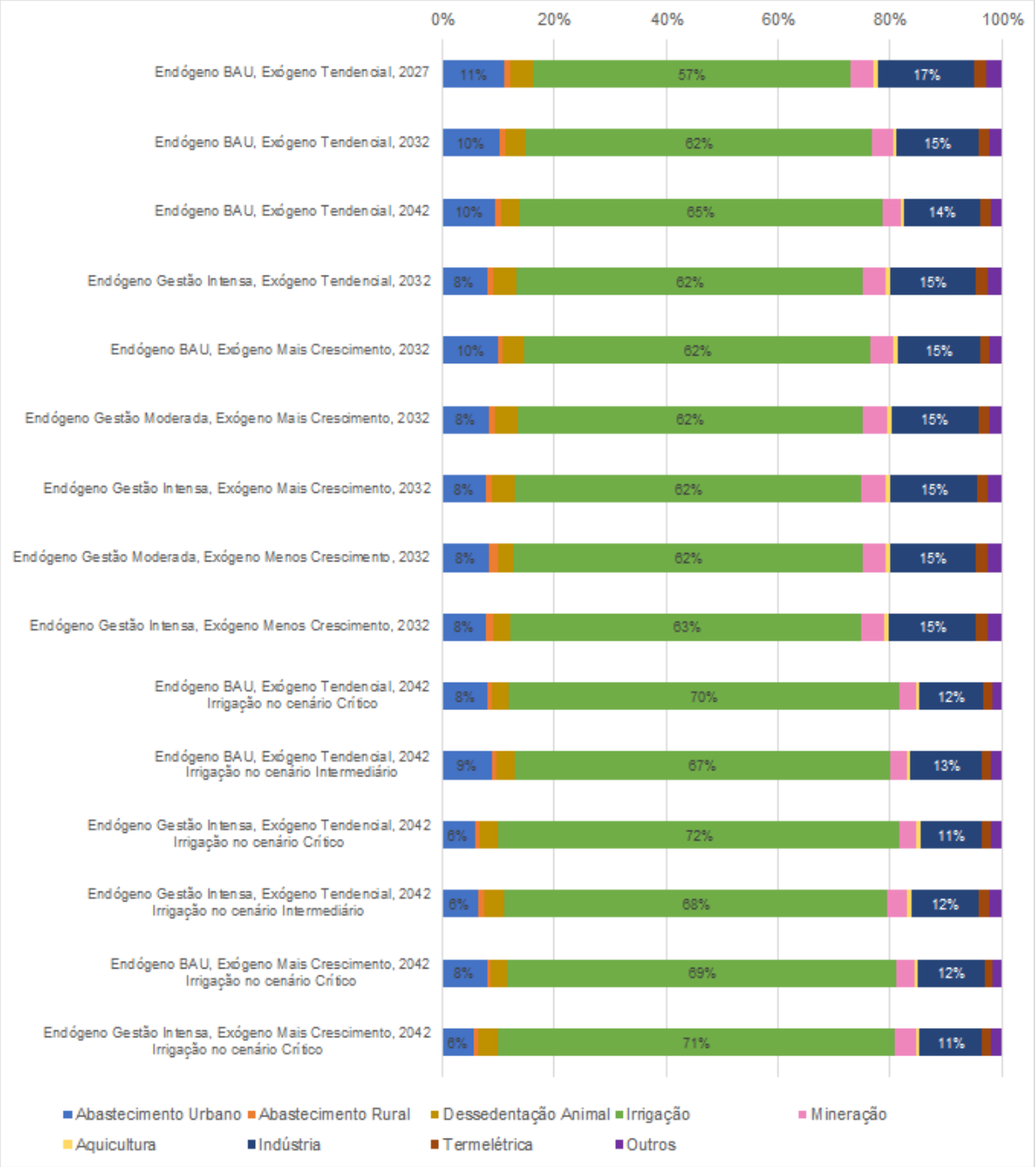


Figura 4.2 - Contribuição Percentual dos Diferentes Usos Consuntivos dos Recursos Hídricos em cada Cenário na Bacia do Rio Doce

Torna-se interessante comparar os resultados atuais com aqueles prescritos pelo PIRH Doce 2010: a versão inicial também previu a irrigação como maior usuário, porém com participação relativa estável em cerca de 52% até 2030. A projeção da segunda maior parcela de demanda era de retirada para abastecimento humano, responsável em 2006 por 25,7% da retirada total.

Ao invés de reduzir essa participação para 21,5% em 2030, conforme o PIRH de 2010, observa-se uma participação nos atuais cenários de no máximo 11%.

A participação da retirada para abastecimento industrial foi projetada para ter o maior crescimento (123%) até 2030, o que faria com que sua participação relativa passasse de 17% para 24% na retirada total de 2030. Enquanto o crescimento da demanda industrial de fato se concretizou, com sua participação relativa atual sendo de 19%, prevê-se atualmente um crescimento da irrigação em velocidades maiores, o que fará com que a indústria tenha sua participação relativa diminuída para cerca de 15%.

QUADRO 4.16 – COMPARAÇÃO PERCENTUAL DAS DEMANDAS DOS CENÁRIOS COM AS DEMANDAS DO DIAGNÓSTICO, POR TIPO DE USO DOS RECURSOS HÍDRICOS

Cenário	Abastecimento Urbano		Abastecimento Rural		Dessedentação Animal		Irrigação		Mineração		Aquicultura		Industrial		Termelétrica		Outros		Total	Variação em Relação ao Diagnóstico
	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	
Diagnóstico	7,07	11%	1,03	2%	2,88	4%	35,14	53%	3,11	5%	0,49	1%	12,48	19%	1,76	3%	2,11	3%	66,09	-
Endógeno BAU, Exógeno Tendencial, 2027	8,30	11%	0,97	1%	3,11	4%	43,03	57%	3,23	4%	0,61	1%	12,88	17%	1,78	2%	2,11	3%	76,03	15%
Endógeno BAU, Exógeno Tendencial, 2032	9,29	10%	0,95	1%	3,32	4%	56,48	62%	3,36	4%	0,62	1%	13,33	15%	1,78	2%	2,11	2%	91,24	38%
Endógeno BAU, Exógeno Tendencial, 2042	9,59	10%	0,87	1%	3,51	3%	65,02	65%	3,37	3%	0,62	1%	13,70	14%	1,79	2%	2,11	2%	100,58	52%
Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial, 2032	6,50	8%	1,02	1%	3,29	4%	50,72	62%	3,31	4%	0,62	1%	12,49	15%	1,78	2%	2,11	3%	81,84	24%
Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento, 2032	9,65	10%	0,75	1%	3,73	4%	60,29	62%	4,04	4%	0,67	1%	14,27	15%	1,79	2%	2,11	2%	97,30	47%
Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento, 2032	7,61	8%	0,85	1%	3,72	4%	55,77	62%	3,98	4%	0,67	1%	13,95	15%	1,79	2%	2,11	2%	90,45	37%

Cenário	Abastecimento Urbano		Abastecimento Rural		Dessedentação Animal		Irrigação		Mineração		Aquicultura		Industrial		Termelétrica		Outros		Total	Variação em Relação ao Diagnóstico
	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	
Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento, 2032	6,76	8%	0,80	1%	3,70	4%	53,60	62%	3,86	4%	0,67	1%	13,36	15%	1,79	2%	2,11	2%	86,65	31%
Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento, 2032	7,00	8%	1,31	2%	2,44	3%	52,59	62%	3,34	4%	0,58	1%	13,04	15%	1,78	2%	2,11	3%	84,19	27%
Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento, 2032	6,23	8%	1,23	2%	2,43	3%	50,72	63%	3,31	4%	0,58	1%	12,49	15%	1,78	2%	2,11	3%	80,89	22%
Endógeno BAU, Exógeno Tendencial, 2042 Irrigação no cenário Crítico	9,59	8%	0,87	1%	3,51	3%	82,16	70%	3,37	3%	0,62	1%	13,70	12%	1,79	2%	2,11	2%	117,73	78%
Endógeno BAU, Exógeno Tendencial, 2042 Irrigação no cenário Intermediário	9,59	9%	0,87	1%	3,51	3%	71,75	67%	3,37	3%	0,62	1%	13,70	13%	1,79	2%	2,11	2%	107,32	62%

Cenário	Abastecimento Urbano		Abastecimento Rural		Dessedentação Animal		Irrigação		Mineração		Aquicultura		Industrial		Termelétrica		Outros		Total	Variação em Relação ao Diagnóstico
	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	% da Bacia	m³/s	
Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial, 2042 Irrigação no cenário Crítico	6,02	6%	0,93	1%	3,49	3%	74,78	72%	3,32	3%	0,62	1%	11,38	11%	1,79	2%	2,11	2%	104,44	58%
Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial, 2042 Irrigação no cenário Intermediário	6,02	6%	0,93	1%	3,49	4%	64,37	68%	3,32	4%	0,62	1%	11,38	12%	1,79	2%	2,11	2%	94,03	42%
Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento, 2042 Irrigação no cenário Crítico	9,97	8%	0,66	1%	3,98	3%	86,64	69%	4,24	3%	0,68	1%	14,98	12%	1,79	1%	2,11	2%	125,05	89%
Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento, 2042 Irrigação no cenário Crítico	6,27	6%	0,70	1%	3,95	4%	78,17	71%	4,02	4%	0,68	1%	12,44	11%	1,79	2%	2,11	2%	110,13	67%

Elaboração ENGECORPS, 2022

4.2 BALANÇOS HÍDRICOS QUANTITATIVOS

As combinações de balanço hídrico quantitativo foram computadas para as vazões de referência $Q_{7,10}$, $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$. Uma vez que é grande a quantidade de resultados, sua apresentação para as três vazões prejudicaria o dirigismo da interpretação e o objetivo do Prognóstico, que é o de qualificar a tomada de decisões acerca do Plano de Ações.

Dessa forma, opta-se por apresentar e discutir, no presente item, os resultados com base na vazão $Q_{95\%}$, vazão esta que se alinha aos demais estudos e planos de âmbito nacional, tais como o Atlas Águas (op. cit.), Atlas Esgotos (op. cit.), Atlas Irrigação (op. cit.) e Plano Nacional de Segurança Hídrica[121]. Adicionalmente, a riqueza dos cenários está na comparação entre os resultados obtidos com uma mesma vazão, independentemente de qual seja ela, uma vez que isso ilustra as pressões externas e as opções de gestão.

Inobstante a escolha para compor os mapas apresentados neste item, os resultados completos com as vazões $Q_{90\%}$ e $Q_{7,10}$ são reportados no Apêndice, permitindo a sua comparação com as vazões de referência de cada estado da bacia do rio Doce, Minas Gerais e Espírito Santo, respectivamente.

A seguir, estão apresentados e discutidos os resultados do balanço hídrico quantitativo de águas superficiais, representando o comprometimento da vazão $Q_{95\%}$ frente as demandas dos cenários, mapeados por ottobacias.

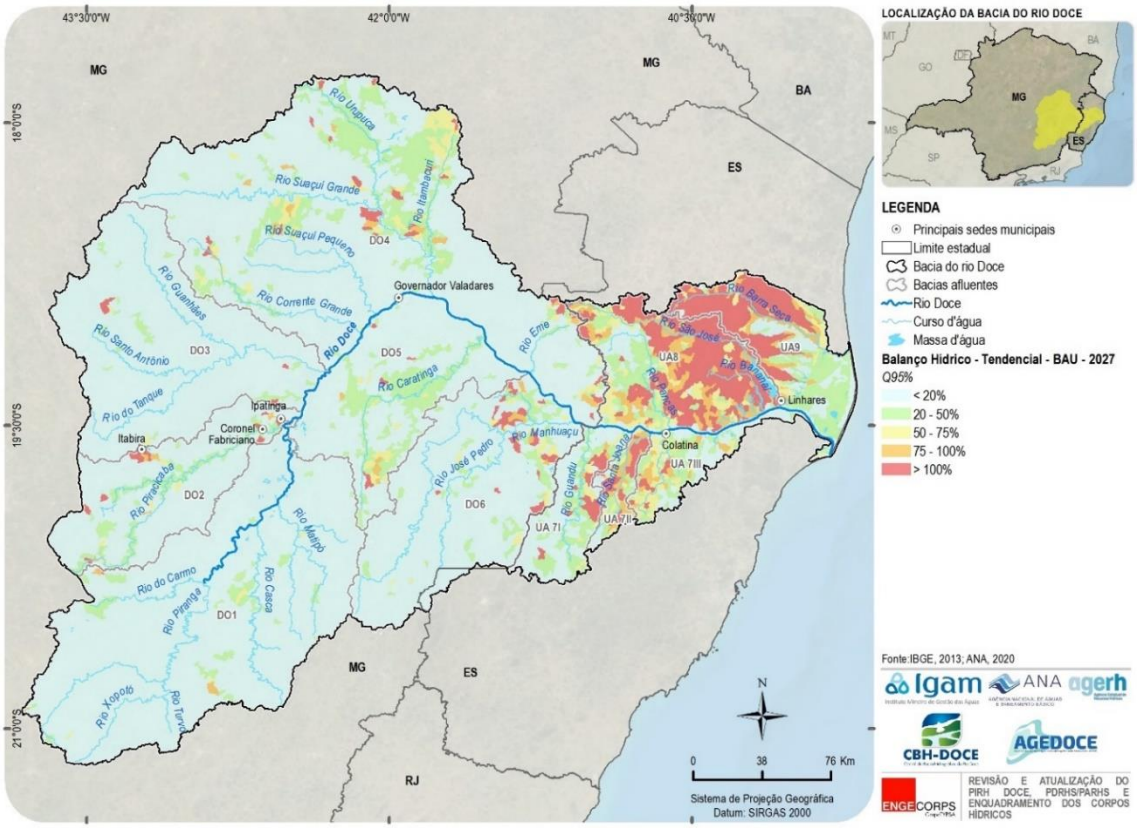


Figura 4.3 – Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 1 (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial) para 2027

[121] ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). Plano Nacional de Segurança Hídrica. Brasília: ANA, 2019.

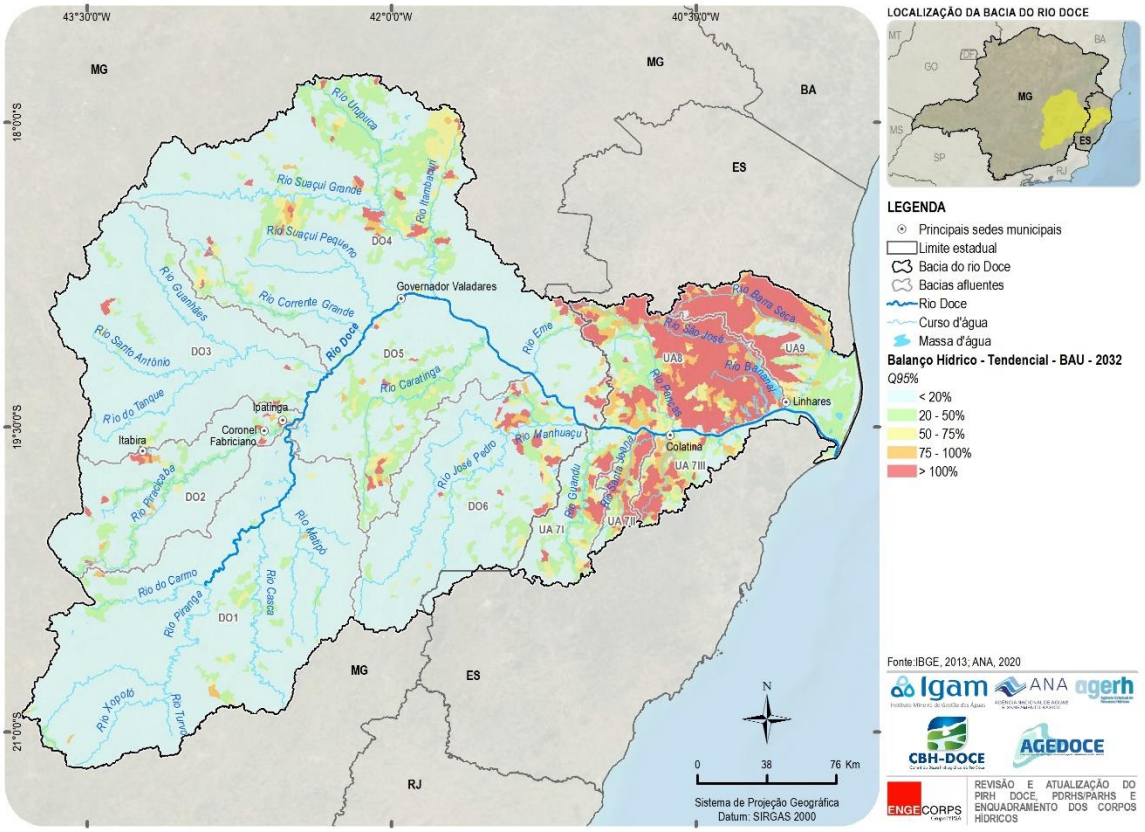


Figura 4.4 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 1 (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial) para 2032

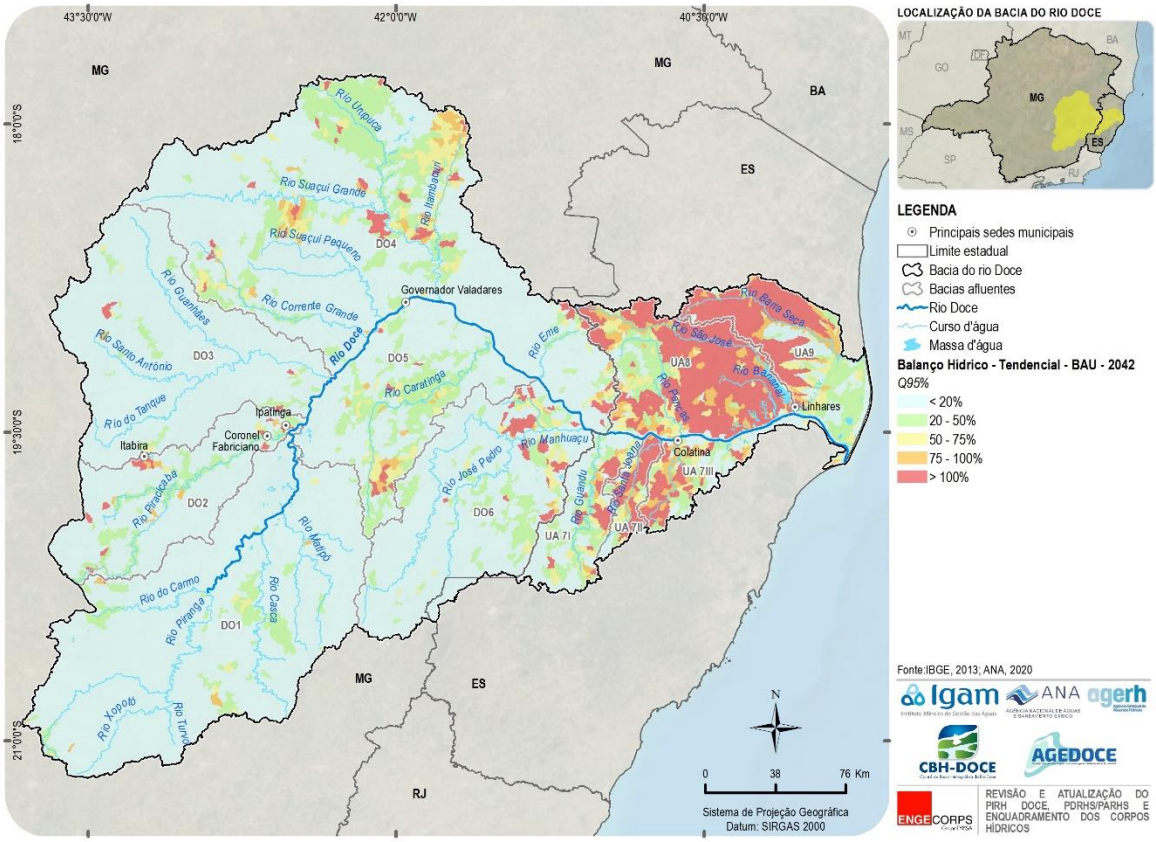


Figura 4.5 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 1 (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial) para 2042

Os resultados de balanço hídrico acima apresentados correspondem à visão de **cenário tendencial**, uma vez que não projetam interferências de gestão mais intensas do que as atuais, bem como não correspondem a variações econômicas fora do que se espera tendencialmente (**combinação 1** - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial). Nesta configuração que simula o *status quo*, já se nota o agravamento das regiões de conflito quantitativo na bacia.

Uma forma de dimensionar o efeito do cenário tendencial no agravamento dos conflitos quantitativos é por meio da variação na quantidade de ottobacias que são classificadas como tendo balanço hídrico comprometido, ou seja, onde a disponibilidade hídrica não é suficiente para atender as demandas ali localizadas (balanço >100%). Na cena atual, 5% das 9.655 ottobacias componentes da bacia hidrográfica do rio Doce apresentam tal comprometimento quantitativo que cresce para 6% no curto prazo, 7% no médio prazo e 8% no longo prazo.

Embora esse quantitativo não seja muito expressivo em termos absolutos, eis que os novos conflitos justamente se agravam nos locais onde os conflitos atuais ocorrem. Pode-se perceber a evolução linear do comprometimento hídrico observada nas Figuras 4.3, 4.4 e 4.5 em comparação com os resultados obtidos no Diagnóstico, salientando as áreas críticas que passam a ser mais pronunciadas: principalmente nas regiões dos municípios de Itambacuri, Frei Inocêncio, Peçanha, Ubaporanga, Piedade de Caratinga e Caratinga no estado de Minas Gerais e grande parte das bacias afluentes capixabas.

As bacias afluentes capixabas UA8 (Pontões e Lagoas do Rio Doce) e UA9 (Barra Seca e Foz do Rio Doce) são as que apresentam as maiores frações de suas ottobacias comprometidas na cena atual (34% e 43%, respectivamente). Sob cenário tendencial, essas frações passam a crescer para 40% e 48% no curto prazo, para 51% e 52% no médio prazo e ainda para 55% e 54% no longo prazo.

Na UA7 II (Santa Joana), na margem direita do rio Doce, nota-se a escalada de 22% das ottobacias comprometidas para 34% em dez anos, chegando em 47% no longo prazo. Na vizinha UA7 III (Santa Maria do Doce), a fração de áreas comprometidas salta de 4% na cena atual para 23% em dez anos, permitindo-se antever conflitos que podem ser encaminhados de forma a não ocorrerem.

A seguir, são apresentados os resultados de balanço hídrico para as combinações alternativas, que contrapõe as perspectivas exógenas e endógenas.

A Figura 4.6 apresenta a **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial), na qual são impostas as perspectivas de gestão intensa ao cenário tendencial (**combinação 1**). Tomando-se o parâmetro da fração de ottobacias com balanço hídrico comprometido como métrica de análise, observa-se uma melhora muito tímida - no total, 68 ottobacias deixam de estar comprometidas com a imposição da gestão intensa em 2032. Mesmo parecendo pouco, trata-se de uma redução de 10% em relação ao que seria esperado no mesmo ano no cenário tendencial. Adicionalmente, essa redução se concentra justamente nas áreas onde há maior conflito pelos recursos hídricos.

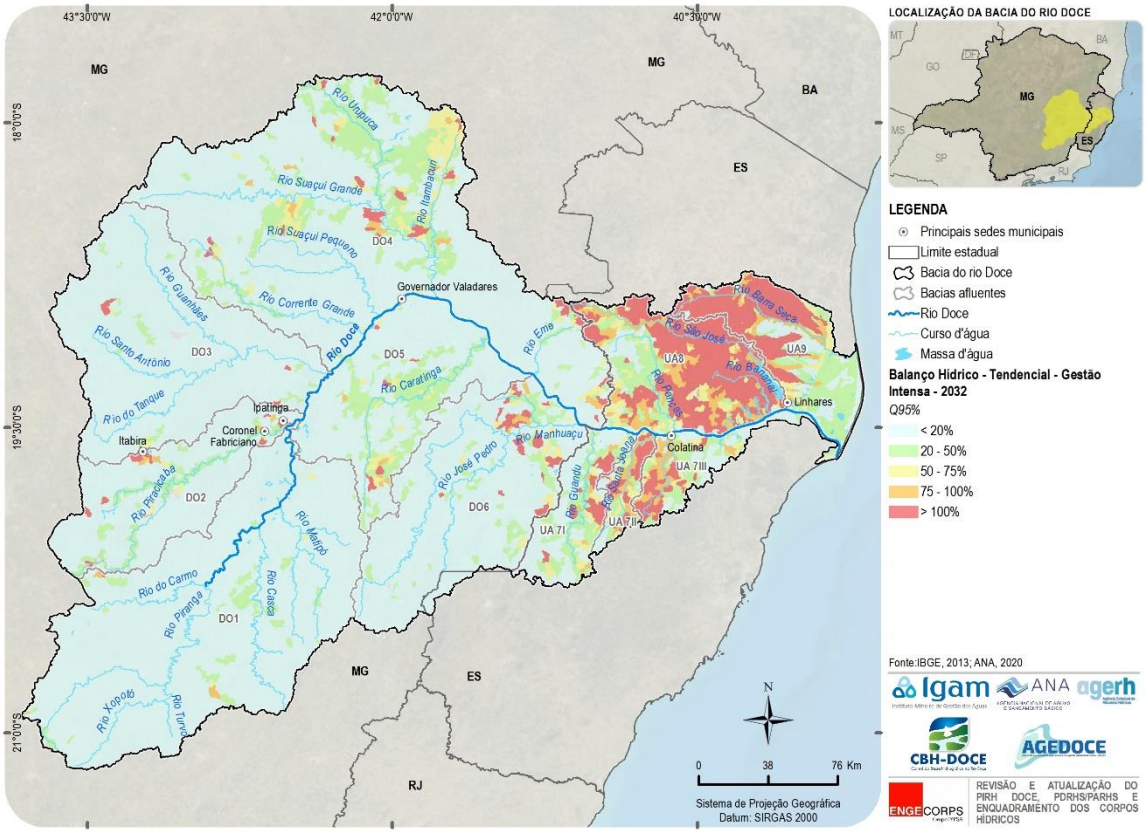


Figura 4.6 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 3 (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) para 2032

O recuo do comprometimento hídrico, quando comparado com o cenário endógeno de manutenção dos níveis de gestão tendenciais (Figura 4.4), num mesmo horizonte de planejamento, é observado na Figura 4.6. Este recuo é fruto da gestão mais intensa dos usos dos recursos hídricos e é mais notável nas bacias afluentes UA7 e UA8.

A **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento), é destacada na Figura 4.7, e revela o aumento da pressão sobre os recursos hídricos trazido pela componente exógena de maior crescimento, quando essa não é acompanhada pelos esforços de gestão. Tem-se, assim, uma visão da pressão exógena que não está sob influência direta dos recursos hídricos, mas sim responde ao crescimento econômico e demográfico. Nessa combinação, a quantidade de ottobacias críticas passa de 471 na cena atual para 768 no prazo de dez anos (um aumento equivalente a 63%); já em relação ao que se esperaria ter no mesmo ano sob cenário tendencial, esse aumento representa 12%.

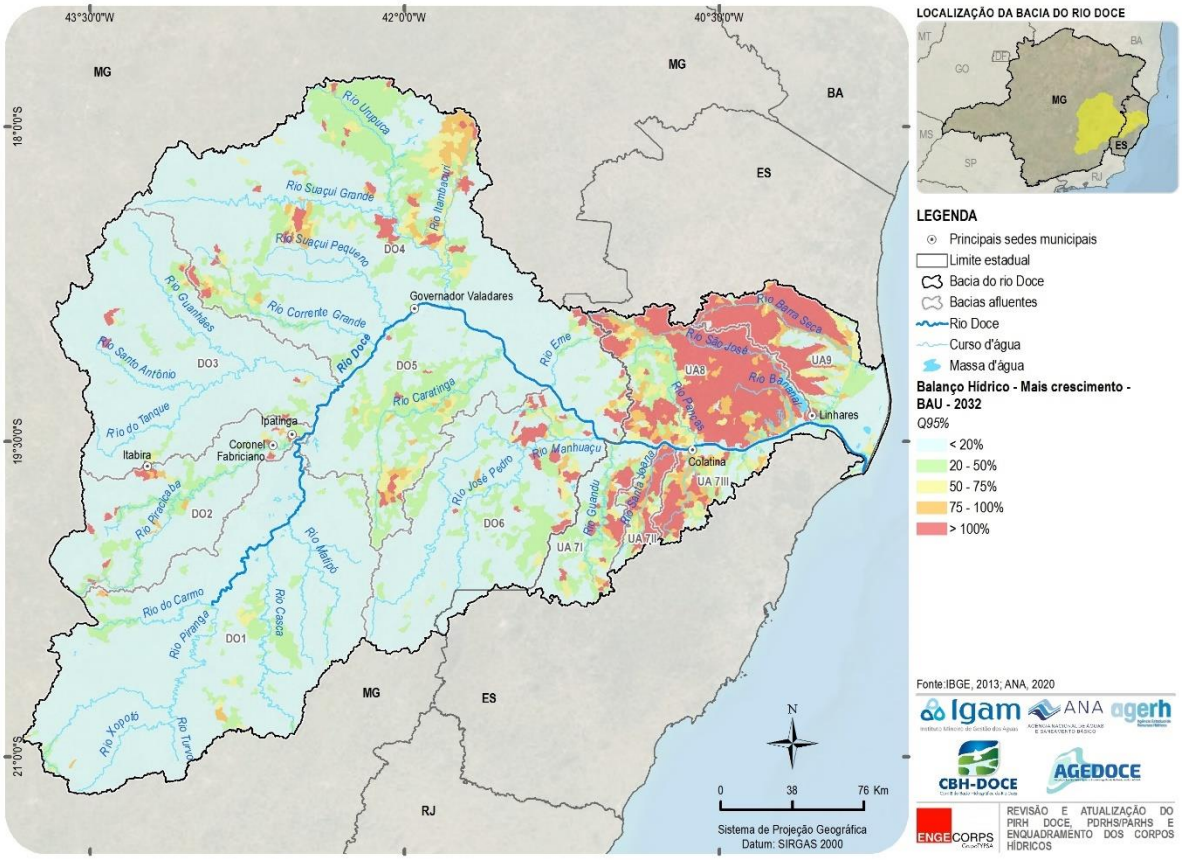


Figura 4.7 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 4 (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) para 2032

O comprometimento hídrico se mostra elevado principalmente na região dos municípios de Itambacuri, Frei Inocêncio, Peçanha, Ubaporanga, Piedade de Caratinga e Caratinga no estado de Minas Gerais e em grande parte das bacias afluentes capixabas. Para efeito de comparação, esse aumento do comprometimento hídrico causado pela componente exógena de maior crescimento no ano de 2032 supera o aumento observado no cenário tendencial endógeno e exógeno para o ano de 2042 (Figura 4.5), o que mostra a importância desse componente no âmbito da construção dos cenários, pois incita um certo sentido de urgência na imposição dos instrumentos de gestão.

Observa-se na Figura 4.8 (abaixo) que a consideração de uma gestão moderada dos recursos hídricos, mesmo sendo menos tímida que aquela trazida pela perspectiva de gestão intensa, é motivadora de um notável controle no comprometimento hídrico da bacia. Essa situação, expressa pela **combinação 5** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), consegue reduzir a intensidade de comprometimento hídrico em um período de dez anos, que passa a não mais subir em 63% em relação a cena atual, mas sim 56%. Em relação ao estado de mundo com a mesma pressão exógena mas sem gestão (combinação 4), tem-se uma redução de 4% das ottobacias críticas (33 delas). Torna-se claro que os esforços de gestão moderada não conseguem reduzir a criticidade de forma a contornar as pressões exógenas de mais crescimento.

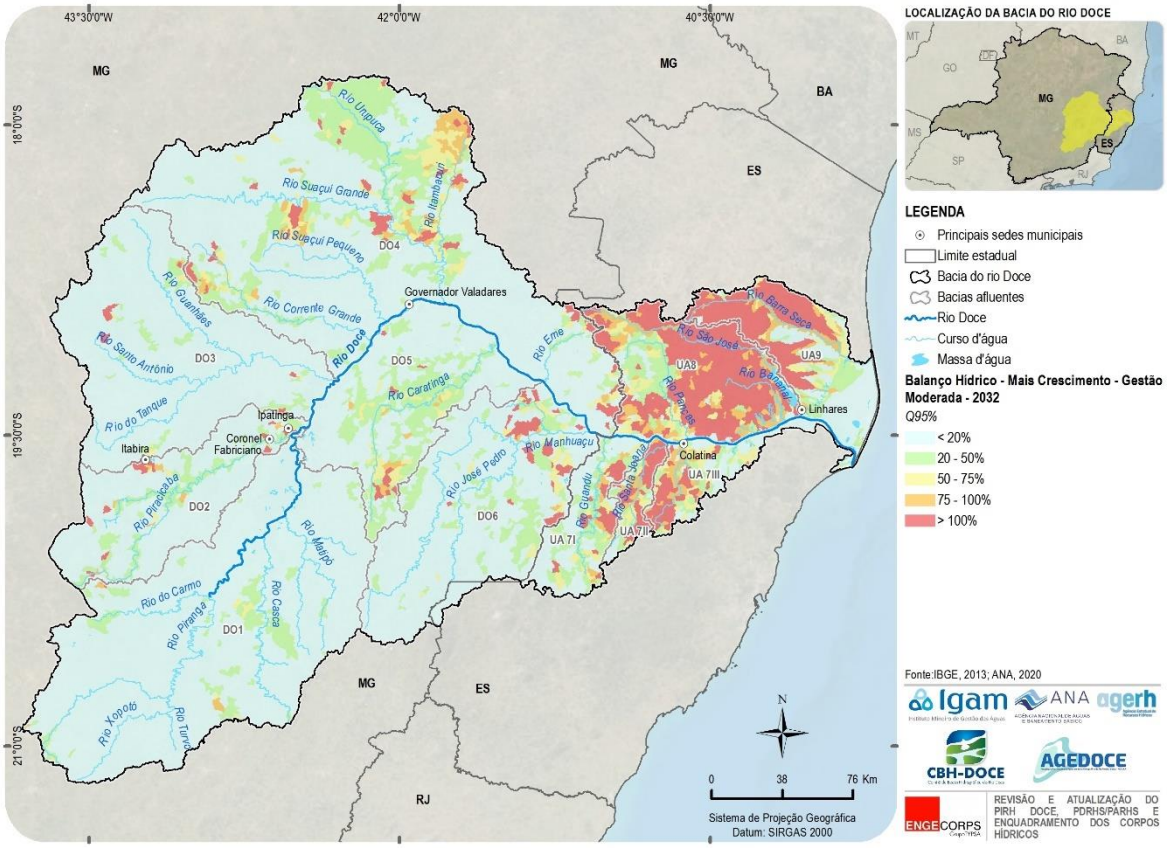


Figura 4.8 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 5 (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento) para 2032

A **combinação 6** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) simula a adoção de gestão intensa sob esse mesmo contexto de maior pressão exógena, demonstrando que a diferença nas perspectivas adotadas consegue ser mais efetiva no contorno das situações sob pressão. Há uma redução de 8% nas ottobacias críticas (-59) no ano de 2032 entre a gestão intensa e a **combinação 4**, que traz a perspectiva de mais crescimento.

Em relação à cena atual, esse resultado representa um acréscimo de 51% na fração de áreas comprometidas, quantitativo inferior ao incremento de 63% projetado sem gestão. A Figura 4.9 a seguir permite identificar onde na bacia essa redução sob gestão intensa é mais saliente. Os locais mais facilmente identificáveis são na UA7, em especial na UA7 II e UA7 III. A gestão intensa produz a redução das áreas comprometidas também entre os rios Suaçuí Grande e Pequeno (DO4), bem como nas nascentes do rio Santo Antônio (DO3). A UA8 também apresenta mudanças, embora mais tímidas em relação à preponderância de áreas críticas.

Da mesma forma que a comparação das **combinações 6** e **4** permite identificar as áreas onde ocorrem alívios de pressão, torna-se também evidente a persistência de locais críticos mesmo sob a mais intensa perspectiva de gestão. Nota-se, dentre as várias regiões, aquela no entorno do município mineiro de Itabira (DO2), a margem direita do rio Suaçuí Grande, logo após a confluência do rio Urupuca pela sua margem esquerda (DO4), as cabeceiras do rio Caratinga (DO5), as regiões no entorno de Coronel Fabriciano e Ipatinga (DO2) e as proximidades do rio Manhuaçu com o rio Doce (DO6). A UA8 e UA9, também, apresentam persistência das regiões

de conflito quantitativo. O próximo capítulo, Capítulo 5, apesenta a leitura das áreas mais sensíveis aos esforços de gestão.

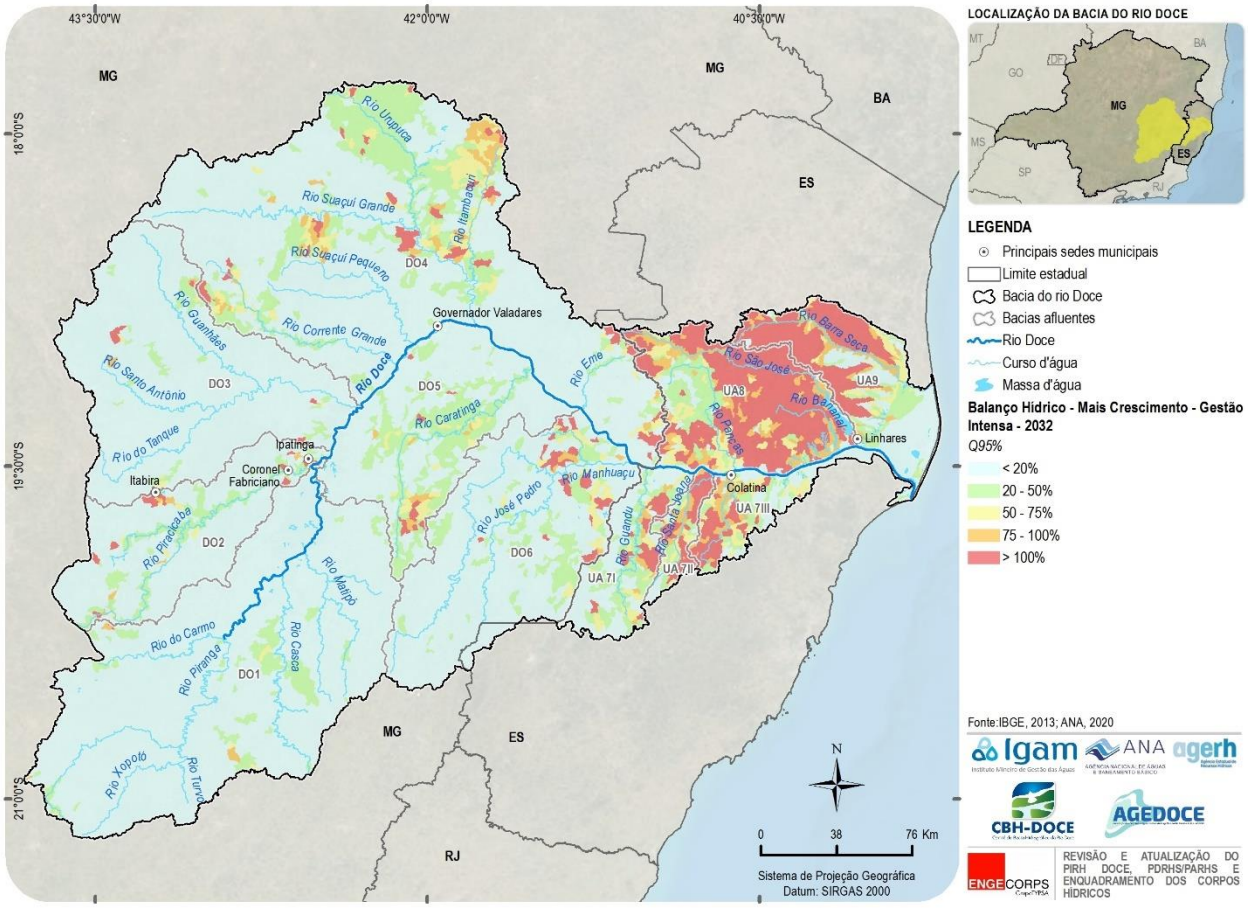


Figura 4.9 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 6 (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) para 2032

Como visto, as perspectivas de gestão moderada e intensa são suficientes para atenuar a velocidade de crescimento das regiões de conflito, mas não conseguem reduzi-las ao ponto de minimizar, visivelmente, a quantidade de áreas críticas que tende a crescer em relação a cena atual. Caso o estado exógeno de mundo se apresente como de menor pressão pelos recursos hídricos, no entanto, como seria o comportamento esperado pelas respostas de gestão?

A **combinação 8** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento), cujo balanço hídrico é apresentado na Figura 4.10 a seguir para o médio prazo (2032), traz um acréscimo de 37% na quantidade de áreas críticas em relação à cena atual. Embora seja ainda um aumento expressivo, tem-se um movimento atenuado (tanto pela gestão como pela situação exógena) frente a perspectiva tendencial (+46%) e frente a perspectiva de maior crescimento econômico sem a contrapartida da gestão (+63%). Ao todo, evita-se que 44 a 124 novas áreas críticas surjam (frente, respectivamente, ao tendencial e mais crescimento).

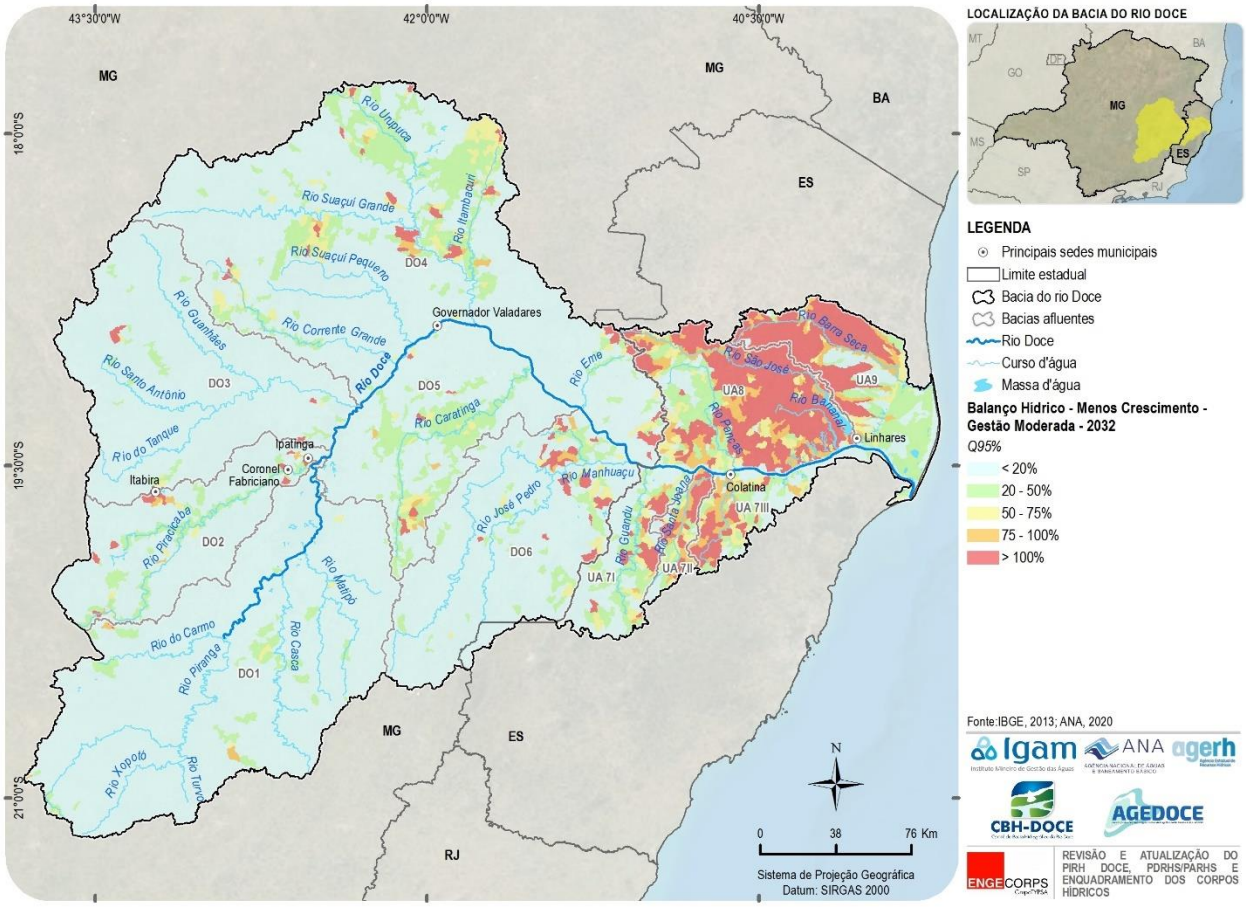


Figura 4.10 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 8 (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento) para 2032

Enfim, sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta um crescimento de 31% das regiões com conflito quantitativo em relação à cena atual. Esse acréscimo é praticamente metade do que ocorreria em uma perspectiva de mais crescimento sem gestão (63%), e representa 152 ottobacias que deixam de estar comprometidas.

Com a componente endógena de gestão intensa, o efeito do arrefecimento do comprometimento hídrico observado na figura anterior se mostra mais evidente. Pode-se observar na Figura 4.11 que regiões anteriormente assinaladas em laranja e vermelho passam a amarelas, principalmente na região dos municípios de Viçosa, Pingo d'Água, Itambacuri, Frei Inocêncio, Peçanha, Ubaporanga, Piedade de Caratinga e Caratinga no estado de Minas Gerais e grande parte das bacias afluentes capixabas.

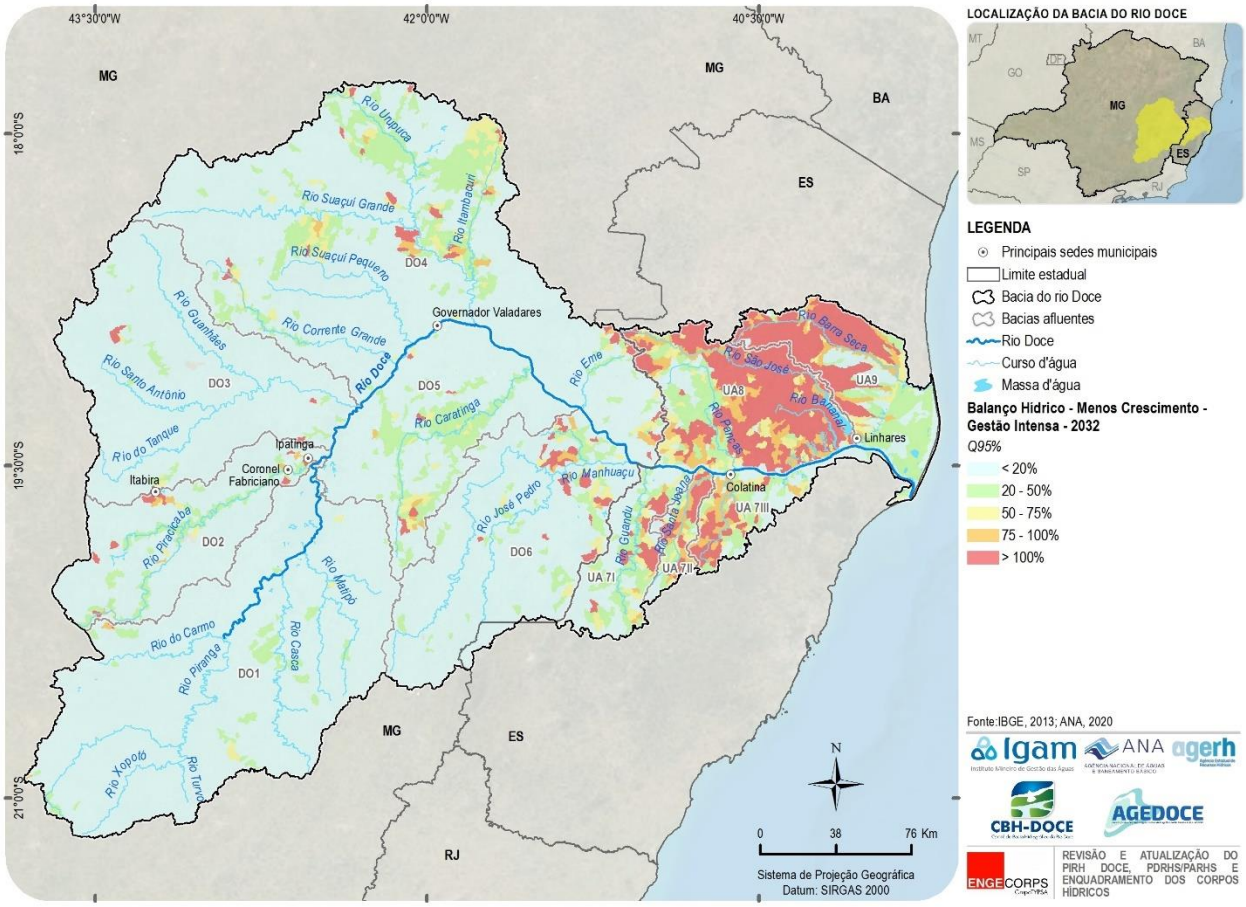


Figura 4.11 - Balanço Hídrico Quantitativo – Cenário da Combinação 9 (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) para 2032

A observação do comportamento dos balanços hídricos nas diversas combinações, inclusive sob a perspectiva de menor pressão exógena (**combinações 8** e **9**) permite corroborar o que fora identificado a partir da análise das demandas hídricas de retirada: os esforços de gestão precisam ser levados a cabo independentemente da perspectiva exógena. Afinal, demonstra-se que em quase todas as bacias afluentes, é possível apenas atenuar a pressão por mais retirada, sendo inevitável o aumento de áreas de conflito pelo uso dos recursos hídricos.

A conclusão a favor da consecução prática da perspectiva de gestão intensa é reforçada pelos resultados de balanço hídrico sob a forçante do clima, que também é exógena à gestão das águas da bacia. Como observado no item precedente (4.1), as maiores demandas de retirada se encontram nos cenários que consideram as mudanças climáticas, pois contam com uma maior contribuição da irrigação em sua composição, justo esse que é o setor usuário de maior demanda hídrica.

Conforme abordado no Capítulo 3, item 3.2.3.2, os efeitos da mudança do clima são transversais e complexos. As demandas hídricas de irrigação serão maiores tanto pelas taxas mais elevadas de evapotranspiração (que por sua vez são resultado das mais altas temperaturas) quanto pela variabilidade imposta pela oferta natural de água via pluviosidade. O que os balanços hídricos permitem identificar, finalmente, são os efeitos combinados destas maiores demandas com as modificações previstas para as vazões.

Nota-se que as alterações no regime hidrológico não são causadas exclusivamente pelas mudanças do clima, como já discutido no item 3.2.3.1. Mesmo assim, as simulações de balanço hídrico sob essas alterações permitem contrastar a forçante exógena do clima com as perspectivas exógenas econômicas e com as endógenas de gestão.

São seis combinações apresentadas, todas para o horizonte de longo prazo (2042), retratando as perspectivas de alteração no regime hidrológico:

- ✓ Cenário tendencial (**combinação 1** - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial) com as vazões $Q_{95\%}$ correspondentes aos cenários de clima:
  - ¤ Crítico (modelo climático bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5); e
  - ¤ Intermediário (modelo climático CCSM4 e cenário de emissões RCP8.5).
- ✓ **Combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) com as vazões $Q_{95\%}$ correspondentes aos cenários de clima:
  - ¤ Crítico (modelo climático bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5) e
  - ¤ Intermediário (modelo climático CCSM4 e cenário de emissões RCP8.5).
- ✓ **Combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento)
  - ¤ Crítico (modelo climático bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5)
- ✓ **Combinação 6** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento)
  - ¤ Crítico (modelo climático bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5)

Importante ressaltar que os balanços hídricos sob mudança do clima não foram realizados para a UA9, no Espírito Santo, tendo em vista que a drenagem dessa UA aflui diretamente ao oceano. Para fins de cômputo dos indicadores discutidos, os resultados dessa bacia afluente foram mantidos em relação ao cenário equivalente sem a forçante de mudança do clima.

A Figura 4.12 apresenta a primeira das combinações, ou seja, cenário tendencial com a mudança do clima em seu cenário crítico. Pode-se observar, ao contrário do que se esperaria, uma ligeira suavização das áreas comprometidas, quando comparada com a mesma situação de demandas, porém, sem a consideração das mudanças climáticas (Figura 4.5). Essas diferenças se destacam na bacia afluente DO4 e na região dos municípios de Ipatinga e Santana do Paraíso, em Minas Gerais.

Mesmo trazendo uma demanda de irrigação superior, essa perspectiva representa um acréscimo de 53% na quantidade de ottobacias críticas em relação à cena atual, quantitativo inferior aos 59% de acréscimo que se pode esperar no cenário tendencial no mesmo ano (2042) sem a forçante do clima. Uma vez que a disponibilidade hídrica varia de forma bastante intensa de região para região ao longo da bacia do rio Doce, enquanto algumas bacias afluentes têm sua criticidade atenuada, outras a veem crescer: na UA7 II, por exemplo, ao invés de 47% das ottobacias apresentarem comprometimento de balanço, a MC crítica deve fazer com que 56% o façam. Já na vizinha UA7 III, essa mesma comparação aponta para uma redução de 23% para 15%.

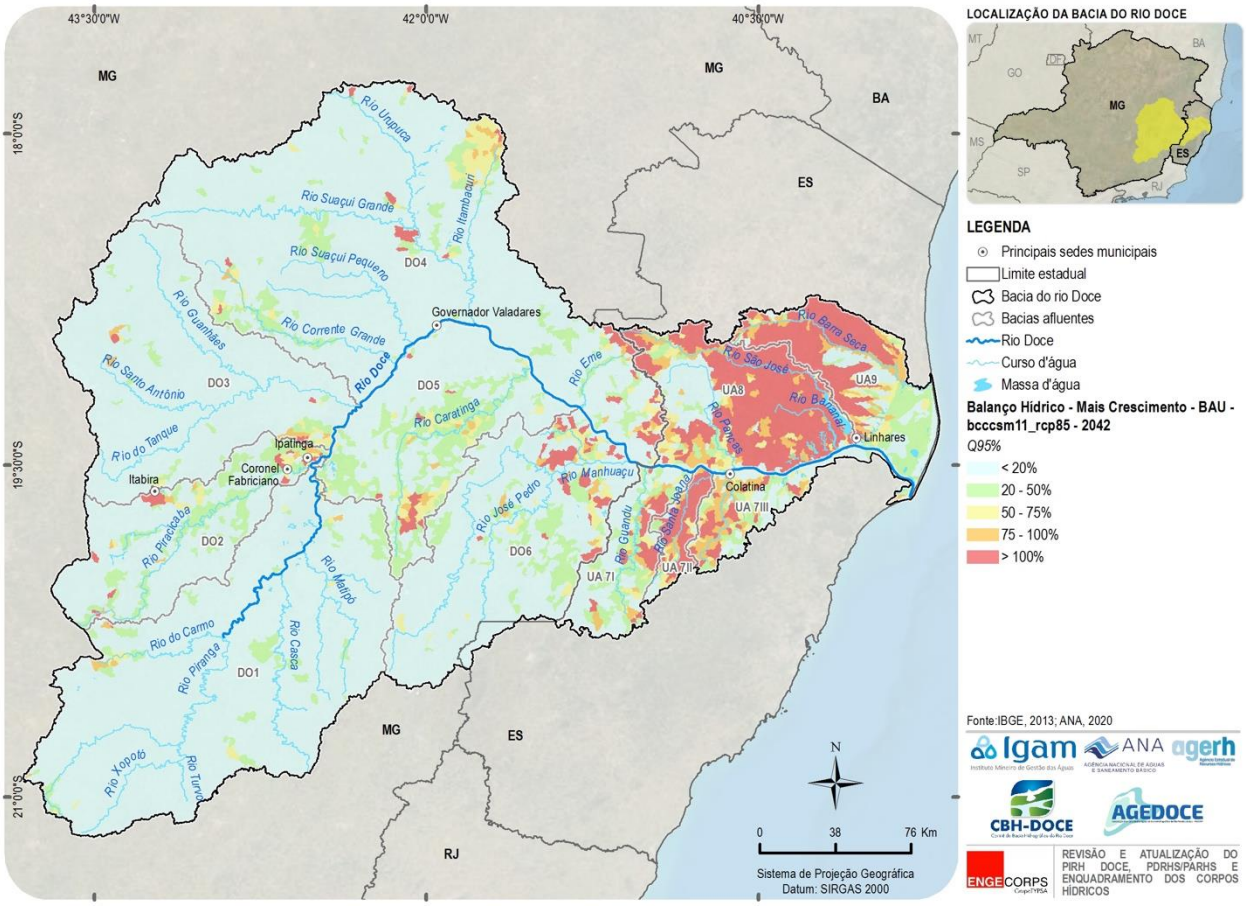


Figura 4.12 - Balanço Hídrico Quantitativo – Demandas: Cenário Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e Demandas de Irrigação Correspondentes às Mudanças Climáticas no Cenário Crítico para 2042 / Disponibilidade: Modelo bcccsm11 com 85% da variação da precipitação futura em relação ao presente

Uma vez que os cenários de clima trazem variações na disponibilidade hídrica, em alguns locais pode-se ter incrementos ao invés de reduções, e esse é o caso dos resultados do balanço hídrico sob clima intermediário. Ao se considerar o modelo CCSM4 da *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), verifica-se um notável aumento na disponibilidade hídrica. Essa maior disponibilidade gera, consequentemente, um alívio do comprometimento hídrico em grandes áreas da bacia, como mostra a Figura 4.13.

Bacias afluentes que, no cenário tendencial, apresentavam várias áreas assinaladas em vermelho e laranja passam a apresentar comprometimento menor do que 25% em quase sua totalidade, como é o caso da DO1, DO3, DO4 e DO5. Os resultados dessa combinação apontam para uma redução de 38% na quantidade de áreas críticas frente à cena atual, registrando um total de 292 ottobacias comprometidas frente a 471 atualmente.

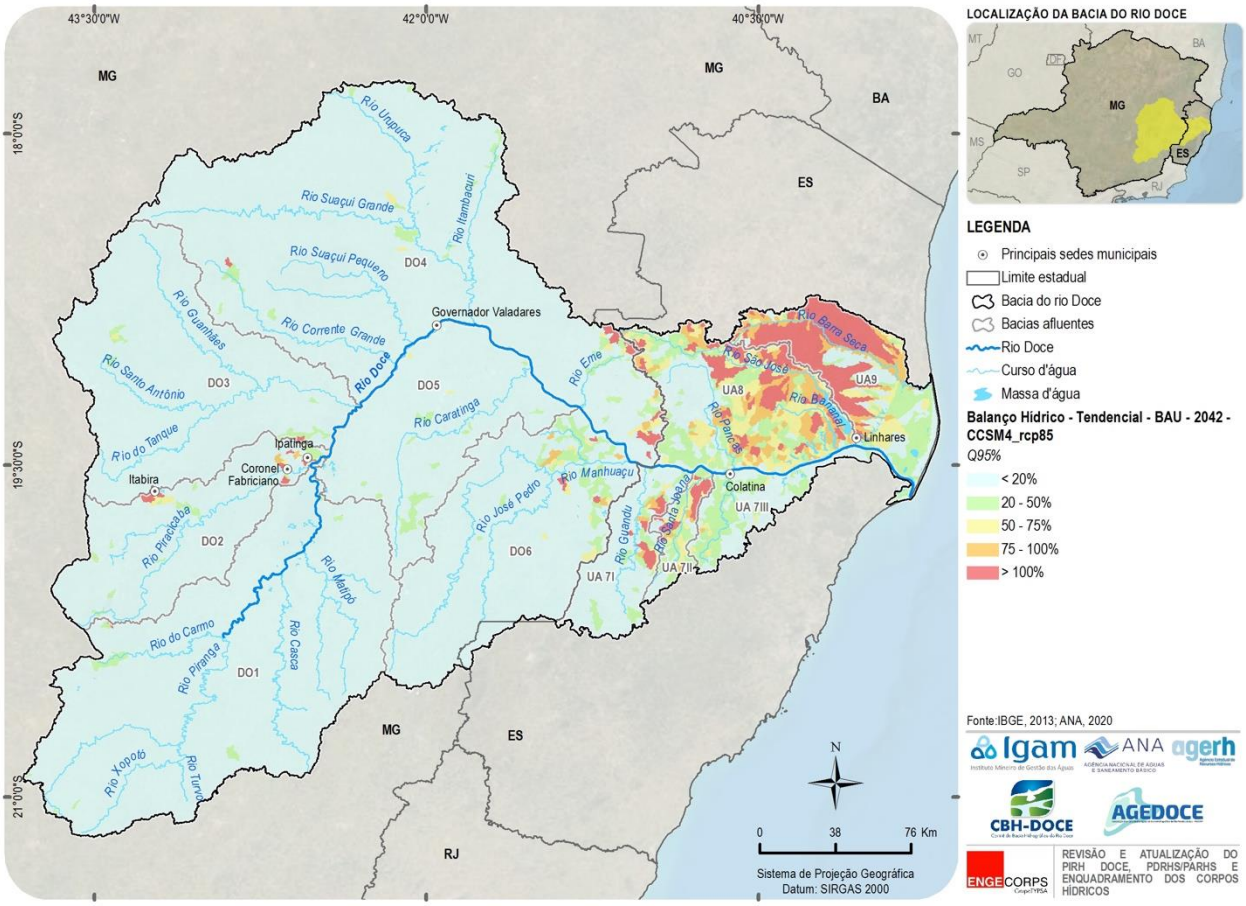


Figura 4.13 - Balanço Hídrico Quantitativo – Demandas: Cenário Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e Demandas de Irrigação Correspondentes às Mudanças Climáticas no Cenário Intermediário para 2042 / Disponibilidade: Modelo CCSM4 com 85% da variação da precipitação futura em relação ao presente

Os resultados de disponibilidade hídrica são fruto da conversão de chuva para vazão, e deveriam, pelo perfil dos cenários identificados como os representativos para as mudanças do clima futuro na bacia, apresentar maiores restrições. Conforme a análise das projeções de precipitação realizadas com base nos dados do projeto NEXGDDP, o modelo climático global representativo do cenário crítico (bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5 apresenta reduções na precipitação, tendo sido classificado pela ANA no Atlas Irrigação (op. cit.) como um dos modelos com menores chuvas. Já o modelo CCSM4, no cenário de emissões RCP8.5, representante do cenário de mudança de clima intermediário, sinaliza ainda menores chuvas que o cenário crítico (embora também apresente mudanças menos intensas na evapotranspiração).

Com base na incerteza demonstrada pelas análises dos diversos modelos climáticos, que indicam maiores variabilidades da precipitação, pode-se aventar que a disponibilidade hídrica projetada seja uma fotografia de uma situação atípica, que não necessariamente representa modificações nas vazões médias anuais. Outra possibilidade aponta, claramente, para uma situação futura de maior disponibilidade efetiva, o que representaria um alívio factual para os conflitos ora apresentados - e que tendem a crescer no futuro.

Muito embrora um dos cenários de clima (intermediário) apresente um grande e abrangente alívio, o outro (crítico) traz apenas um pequeno alívio dos conflitos, ainda representando um acréscimo significativo frente à cena atual. Uma vez que se trata de uma questão exógena sob a perspectiva da gestão dos recursos hídricos na bacia do rio Doce, cabe salientar que o Plano de Ações deve preparar a bacia para quaisquer combinações possíveis. Cabe investigar, assim, os efeitos da gestão.

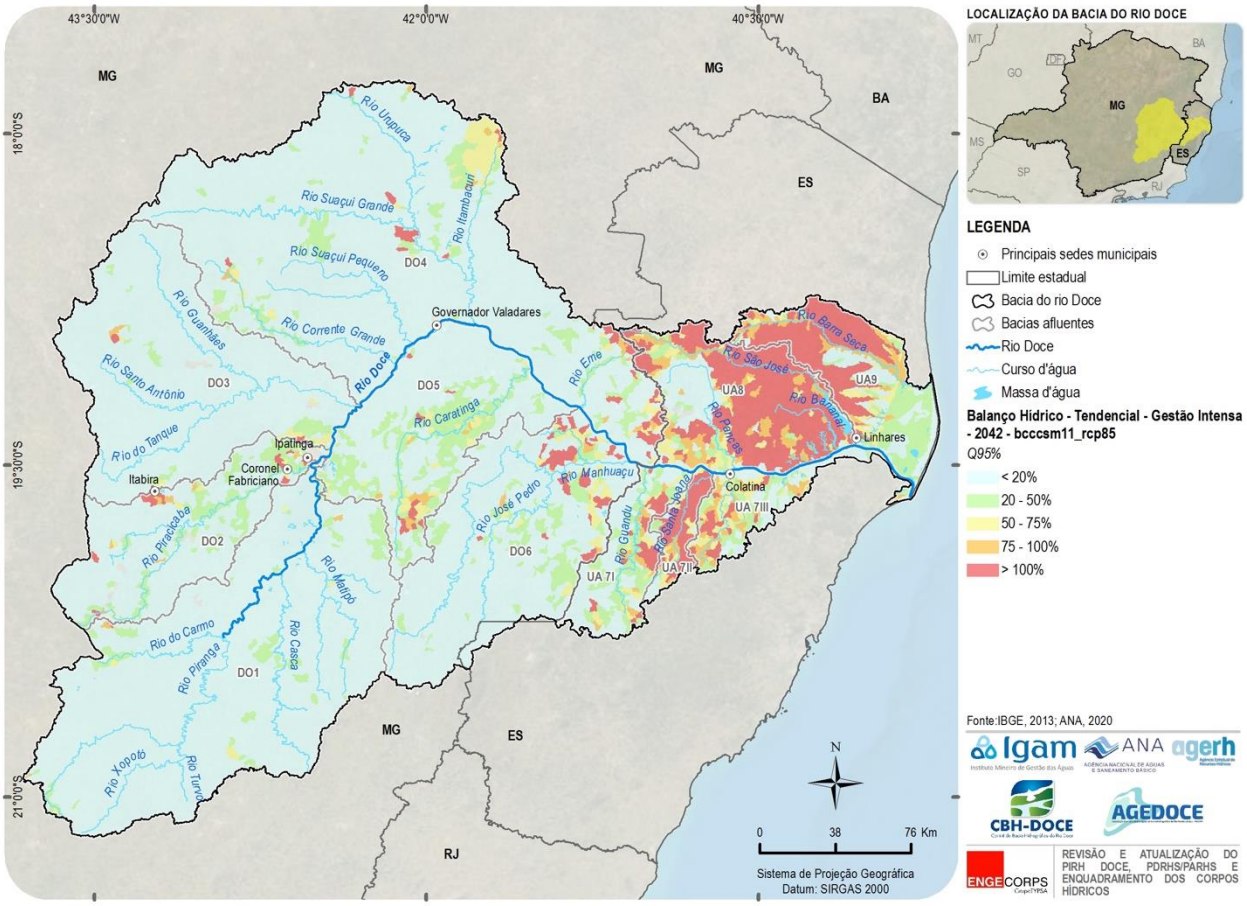


Figura 4.14 - Balanço Hídrico Quantitativo – Demandas: Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial e Demandas de Irrigação Correspondentes às Mudanças Climáticas no Cenário Crítico para 2042 / Disponibilidade: Modelo bcccsm11 com 85% da variação da precipitação futura em relação ao presente

A Figura 4.14 apresenta o cenário crítico de mudança do clima com a **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial), enquanto a Figura 4.15 apresenta essa mesma combinação com o cenário intermediário de MC. Para ambos os estados de clima, os efeitos da gestão intensa claramente se refletem na redução do comprometimento hídrico na bacia.

Sob o clima crítico, o crescimento das áreas comprometidas de 53% frente ao mesmo cenário de clima sem a perspectiva de gestão é reduzido para um acréscimo de 41%, o que exclui 58 ottobacias do vermelho. Já sob o clima intermediário, a gestão tem um efeito menor, uma vez que grande parte da criticidade já é aliviada pela maior disponibilidade hídrica. Mesmo assim, ao invés de se ter uma redução de 38% das áreas críticas frente a cena atual, ter-se-ia uma redução de 45%.

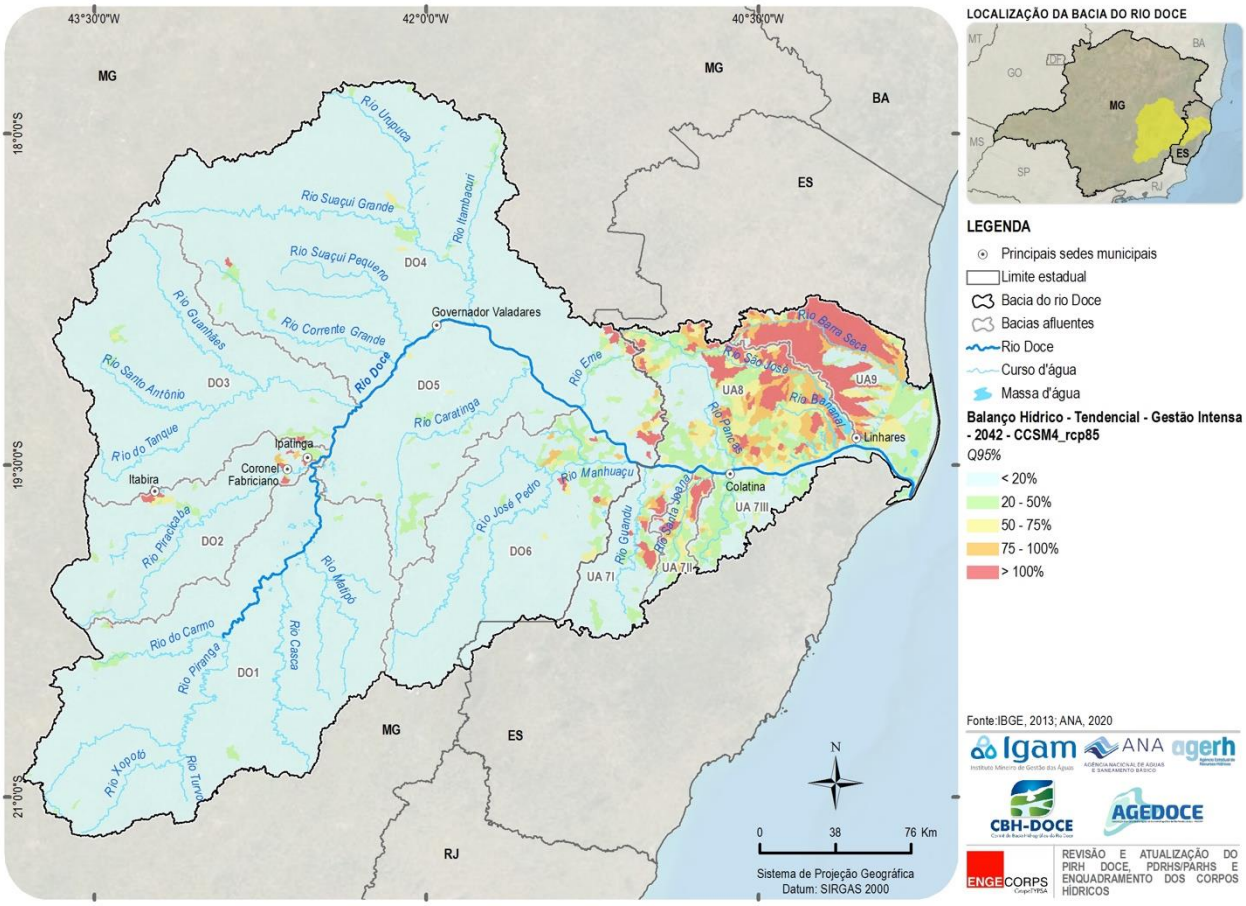


Figura 4.15 - Balanço Hídrico Quantitativo – Demandas: Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial e Demandas de Irrigação Correspondentes às Mudanças Climáticas no Cenário Intermediário para 2042 / Disponibilidade: Modelo CCSM4 com 85% da variação da precipitação futura em relação ao presente

Uma vez que a mudança do clima é exógena, cabe investigar como seria o resultado do balanço quantitativo na combinação dos dois fatores externos que mais pressionam os recursos hídricos: Mais crescimento econômico e cenário de clima crítico. Com essa combinação, cujo resultado pode ser observado na Figura 4.16, revela-se que um total de 328 novas ottobacias passam a ter seus balanços hídricos comprometidos, frente a cena atual, em um total de 799 (contra os atuais 471).

O crescimento percentual das áreas críticas é de 70%, o que demonstra que mesmo sob um cenário de clima que não necessariamente reduz as vazões em toda a extensão da bacia, os conflitos tendem a ser maiores. Esse acréscimo de áreas comprometidas é 7 pontos percentuais superior ao trazido pela **combinação 4,** que não tem o efeito da mudança do clima.

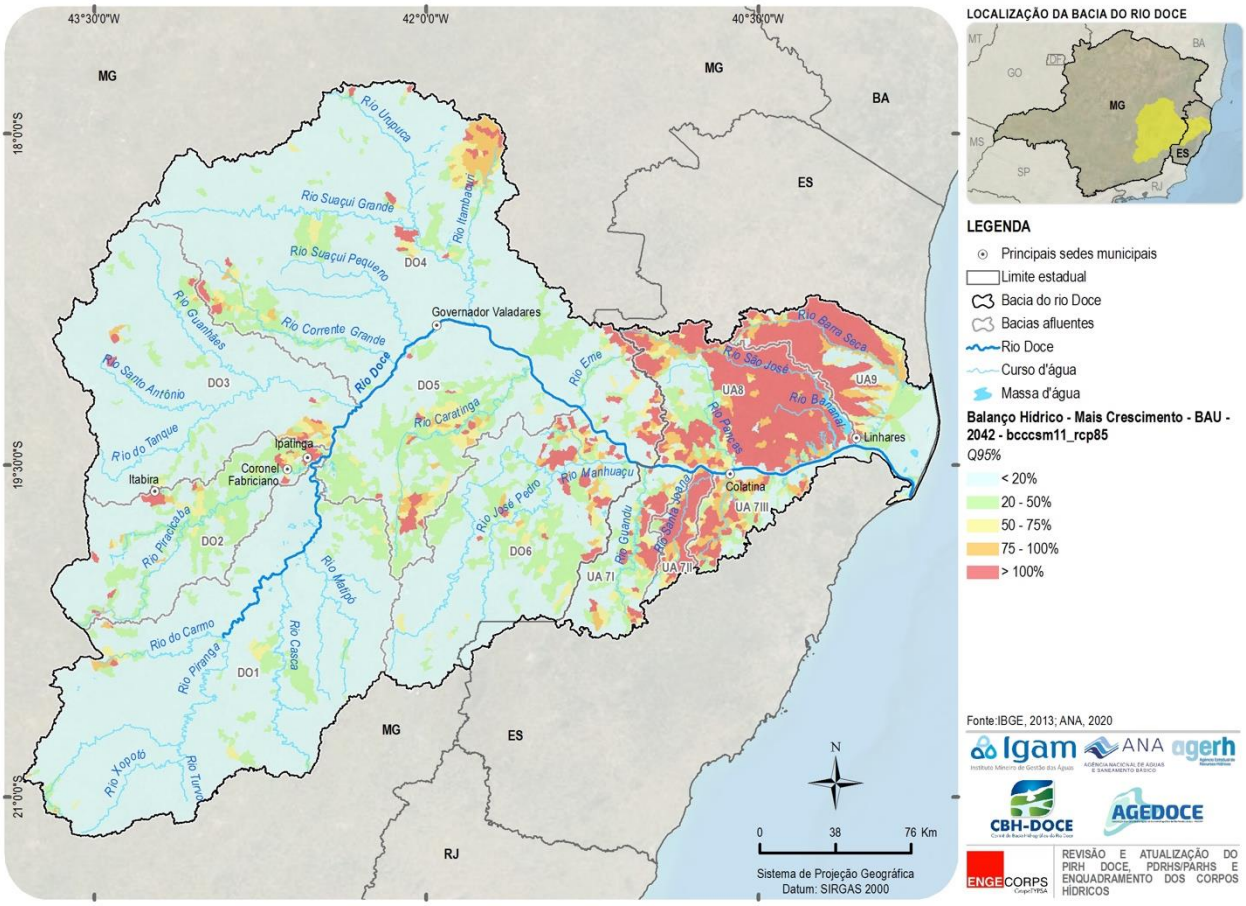


Figura 4.16 - Balanço Hídrico Quantitativo – Demandas: Cenário Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento e Demandas de Irrigação Correspondentes às Mudanças Climáticas no Cenário Crítico para 2042 / Disponibilidade: Modelo bcccsm11 com 85% da variação da precipitação futura em relação ao presente

Com essa perspectiva de dupla pressão exógena, que se configura como a mais crítica dentre as investigadas, a adição da componente endógena de gestão intensa dos recursos hídricos consegue atenuar a pressão. Os resultados dessa simulação são observados na Figura 4.17. Frente à cena atual, o crescimento das áreas comprometidas passa a ser de 52% ao invés de 70% na configuração sem gestão, o que é um ganho expressivo de 18 pontos percentuais.

Essa redução da pressão ocorre principalmente na região dos municípios de Mariana, Ouro Preto, Tarumirim, Ipatinga, Santana do Paraíso, Itambacuri, Ganhães, Ubaporanga, Piedade de Caratinga e Caratinga no estado de Minas Gerais e em grande parte das bacias afluentes capixabas. Ao todo, a gestão intensa consegue resgatar 84 ottobacias da criticidade.

A análise dos balanços hídricos sob mudança do clima reforça a necessidade de se preparar a gestão das águas para a incerteza e oscilação nas referências passadas. Outorgas negociadas, sazonais ou mesmo mercados de água podem ser instrumentos econômicos interessantes para abordar a permanência da criticidade de diversas áreas na bacia, mesmo com a perspectiva de maior disponibilidade hídrica trazida pelas vazões do cenário intermediário de mudança do clima.

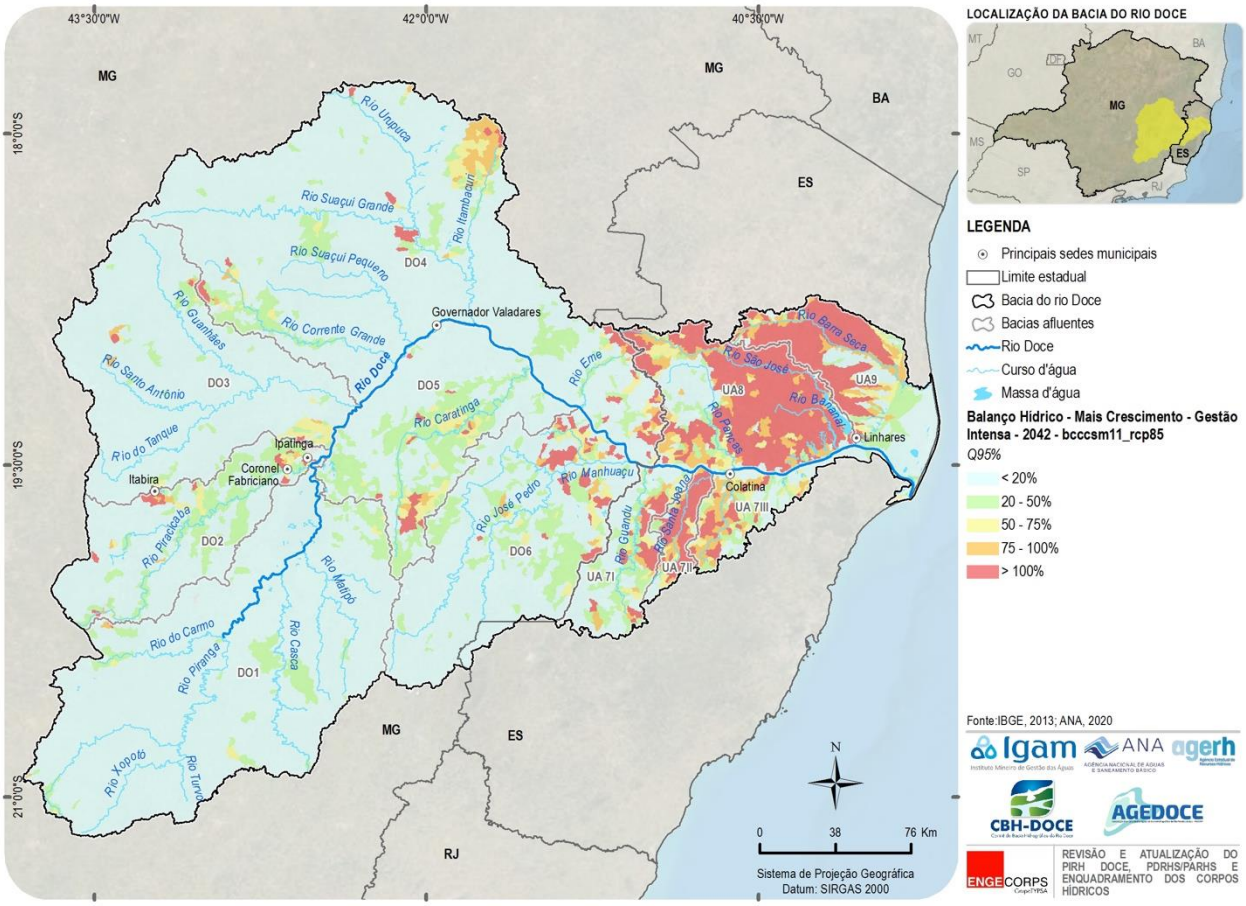


Figura 4.17 - Balanço Hídrico Quantitativo – Demandas: Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento e Demandas de Irrigação Correspondentes às Mudanças Climáticas no Cenário Crítico para 2042 / Disponibilidade: Modelo bcccsm11 com 85% da variação da precipitação futura em relação ao presente

4.3 DEMANDAS HÍDRICAS NÃO CONSUNTIVAS FUTURAS

No momento, e conforme exposto no Capítulo 3, na região da bacia do rio Doce são previstas ações para a adequação e modernização da geração de energia por hidrelétricas, obtendo-se, assim, maior eficiência para o parque gerador já instalado.

Também estão outorgados, em fase de construção ou de construção ainda não iniciada sete PCHs e uma CGH (ver Quadro 3.14). Em estudo, encontram-se duas UHEs e 21 PCHs (Quadro 3.15).

Outros usos futuros dos recursos hídricos para atividades que não resultam em demandas consuntivas, tais como as de turismo e lazer serão registrados nas contribuições a serem obtidas durante a segunda rodada de Oficinas e Consultas Públicas, tal como foi realizado na etapa de Diagnóstico.

4.4 CARGAS POLUENTES FUTURAS

4.4.1 Critérios Adotados para Estimativa e Alocação Espacial das Cargas

As projeções endógenas e exógenas adotadas para a construção dos cenários influenciam diretamente no cálculo das cargas poluentes futuras, seja com a articulação da gestão dos recursos hídricos, que implica o contraste entre as cargas brutas e tratadas a serem lançadas nos corpos receptores, seja com os desdobramentos macroeconômicos da bacia, através da intensificação ou arrefecimento da pressão sobre os recursos hídricos.

Além dos coeficientes unitários apresentados no PP 03, na etapa de Diagnóstico, e que foram revisados no presente relatório (ver item 2.2.21), uma vez que a atividade de aquicultura possui grande importância na geração de cargas, principalmente de fósforo, foi acrescentado o coeficiente unitário de 0,056 kg de fósforo emitidos por toneladas de peixe ao dia[122] para a estimativa das cargas futuras, com base na produção de tilápia prevista na bacia do rio Doce.

Devido à dificuldade de determinar com exatidão a localização de futuros empreendimentos, foram considerados os seguintes critérios para a alocação das cargas nos corpos hídricos:

- ✓ ETEs: para os municípios que não possuem ETE, adotou-se o planejamento do Atlas Esgotos (op. cit.) de 2035, sendo também, realizado um refinamento do corpo receptor com base na localização da mancha urbana e na disponibilidade hídrica do manancial;
- ✓ Mineração: as cargas de mineração foram alocadas nas ottobacias a jusante das lavras sinalizadas como possíveis expansões da atividade (ver Item 3.3.6 - Mineração);
- ✓ Indústrias: as cargas industriais foram distribuídas proporcionalmente às ottobacias que abrigam áreas urbanas; e
- ✓ Aquicultura: para os municípios que possuem cadastro de captação para aquicultura, as cargas foram lançadas no mesmo corpo hídrico da captação; no caso de o município não apresentar registro, o lançamento foi feito no manancial, dentro do município, com maior disponibilidade hídrica.

Vale destacar que para a atividade industrial as cargas futuras foram estimadas com base nas declarações de cargas poluidoras e outorgas de lançamento existentes. Assim, para os municípios que possuem cadastros, aplicou-se o percentual de crescimento da demanda industrial do município sobre a carga existente, sendo a diferença distribuída nas áreas urbanas. Enquanto para os municípios que não possuem registros, a taxa de crescimento foi calculada sob as seguintes ponderações:

- ✓ DBO: média dos cadastros de lançamento existentes, separados em parcelas de vazões menores que 0,1 m^3/s e maiores ou iguais a 0,1 m^3/s;
- ✓ Fósforo: a partir dos registros existentes foi possível obter uma curva paramétrica logarítmica com coeficiente de determinação próximo de 1; e

[122] Proposta de Atualização do Enquadramento da Bacia do Paraná 3 – BP3, desenvolvido pela AGUASPARANA, COBRAPE e PADE BP3, em Junho de 2016..

- ✓ Nitrogênio e SST: não foi possível encontrar uma relação entre as cargas informadas nos cadastros, sendo, portanto, desconsideradas para os municípios que não possuem declarações de cargas poluentes ou outorgas de lançamentos.

Para as cargas de ferro dissolvido e arsênio provenientes das atividades de mineração, também foram consideradas as taxas de crescimento, porém, da demanda de mineração: de acordo com o tipo de minério, no caso do ferro dissolvido, o próprio minério de ferro, e para o arsênio, a composição dos minérios que o contém, sobre a média dos dados informados nas declarações de cargas poluidoras.

4.4.2 Estimativas de Cargas Poluentes por Cenários e Bacias Afluentes

Neste item, são apresentados os resultados das estimativas de cargas obtidas para todas as combinações de fatores exógenos e endógenos em todos os horizontes temporais considerados para a construção dos cenários, tal como exposto no Quadro 3.1 do Capítulo 3 deste relatório.

Os Quadros 4.17 a 4.19 apresentam as estimativas das cargas de DBO por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.18 ilustra a carga total de DBO obtida em cada cenário e horizonte temporal.

QUADRO 4.17 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - DBO (T/ANO)

Exógeno	***Tendencial***								
Endógeno	***BAU***			***Gestão Moderada***			***Gestão Intensa***		
Bacia Afluente	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	20.091,4	19.876,5	19.137,1	18.673,9	17.495,7	15.845,2	17.653,0	12.732,5	12.190,1
DO2	12.106,7	11.733,1	10.783,0	10.355,4	9.155,0	7.550,1	8.938,6	4.765,1	4.243,2
DO3	3.480,4	3.481,9	3.397,6	3.207,1	3.040,9	2.783,9	3.100,9	2.214,5	2.112,6
DO4	8.108,7	7.727,6	6.846,9	6.604,9	5.294,6	3.922,8	6.332,1	2.618,5	2.126,1
DO5	5.529,6	5.353,0	4.883,2	4.570,7	3.771,8	2.913,3	4.128,2	1.762,0	1.444,8
DO6	4.122,8	3.995,8	3.641,3	3.725,6	3.319,6	2.615,4	3.330,9	1.428,9	1.208,0
UA7 I	981,4	1.001,2	986,1	790,8	699,0	590,2	708,7	386,3	359,2
UA7 II	177,1	177,3	167,9	156,1	144,4	117,4	138,6	63,9	58,1
UA7 III	2.017,4	2.137,0	2.280,7	1.734,1	1.757,2	1.774,4	1.453,6	1.251,2	1.251,0
UA8	3.668,2	3.836,4	3.914,6	3.093,4	2.826,2	2.561,2	3.095,2	1.873,9	1.733,2
UA9	1.140,2	1.186,3	1.249,7	1.125,8	1.181,1	1.210,1	1.262,8	738,8	696,8
Total	***61.423,8***	***60.506,2***	***57.288,1***	***54.037,8***	***48.685,6***	***41.884,1***	***50.142,7***	***29.835,5***	***27.423,2***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.18 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - DBO (T/ANO)

Exógeno	Mais Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	20.751,5	20.868,5	20.335,5	19.265,6	18.346,0	16.822,7	18.199,9	13.326,5	12.902,9
DO2	12.220,7	11.860,0	10.917,6	10.457,7	9.262,1	7.649,4	9.027,1	4.817,6	4.288,7
DO3	3.577,2	3.640,2	3.581,9	3.292,5	3.173,6	2.930,6	3.183,1	2.309,2	2.163,5
DO4	8.352,0	8.045,7	7.159,9	6.817,9	5.549,3	4.172,4	6.536,9	2.770,8	2.266,4
DO5	5.839,3	5.720,4	5.192,3	4.825,0	4.028,9	3.104,6	4.358,4	1.872,6	1.522,0
DO6	4.399,5	4.294,3	3.930,2	3.976,0	3.570,3	2.833,0	3.548,5	1.543,5	1.316,4
UA7 I	1.033,0	1.083,2	1.076,8	842,6	809,7	734,2	759,4	453,4	371,8
UA7 II	177,8	178,5	171,1	156,6	145,3	119,5	139,1	64,2	59,1
UA7 III	2.156,7	2.319,7	2.494,5	1.853,9	1.913,6	1.955,4	1.556,8	1.343,3	1.277,1
UA8	4.102,4	4.569,7	4.896,6	3.491,3	3.494,7	3.426,9	3.466,7	2.238,1	1.811,3
UA9	1.166,5	1.242,3	1.334,6	1.152,6	1.232,3	1.277,3	1.295,6	763,7	725,1
Total	**63.776,5**	**63.822,5**	**61.091,0**	**56.131,8**	**51.525,8**	**45.025,9**	**52.071,5**	**31.503,0**	**28.704,2**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.19 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - DBO (T/ANO)

Exógeno	Menos Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	19.607,5	19.339,0	18.513,8	18.243,0	17.058,5	15.406,2	17.265,7	12.546,3	11.993,6
DO2	12.001,9	11.610,8	10.641,3	10.268,8	9.065,1	7.457,9	8.864,4	4.725,7	4.199,3
DO3	3.364,9	3.352,3	3.246,4	3.102,9	2.932,2	2.669,6	2.999,4	2.162,1	2.057,1
DO4	7.846,6	7.427,0	6.485,5	6.366,0	5.041,9	3.660,1	6.088,0	2.509,2	2.013,9
DO5	5.384,7	5.181,6	4.665,4	4.446,4	3.644,9	2.780,2	4.013,8	1.712,3	1.390,5
DO6	3.911,4	3.756,7	3.369,3	3.534,6	3.121,9	2.425,8	3.158,4	1.356,0	1.134,9
UA7 I	890,6	903,6	883,5	713,7	621,7	514,3	636,4	343,8	316,9
UA7 II	146,3	144,9	137,6	128,6	118,2	97,5	114,8	54,6	50,2
UA7 III	1.990,2	2.098,0	2.226,4	1.711,3	1.728,1	1.738,5	1.432,3	1.239,2	1.236,9
UA8	3.580,8	3.737,3	3.794,0	3.013,9	2.736,6	2.451,2	2.991,4	1.823,1	1.682,4
UA9	1.103,8	1.143,7	1.194,3	1.093,9	1.143,4	1.161,3	1.232,5	718,9	672,0
Total	**59.828,7**	**58.695,0**	**55.157,4**	**52.623,2**	**47.212,5**	**40.362,5**	**48.797,1**	**29.191,1**	**26.747,7**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

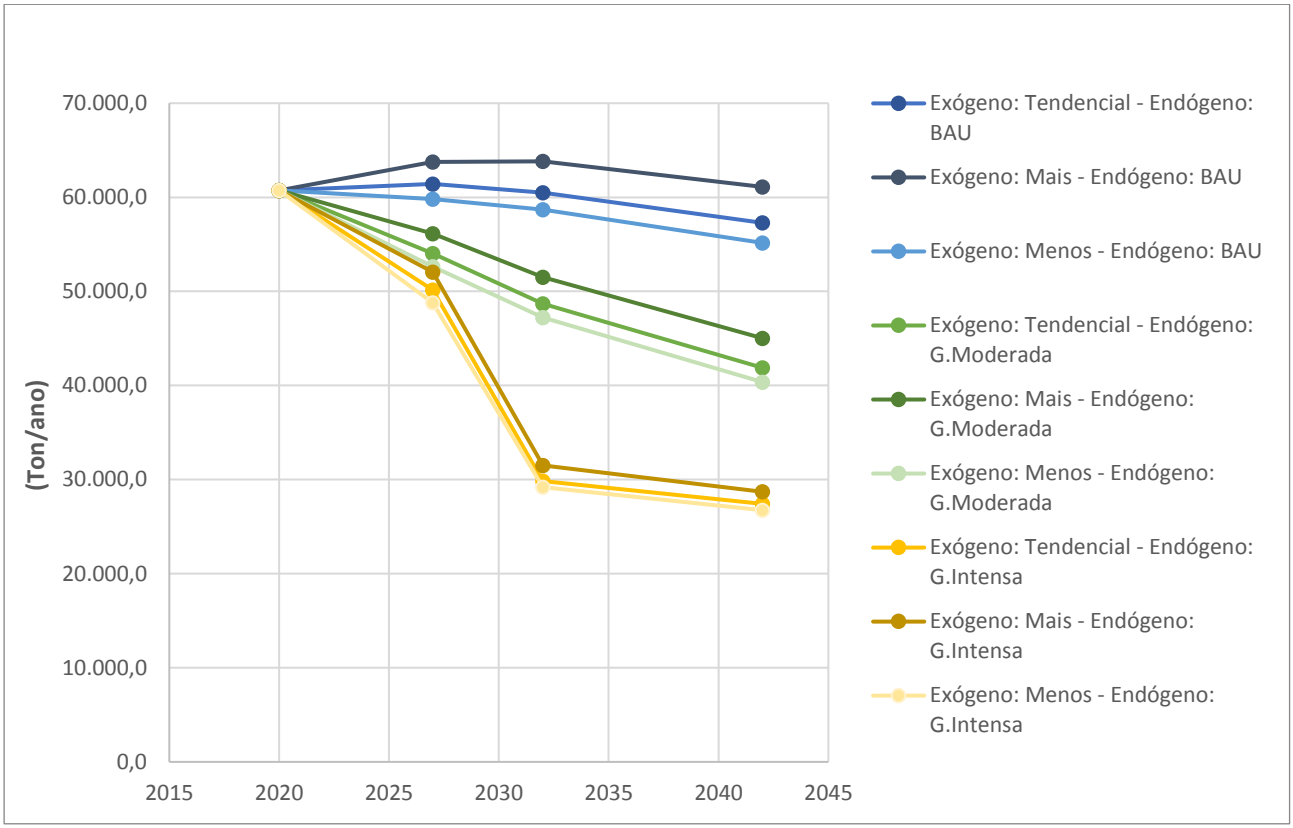


Figura 4.18 - Resumo das Cargas Totais de DBO Estimadas para a Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

Observa-se na Figura 4.18 que as cargas de DBO respondem de forma clara às perspectivas endógenas (gestão dos recursos hídricos), com uma forte redução de patamar já sob gestão moderada; sob gestão intensa, observa-se outra forte redução, atingindo-se um patamar ainda inferior de carga. Observa-se que a sensibilidade das cargas de poluição orgânica por DBO nas perspectivas exógenas é maior quanto menos gestão se prevê.

As ações de gestão antevistas preponderam em relação aos fatores não controláveis para as cargas de DBO: sob gestão intensa, é interessante observar a estabilidade com ligeira queda das cargas remanescentes entre os anos de 2032 e 2042: em dez anos, simulou-se o atendimento praticamente integral à meta de universalização do saneamento trazida pelo Marco Legal (Lei nº. 14.026/2020) com 90% de coleta e tratamento de esgoto sanitário e 10% de fossas sépticas/sumidouro. Já entre 2032 e 2042, previu-se a manutenção de tais índices de atendimento. Corrobora para a redução entre 2032 e 2042 o arrefecimento do crescimento populacional, que implica uma geração menor desta carga poluidora. Nota-se, outrossim, que o patamar de cerca de 30 mil toneladas por ano é o limite inferior do que a tecnologia de remoção atualmente prescreve.

Na **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), que pode ser tida como **cenário tendencial** ao representar a continuação do *status quo*, a carga remanescente de DBO sofre um incremento no curto prazo de 5%, seguido de uma estabilização até 2032 e uma redução destes mesmos 5% no longo prazo. Ou seja, tem-se uma projeção de estabilização da pressão pela

geração de carga remanescente para esse parâmetro, embora isso se dê em um patamar elevado de poluição.

A **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) demonstra os efeitos possíveis de serem obtidos exclusivamente com a gestão intensa sobre as condições tendenciais, com a qual se observa uma redução muito significativa de 48% nas cargas de DBO no intervalo de dez anos (2032).

A **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) permite identificar quais são os efeitos de uma perspectiva isolada de maior crescimento das demandas - função de pressões exógenas populacionais e econômicas. Observa-se que, no horizonte de médio prazo (2032), essa combinação resulta em um incremento de 12% nas cargas.

Caso haja adoção da gestão moderada sob esse estado de maior pressão externa (**combinação 5** - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), as cargas de 2032 conseguem ser reduzidas em 9% frente a cena atual, representando uma redução expressiva e 18% em relação ao resultado de 2032 para a combinação 4.

A adoção de gestão intensa sob esse mesmo contexto de maior pressão (**combinação 6** - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) reduz as cargas remanescentes ainda mais, atingindo-se -43% frente a cena atual e -49% frente ao que seria esperado, em 2032, na combinação 4.

Como visto, as perspectivas de gestão moderada e intensa conseguem reduzir as cargas remanescentes para níveis inferiores, sendo muito amplo o resultado da gestão intensa. As reduções conseguem muito mais do que neutralizar o acréscimo de demandas projetado sob perspectiva de crescimento exógeno. Para averiguar como se dão essas respostas de gestão em uma perspectiva exógena de menor pressão sobre os recursos hídricos, vê-se a **combinação 8** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento): no médio prazo (2032), há uma redução de 18% na carga remanescente em relação a cena atual; a redução é de 19% frente ao esperado no mesmo ano caso não haja gestão.

Sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta uma redução de 49% em 2032, relativo a cena atual; e redução de 50% frente ao que se esperaria obter sem gestão. Dessa feita, permite-se concluir que os esforços de gestão se sobressaem as forçantes exógenas, e precisam ser levados a cabo de forma a retrair o nível de poluição orgânica por DBO.

Analisando-se agora o parâmetro nitrogênio (N), observam-se nos Quadros 4.20 a 4.22 as estimativas das cargas totais por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.19 ilustra a carga total de nitrogênio total em cada cenário e horizonte temporal.

QUADRO 4.20 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - NITROGÊNIO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	*Tendencial*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	1.732,0	1.771,5	1.804,6	1.706,8	1.731,3	1.758,3	1.747,4	1.717,9	1.755,1
DO2	2.513,1	2.558,8	2.577,1	2.495,1	2.517,0	2.529,3	2.518,0	2.514,4	2.534,9
DO3	435,0	458,3	490,1	460,7	499,8	538,5	495,4	546,4	565,3
DO4	1.142,8	1.129,6	1.078,5	991,3	888,4	818,1	1.042,7	819,2	806,3
DO5	943,3	1.031,8	1.170,5	1.135,4	1.338,8	1.508,2	1.196,9	1.518,7	1.597,8
DO6	659,9	689,1	724,3	665,0	696,7	735,7	689,6	735,8	762,6
UA7 I	1.591,3	1.971,4	2.321,7	1.383,0	1.688,9	1.657,6	946,3	897,8	912,8
UA7 II	45,1	48,1	51,9	45,2	48,2	52,0	46,1	48,2	51,7
UA7 III	739,1	793,4	875,2	783,3	861,3	944,4	819,4	950,4	1.020,7
UA8	475,3	512,4	553,7	437,9	444,9	463,9	487,3	444,8	468,9
UA9	170,3	185,5	210,4	181,0	203,4	231,3	222,0	197,7	209,4
Total	***10.447,1***	***11.150,0***	***11.858,1***	***10.284,7***	***10.918,9***	***11.237,1***	***10.211,1***	***10.391,4***	***10.685,5***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.21 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - NITROGÊNIO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	*Mais Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	1.801,6	1.858,7	1.900,1	1.773,9	1.815,5	1.850,9	1.815,3	1.799,1	1.844,9
DO2	2.539,4	2.591,5	2.615,5	2.521,7	2.549,8	2.567,5	2.544,7	2.543,1	2.558,9
DO3	448,3	478,3	514,0	474,1	520,1	562,8	509,6	567,7	590,3
DO4	1.182,5	1.183,3	1.135,4	1.029,9	939,9	874,5	1.084,0	871,8	864,8
DO5	993,7	1.096,9	1.234,6	1.189,9	1.411,0	1.577,8	1.254,0	1.596,4	1.670,1
DO6	704,4	738,4	775,0	709,9	747,7	789,1	735,4	787,9	813,3
UA7 I	2.296,2	2.801,2	3.235,5	2.122,1	3.168,5	3.678,4	1.673,0	1.803,6	921,3
UA7 II	45,3	48,3	52,8	45,3	48,3	52,8	46,2	48,3	52,4
UA7 III	776,5	837,1	921,9	823,6	908,5	993,1	861,4	994,6	1.046,8
UA8	527,8	591,0	653,4	488,1	522,2	563,6	540,2	502,9	500,7
UA9	175,7	197,9	231,3	186,8	216,5	252,9	229,1	211,0	231,8
Total	***11.491,3***	***12.422,5***	***13.269,5***	***11.365,4***	***12.848,0***	***13.763,3***	***11.292,9***	***11.726,3***	***11.095,4***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.22 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - NITROGÊNIO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	*Menos Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	1.648,1	1.672,3	1.675,2	1.622,7	1.631,8	1.628,9	1.660,5	1.616,8	1.623,8
DO2	2.491,0	2.531,9	2.542,9	2.473,5	2.491,1	2.496,4	2.496,4	2.489,1	2.502,3
DO3	412,8	432,0	456,2	437,8	472,3	502,8	470,0	516,0	527,1
DO4	1.099,1	1.076,3	1.006,8	947,3	834,6	746,1	991,0	758,6	728,5
DO5	919,1	1.000,6	1.123,2	1.110,1	1.305,3	1.456,2	1.169,7	1.482,0	1.542,5
DO6	624,7	646,1	667,2	629,7	653,5	678,1	652,6	691,1	704,0
UA7 I	1.568,6	1.946,1	2.292,8	1.360,1	1.663,1	1.627,6	921,7	870,1	880,9
UA7 II	39,2	41,5	44,8	39,3	41,6	44,9	40,2	41,8	44,9
UA7 III	731,4	780,1	853,4	775,7	848,1	922,8	810,8	935,4	996,3
UA8	452,2	485,5	519,9	414,1	416,3	427,0	456,1	409,0	425,8
UA9	161,5	174,7	195,9	172,0	192,3	216,2	212,1	186,5	195,0
Total	***10.147,8***	***10.787,2***	***11.378,4***	***9.982,4***	***10.550,0***	***10.747,0***	***9.880,9***	***9.996,4***	***10.171,0***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

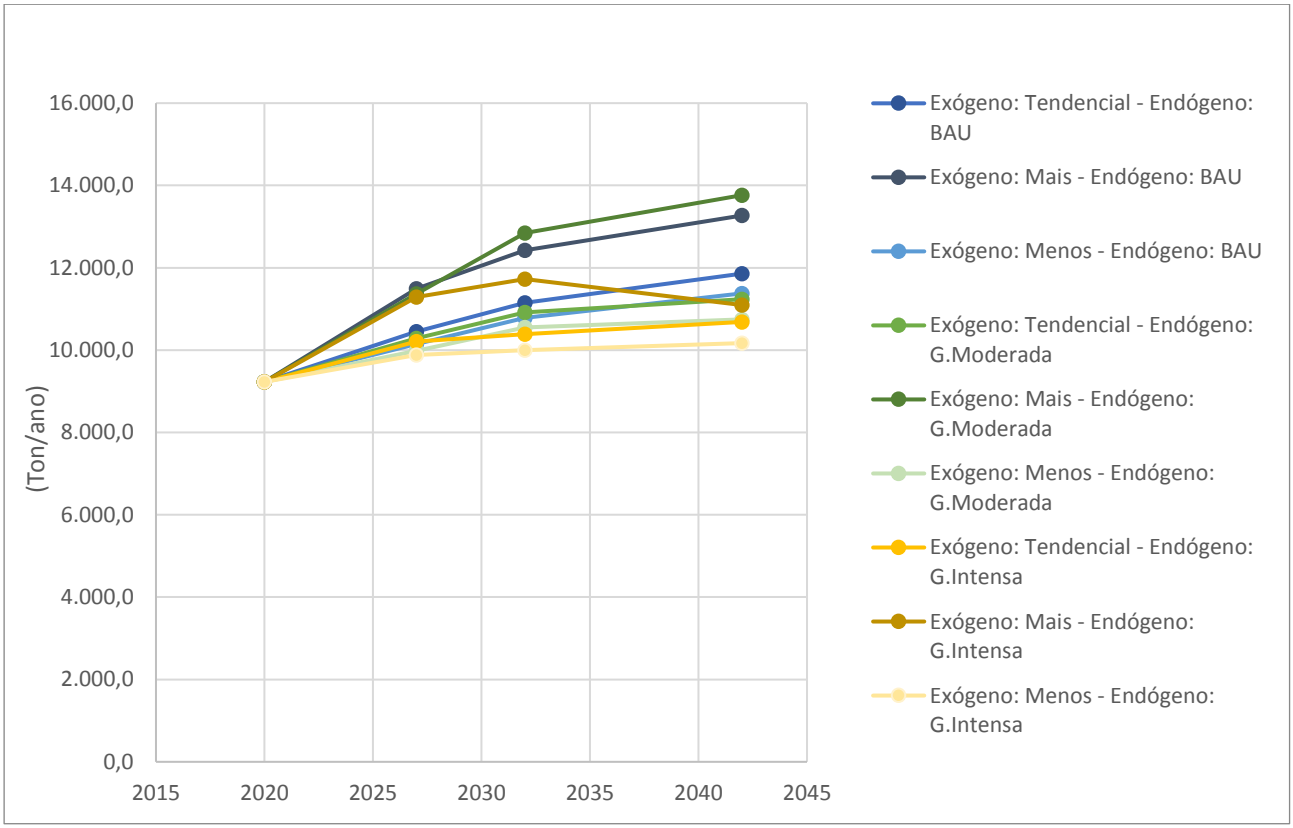


Figura 4.19 - Resumo das Cargas Totais de Nitrogênio Total Estimadas para a Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

Observa-se na Figura 4.19 que as cargas totais de nitrogênio total apresentam perspectivas de crescimento em quaisquer combinações, mesmo quando se contabilizam os efeitos de gestão. Mesmo quando se contabilizam os efeitos de gestão na combinação mais branda de pressão exógena, há acréscimo na carga gerada de 8% em relação a cena atual (uma adição de 942 toneladas por ano). Diferentemente que para o parâmetro de DBO, fósforo, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos, a remoção de cargas de nitrogênio não é comum de ocorrer via ETEs, embora parte expressiva de sua geração também seja advinda da população. Além dessa fonte geradora, são cargas que apresentam maior sensibilidade às perspectivas exógenas.

Na **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), que pode ser tida como **cenário tendencial** ao representar a continuação do *status quo*, a carga remanescente de nitrogênio total sofre um incremento de 13% já no curto prazo, crescimento este que é equivalente a 21% da geração na cena atual em 2032 e, por fim, um crescimento menos intenso até 2042 que culmina em cargas 28% superiores as da cena atual. Ou seja, sob perspectiva tendencial, as cargas tendem a apresentar crescimento.

A **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) demonstra os efeitos possíveis de serem obtidos exclusivamente com a gestão intensa sobre as condições tendenciais, com a qual se observa uma redução no ritmo de incremento, o que culmina em uma carga 13% maior de nitrogênio em 2032 do que na cena atual, representando então uma redução de 7% em relação ao crescimento esperado sem os esforços de gestão (comparando a carga desta combinação 3 com a da combinação 1) no mesmo ano de 2032.

Já a **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) permite identificar quais são os efeitos de uma perspectiva isolada de maior crescimento das demandas - função de pressões exógenas econômicas. Observa-se que, no horizonte de médio prazo (2032), essa combinação resulta em um incremento de intenso de 39% nas cargas frente a cena atual, e 11% sobre a carga de 2032 na combinação 1.

Caso haja adoção da gestão moderada sob esse estado de maior pressão externa (**combinação 5** - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), as cargas de 2032 ainda aumentam em 35% frente a cena atual, representando um crescimento de 3% sobre o resultado de 2032 para a combinação 4. Ou seja, os esforços de gestão moderada não conseguem reduzir as cargas de forma a superar as pressões exógenas de mais crescimento.

A adoção de gestão intensa sob esse mesmo contexto de maior pressão (**combinação 6** - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) consegue reduzir a pressão sobre o aumento das cargas, fazendo com que o acréscimo em 2032 seja de 27% sobre a cena atual. Embora ainda seja um incremento grande, caso não fossem impostas as ações de gestão, as cargas de N seriam maiores - reduzem-se os lançamentos em 6% frente ao que seria esperado em 2032 pela combinação 4.

Como visto, as perspectivas de gestão moderada e intensa conseguem apenas atenuar a velocidade de crescimento das cargas de N, não conseguindo reduzi-las em relação a cena atual. Para averiguar como se dão essas respostas de gestão em uma perspectiva exógena de menor

pressão sobre os recursos hídricos, vê-se a **combinação 8** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento): no médio prazo (2032), há um acréscimo de 14% na carga remanescente em relação à cena atual; resultado que corresponde a uma redução efetiva de 2% frente ao esperado no mesmo ano caso não haja gestão.

Sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta um crescimento de apenas 8% das cargas em 2032, relativo a cena atual; o que se traduz em redução d 7% em relação ao que ocorreria no mesmo ano na ausência de gestão. Dessa feita, permite-se concluir que os esforços de gestão são essenciais para que haja ao menos uma piora menor em relação à geração de carga prevista pelas forçantes exógenas.

Outro parâmetro de interesse é o fósforo. Os Quadros 4.23 a 4.25 apresentam as estimativas das cargas totais desse nutriente por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.20 ilustra a carga total de fósforo total, por cenário e horizonte temporal.

QUADRO 4.23 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - FÓSFORO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	***Tendencial***								
Endógeno	***BAU***			***Gestão Moderada***			***Gestão Intensa***		
Bacia Afluente	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	536,9	549,2	559,5	478,1	451,8	414,5	370,2	125,8	95,5
DO2	742,1	755,7	760,8	599,5	575,7	541,4	371,8	169,1	143,5
DO3	152,9	160,6	170,8	135,9	138,3	139,1	100,8	58,1	53,1
DO4	356,6	352,4	336,5	286,3	241,0	200,3	246,0	73,8	50,9
DO5	294,7	322,3	365,7	293,3	314,5	328,3	196,2	95,2	82,1
DO6	209,6	218,6	229,5	189,6	186,5	178,8	144,6	57,2	47,2
UA7 I	62,4	67,5	73,8	50,8	51,5	51,5	33,6	18,3	17,0
UA7 II	14,1	15,0	16,2	11,3	11,6	11,8	6,9	3,6	3,4
UA7 III	173,4	188,4	211,9	133,6	146,5	161,1	57,1	47,8	48,7
UA8	142,9	149,0	156,8	112,8	105,9	104,4	92,7	36,8	30,5
UA9	56,2	61,0	68,7	51,4	56,5	62,1	48,6	25,6	23,9
Total	2.741,9	2.839,7	2.950,2	2.342,5	2.280,0	2.193,3	1.668,4	711,5	595,9

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.24 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - FÓSFORO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	Mais Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	558,6	576,3	589,1	497,3	473,9	436,3	385,4	132,3	100,9
DO2	749,6	764,4	770,6	606,0	583,2	549,4	376,4	172,0	145,0
DO3	157,3	167,3	178,8	139,6	143,9	145,4	103,7	60,6	54,8
DO4	368,8	368,8	353,7	296,6	254,0	213,4	254,1	78,1	54,8
DO5	310,4	342,6	385,6	308,0	332,3	344,3	206,9	100,6	86,1
DO6	223,5	234,4	246,2	202,3	200,2	192,1	154,3	61,9	51,4
UA7 I	66,1	73,2	80,7	54,6	59,7	62,7	37,2	22,9	17,5
UA7 II	14,1	15,1	16,5	11,3	11,6	12,0	6,9	3,6	3,5
UA7 III	183,0	197,5	220,1	141,3	154,0	167,8	60,7	50,3	49,9
UA8	153,3	161,3	171,0	121,2	115,5	115,2	99,7	40,8	32,5
UA9	57,9	64,8	75,3	52,9	59,7	67,1	50,0	26,7	25,3
Total	**2.842,5**	**2.965,8**	**3.087,7**	**2.431,1**	**2.388,1**	**2.305,8**	**1.735,3**	**749,8**	**621,9**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.25 – CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - FÓSFORO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	Menos Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	510,7	518,2	519,1	454,8	425,9	383,8	352,6	118,2	87,8
DO2	735,2	747,3	750,1	594,0	569,5	533,9	368,4	167,4	141,7
DO3	146,0	152,4	160,2	129,8	131,4	130,7	96,1	55,9	50,8
DO4	342,9	335,8	314,0	273,7	226,5	182,5	234,7	68,9	45,9
DO5	287,1	312,6	350,9	286,3	306,0	316,4	190,8	92,7	79,2
DO6	198,6	205,1	211,7	179,5	175,0	164,9	136,6	53,8	43,7
UA7 I	55,3	59,4	64,4	45,3	45,4	44,7	30,3	16,3	14,9
UA7 II	12,2	13,0	14,0	9,7	9,9	10,1	5,7	3,1	3,0
UA7 III	171,0	184,2	205,2	131,8	143,5	156,5	55,9	46,9	47,5
UA8	135,8	140,7	146,5	107,0	99,1	95,7	87,7	34,1	27,6
UA9	53,5	57,6	64,2	49,2	53,8	58,5	47,2	24,7	22,8
Total	**2.648,3**	**2.726,3**	**2.800,2**	**2.261,0**	**2.185,9**	**2.077,7**	**1.606,0**	**681,9**	**564,9**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

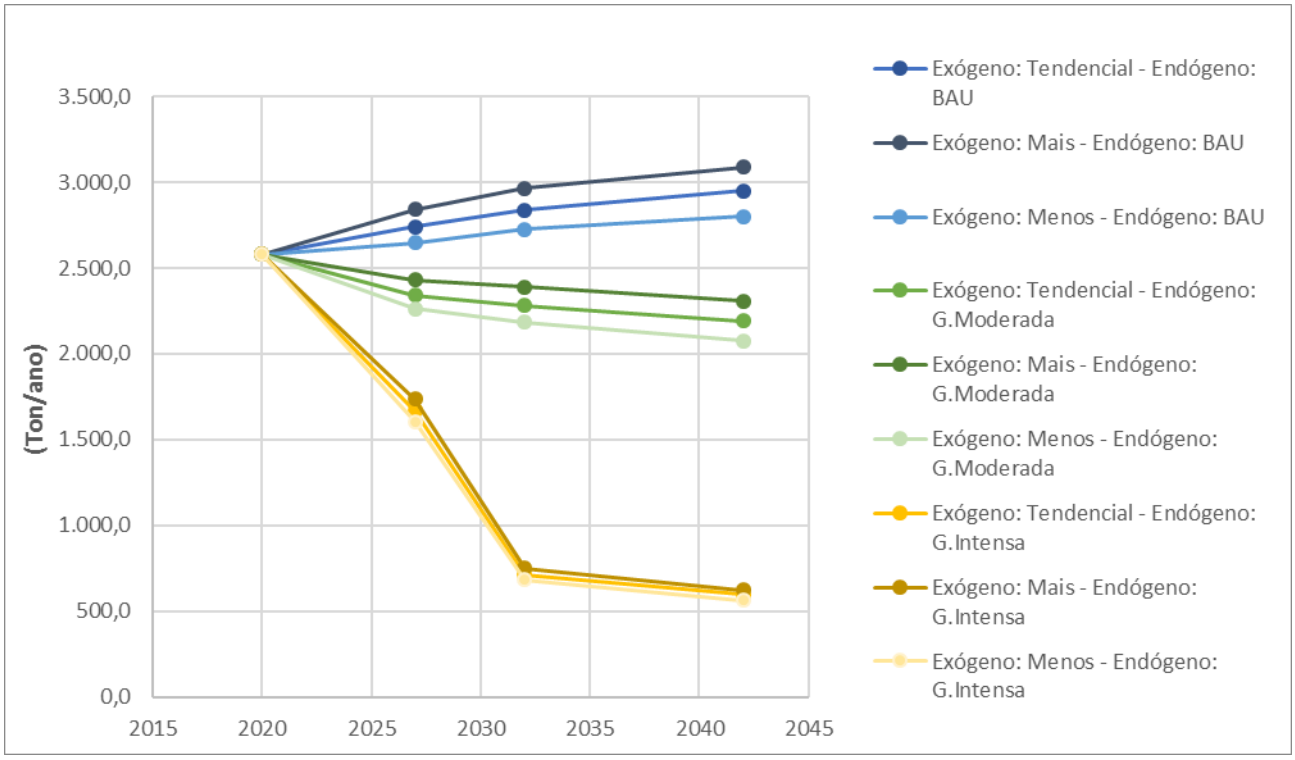


Figura 4.20 - Resumo das Cargas Totais de Fósforo Total Estimadas para a Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

Observa-se na Figura 4.20, que as cargas totais de fósforo apresentam perspectivas de crescimento sob as condições de não gestão - nas combinações em que se impõe gestão moderada e intensa, há redução no lançamento desse nutriente na bacia. O grau de redução que se consegue obter com a gestão intensa, no entanto, é significativamente maior do que aquele que se atinge pela gestão moderada. Tal como para o parâmetro de DBO, observa-se que há uma maior sensibilidade aos fatores exógenos nas perspectivas sem interferência de gestão, nas quais a carga pode variar em até 330 toneladas por ano (13% da carga atual).

Na **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), que pode ser tida como **cenário tendencial** ao representar a continuação do *status quo*, a carga remanescente de fósforo sofre um incremento de 10% já no curto prazo, crescimento este que é equivalente a 14% da geração na cena atual em 2032 e, por fim, um crescimento que culmina em cargas 19% superiores as da cena atual no longo prazo (2042). Sob perspectiva tendencial, as cargas apresentam crescimento continuado.

A **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) demonstra os efeitos possíveis de serem obtidos exclusivamente com a gestão intensa sobre as condições tendenciais, com a qual se observa uma redução muito expressiva no lançamento total de fósforo, o que culmina em uma carga 69% menor em 2032 do que na cena atual, representando então uma redução de 73% em relação ao crescimento esperado sem os esforços de gestão (comparando a carga com a **combinação 1** em 2032).

Já a **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) permite identificar quais são os efeitos de uma perspectiva isolada de maior crescimento das demandas - função de pressões exógenas econômicas. Observa-se que, no horizonte de médio prazo (2032), essa combinação resulta em um incremento de intenso de 21% nas cargas frente a cena atual, e 5% sobre a carga de 2032 na **combinação 1**.

Caso haja adoção da gestão moderada sob esse estado de maior pressão externa (**combinação 5** - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), as cargas de 2032 seriam reduzidas em 2% frente a cena atual, representando uma redução de 19% sobre o resultado de 2032 para a combinação 4. Ou seja, os esforços de gestão moderada são suficientes para superar as pressões exógenas de mais crescimento.

A adoção de gestão intensa sob esse mesmo contexto de maior pressão (**combinação 6** - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) consegue reduzir o total de fósforo gerado em 66% frente a cena atual, e -72% em relação ao que seria esperado em 2032 pela combinação 4. A gestão intensa contorna completamente as pressões exógenas e promove uma mudança significativa de patamar no seu lançamento.

Como visto, as perspectivas de gestão moderada e intensa conseguem mais do que atenuar o crescimento das cargas, e promover uma redução sensível destas em relação a cena atual. Para averiguar como se dão essas respostas de gestão em uma perspectiva exógena de menor pressão sobre os recursos hídricos, vê-se a **combinação 8** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento): no médio prazo (2032), há uma redução de 11% na carga remanescente em relação à cena atual; resultado que corresponde a uma redução efetiva de 19% frente ao esperado no mesmo ano caso não haja gestão.

Sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta uma redução de 70% das cargas em 2032 relativo a cena atual; o que se traduz em um decréscimo de 73% em relação ao que ocorreria no mesmo ano na ausência de gestão. Dessa feita, permite-se concluir que os esforços de gestão conseguem promover a redução das cargas totais de fósforo em quaisquer perspectivas exógenas. Estas cargas, em grande parte provenientes da população, são passíveis de remoção em ETEs, o que explica os resultados obtidos.

Outro parâmetro de grande relevância para a bacia do rio Doce, conforme levantamento diagnóstico, é o de coliformes. Os Quadros 4.26 a 4.28 apresentam as estimativas das cargas de coliformes termotolerantes por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.21 ilustra a carga total por cenários e horizontes temporais.

QUADRO 4.26 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - COLIFORMES TERMOTOLERANTES (10^{15} ORGANISMOS/ANO)

Exógeno	Tendencial								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	18,6	17,2	14,1	15,3	11,8	6,9	13,6	2,2	0,7
DO2	16,5	15,1	12,2	13,3	10,1	5,8	11,7	2,2	1,0
DO3	3,4	3,2	2,7	2,7	2,1	1,3	2,7	0,6	0,3
DO4	12,7	11,8	9,7	9,7	7,0	3,9	9,3	1,7	0,6
DO5	9,7	9,0	7,5	7,2	4,9	2,5	6,6	1,1	0,4
DO6	6,6	6,2	5,1	5,8	4,7	2,9	5,1	0,9	0,3
UA7 I	1,4	1,4	1,2	1,0	0,7	0,4	1,0	0,3	0,2
UA7 II	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0
UA7 III	1,4	1,4	1,3	0,9	0,6	0,3	0,9	0,1	0,0
UA8	4,0	3,8	3,4	2,9	2,1	1,5	3,2	0,7	0,4
UA9	1,3	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,7	0,6	0,5
Total	**75,9**	**70,5**	**58,8**	**60,4**	**45,5**	**27,1**	**56,0**	**10,5**	**4,4**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.27 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - COLIFORMES TERMOTOLERANTES (10^{15} ORGANISMOS/ANO)

Exógeno	Mais Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	19,4	18,0	14,8	16,0	12,3	7,2	14,2	2,3	0,7
DO2	16,6	15,2	12,4	13,4	10,2	5,9	11,9	2,3	1,0
DO3	3,5	3,4	2,9	2,8	2,2	1,4	2,8	0,6	0,3
DO4	13,1	12,2	10,1	10,0	7,3	4,2	9,6	1,8	0,7
DO5	10,2	9,6	7,9	7,6	5,2	2,7	7,0	1,2	0,4
DO6	7,1	6,6	5,5	6,2	5,0	3,1	5,4	0,9	0,4
UA7 I	1,4	1,4	1,2	1,0	0,7	0,4	1,0	0,3	0,2
UA7 II	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0
UA7 III	1,5	1,5	1,3	1,0	0,6	0,4	0,9	0,2	0,0
UA8	4,2	4,0	3,6	3,1	2,3	1,6	3,4	0,7	0,4
UA9	1,3	1,4	1,5	1,4	1,5	1,5	1,7	0,7	0,5
Total	**78,7**	**73,7**	**61,5**	**62,7**	**47,5**	**28,5**	**58,1**	**11,0**	**4,6**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.28 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - COLIFORMES TERMOTOLERANTES (10^{15} ORGANISMOS/ANO)

Exógeno	*Menos Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	17,8	16,3	13,2	14,6	11,1	6,4	13,0	2,0	0,6
DO2	16,3	14,9	12,0	13,1	9,9	5,8	11,6	2,2	1,0
DO3	3,2	3,0	2,5	2,6	1,9	1,2	2,5	0,5	0,3
DO4	12,2	11,2	9,1	9,3	6,6	3,6	8,9	1,6	0,6
DO5	9,4	8,7	7,1	7,0	4,7	2,4	6,4	1,1	0,3
DO6	6,3	5,8	4,7	5,4	4,4	2,7	4,8	0,8	0,3
UA7 I	1,3	1,2	1,1	0,9	0,6	0,3	0,9	0,3	0,2
UA7 II	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,0
UA7 III	1,4	1,3	1,2	0,9	0,6	0,3	0,8	0,1	0,0
UA8	3,8	3,7	3,2	2,8	2,0	1,3	3,1	0,6	0,3
UA9	1,3	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	1,6	0,6	0,5
Total	***73,2***	***67,6***	***55,6***	***58,2***	***43,3***	***25,3***	***53,8***	***10,0***	***4,1***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

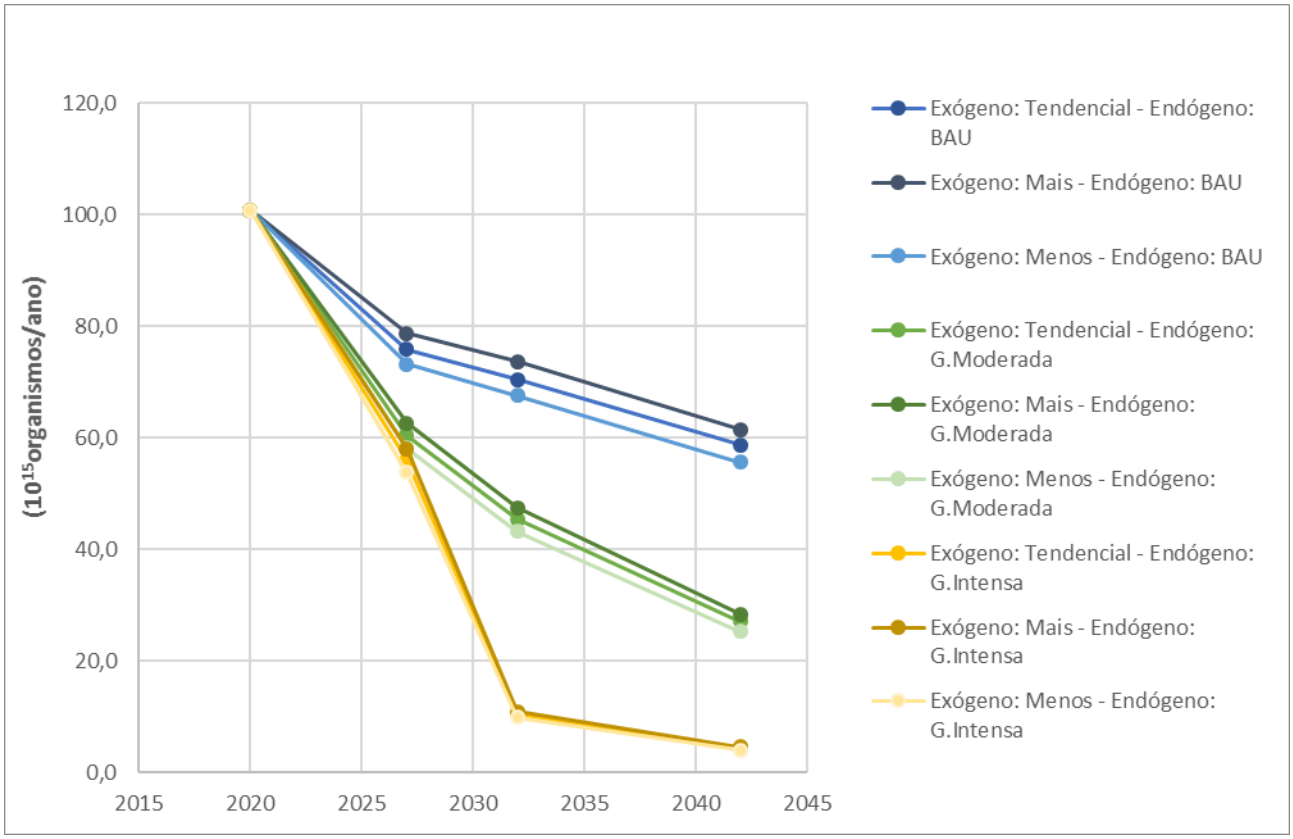


Figura 4.21 - Resumo das Cargas Totais de Coliformes Termotolerantes Estimadas para a Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (10^{15} organismos/ano)

Observa-se na Figura 4.21 que as cargas de coliformes termotolerantes apresentam perspectiva de redução de forma tendencial, muito embora a imposição de gestão consiga promover a redução desse lançamento para níveis significativamente mais reduzidos. A sensibilidade das cargas de poluição pelas bactérias nas perspectivas exógenas é maior quanto menos gestão se prevê: a variação entre as perspectivas exógenas sem gestão (BAU) gera uma diferença de $5{,}9x10^{15}$ organismos por ano, o que é equivalente a cerca de 6% do quantitativo na cena atual.

Nota-se que as ações de gestão antevistas se somam à tendência de redução das bactérias e passam a preponderar na produção de perspectivas de sua redução, que atingem um mínimo de cerca de $4{,}4x10^{15}$ organismos por ano em 2042. As reduções nas cargas demonstram a efetividade da remoção nas ETEs, o que explica os resultados obtidos.

Na **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), que pode ser tida como **cenário tendencial** ao representar a continuação do *status quo*, a carga remanescente de coliformes sofre uma redução no curto prazo de cerca de 25%, redução essa que ocorre de forma mais paulatina até 2032, gerando uma redução nesse ano de 30% em relação a cena atual; já no intervalo de longo prazo, a redução prevista é de 42% em relação aos organismos atualmente lançados nas águas da bacia do rio Doce.

A **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) demonstra os efeitos possíveis de serem obtidos exclusivamente com a gestão intensa sobre as condições tendenciais, com a qual se observa uma redução quase plena (-90%) nas cargas de coliformes termotolerantes já no intervalo de dez anos (2032). Essa redução demonstra que a gestão pode dobrar o ritmo tendencial e agir no curto e médio prazo de forma significativa.

A **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) permite identificar quais são os efeitos de uma perspectiva isolada de maior crescimento das demandas - função de pressões exógenas populacionais e econômicas. Observa-se que, no horizonte de médio prazo (2032), essa combinação resulta em um arrefecimento nas taxas de redução, mas que ainda chegam a 27% a menos de bactérias do que na cena atual.

Caso haja adoção da gestão moderada sob esse estado de maior pressão externa (**combinação 5** - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), as cargas de 2032 conseguem ser reduzidas em 53% frente à cena atual, representando uma redução de 36% em relação ao resultado de 2032 para a combinação 4.

Já a adoção de gestão intensa sob esse mesmo contexto de maior pressão (**combinação 6** - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) reduz as cargas remanescentes para outro patamar, atingindo-se -89% frente a cena atual e -85% frente ao que seria esperado, em 2032, na **combinação 4**.

Como visto, as perspectivas de gestão moderada e intensa conseguem reduzir as cargas remanescentes de coliformes termotolerantes para níveis muito inferiores aos atuais, sendo ainda mais amplo o resultado da gestão intensa. As reduções conseguem acelerar a queda tendencial projetada sob perspectiva de crescimento exógeno. Para averiguar como se dão essas respostas de gestão em uma perspectiva exógena de menor pressão sobre os recursos hídricos, vê-se a

combinação 8 (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento): no médio prazo (2032), há uma redução de 57% na carga remanescente em relação à cena atual; a redução é de 36% frente ao esperado no mesmo ano caso não haja gestão.

Sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta uma redução de 90% em 2032, relativamente à cena atual; e redução de 85% frente ao que se esperaria obter sem gestão. Dessa feita, permite-se concluir que os esforços de gestão se somam as forçantes exógenas para produzir uma situação desejável de redução das bactérias na bacia.

Passando para a análise das cargas de sólidos suspensos totais, apresentam-se nos Quadros 4.29 a 4.31 as estimativas para SST por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.22 ilustra a carga total, por cenários e horizontes temporais.

QUADRO 4.29 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (T/ANO)

Exógeno	*Tendencial*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	89.875,7	89.444,1	88.373,9	88.317,8	86.852,9	84.837,3	87.212,9	81.652,0	80.976,3
DO2	16.197,6	15.775,3	14.713,6	14.253,7	12.916,8	11.133,9	12.683,3	8.046,0	7.466,0
DO3	4.258,2	4.228,1	4.113,0	3.961,1	3.757,6	3.492,3	3.855,4	2.875,7	2.763,0
DO4	7.924,5	7.489,8	6.501,9	6.256,5	4.795,1	3.274,6	5.958,7	1.832,9	1.285,7
DO5	6.111,3	5.912,4	5.388,5	5.046,0	4.156,3	3.205,4	4.554,7	1.926,6	1.574,2
DO6	4.213,3	4.063,6	3.662,5	3.773,7	3.317,2	2.533,1	3.338,2	1.224,6	979,0
UA7 I	1.005,3	1.001,8	961,9	807,9	685,5	567,7	747,0	392,5	362,4
UA7 II	198,4	198,5	187,9	175,1	162,1	132,0	155,7	72,7	66,2
UA7 III	1.478,3	1.559,3	1.669,0	1.179,6	1.185,2	1.208,6	897,6	675,4	675,2
UA8	2.605,0	2.566,5	2.448,6	2.050,3	1.688,7	1.428,8	2.178,1	829,7	673,2
UA9	960,1	1.011,2	1.081,5	944,2	1.005,6	1.037,9	1.096,5	514,2	467,6
Total	***134.827,8***	***133.250,5***	***129.102,4***	***126.765,9***	***120.523,0***	***112.851,6***	***122.678,1***	***100.042,2***	***97.288,7***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.30 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (T/ANO)

Exógeno	*Mais Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	90.362,0	90.012,0	88.918,4	88.730,5	87.277,6	85.184,3	87.582,4	81.827,5	81.132,4
DO2	16.314,0	15.895,7	14.835,1	14.357,3	13.015,4	11.216,9	12.771,6	8.088,8	7.506,3
DO3	4.334,6	4.334,4	4.225,1	4.025,0	3.836,8	3.567,5	3.916,1	2.915,0	2.800,4

Exógeno	Mais Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO4	8.160,3	7.786,4	6.775,7	6.456,8	5.017,2	3.461,7	6.148,4	1.928,1	1.368,1
DO5	6.450,5	6.311,4	5.720,6	5.323,7	4.432,9	3.402,5	4.805,6	2.038,8	1.653,3
DO6	4.497,7	4.345,5	3.909,5	4.029,1	3.547,1	2.704,4	3.557,5	1.306,6	1.045,7
UA7 I	1.014,1	1.035,7	999,6	814,5	706,6	588,5	753,1	404,6	375,7
UA7 II	199,1	199,6	191,0	175,6	162,8	134,0	156,1	72,9	67,3
UA7 III	1.578,8	1.649,3	1.744,0	1.259,2	1.250,0	1.257,8	960,3	712,7	704,2
UA8	2.767,1	2.724,2	2.603,3	2.174,7	1.790,7	1.518,7	2.308,1	880,0	717,1
UA9	988,8	1.072,4	1.174,5	973,6	1.061,6	1.111,4	1.132,6	541,3	498,8
Total	**136.667,0**	**135.366,8**	**131.096,8**	**128.319,8**	**122.098,7**	**114.147,6**	**124.091,8**	**100.716,3**	**97.869,1**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.31- CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (T/ANO)

Exógeno	Menos Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	89.338,0	88.846,8	87.681,2	87.839,0	86.367,2	84.349,5	86.782,6	81.445,1	80.758,0
DO2	16.081,1	15.639,4	14.556,1	14.157,5	12.816,8	11.031,4	12.600,8	8.002,2	7.417,3
DO3	4.129,8	4.084,1	3.945,1	3.845,3	3.636,9	3.365,3	3.742,6	2.817,5	2.701,3
DO4	7.633,3	7.155,8	6.100,3	5.991,1	4.514,2	2.982,6	5.687,6	1.711,5	1.161,0
DO5	5.950,3	5.721,9	5.146,6	4.907,9	4.015,4	3.057,4	4.427,6	1.871,4	1.513,8
DO6	3.978,4	3.797,9	3.360,2	3.561,4	3.097,5	2.322,4	3.146,5	1.143,5	897,7
UA7 I	904,5	893,4	847,8	722,2	599,6	483,4	666,7	345,3	315,4
UA7 II	164,2	162,6	154,3	144,6	132,9	109,9	129,2	62,3	57,5
UA7 III	1.448,5	1.517,0	1.610,9	1.154,4	1.153,4	1.169,4	874,0	662,1	659,5
UA8	2.507,7	2.455,4	2.312,4	1.961,8	1.588,6	1.305,9	2.062,9	773,3	616,8
UA9	919,7	963,9	1.020,0	908,7	963,7	983,7	1.062,8	492,1	440,0
Total	**133.055,4**	**131.238,1**	**126.735,0**	**125.194,1**	**118.886,2**	**111.160,9**	**121.183,1**	**99.326,3**	**96.538,2**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

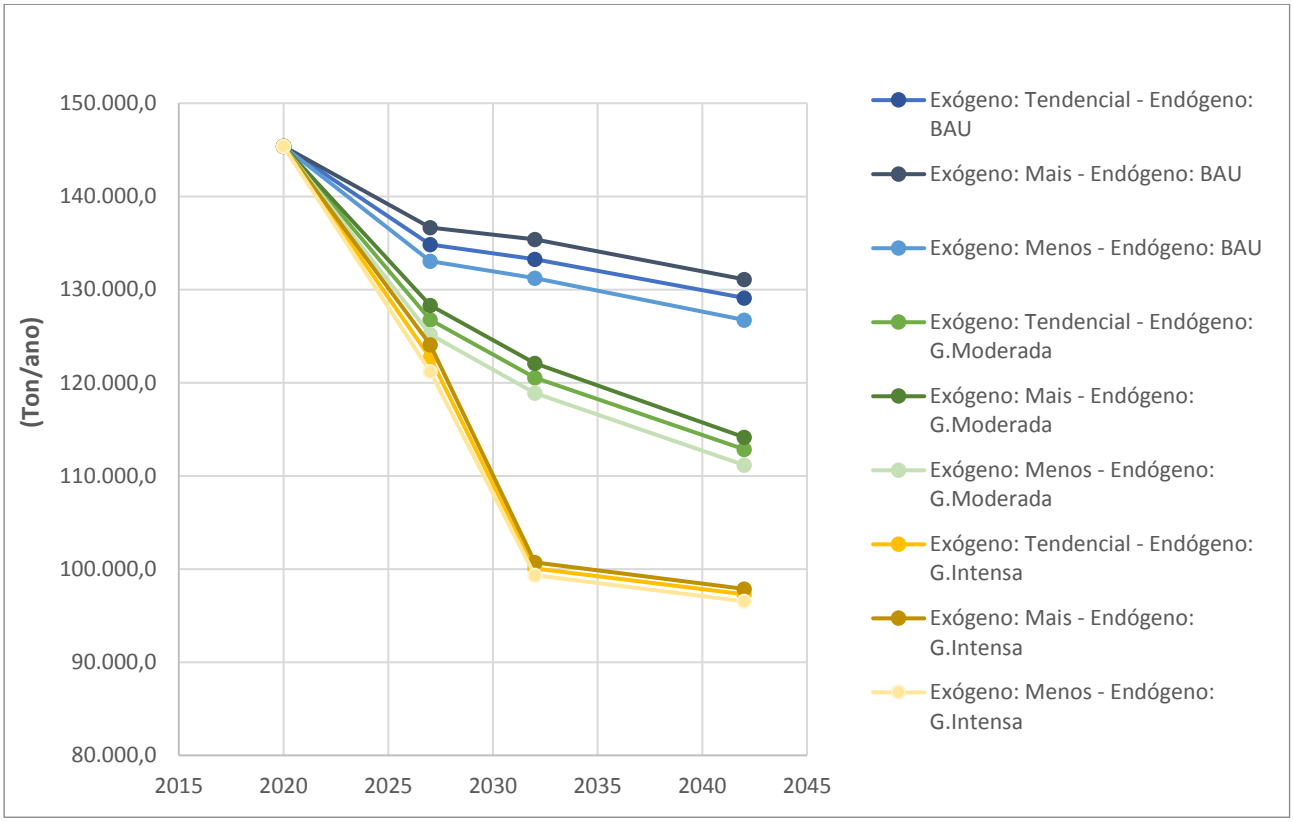


Figura 4.22 - Resumo das Cargas Totais de Sólidos Suspensos Totais Estimadas para a Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

Observa-se na Figura 4.22 que as cargas de sólidos suspensos totais apresentam perspectiva de redução de forma tendencial, muito embora a imposição de gestão consiga promover a redução desse lançamento para níveis significativamente mais reduzidos. A sensibilidade das cargas de poluição de sólidos suspensos nas perspectivas exógenas não é muito alta: a variação entre as perspectivas exógenas sem gestão (BAU) gera uma diferença de 4,36 mil toneladas por ano em 2042, o que é equivalente a cerca de 3% do quantitativo lançado na cena atual. Nota-se que as ações de gestão antevistas se somam à tendência de redução dos sólidos e passam a preponderar na produção de perspectivas de sua redução, que atingem um mínimo de cerca de 97 mil t/ano em 2042 sob gestão intensa.

Na **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), que pode ser tida como **cenário tendencial** ao representar a continuação do *status quo*, a carga remanescente de SST sofre uma redução no curto prazo de cerca de 7%, redução essa que ocorre de forma mais paulatina até 2032, gerando uma redução nesse ano de 8% em relação à cena atual; já no intervalo de longo prazo, a redução prevista é de 11% em relação aos sólidos atualmente lançados nas águas da bacia do rio Doce.

A **combinação 3** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial) demonstra os efeitos possíveis de serem obtidos exclusivamente com a gestão intensa sobre as condições tendenciais, com a qual se observa uma redução de 31% nas cargas de sólidos suspensos já no intervalo de dez anos (2032). Essa redução demonstra que a gestão pode mais do que triplicar o ritmo tendencial e agir no curto e médio prazo de forma significativa.

A **combinação 4** (Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento) permite identificar quais são os efeitos de uma perspectiva isolada de maior crescimento das demandas - função de pressões exógenas econômicas. Observa-se que, no horizonte de médio prazo (2032), essa combinação resulta em um arrefecimento nas taxas de redução, que chegam a 7% a menos de sólidos do que na cena atual (-10 mil t/a).

Caso haja adoção da gestão moderada sob esse estado de maior pressão externa (**combinação 5** - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento), as cargas de 2032 conseguem ser reduzidas em 16% frente à cena atual, representando uma redução de 10% em relação ao resultado de 2032 para a **combinação 4** (ou seja, -13,3 mil t/a).

Já a adoção de gestão intensa sob esse mesmo contexto de maior pressão (**combinação 6** - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento) reduz as cargas remanescentes para um patamar bastante inferior, atingindo-se -31% frente a cena atual e -26% frente ao que seria esperado, em 2032, na **combinação 4** (-34,6 mil t/a).

Como visto, as perspectivas de gestão moderada e intensa conseguem reduzir as cargas remanescentes para níveis inferiores aos atuais em cerca de uma terça parte, como resultado da gestão intensa; as reduções impostas aceleram a queda tendencial projetada sob perspectiva de crescimento exógeno. Para averiguar como se dão essas respostas de gestão em uma perspectiva exógena de menor pressão sobre os recursos hídricos, vê-se a **combinação 8** (Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento): no médio prazo (2032), há uma redução de 18% na carga de sólidos suspensos totais em relação à cena atual; a redução é mais branda frente ao esperado no mesmo ano caso não haja gestão (-9%).

Sob a mesma perspectiva de menor pressão sobre os recursos hídricos, a **combinação 9** (Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento) apresenta uma redução de 32% em 2032, relativamente à cena atual; e redução de 24% frente ao que se esperaria obter sem gestão.

Dessa feita, permite-se concluir que os esforços de gestão se somam às forçantes exógenas para produzir uma situação desejável de redução dos sólidos suspensos totais lançados nas águas da bacia, principalmente aqueles de origem da população que são removidos via tratamento de esgotos.

Os Quadros 4.32 a 4.34 apresentam as estimativas das cargas de chumbo por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.23 ilustra a carga total por cenários e horizontes temporais.

QUADRO 4.32 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - CHUMBO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	*Tendencial*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
DO2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
DO3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Exógeno	Tendencial								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DO6	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
UA7 I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA8	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	**12,8**	**12,9**	**12,9**	**12,8**	**12,9**	**12,9**	**12,8**	**12,9**	**12,9**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.33 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - CHUMBO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	Mais Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	8,7	8,8	8,8	8,7	8,8	8,8	8,7	8,8	8,8
DO2	3,6	3,7	3,8	3,6	3,7	3,8	3,6	3,7	3,8
DO3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6
DO4	0,2	0,4	0,5	0,2	0,4	0,5	0,2	0,4	0,5
DO5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DO6	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA7 I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA8	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	**13,3**	**13,8**	**14,2**	**13,3**	**13,8**	**14,2**	**13,3**	**13,8**	**14,2**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.34 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - CHUMBO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	Menos Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
DO2	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
DO3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Exógeno	*Menos Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DO6	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
UA7 I	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
UA8	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	***12,8***	***12,9***	***12,9***	***12,8***	***12,9***	***12,9***	***12,8***	***12,9***	***12,9***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

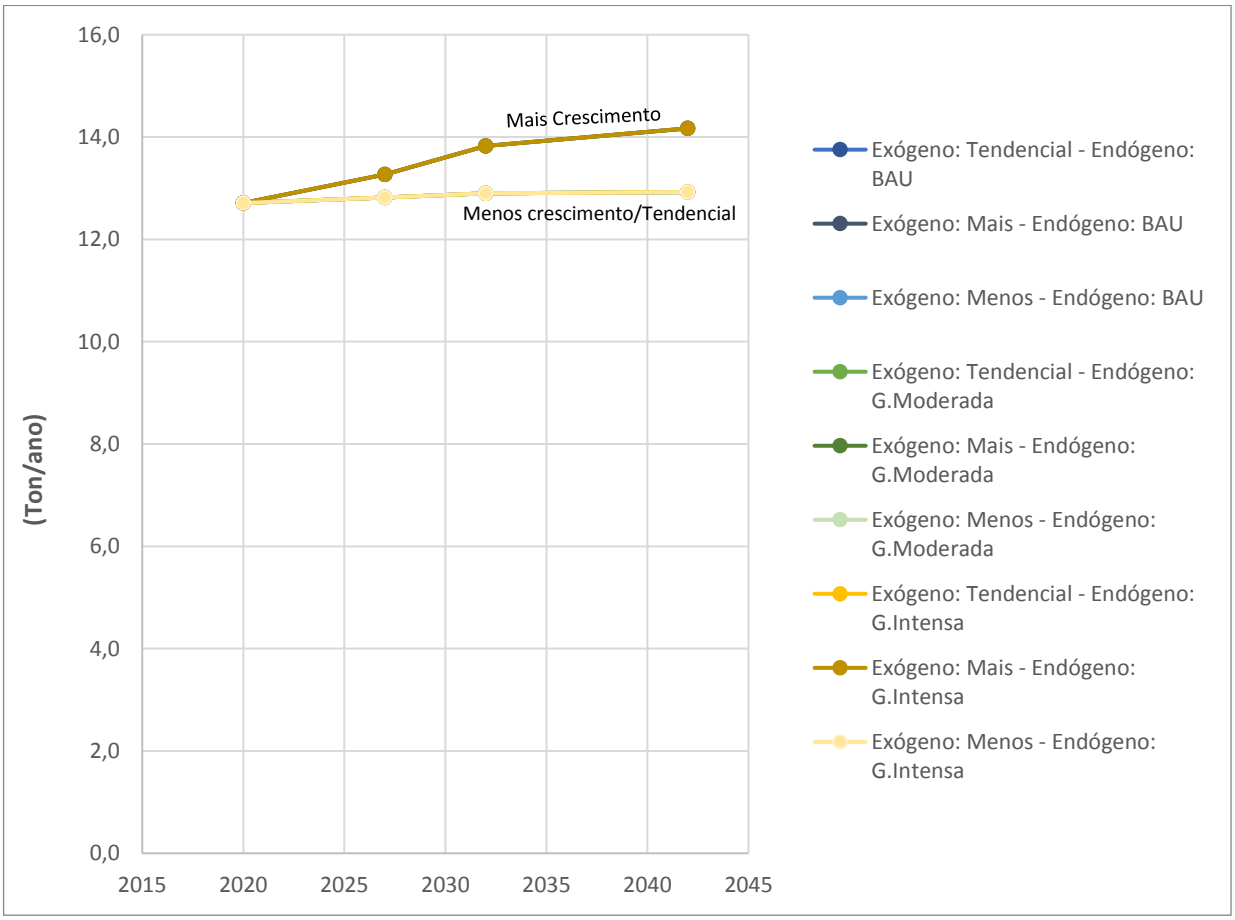


Figura 4.23 – Resumo das Cargas Totais de Chumbo Total para a Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

Pelo gráfico acima, observa-se que a variação ocorre apenas entre os fatores exógenos econômicos da bacia, devido à adoção do coeficiente unitário fundamentado nas áreas de mineração, neste caso, nas áreas de maior propensão à expansão da atividade. E, conforme explicitado no Item 3.3.6.1, não se vislumbra perspectiva de arrefecimento da tendência para o

setor de mineração, demonstrado pelo mesmo patamar das curvas de menos crescimento e tendencial. Por estas razões as linhas do gráfico se sobrepõem.

Os Quadros 4.35 a 4.37 apresentam as estimativas das cargas de arsênio total por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.24 ilustra a carga total, por cenários e horizontes temporais.

QUADRO 4.35 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - ARSÊNIO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	***Tendencial***								
Endógeno	***BAU***			***Gestão Moderada***			***Gestão Intensa***		
Bacia Afluente	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4
DO2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
DO3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.36 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - ARSÊNIO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	***Mais Crescimento***								
Endógeno	***BAU***			***Gestão Moderada***			***Gestão Intensa***		
Bacia Afluente	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4
DO2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
DO3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Exógeno	*Mais Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.37 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - ARSÊNIO TOTAL (T/ANO)

Exógeno	*Menos Crescimento*								
Endógeno	*BAU*			*Gestão Moderada*			*Gestão Intensa*		
Bacia Afluente	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*	*2027*	*2032*	*2042*
DO1	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4	127,4
DO2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
DO3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***	***127,7***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

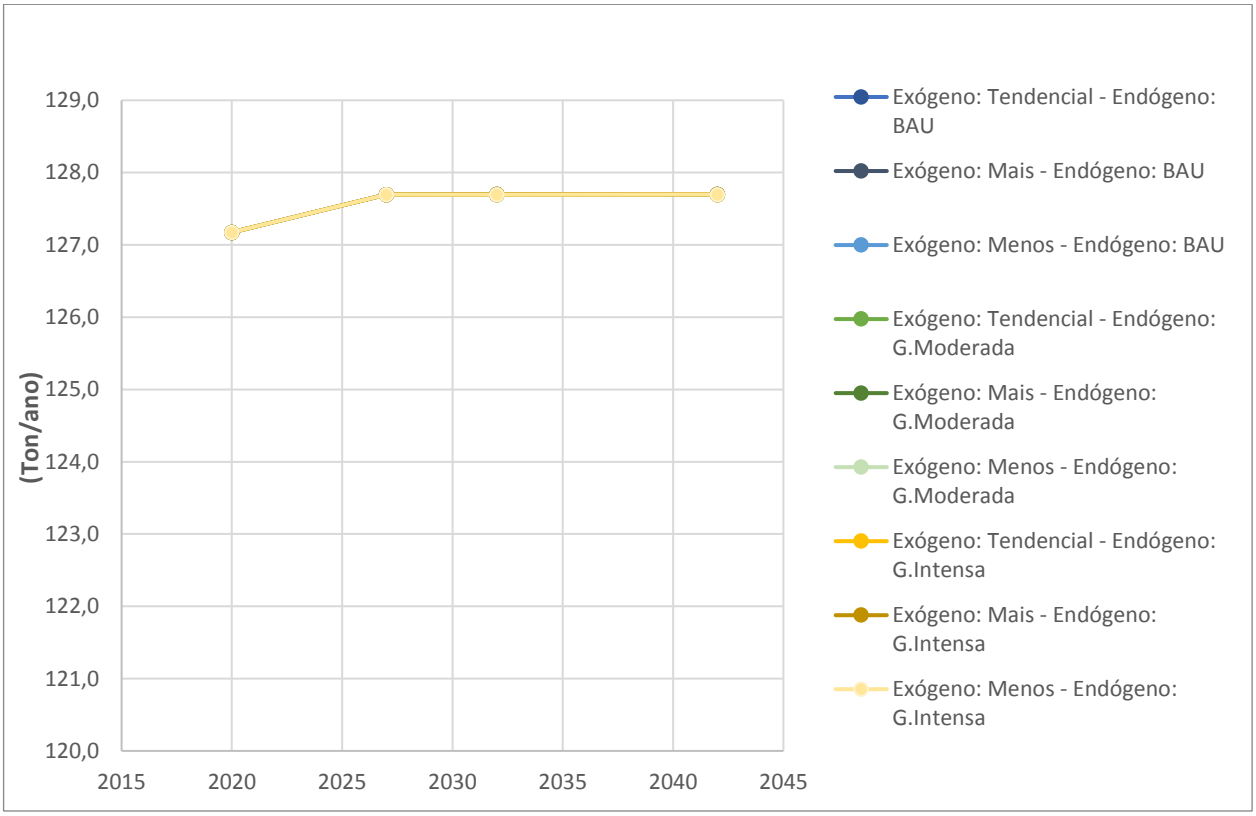


Figura 4.24 – Resumo das Cargas Totais de Arsênio Total na Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

Os Quadros 4.38 a 4.40 apresentam as estimativas das cargas de ferro dissolvido por bacia afluente, considerando a combinação dos fatores endógenos e exógenos. A Figura 4.25 ilustra a carga total, por cenários e horizontes temporais.

QUADRO 4.38- CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO TENDENCIAL - FERRO DISSOLVIDO (T/ANO)

Exógeno	***Tendencial***								
Endógeno	***BAU***			***Gestão Moderada***			***Gestão Intensa***		
Bacia Afluente	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***	***2027***	***2032***	***2042***
DO1	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3
DO2	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7
DO3	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***	***1.975,9***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.39 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MAIS CRESCIMENTO - FERRO DISSOLVIDO (T/ANO)

Exógeno	Mais Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	1.931,3	1.931,4	1.931,4	1.931,3	1.931,4	1.931,4	1.931,3	1.931,3	1.931,4
DO2	40,0	40,3	40,5	40,0	40,2	40,4	39,9	40,2	40,3
DO3	5,4	5,9	6,3	5,3	5,8	6,2	5,3	5,7	6,0
DO4	0,5	1,0	1,3	0,5	0,9	1,3	0,4	0,8	1,1
DO5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	**1.977,2**	**1.978,5**	**1.979,6**	**1.977,1**	**1.978,3**	**1.979,3**	**1.976,9**	**1.978,0**	**1.978,8**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 4.40 - CARGAS ESTIMADAS PARA A BACIA DO RIO DOCE – EXÓGENO MENOS CRESCIMENTO - FERRO DISSOLVIDO (T/ANO)

Exógeno	Menos Crescimento								
Endógeno	BAU			Gestão Moderada			Gestão Intensa		
Bacia Afluente	2027	2032	2042	2027	2032	2042	2027	2032	2042
DO1	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3	1.931,3
DO2	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7	39,7
DO3	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8
DO4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DO6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 II	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA7 III	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
UA9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Total	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**	**1.975,9**

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

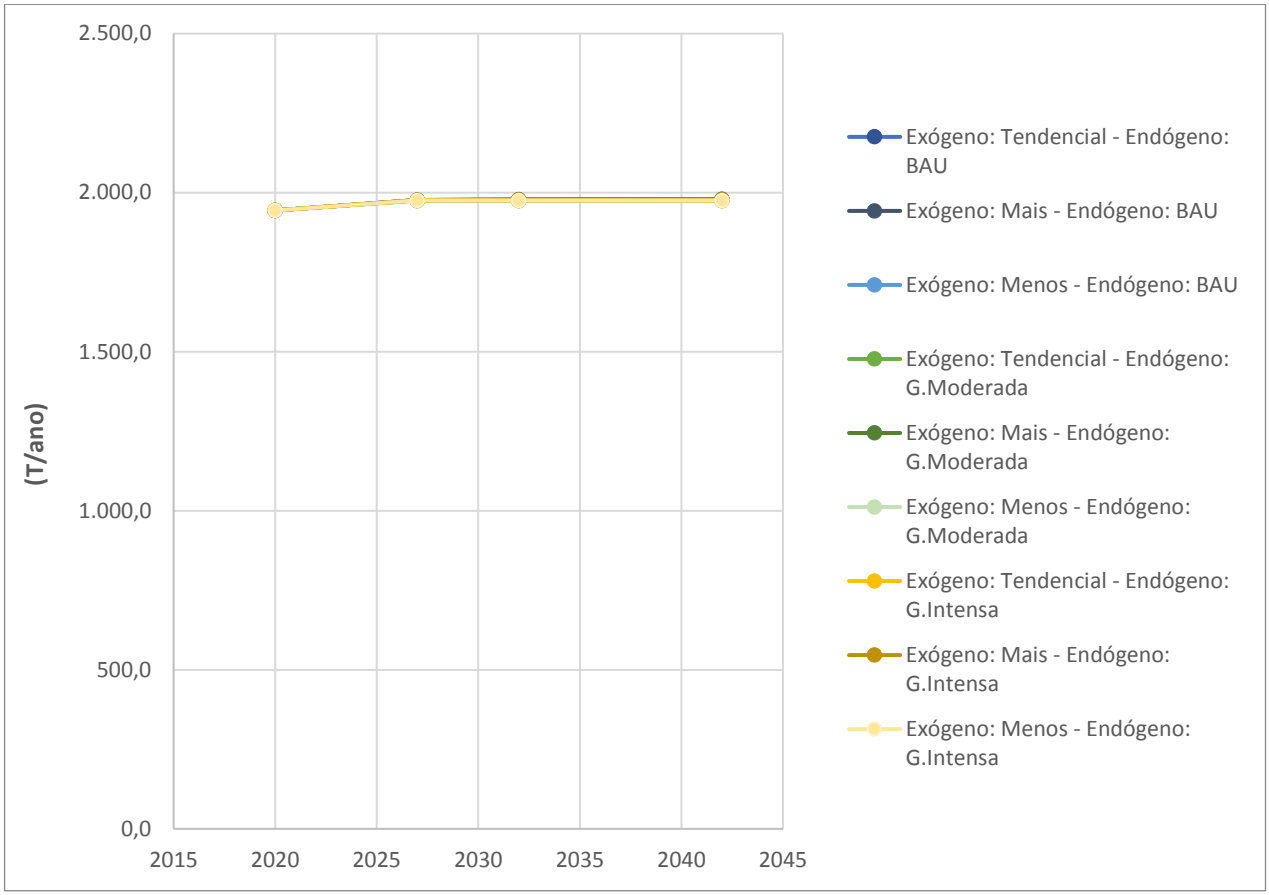


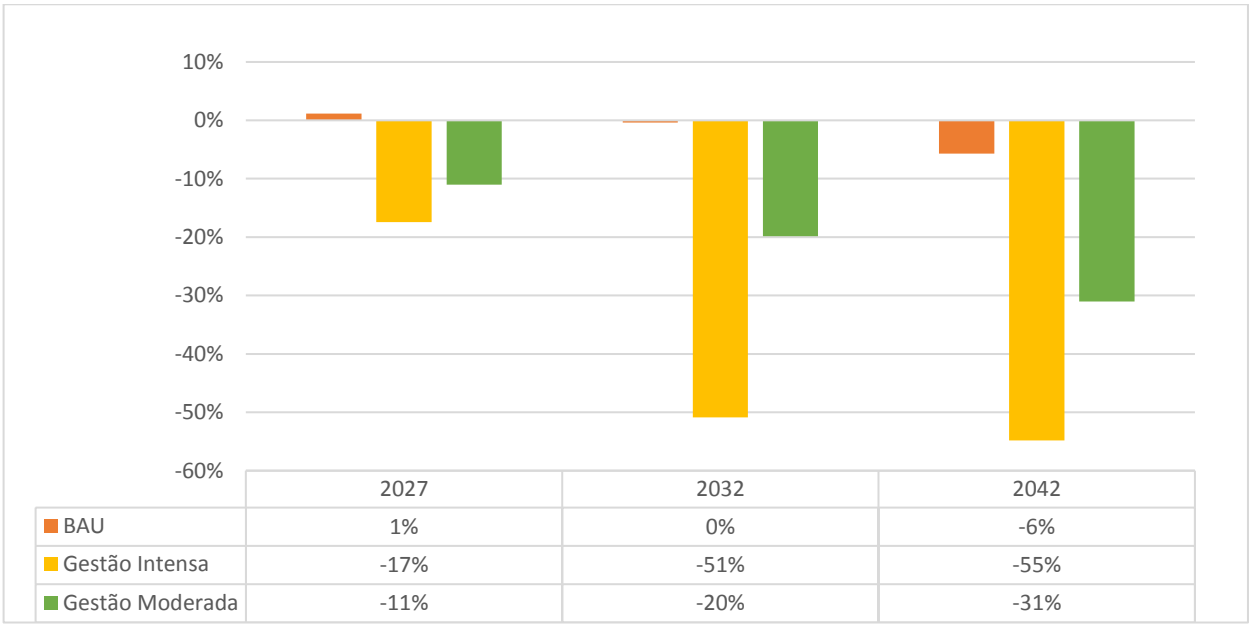
Figura 4.25 - Resumo das Cargas Totais de Ferro Dissolvido na Bacia do Rio Doce, por Cenários e Horizontes Temporais (t/ano)

4.4.3 Análise Complementar dos Resultados

Os resultados das cargas provenientes da população, de origem orgânica, sobretudo aquelas passíveis de remoção em ETEs, como DBO, fósforo total, coliformes e sólidos suspensos totais, demonstraram que o fator endógeno prevalece sobre o exógeno, apresentando comportamentos similares ao longo do horizonte temporal.

Ou seja, o controle da qualidade das águas está, para esses diversos parâmetros poluentes, condicionado às opções de gestão dos recursos hídricos, e não condicionado a condições exógenas. Quaisquer que sejam os estados de mundo futuro, as opções de gestão apresentadas no item 3.3 do Capítulo 3 prevalecem e conseguem promover expressivas reduções de cargas poluidoras, principalmente sob perspectivas intensas.

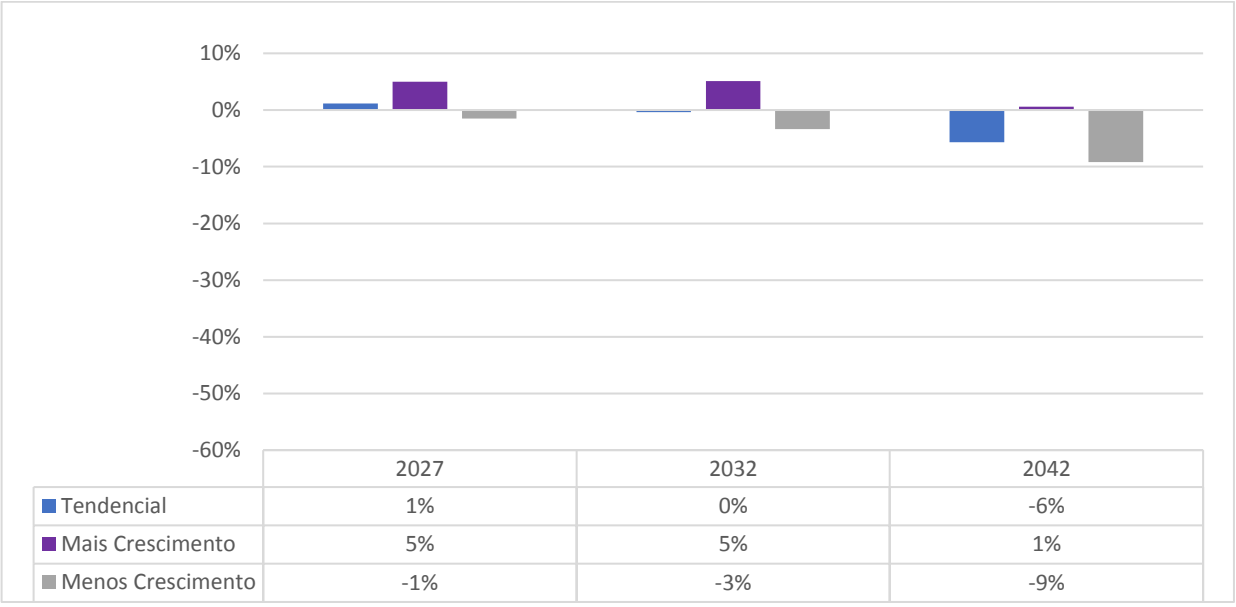
A Figura 4.26 permite observar o efeito da gestão sobre as condições tendenciais, ao ser aumentada a parcela da população atendida com coleta e tratamento de esgotos e uma melhora na eficiência das ETEs: a carga total de DBO, em 2042, diminui 31% em relação ao ano de 2020, considerando gestão moderada, e em até 51%, na condição de gestão mais intensa.



	2027	2032	2042
BAU	1%	0%	-6%
Gestão Intensa	-17%	-51%	-55%
Gestão Moderada	-11%	-20%	-31%

Figura 4.26 – Percentual de Crescimento/Redução de DBO em Relação ao Ano de 2020 – Variação Endógena

Em contrapartida, ao comparar os fatores exógenos sobre a situação BAU, a porcentagem de variação não passa de 10% (Figura 4.27). Porém, é interessante observar que apesar do aumento da população, com uma gestão, mesmo que limitada e de longo prazo, as cargas tendem a diminuir em 2042.



	2027	2032	2042
Tendencial	1%	0%	-6%
Mais Crescimento	5%	5%	1%
Menos Crescimento	-1%	-3%	-9%

Figura 4.27 – Percentual de Crescimento/Redução de DBO em Relação ao Ano de 2020 – Variação Exógena

Quanto à carga de nitrogênio, também advinda da população, mas não comumente tratada em ETEs, os comportamentos das curvas são diferentes dos demais parâmetros. Na Figura 4.19, pode ser observada uma inversão entre a gestão moderada e a tendencial, tendo apenas a gestão mais intensa com um maior decréscimo, o que ocorre devido à combinação das cargas industriais e de mineração com os cenários macroeconômicos, ou seja, os fatores exógenos.

Em relação aos metais, de modo geral, o crescimento das cargas é pequeno comparativamente aos demais parâmetros. Dentre eles, apenas o chumbo mostrou-se mais suscetível a mudanças decorrentes dos efeitos dos fatores exógenos.

Conforme apresentado no item 3.1.3 do Capítulo 3 deste relatório, foram eleitas as seguintes combinações que permitem conceder a diversidade de respostas necessárias às questões chave ao Plano de Ações e ao Enquadramento de corpos d'água na bacia do rio Doce:

- ✓ **Combinação 1**: Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e anos 2027, 2032 e 2042;
- ✓ **Combinação 3**: Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial e ano 2032;
- ✓ **Combinação 4**: Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032;
- ✓ **Combinação 5**: Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032;
- ✓ **Combinação 6**: Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032;
- ✓ **Combinação 8**: Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032; e
- ✓ **Combinação 9**: Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032.

De acordo com o que ilustra a Figura 4.28, que apresenta as alterações das cargas de DBO em cada combinação, verifica-se que a variação dessas cargas ratifica a escolha das combinações adotadas, tendo o ano de 2032 como o horizonte temporal para o qual se prevê os melhores cenários de cargas, ou seja, as menores cargas. **A combinação 1** foi considerada para modelagem matemática das cargas poluentes futuras como subsídio ao processo de Enquadramento nesta versão inicial do PP 04, como será apresentado no item 6.1 do Capítulo 6 deste relatório.

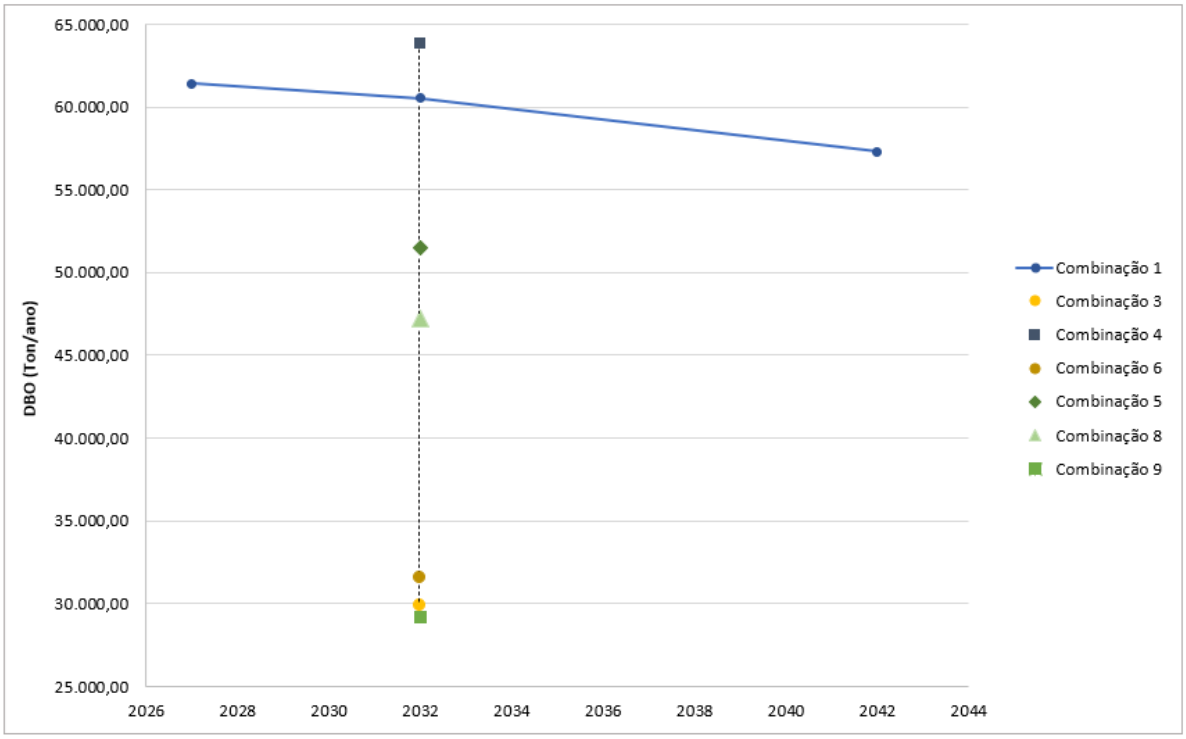


Figura 4.28 – Cenários Selecionados para a Modelagem Matemática de Cargas Poluentes Futuras – Cargas de DBO Estimadas (t/ano)

5. OS CENÁRIOS DO PIRH DOCE 2022-2042

Neste capítulo, apresentam-se composições resultantes do conteúdo dos Capítulos 3 e 4, endereçando os pontos de atenção mais relevantes para a continuidade dos estudos de revisão do PIRH Doce e Enquadramento. O primeiro item (5.1) traz a identificação de áreas críticas, causas e perspectivas futuras; o segundo item, 5.2, aborda leituras integrativas do cenário tendencial e das combinações alternativas; enquanto o último item, 5.3, descreve e apresenta o Cenário do Plano.

5.1 IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS, CAUSAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

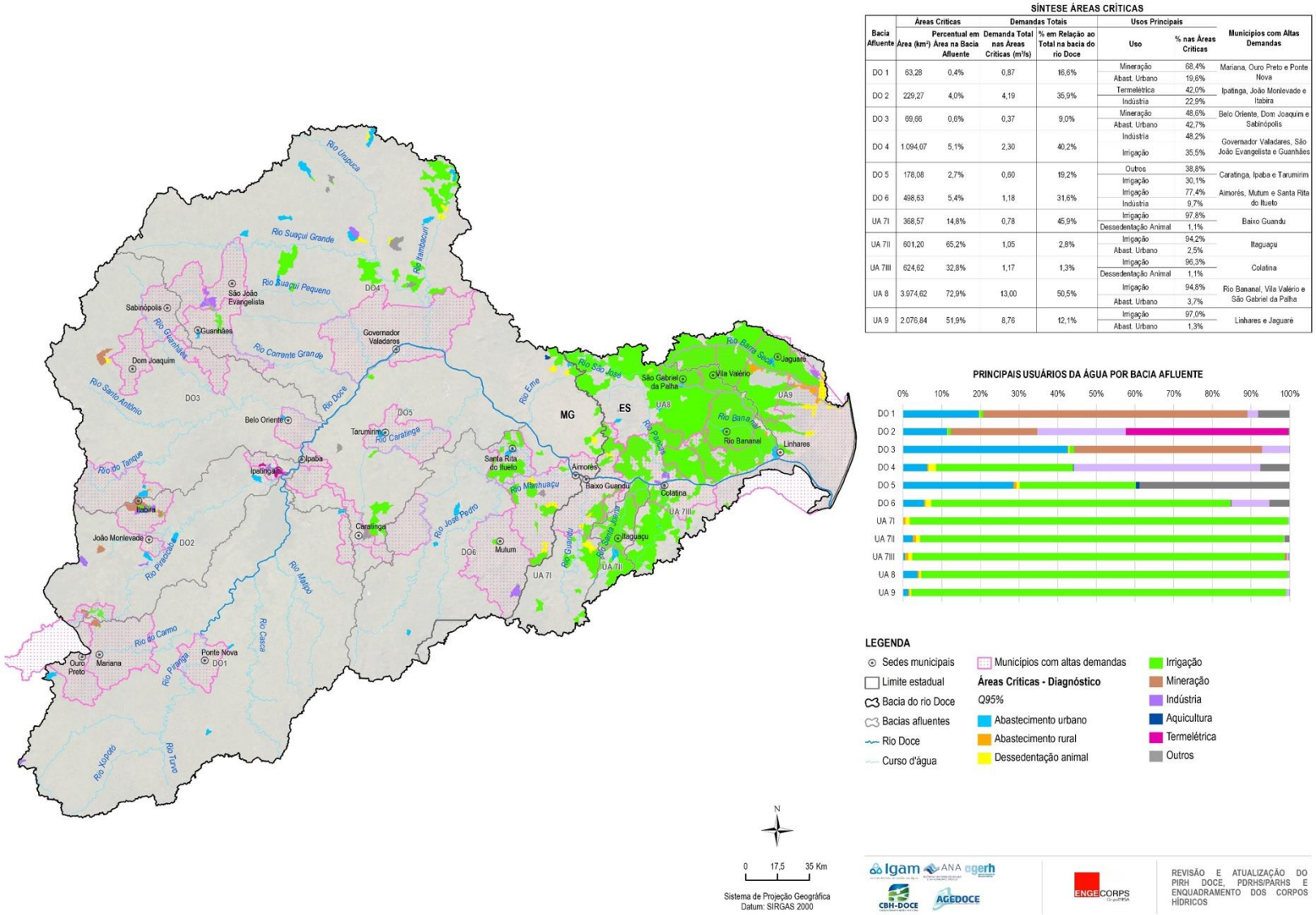
Neste item, é apresentada uma análise dos resultados dos balanços hídricos quantitativos de águas superficiais, à luz das figuras expostas no item capítulo anterior, identificando-se as áreas críticas, as causas da criticidade verificada, e apresentando a visão de futuro de longo prazo acerca dessas áreas, que pode ser antevista com base nos cenários alternativos concebidos, incluindo a perspectiva de alterações promovidas pela mudança do clima.

Como ponto de partida, apresentam-se as áreas críticas identificadas no Diagnóstico, ou seja, na cena atual da bacia do rio Doce. As perspectivas futuras se apresentam, então, para os seguintes cenários, todos no horizonte temporal de 2032 (médio prazo, dez anos):

- ✓ **Cenário Tendencial - Combinação 1**: Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2032;
- ✓ **Combinação 4 - maior pressão externa**: Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032;
- ✓ **Combinação 3 - tendencial com resposta interna intensa**: Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial e ano 2032;
- ✓ **Combinação 6 - maior pressão externa e resposta interna intensa**: Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032;
- ✓ **Combinação 9 - menor pressão externa e resposta interna intensa**: Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032.

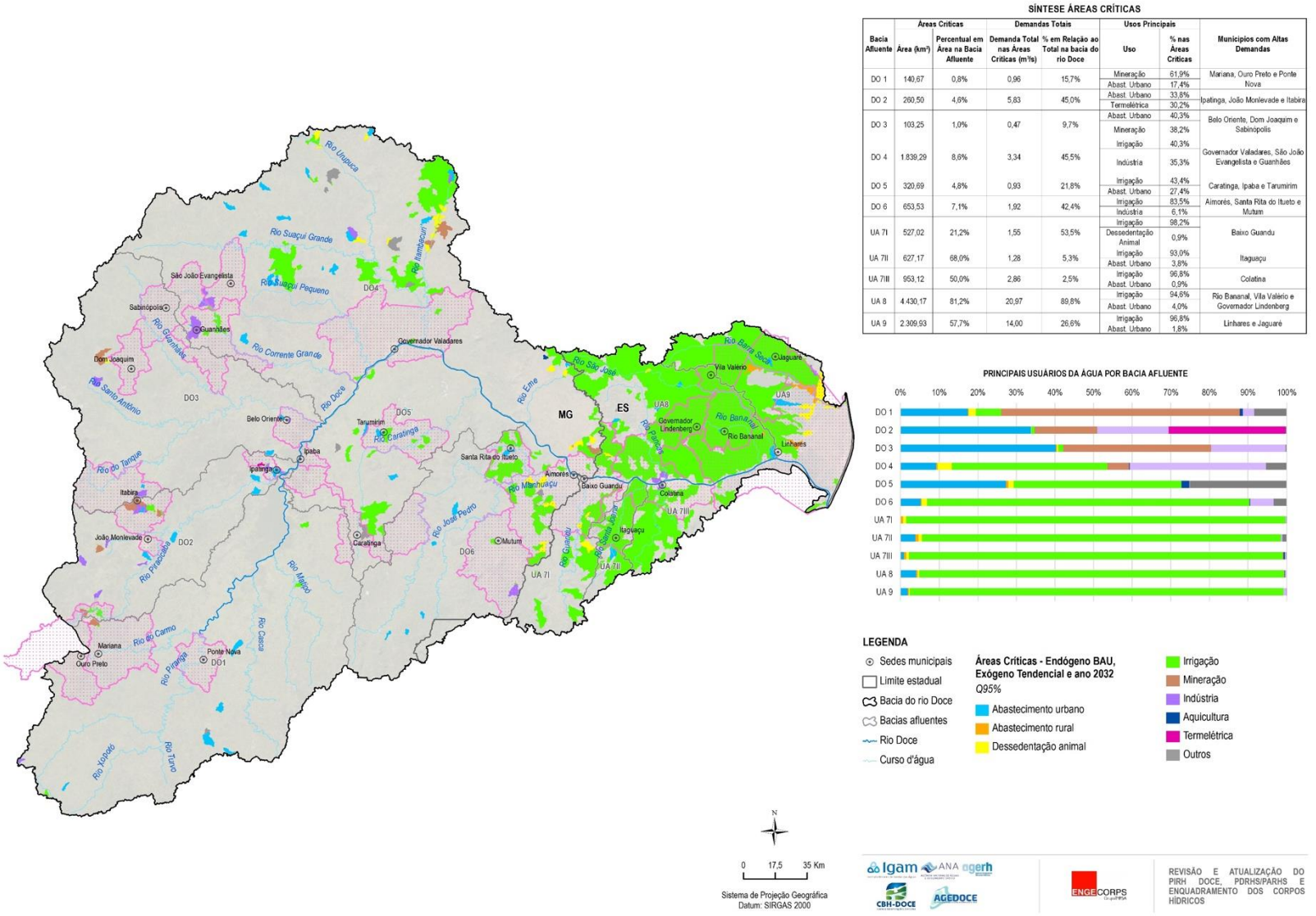
A comparação entre as combinações, ilustrada nas Figuras 5.1 a 5.6 permite identificar as variações entre o cenário tendencial com as perspectivas de maior e menor pressão externa e as respostas internas de gestão. No cenário tendencial, por exemplo, a fração total de áreas críticas na bacia do rio Doce 9,78 mil km^2 para 12,17 mil km^2. Os quadros permitem identificar que essa piora é motivada, em grande parte, pelo setor de irrigação - muito embora outros setores usuários também apresentem demandas que competem pelo recurso hídrico, tais como o abastecimento humano e a termelétrica.

Tão importante quanto a observação das alterações que ocorrem entre os cenários, é a identificação das áreas que mantêm pressão intensa motivada pelos mesmos usuários. É notável a extensão de áreas críticas nas bacias afluentes capixabas, devido ao uso da irrigação, bem como da mineração nas bacias afluentes mineiras. Entre os cenários tendencial e de mais crescimento, os usos que trazem as maiores perspectivas de crescimento passam a ocupar frações maiores.



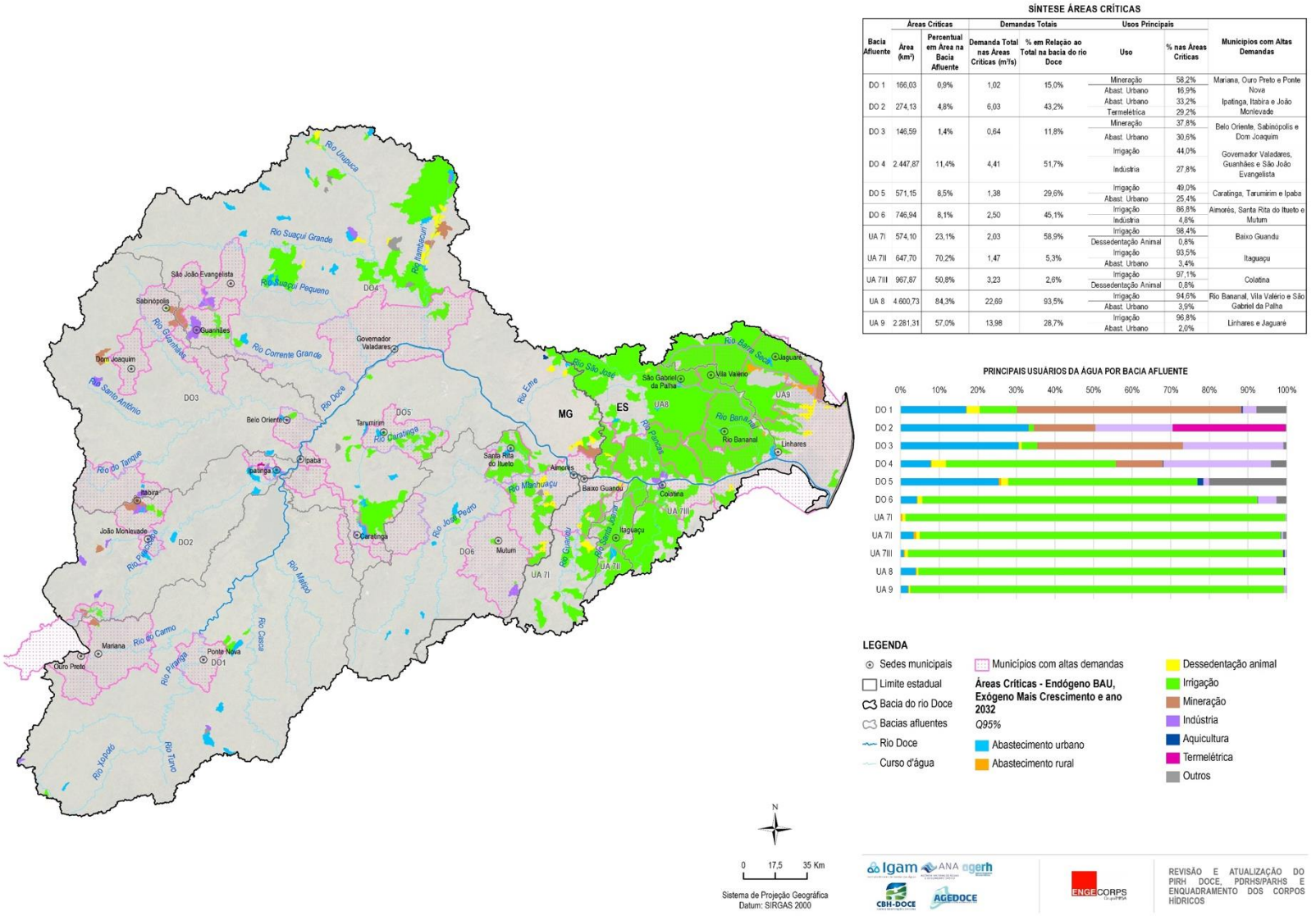
Bacia Afluente	Áreas Críticas		Demandas Totais		Usos Principais		Municípios com Altas Demandas
	Área (km²)	Percentual em Área na Bacia Afluente	Demanda Total nas Áreas Críticas (m³/s)	% em Relação ao Total na bacia do rio Doce	Uso	% nas Áreas Críticas	
DO 1	63,28	0,4%	0,87	16,6%	Mineração	68,4%	Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova
					Abast. Urbano	19,6%	
DO 2	229,27	4,0%	4,19	35,9%	Termelétrica	42,0%	Ipatinga, João Monlevade e Itabira
					Indústria	22,9%	
DO 3	69,66	0,6%	0,37	9,0%	Mineração	48,6%	Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis
					Abast. Urbano	42,7%	
DO 4	1.094,07	5,1%	2,30	40,2%	Indústria	48,2%	Governador Valadares, São João Evangelista e Guanhães
					Irrigação	35,5%	
DO 5	178,08	2,7%	0,60	19,2%	Outros	38,8%	Caratinga, Ipaba e Tarumirim
					Irrigação	30,1%	
DO 6	498,63	5,4%	1,18	31,6%	Irrigação	77,4%	Aimorés, Mutum e Santa Rita do Itueto
					Indústria	9,7%	
UA 7I	368,57	14,8%	0,78	45,9%	Irrigação	97,8%	Baixo Guandu
					Dessedentação Animal	1,1%	
UA 7II	601,20	65,2%	1,05	2,8%	Irrigação	94,2%	Itaguaçu
					Abast. Urbano	2,5%	
UA 7III	624,62	32,8%	1,17	1,3%	Irrigação	96,3%	Colatina
					Dessedentação Animal	1,1%	
UA 8	3.974,62	72,9%	13,00	50,5%	Irrigação	94,8%	Rio Bananal, Vila Valério e São Gabriel da Palha
					Abast. Urbano	3,7%	
UA 9	2.076,84	51,9%	8,76	12,1%	Irrigação	97,0%	Linhares e Jaguaré
					Abast. Urbano	1,3%	

Figura 5.1 - Áreas Críticas Identificadas no Diagnóstico



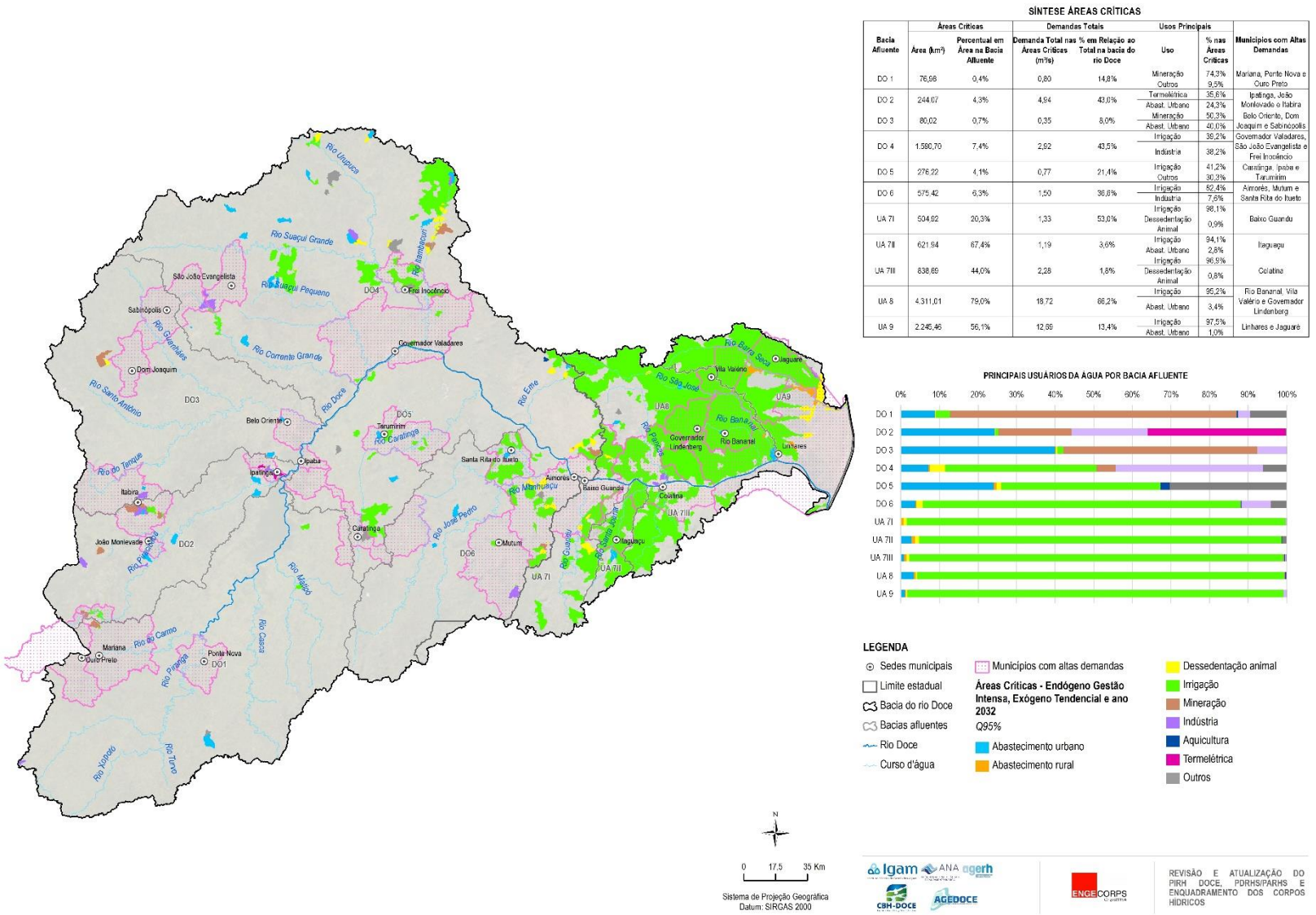
Bacia Afluente	Áreas Críticas: Área (km²)	Áreas Críticas: Percentual em Área na Bacia Afluente	Demandas Totais: Demanda Total nas Áreas Críticas (m³/s)	Demandas Totais: % em Relação ao Total na bacia do rio Doce	Usos Principais: Uso	Usos Principais: % nas Áreas Críticas	Municípios com Altas Demandas
DO 1	140,67	0,8%	0,96	15,7%	Mineração	61,9%	Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova
					Abast. Urbano	17,4%	
DO 2	260,50	4,6%	5,83	45,0%	Abast. Urbano	33,8%	Ipatinga, João Monlevade e Itabira
					Termelétrica	30,2%	
DO 3	103,25	1,0%	0,47	9,7%	Abast. Urbano	40,3%	Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis
					Mineração	38,2%	
					Irrigação	40,3%	
DO 4	1.839,29	8,6%	3,34	45,5%	Indústria	35,3%	Governador Valadares, São João Evangelista e Guanhães
DO 5	320,69	4,8%	0,93	21,8%	Irrigação	43,4%	Caratinga, Ipaba e Tarumirim
					Abast. Urbano	27,4%	
DO 6	653,53	7,1%	1,92	42,4%	Irrigação	83,5%	Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum
					Indústria	6,1%	
UA 7I	527,02	21,2%	1,55	53,5%	Irrigação	98,2%	Baixo Guandu
					Dessedentação Animal	0,9%	
UA 7II	627,17	68,0%	1,28	5,3%	Irrigação	93,0%	Itaguaçu
					Abast. Urbano	3,8%	
UA 7III	953,12	50,0%	2,86	2,5%	Irrigação	96,8%	Colatina
					Abast. Urbano	0,9%	
UA 8	4.430,17	81,2%	20,97	89,8%	Irrigação	94,6%	Rio Bananal, Vila Valério e Governador Lindenberg
					Abast. Urbano	4,0%	
UA 9	2.309,93	57,7%	14,00	26,6%	Irrigação	96,8%	Linhares e Jaguaré
					Abast. Urbano	1,8%	

Figura 5.2 - Áreas Críticas Identificadas no Cenário Endógeno BAU, Exógeno Tendencial, para o horizonte temporal de médio prazo (2032)



Bacia Afluente	Áreas Críticas: Área (km²)	Áreas Críticas: Percentual em Área na Bacia Afluente	Demandas Totais: Demanda Total nas Áreas Críticas (m³/s)	Demandas Totais: % em Relação ao Total na bacia do rio Doce	Usos Principais: Uso	Usos Principais: % nas Áreas Críticas	Municípios com Altas Demandas
DO 1	166,03	0,9%	1,02	15,0%	Mineração	58,2%	Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova
					Abast. Urbano	16,9%	
DO 2	274,13	4,8%	6,03	43,2%	Abast. Urbano	33,2%	Ipatinga, Itabira e João Monlevade
					Termelétrica	29,2%	
DO 3	146,59	1,4%	0,64	11,8%	Mineração	37,8%	Belo Oriente, Sabinópolis e Dom Joaquim
					Abast. Urbano	30,6%	
DO 4	2.447,87	11,4%	4,41	51,7%	Irrigação	44,0%	Governador Valadares, Guanhães e São João Evangelista
					Indústria	27,8%	
DO 5	571,15	8,5%	1,38	29,6%	Irrigação	49,0%	Caratinga, Tarumirim e Ipaba
					Abast. Urbano	25,4%	
DO 6	746,94	8,1%	2,50	45,1%	Irrigação	86,8%	Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum
					Indústria	4,8%	
UA 7I	574,10	23,1%	2,03	58,9%	Irrigação	98,4%	Baixo Guandu
					Dessedentação Animal	0,8%	
UA 7II	647,70	70,2%	1,47	5,3%	Irrigação	93,5%	Itaguaçu
					Abast. Urbano	3,4%	
UA 7III	967,87	50,8%	3,23	2,6%	Irrigação	97,1%	Colatina
					Dessedentação Animal	0,8%	
UA 8	4.600,73	84,3%	22,69	93,5%	Irrigação	94,6%	Rio Bananal, Vila Valério e São Gabriel da Palha
					Abast. Urbano	3,9%	
UA 9	2.281,31	57,0%	13,98	28,7%	Irrigação	96,8%	Linhares e Jaguaré
					Abast. Urbano	2,0%	

Figura 5.3 - Áreas Críticas Identificadas no Cenário Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento, para o Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)



Bacia Afluente	Áreas Críticas		Demandas Totais		Usos Principais		Municípios com Altas Demandas
	Área (km²)	Percentual em Área na Bacia Afluente	Demanda Total nas Áreas Críticas (m³/s)	% em Relação ao Total na bacia do rio Doce	Uso	% nas Áreas Críticas	
DO 1	76,98	0,4%	0,80	14,8%	Mineração	74,3%	Mariana, Ponte Nova e Ouro Preto
					Outros	9,5%	
DO 2	244,07	4,3%	4,94	43,0%	Termelétrica	35,8%	Ipatinga, João Monlevade e Itabira
					Abast. Urbano	24,3%	
DO 3	80,02	0,7%	0,35	8,0%	Mineração	50,3%	Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis
					Abast. Urbano	40,0%	
DO 4	1.580,70	7,4%	2,92	43,5%	Irrigação	36,2%	Governador Valadares, São João Evangelista e Frei Inocêncio
					Indústria	36,2%	
DO 5	276,22	4,1%	0,77	21,4%	Irrigação	41,2%	Caratinga, Ipaba e Tarumirim
					Outros	30,3%	
DO 6	575,42	6,3%	1,50	36,6%	Irrigação	52,4%	Aimorés, Mutum e Santa Rita do Itueto
					Indústria	7,6%	
UA 7I	504,62	20,3%	1,33	53,0%	Irrigação	98,1%	Baixo Guandu
					Dessedentação Animal	0,9%	
UA 7II	621,94	67,4%	1,19	3,6%	Irrigação	94,1%	Ilegueçu
					Abast. Urbano	2,8%	
UA 7III	838,69	44,0%	2,28	1,8%	Irrigação	96,9%	Colatina
					Dessedentação Animal	0,8%	
UA 8	4.311,01	79,0%	18,72	66,2%	Irrigação	95,2%	Rio Bananal, Vila Valério e Governador Lindenberg
					Abast. Urbano	3,4%	
UA 9	2.245,46	56,1%	12,99	13,4%	Irrigação	97,5%	Linhares e Jaguaré
					Abast. Urbano	1,0%	

Figura 5.4 - Áreas Críticas Identificadas no Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial, para Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

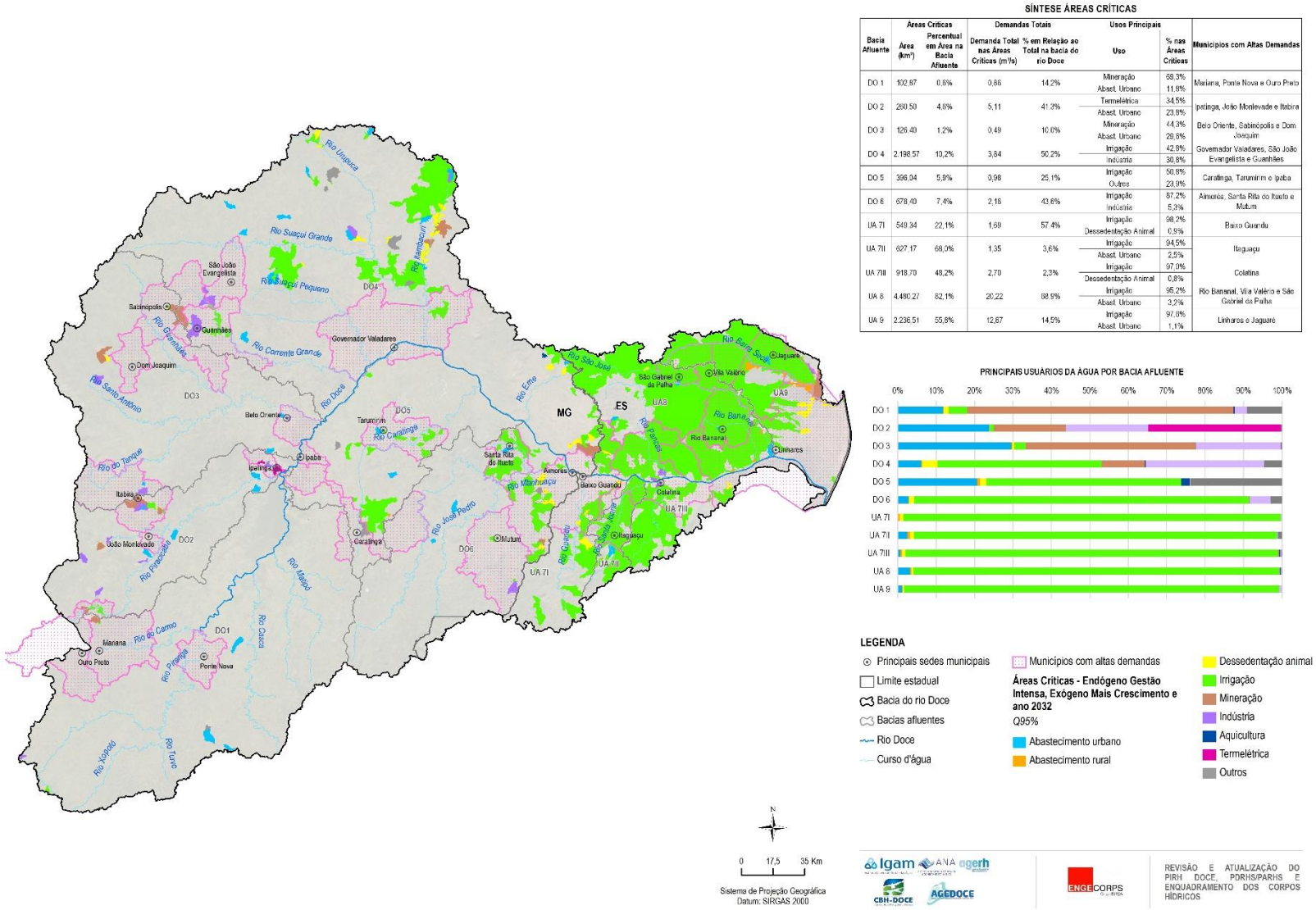
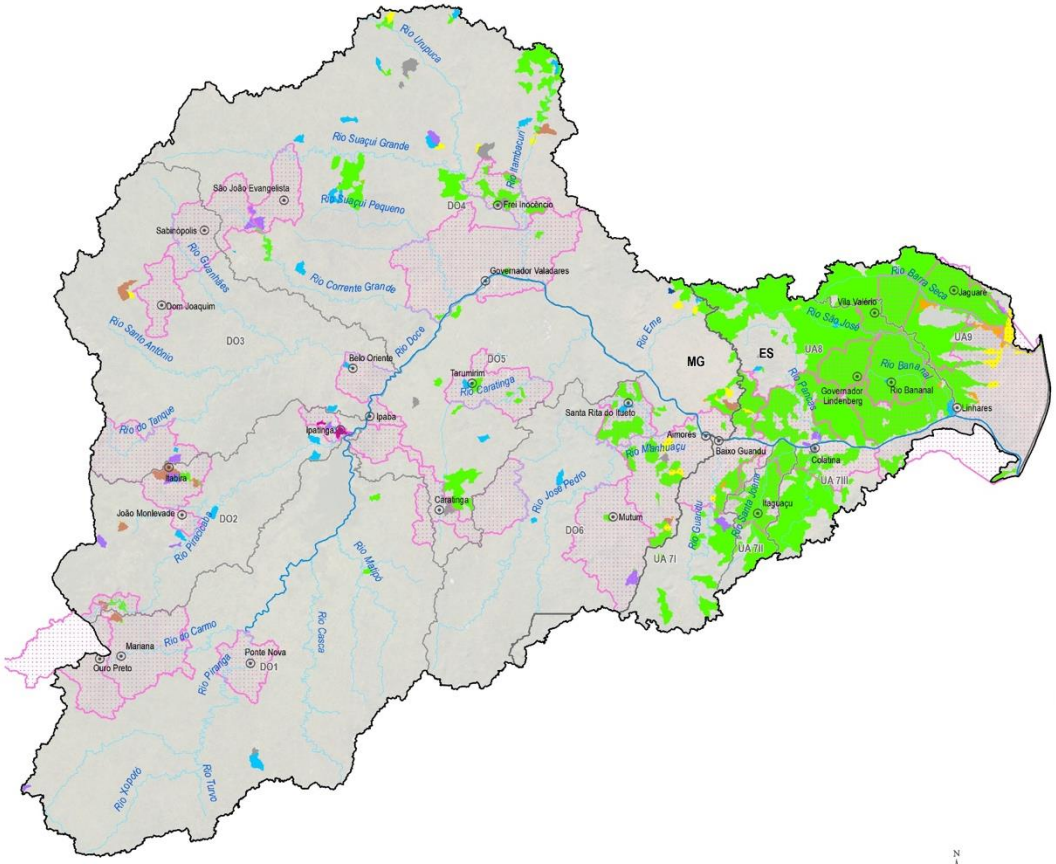


Figura 5.5 - Áreas Críticas Identificadas no Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento, para o Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)



SÍNTESE ÁREAS CRÍTICAS

Bacia Afluente	Áreas Críticas		Demandas Totais		Usos Principais		Municípios com Altas Demandas
	Área (km²)	Percentual em Área na Bacia Afluente	Demanda Total nas Áreas Críticas (m³/s)	% em Relação ao Total na bacia do rio Doce	Uso	% nas Áreas Críticas	
DO 1	76,98	0,4%	0,80	15,4%	Mineração	74,5%	Mariana, Ponte Nova e Ouro Preto
					Outros	9,6%	
DO 2	244,07	4,3%	4,93	43,1%	Termelétrica	35,7%	Ipatinga, João Monlevade e Itabira
					Abast. Urbano	24,2%	
DO 3	80,02	0,7%	0,35	8,0%	Mineração	50,7%	Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis
					Abast. Urbano	39,4%	
DO 4	1.331,65	6,2%	2,83	44,1%	Irrigação	39,4%	Governador Valadares, São João Evangelista e Frei Inocêncio
					Indústria	39,3%	
DO 5	276,22	4,1%	0,77	22,0%	Irrigação	41,4%	Caratinga, Ipaba e Tarumirim
					Outros	30,4%	
DO 6	575,42	6,3%	1,48	37,3%	Irrigação	83,4%	Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum
					Indústria	7,7%	
UA 7I	504,92	20,3%	1,33	53,5%	Irrigação	98,2%	Baixo Guandu
					Abast. Rural	0,9%	
UA 7II	621,94	67,4%	1,19	3,1%	Irrigação	94,6%	Itaguaçu
					Abast. Urbano	2,4%	
UA 7III	838,69	44,0%	2,28	1,9%	Irrigação	97,0%	Colatina
					Abast. Rural	0,8%	
UA 8	4.294,77	78,7%	18,71	62,7%	Irrigação	95,4%	Rio Bananal, Vila Valério e Governador Lindenberg
					Abast. Urbano	3,2%	
UA 9	2.232,34	55,7%	12,67	12,5%	Irrigação	97,5%	Linhares e Jaguaré
					Abast. Urbano	1,0%	







Figura 5.6 - Áreas Críticas Identificadas no Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento, para o Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

Visando aprofundar as causas dos balanços hídricos quantitativos mais críticos da bacia do rio Doce, foi elaborado o Quadro 5.1, que detalha as análises ilustradas nas figuras acima. As setas coloridas indicam o sentido das mudanças esperadas na intensidade das criticidades identificadas de um cenário em direção ao seguinte. Os municípios destacados são aqueles que passam a apresentar as mais altas demandas de um cenário para o outro.

Da observação das figuras e do quadro, destacam-se:

- ✓ Perspectivas de aumento nas situações de conflito pelo uso dos recursos hídricos em todas as bacias afluentes, mesmo sob cenário tendencial de médio prazo (2032), cada qual com seu principal usuário;
- ✓ As potencialidades das configurações de gestão (intensa) em reduzir as pressões quantitativas na bacia ocorrem em todas as bacias afluentes, e dificilmente invertem os setores usuários que preponderam em termos de uso. No entanto, as combinações são suficientes para reduzir os conflitos;
- ✓ Os municípios com maiores demandas não se alteram entre os cenários na maior parte das bacias afluentes, apenas na DO4 e na UA8 ocorrem tais inversões.

QUADRO 5.1 - BALANÇO HÍDRICO QUANTITATIVO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS - IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS CRÍTICAS NA BACIA DO RIO DOCE, CAUSAS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Bacia Afluente	Cenário Atual	Cenário Endógeno BAU, Exógeno Tendencial - 2032		Cenário Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento - 2032	
	Áreas Críticas	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos
DO1	Área: 63,28 km² Municípios: Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova Demandas: 0,87 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 68,4% ▪ Abast. Urbano - 19,6%	Área: 140,67 km² Municípios: Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova Demandas: 0,96 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 61,9% ▪ Abast. Urbano - 17,4%	↑	Área: 166,03 km² Municípios: Mariana, Ouro Preto e Ponte Nova Demandas: 1,02 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 58,2% ▪ Abast. Urbano - 16,9%	↑	Área: 76,98 km² Municípios: Mariana, Ponte Nova e Ouro Preto Demandas: 0,80 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 74,3% ▪ Outros - 9,5%	↓	Área: 102,87 km² Municípios: Mariana, Ponte Nova e Ouro Preto Demandas: 0,86 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 69,3% ▪ Abast. Urbano - 11,8%	↑	Área: 76,98 km² Municípios: Mariana, Ponte Nova e Ouro Preto Demandas: 0,8 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 74,5% ▪ Outros - 9,6%	↓
DO2	Área: 229,27 km² Municípios: Ipatinga, João Monlevade e Itabira Demandas: 4,19 m³/s Principais Usuários: ▪ Termelétrica - 42,0% ▪ Indústria - 22,9%	Área: 260,50 km² Municípios: Ipatinga, João Monlevade e Itabira Demandas: 5,83 m³/s Principais Usuários: ▪ Abast. Urbano - 33,8% ▪ Termelétrica - 30,2%	↑	Área: 274,13 km² Municípios: Ipatinga, Itabira e João Monlevade Demandas: 6,03 m³/s Principais Usuários: ▪ Abast. Urbano - 33,2% ▪ Termelétrica - 29,2%	↑	Área: 244,07 km² Municípios: Ipatinga, João Monlevade e Itabira Demandas: 4,94 m³/s Principais Usuários: ▪ Termelétrica - 35,6% ▪ Abast. Urbano - 24,3%	↓	Área: 260,50 km² Municípios: Ipatinga, João Monlevade e Itabira Demandas: 5,11 m³/s Principais Usuários: ▪ Termelétrica - 34,5% ▪ Abast. Urbano - 23,8%	↑	Área: 244,07 km² Municípios: Ipatinga, João Monlevade e Itabira Demandas: 4,93 m³/s Principais Usuários: ▪ Termelétrica - 35,7% ▪ Abast. Urbano - 24,2%	↓
DO3	Área: 69,66 km² Municípios: Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis Demandas: 0,37 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 48,6% ▪ Abast. Urbano - 42,7%	Área: 103,25 km² Municípios: Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis Demandas: 0,47 m³/s Principais Usuários: ▪ Abast. Urbano - 40,3% ▪ Mineração - 38,2%	↑	Área: 146,59 km² Municípios: Belo Oriente, Sabinópolis e Dom Joaquim Demandas: 0,64 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 37,8% ▪ Abast. Urbano - 30,6%	↑	Área: 80,02 km² Municípios: Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis Demandas: 0,35 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 5,3% ▪ Abast. Urbano - 40,0%	↓	Área: 126,40 km² Municípios: Belo Oriente, Sabinópolis e Dom Joaquim Demandas: 0,49 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 44,3% ▪ Abast. Urbano - 29,6%	↑	Área: 80,02 km² Municípios: Belo Oriente, Dom Joaquim e Sabinópolis Demandas: 0,35 m³/s Principais Usuários: ▪ Mineração - 50,7% ▪ Abast. Urbano - 39,4%	↓
DO4	Área: 1094,07 km² Municípios: Governador Valadares, São João Evangelista e Guanhães Demandas: 2,30 m³/s Principais Usuários: ▪ Indústria - 48,2% ▪ Irrigação - 35,5%	Área: 1839,29 km² Municípios: Governador Valadares, São João Evangelista e Guanhães Demandas: 3,34 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 40,3% ▪ Indústria - 35,3%	↑	Área: 2447,87 km² Municípios: Governador Valadares, Guanhães e São João Evangelista Demandas: 4,41 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 44,0% ▪ Indústria - 27,8%	↑	Área: 1590,70 km² Municípios: Governador Valadares, São João Evangelista e **Frei Inocêncio** Demandas: 2,92 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 39,2% ▪ Indústria - 38,2%	↓	Área: 2198,57 km² Municípios: Governador Valadares, São João Evangelista e **Guanhães** Demandas: 3,84 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 42,8% ▪ Indústria - 30,8%	↑	Área: 1331,65 km² Municípios: Governador Valadares, São João Evangelista e **Frei Inocêncio** Demandas: 2,83 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 39,4% ▪ Indústria - 39,3%	↓
DO5	Área: 178,08 km² Municípios: Caratinga, Ipaba e Tarumirim Demandas: 0,60 m³/s Principais Usuários: ▪ Outros - 38,8% ▪ Irrigação - 30,1%	Área: 320,69 km² Municípios: Caratinga, Ipaba e Tarumirim Demandas: 0,93 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 43,4% ▪ Abast. Urbano - 27,4%	↑	Área: 571,15 km² Municípios: Caratinga, Tarumirim e Ipaba Demandas: 1,38 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 49,0% ▪ Abast. Urbano - 25,4%	↑	Área: 276,22 km² Municípios: Caratinga, Ipaba e Tarumirim Demandas: 0,77 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 41,2% ▪ Outros - 30,3%	↓	Área: 396,04 km² Municípios: Caratinga, Tarumirim e Ipaba Demandas: 0,98 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 50,8% ▪ Outros - 23,9%	↑	Área: 276,22 km² Municípios: Caratinga, Ipaba e Tarumirim Demandas: 0,77 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 41,4% ▪ Outros - 30,4%	↓

Bacia Afluente	Cenário Atual	Cenário Endógeno BAU, Exógeno Tendencial - 2032		Cenário Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento - 2032	
	Áreas Críticas	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos
DO6	Área: 498,63 km² Municípios: Aimorés, Mutum e Santa Rita do Itueto Demandas: 1,18 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 77,4% ▪ Indústria - 9,7%	Área: 653,53 km² Municípios: Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum Demandas: 1,92 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 83,5% ▪ Indústria - 6,1%	↑	Área: 746,94 km² Municípios: Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum Demandas: 2,50 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 86,8% ▪ Indústria - 4,8%	↑	Área: 575,42 km² Municípios: Aimorés, Mutum e Santa Rita do Itueto Demandas: 1,50 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 82,4% ▪ Indústria - 7,6%	↓	Área: 678,40 km² Municípios: Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum Demandas: 2,16 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 87,2% ▪ Indústria - 5,3%	↑	Área: 575,42 km² Municípios: Aimorés, Santa Rita do Itueto e Mutum Demandas: 1,48 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 83,4% ▪ Indústria - 7,7%	↓
UA7 I	Área: 368.57 km² Municípios: Baixo Guandu Demandas: 0.78 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97.8% ▪ Dessedentação Animal - 1.1%	Área: 527,02 km² Municípios: Baixo Guandu Demandas: 1,55 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 98,2% ▪ Dessedentação Animal - 0,9%	↑	Área: 574,10 km² Municípios: Baixo Guandu Demandas: 2,03 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 98,4% ▪ Dessedentação Animal - 0,8%	↑	Área: 504,92 km² Municípios: Baixo Guandu Demandas: 1,33 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 98,1% ▪ Dessedentação Animal - 0,9%	↓	Área: 549,34 km² Municípios: Baixo Guandu Demandas: 1,69 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 98,2% ▪ Dessedentação Animal - 0,9%	↑	Área: 504,92 km² Municípios: Baixo Guandu Demandas: 1,33 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 98,2% ▪ Abast. Rural - 0,9%	↓
UA7 II	Área: 601,20 km² Municípios: Itaguaçu Demandas: 1,05 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,2% ▪ Abast. Urbano - 2,5%	Área: 627,17 km² Municípios: Itaguaçu Demandas: 1,28 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 93,0% ▪ Abast. Urbano - 3,8%	↑	Área: 647,70 km² Municípios: Itaguaçu Demandas: 1,47 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 93,5% ▪ Abast. Urbano - 3,4%	↑	Área: 621,94 km² Municípios: Itaguaçu Demandas: 1,19 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,1% ▪ Abast. Urbano - 2,8%	↓	Área: 627,17 km² Municípios: Itaguaçu Demandas: 1,35 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,5% ▪ Abast. Urbano - 2,5%	↑	Área: 621,94 km² Municípios: Itaguaçu Demandas: 1,19 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,6% ▪ Abast. Urbano - 2,4%	↓
UA7 III	Área: 624,62 km² Municípios: Colatina Demandas: 1,17 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 96,3% ▪ Dessedentação Animal - 1,1%	Área: 953,12 km² Municípios: Colatina Demandas: 2,86 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 96,8% ▪ Abast. Urbano - 0,9%	↑	Área: 967.87 km² Municípios: Colatina Demandas: 3.23 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97.1% ▪ Dessedentação Animal - 0.8%	↑	Área: 838,69 km² Municípios: Colatina Demandas: 2,28 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 96,9% ▪ Dessedentação Animal - 0,8%	↓	Área: 918,70 km² Municípios: Colatina Demandas: 2,7 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97,0% ▪ Dessedentação Animal - 0,8%	↑	Área: 838,69 km² Municípios: Colatina Demandas: 2,28 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97,0% ▪ Abast. Rural - 0,8%	↓
UA8	Área: 3974,62 km² Municípios: Rio Bananal, Vila Valério e São Gabriel da Palha Demandas: 13,00 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,8% ▪ Abast. Urbano - 3,7%	Área: 4430,17 km² Municípios: Rio Bananal, Vila Valério e **Governador Lindenberg** Demandas: 20,97 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,6% ▪ Abast. Urbano - 4,0%	↑	Área: 4600,73 km² Municípios: Rio Bananal, Vila Valério e **São Gabriel da Palha** Demandas: 22,69 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 94,6% ▪ Abast. Urbano - 3,9%	↑	Área: 4311,01 km² Municípios: Rio Bananal, Vila Valério e **Governador Lindenberg** Demandas: 18,72 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 95,2% ▪ Abast. Urbano - 3,4%	↓	Área: 4480,27 km² Municípios: Rio Bananal, Vila Valério e **São Gabriel da Palha** Demandas: 20,22 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 95,2% ▪ Abast. Urbano - 3,2%	↑	Área: 4294,77 km² Municípios: Rio Bananal, Vila Valério e **Governador Lindenberg** Demandas: 18,71 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 95,4% ▪ Abast. Urbano - 3,2%	↓

Bacia Afluente	Cenário Atual	Cenário Endógeno BAU, Exógeno Tendencial - 2032		Cenário Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento - 2032		Cenário Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento - 2032	
	Áreas Críticas	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos	Áreas Críticas	Conflito pelo Uso dos Recursos Hídricos
UA9	Área: 2076,84 km² Municípios: Linhares e Jaguaré Demandas: 8,76 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97,0% ▪ Abast. Urbano - 1,3%	Área: 2309,93 km² Municípios: Linhares e Jaguaré Demandas: 14,00 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 96,8% ▪ Abast. Urbano - 1,8%		Área: 2281,31 km² Municípios: Linhares e Jaguaré Demandas: 13,98 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 96,8% ▪ Abast. Urbano - 2,0%		Área: 2245,46 km² Municípios: Linhares e Jaguaré Demandas: 12,69 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97,5% ▪ Abast. Urbano - 1,0%		Área: 2236,51 km² Municípios: Linhares e Jaguaré Demandas: 12,67 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97,6% ▪ Abast. Urbano - 1,1%		Área: 2232,34 km² Municípios: Linhares e Jaguaré Demandas: 12,67 m³/s Principais Usuários: ▪ Irrigação - 97,5% ▪ Abast. Urbano - 1,0%	

Elaboração ENGECORPS, 2022

5.2 LEITURA INTEGRATIVA DO CENÁRIO TENDENCIAL E DAS COMBINAÇÕES ALTERNATIVAS

Conforme a abordagem metodológica de elaboração deste Prognóstico, a técnica de cenarização utilizou-se da construção organizada e articulada de diferentes fatores, possibilidades, estressores limitantes e trajetórias futuras que conformam diversos possíveis estados de mundo. O reconhecimento e articulação das influências exógenas e endógenas à gestão dos recursos hídricos permitiu compor um conjunto amplo de possibilidades.

Por um lado, esse conjunto permitiu observar os rebatimentos nas demandas hídricas qualitativas e quantitativas (abordadas no Capítulo 4); por outro, deve ainda traduzir as incertezas mais impactantes e relevantes para o gerenciamento dos recursos hídricos, servindo de insumo qualificado e ordenado para que se possam realizar as próximas etapas de construção deste Plano.

Como resultado do exercício de cenarização, então, devem ser identificados os mapas de contexto no qual o desenrolar do Plano deverá se dar, identificando fragilidades e pontos de atenção na bacia hidrográfica devido à interação multifacetada que se cria a partir das diferentes considerações de futuro. Dos cenários, espera-se construir uma leitura que embase as estratégias de gestão, pois em última instância, é aos gestores dos recursos hídricos que cabe lidar com as situações encontradas nos cenários da bacia do rio Doce.

De forma a gerar a visão integrativa do cenário tendencial e das combinações alternativas, busca-se identificar casos-tipo: situações homogêneas, seja pela característica, pelo timing, ou mesmo pela intensidade da modificação antevista, que podem ser associadas a uma determinada resposta de ação. Essa identificação faz uso de uma composição dos resultados do Prognóstico, e seu ponto de partida é a classificação dos resultados de balanço hídrico quantitativo e da intensidade de alterações previstas nas cargas poluidoras geradas, seguindo as faixas que são pormenorizadas no Quadro 5.2.

QUADRO 5.2 - TIPOLOGIAS DOS RESULTADOS QUANTI E QUALITATIVOS

Tipologia	*Comprometimento do Balanço Hídrico Quantitativo*		*Intensidade de Alteração na Geração de Carga Poluidora*	
	Classificação	*Critério*	*Classificação*	*Critério*
1	Muito baixa	< 20%	Sem variação	Sem variação
2	Baixa	entre 20% e 50%	Baixa	até 20%
3	Média	entre 50% e 75%	Média	entre 20% e 50%
4	Alta	entre 75% e 100%	Alta	entre 50% e 100%
5	Muito alta	> 100%	Muito alta	> 100%

Elaboração ENGECORPS, 2022

Com base nas tipologias acima apresentadas, torna-se possível identificar situações de atenção para o planejamento.

5.2.1 Situações de Atenção para o Aspecto Quantitativo

O Capítulo 2 deste relatório, item 2.1.2, apresentou uma série de áreas de conflito quantitativo, nas quais a soma das demandas hídricas não é plenamente atendida pela disponibilidade hídrica, seja esta dada pela $Q_{95\%}$, $Q_{90\%}$ ou pela $Q_{7,10}$. Tendo como base a vazão $Q_{95\%}$, identifica-se a ocorrência de 471 ottobacias com comprometimento hídrico muito alto na cena atual, o que corresponde a uma fração de 4,9% do total. Outras 301 (3,1%) ottobacias são classificadas, na cena atual, como tendo um comprometimento alto (entre 75% e 100% de comprometimento).

Os resultados do balanço hídrico quantitativo na cenarização até 2042, comentados no item 4.2 do Capítulo 4, demostram que não há perspectiva de uma larga ampliação das áreas em conflito: na configuração de maior pressão quantitativa (combinação 4 sob efeito crítico da mudança do clima para o ano de 2042), agregam-se 328 novas ottobacias com balanço hídrico comprometido. Estas novas áreas representam uma elevação de 4,9% para 8,3% no total de ottobacias comprometidas (de 471 para 799). Pelas figuras expostas no item 4.2, que apresentam a espacialização dessas novas áreas de balanço muito alto, torna-se claro que no mais das vezes são áreas adjacentes às já "vermelhas" na cena atual. Salvo exceções, portanto, trata-se da perspectiva de ampliação das áreas atuais de conflito.

Neste mesmo cenário (maior pressão quantitativa), no entanto, o aumento da demanda hídrica salta em 89%, passando de 66,14 m^3/s para 125,05 m^3/s em vinte anos. Trata-se de um incremento nas vazões de retirada equivalente a 2,95 m^3/s a cada ano de 2023 até 2042. Quando se considera a média de demanda de todos os cenários alternativos, incluindo os de gestão moderada e intensa, tem-se a previsão de um acréscimo equivalente a 2,14 m^3/s a cada ano.

Parte dessa nova demanda é plenamente atendida, resultando nas diversas mudanças de classe de balanço hídrico que não se traduzem em preocupações de gestão. Na média de todos os cenários alternativos para os próximos dez anos, são 137 ottobacias que passam da classe Muito baixa de comprometimento (<20%) para Baixa (entre 20% e 50%), elevando a fração dessa classe de 11,1% para 12,6% no total. Prevê-se, ainda, que outras 45 ottobacias passem da classe Baixa de comprometimento para a Média (entre 50% e 75%), fazendo com que a fração no total suba dos atuais 3,2% para 3,7%. Outras 17 ottobacias devem, enfim, passar da classe Média para Alta (entre 75% e 100% de comprometimento).

Parte expressiva da demanda hídrica cenarizada, no entanto, não conseguirá ser atendida em segurança. Isso decorre tanto pela disponibilidade hídrica insuficiente em locais que passam, então, a ser críticos, como pela ocorrência de mais demandas em locais que já são críticos na cena atual - fazendo com que haja um recrudescimento dos conflitos. Afinal, no mesmo cenário alternativo em que há um incremento de "apenas" 328 ottobacias críticas, prevê-se incremento de 89% nas demandas hídricas. Na média dos cenários alternativos para os próximos 10 anos, esse incremento passa a ser de 32%, mesmo considerando para tanto as perspectivas de gestão moderada e intensa.

Como forma de esquadrinhar a demanda hídrica sob risco de não atendimento, adota-se a seguinte premissa: caso haja demanda muito alta (balanço hídrico superior a 100%) em uma dada ottobacia, subtrai-se o resultado muito alto do balanço limite de 100%, porém limitado a 95% de não atendimento, e multiplica-se esse excedente sob risco pela demanda total. Dessa forma, observa-se que a demanda hídrica sob risco de não atendimento é de 16,19 m^3/s já na cena atual (ou seja, 24,5% da vazão total). Na média dos cenários alternativos para os próximos dez anos, tem-se sob risco o equivalente a 33,5% das demandas, uma vazão de 29,31 m^3/s. Como o Quadro 5.3 apresenta, em termos de vazão sob risco, há uma grande concentração nas bacias afluentes capixabas.

QUADRO 5.3 - DEMANDAS DE RETIRADA SOB RISCO DE NÃO ATENDIMENTO EM 2032 (M^3/S)

Bacia Afluente	*Cena Atual (2020)*	*Perspectiva Endógena BAU*			*Perspectiva Endógena Gestão Intensa*		
		Tendencial	*Mais Crescimento*	*Mais Crescimento e Clima Crítico*	*Tendencial*	*Mais Crescimento*	*Mais Crescimento e Clima Crítico*
DO1	0,41	0,40	0,40	0,41	0,40	0,40	0,41
DO2	2,83	4,38	4,55	4,96	3,50	3,59	3,77
DO3	0,15	0,17	0,24	0,31	0,10	0,12	0,12
DO4	1,35	1,78	2,62	2,87	1,56	2,17	2,40
DO5	0,25	0,43	0,56	0,65	0,29	0,37	0,36
DO6	0,41	0,72	1,16	1,84	0,57	0,94	1,52
UA7 I	0,44	0,90	1,27	1,78	0,73	1,01	1,46
UA7 II	0,38	0,55	0,69	1,52	0,48	0,61	1,39
UA7 III	0,10	0,71	1,03	0,90	0,43	0,64	0,61
UA8	4,47	10,70	13,69	20,76	8,56	11,23	17,96
UA9	5,40	9,62	10,17	16,13	8,35	8,89	14,55
Total	***16,19***	***30,37***	***36,38***	***52,12***	***24,98***	***29,97***	***44,54***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Quando essas vazões sob risco são contrastadas com as demandas hídricas respectivas, tem-se uma situação de maior homogeneidade quanto à distribuição do risco de não atendimento, como se observa no Quadro 5.4. As circunscrições hidrográficas DO2 e DO4 apresentam alto nível de demandas não atendidas, bem como ocorre com a DO6 em alguns cenários. As unidades de análise capixabas apresentam, no entanto, os mais altos níveis de risco de não atendimento.

QUADRO 5.4 - DEMANDAS DE RETIRADA SOB RISCO DE NÃO ATENDIMENTO EM 2032 (% DA DEMANDA TOTAL)

Bacia Afluente	Cena Atual (2020)	Perspectiva Endógena BAU			Perspectiva Endógena Gestão Intensa		
		Tendencial	Mais Crescimento	Mais Crescimento e Clima Crítico	Tendencial	Mais Crescimento	Mais Crescimento e Clima Crítico
DO1	7,7	6,7	5,9	5,4	7,5	6,7	6,2
DO2	24,2	33,8	32,6	33,0	30,5	29,0	30,9
DO3	3,8	3,5	4,5	5,1	2,3	2,4	2,2
DO4	22,2	22,7	29,0	25,6	22,3	27,2	25,1
DO5	9,1	11,5	13,5	12,3	8,7	10,3	8,4
DO6	11,1	16,0	21,0	25,9	13,9	19,0	24,4
UA7 I	31,2	37,5	41,5	55,5	35,4	39,6	54,7
UA7 II	31,2	37,5	41,5	55,5	35,4	39,6	54,7
UA7 III	5,0	16,0	25,9	17,5	11,0	18,9	13,5
UA8	30,4	46,0	54,8	60,3	41,5	50,9	58,1
UA9	41,7	50,1	55,5	62,7	47,2	52,7	60,6
Total	***24,5***	***33,3***	***37,4***	***41,7***	***30,5***	***34,6***	***40,4***

Circunscrições Hidrográficas mineiras: DO1 – Piranga: DO2 – Piracicaba: DO3 – Santo Antônio; DO4 – Suaçuí; DO5 – Caratinga: DO6 – Manhuaçu.
Unidades de Análise capixabas: UA7 – Margem Direita Capixaba, subdividida em UA7I Guandu; UA7II Santa Joana; UA7III Santa Maria do Doce; UA8 – Pontões e Lagoas do Rio Doce; UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce
Elaboração ENGECORPS, 2022

Identifica-se, pelos quadros acima, que a imposição de gestão intensa dos recursos hídricos consegue atenuar de forma apenas ligeira as demandas sob risco. Não há perspectivas, no entanto, de se viabilizar, por ela, o pleno atendimento das demandas sem que seja necessário lançar mão de estratégias de gestão de conflito.

Para aclarar onde, no território da bacia do rio Doce, as estratégias de gestão se fazem mais efetivas na redução das demandas hídricas sob risco, adotou-se o seguinte procedimento: compilaram-se as reduções percentuais no risco de não atendimento entre os cenários de gestão intensa e suas contrapartidas exógenas sem essa perspectiva, para os horizontes de 2032 (sem efeito das mudanças do clima) e 2042 (com efeito das mudanças do clima), tirando-se então a média entre elas. As combinações consideradas foram todas frente à gestão intensa, quais sejam: Tendencial, Mais crescimento e Menos crescimento; assim como a Tendencial sob mudança do clima nos cenários intermediário e crítico. Com base nessa média, classificaram-se as reduções em três níveis: Baixo - reduções até 4,5%; Médio - reduções até 9,1%; Alto - reduções superiores a 9,1%. Esses limites correspondem a mediana (6,8%) subtraída e acrescida (respectivamente) do desvio padrão.

A Figura 5.7 apresenta os resultados das áreas onde as perspectivas de gestão intensa conseguem mais reduzir as demandas quantitativas, reduzindo assim o risco de não atendimento. Nota-se que essa redução de risco não significa, necessariamente, que essas áreas possam passar a ter balanços hídricos classificados como alto ao invés de muito alto. Ao contrário, poucas são as áreas que conseguem mudar de classe, como pode ser antecipado pela observação dos quadros

antes apresentados. Ou seja, não se tem, necessariamente, a mudança de classe das áreas, mas sim uma redução do risco de não atendimento mediante gestão da demanda.

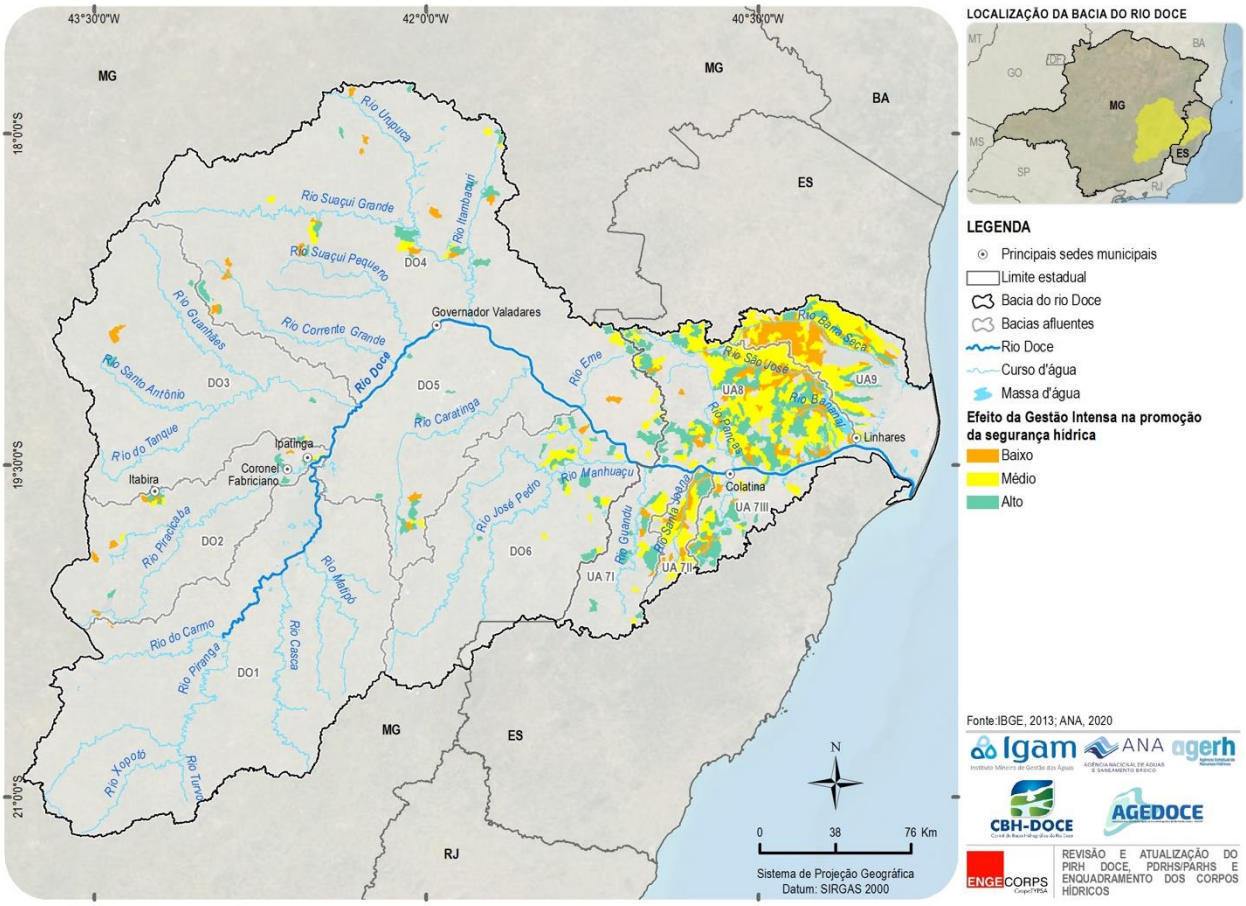


Figura 5.7 - Efeito da Gestão Intensa na Promoção da Segurança Hídrica no Horizonte Temporal de 20 anos (até 2042)

A análise da redução dos riscos de não atendimento considerou os efeitos médios das perspectivas de gestão intensa, e mostra que 252 ottobacias (2,6% do total) se encontram em áreas de alto efeito da gestão. Outras 354 ottobacias (3,7%) perfazem as áreas de médio efeito; enquanto 236ottobacias (2,4%) se enquadram como de baixo efeito - ao menos para as estratégias de gestão que foram cenarizadas. Tal como abordado no item 3.3.2.5 para a agricultura irrigada, que simulou o efeito da gestão por substituição de culturas, diversas outras formas de incrementar a segurança hídrica devem ser postas em práticas nas áreas onde a resposta projetada não se faz suficiente. Como forma de se qualificar os esforços de gestão, realizou-se uma leitura complementar, que traz as ações de gestão frente à promoção de melhorias na criticidade de balanço hídrico.

Foram considerados, para tal, as seguintes possíveis passagens de classe de comprometimento para os cenários com e sem gestão, nas perspectivas exógenas tendenciais e de Mais crescimento): de muito alta para média ou melhor, com Gestão moderada; de muito alta para alta, com Gestão moderada; de alta para média ou melhor, com Gestão moderada; de média para baixa ou melhor, com Gestão moderada; de muito alta para média ou melhor, com Gestão intensa; de muito alta para alta, com Gestão intensa; de alta para média ou melhor, com Gestão

intensa; de média para baixa ou melhor, com Gestão intensa. Nota-se que as possibilidades excluem as reduções das tipologias baixa ou muito baixa, pois não há, para estas, preocupação quantitativa. Importante ressaltar que essa análise é realizada para o horizonte de médio prazo (2032).

A partir da identificação das possibilidades elencadas, foram realizados os agrupamentos abaixo, que contaram ainda com duas outras possibilidades cenarizadas, que são as ottobacias que não se alteram em relação à cena atual, mesmo com as perspectivas de gestão. Apresentam-se, ainda, os quantitativos de ottobacias em cada categoria:

- ✓ Áreas que respondem à Gestão moderada, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (269 ottobacias, 2,8% do total): estas são áreas sensíveis à gestão, e não precisam necessariamente de esforços intensos para reduzirem a criticidade de seus balanços hídricos;
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (169 ottobacias, 1,8% do total): estas áreas, tal como as anteriores, são sensíveis aos esforços de gestão, porém apenas mudam de classe (reduzem seu grau de comprometimento) sob gestão intensa;
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mas apenas na perspectiva Tendencial (192 ottobacias, 2,0% do total): estas áreas, embora mudem de classe sob gestão intensa, apenas o fazem na perspectiva tendencial, o que significa que situações econômicas e demográficas de maior pressão podem comprometer os esforços;
- ✓ Áreas que permanecem na tipologia de comprometimento alto (balanço hídrico entre 75% e 100%), independente dos esforços de gestão (268 ottobacias, 2,8% do total);
- ✓ Áreas que permanecem na tipologia de comprometimento muito alto (balanço hídrico superior a 100%), independentemente dos esforços de gestão (709 ottobacias, 7,3% do total).

A Figura 5.8 apresenta os resultados da mecânica prescrita e permitem observar, no território, as áreas que mais respondem aos esforços cenarizados de gestão para o horizonte de 10 anos (médio prazo, ou seja, ano 2032). Uma vez que as classificações foram realizadas em termos de resultados efetivos de balanço hídrico, tem-se uma noção de onde há maior efetividade de gestão (630 ottobacias, 6,5% do total). Pode-se observar, em contraponto, que porções significativas da bacia hidrográfica (977 ottobacias, 10,1% do total) permanecem inalteradas em suas classes, a maior parte delas com demandas muito altas.

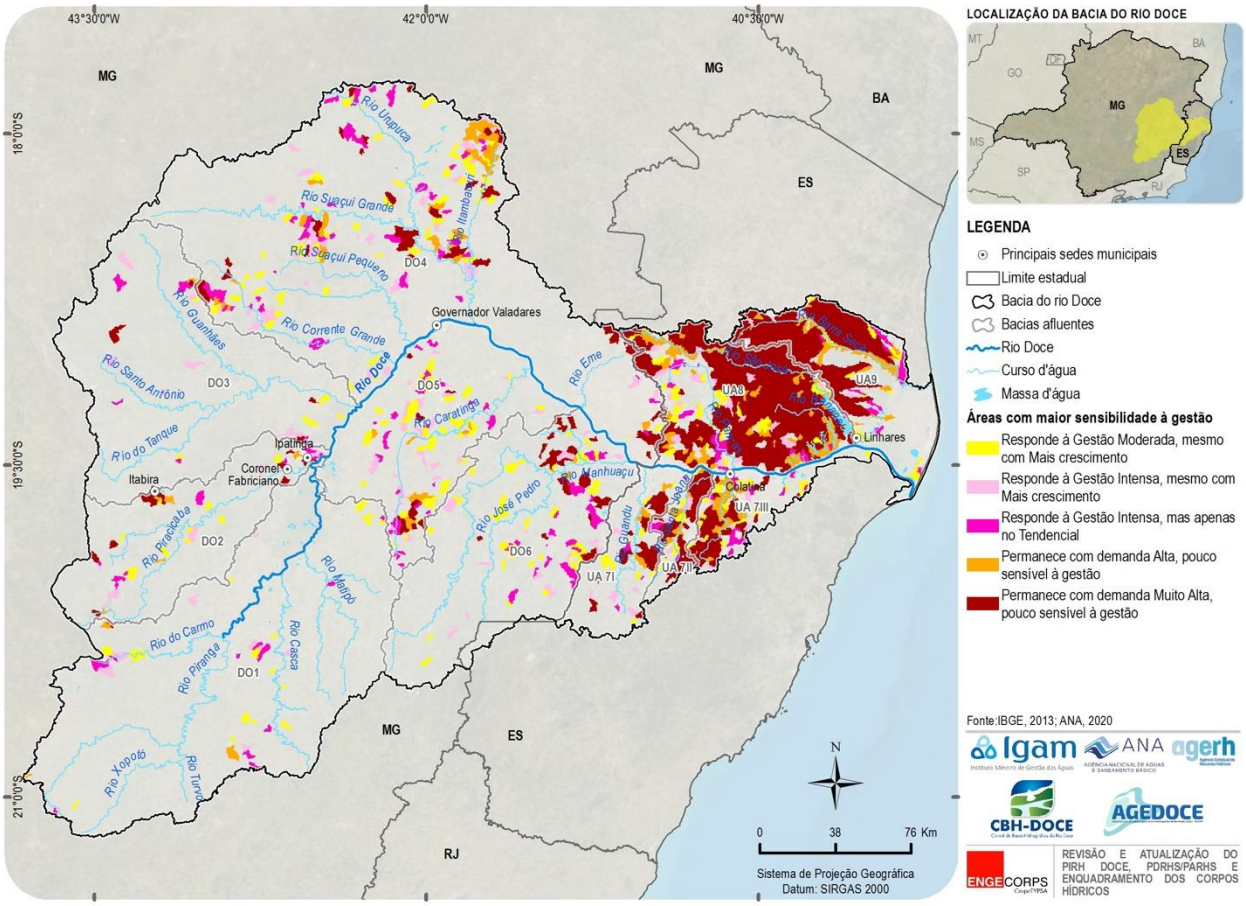


Figura 5.8 - Sensibilidade aos Esforços Cenarizados de Gestão para o Horizonte de Médio Prazo (2032)

Enquanto a análise realizada identificou as áreas mais sensíveis aos esforços de gestão para o horizonte de 2032, cabe investigar as áreas que tendem a se tornar críticas, conforme a cenarização, e o intervalo temporal no qual essa criticidade tende a ocorrer - tem-se, portanto, uma leitura complementar que pretende classificar temporalmente as mudanças antevistas para tornar hábil o tempo de resposta das estratégias de gestão que serão tomadas. Afinal, nas áreas que se tornam críticas apenas no longo prazo, tem-se uma janela mais longa de oportunidade para ação; o oposto se verifica, no entanto, naquelas que já no curto prazo podem vir a estar comprometidas.

Para tanto, identificaram-se as seguintes possibilidades de passagens de categoria e comprometimento de balanço hídrico, tendo como base o cenário tendencial e o cenário alternativo de Mais crescimento, desconsiderando-se as perspectivas de gestão moderada e intensa: de média para alta no curto prazo; de média para alta no médio prazo; de média para alta no longo prazo; de média para muito alta no curto prazo; de média para muito alta no médio prazo; de média para muito alta no longo prazo; de alta para muito alta no curto prazo; de alta para muito alta no médio prazo; e de alta para muito alta no longo prazo.

A partir da identificação das possibilidades elencadas, foram realizados os agrupamentos abaixo, que contaram ainda com as mesmas classificações de antes quanto à permanência de áreas de balanço alto e muito alto. Nota-se que os quantitativos dessas duas últimas tipologias não são necessariamente os mesmos da análise anterior, uma vez que parte deles está contemplada nas

primeiras três categorias e não é endereçada via esforços de gestão. São leituras, portanto, complementares, haja vista que não trazem a leitura da gestão, mas sim, da pressão exógena:

- ✓ Áreas com pressão para se tornarem críticas no curto prazo, ou seja, em cinco anos (75 ottobacias, 0,8% do total);
- ✓ Áreas com pressão para se tornarem críticas no médio prazo, ou seja, em dez anos (307 ottobacias, 3,2% do total);
- ✓ Áreas com pressão para se tornarem críticas no longo prazo, ou seja, em vinte anos (70 ottobacias, 0,7% do total);
- ✓ Áreas que permanecem, desde a cena atual, na tipolgia de comprometimento Alto (101 ottobacias, 1,0% do total);
- ✓ Áreas que permanecem, desde a cena atual, na tipologia de comprometimento Muito alto (471 ottobacias, 4,9% do total).

Ao todo, tem-se a identificação de 452 ottobacias (4,7% do total) que tendem a se tornar críticas em termos de balanço hídrico quantitativo e que se somam às 572 ottobacias que permanecem com demanda alta ou muito alta desde a cena atual. Em relação ao horizonte temporal analisado, nota-se que a maior parte das novas pressões deve se materializar em até 10 anos, como se visualiza na Figura 5.9.

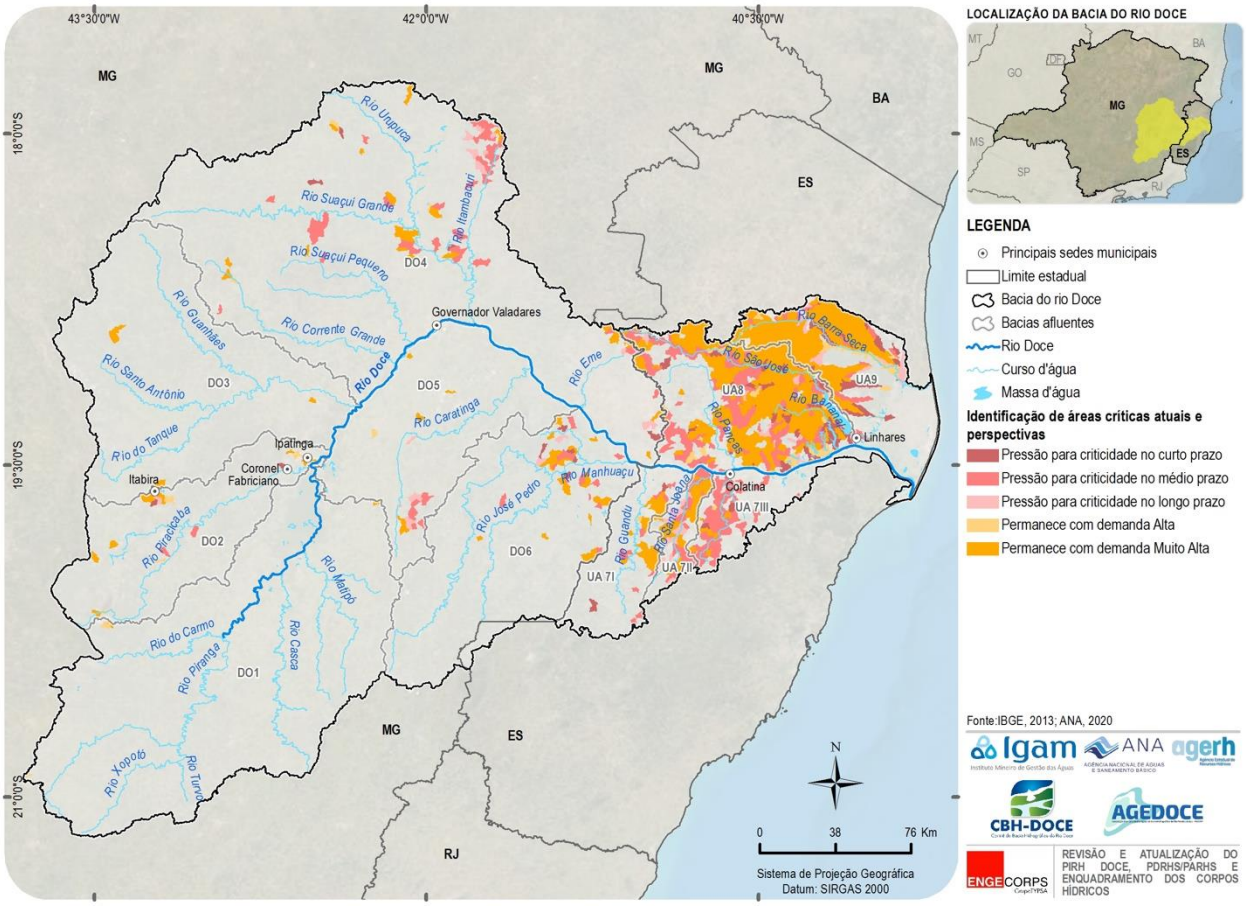


Figura 5.9 - Áreas Atualmente Críticas e com Perspectivas de Passarem a Críticas no Horizonte Temporal de 20 Anos (até 2042)

Facilmente se identifica a concentração das áreas de demanda alta e muito alta na porção capixaba da bacia, bem como no entorno de grandes cidades, como Itabira. A análise realizada, ao articular as áreas que se mantêm ou que passam a ser preocupantes sob o aspecto de gestão, não revela a totalidade da pressão econômica e demográfica pelos recursos hídricos que fora desvendada via cenarização. Diversas ottobacias apresentam, prospectivamente, aumentos de demanda hídrica, muito embora essa demanda, no mais das vezes, seja atendida de forma satisfatória e não se torne, assim, objeto-foco de gestão.

De forma a identificar essas áreas sob pressão exógena, econômica e demográfica, mesmo que esta pressão não se traduza em criticidade, identificaram-se as ottobacias que passam a mudar para uma classe superior de comprometimento hídrico, mesmo sendo essa passagem da tipologia de muito baixo comprometimento (até 20%) para a de baixo comprometimento (de 20% a 50%).

Esse resultado é apresentado na Figura 5.10, que também identifica as áreas que sofrem pressão por outra forçante exógena: as mudanças do clima. Para essa última classificação, identificaram-se as ottobacias que apresentam mudança de classe para um patamar superior de comprometimento hídrico no cenário crítico de mudança do clima. O horizonte temporal considerado é o de longo prazo, pois intenta-se representar todas as áreas que deverão ter modificações representativas.

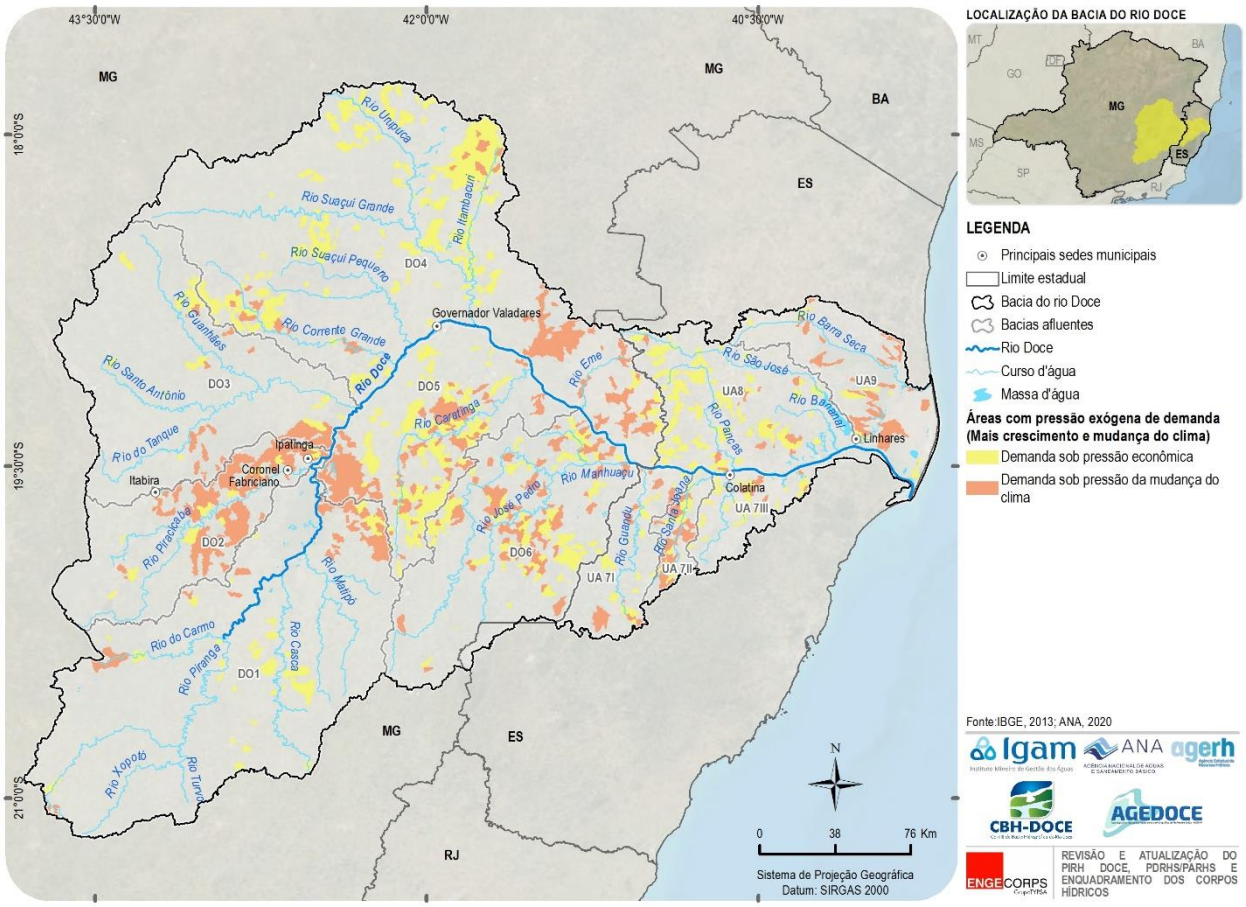


Figura 5.10 - Pressão Exógena de Demanda - Perspectiva de Mais Crescimento e Cenário de Mudança do Clima Crítico para o Horizonte Temporal de Longo Prazo (2042)

O grande contraste entre a distribuição das áreas sob pressões quantitativas exógenas (Figura 5.9) e a das áreas que permanecem críticas ou que passam a sê-lo (Figura 5.10), revela a capacidade da bacia hidrográfica do rio Doce em suportar as atividades econômicas que nela ocorrem e que usufruem de seus recursos hídricos. Ou seja, parte expressiva das demandas hídricas é atendida sem preocupação quantitativa, traduzindo-se em oportunidades de aproveitamento desse recurso natural escasso e com valor econômico.

Em termos de quantidade de ottobacias que sofrem pressão exógena, tem-se 795 sob pressão econômica (8,2% do total) e 698 sob pressão pela mudança do clima (7,2%). Importante salientar que a Figura 5.4 considera ligeiras sobreposições entre as duas pressões exógenas, para as quais deu-se preferência à demonstração daquelas de cunho econômico.

Especificamente sobre a mudança do clima, cabe identificar a sensibilidade espacial à essa forçante, realizando-se assim uma classificação similar às anteriores, mas dessa vez computando-se as mudanças de classe de balanço hídrico (para níveis superiores ou inferiores) a partir dos cenários crítico (modelo bcccsm11 e cenário de emissões RCP8.5) e intermediário (modelo CCSM4 e cenário de emissões RCP8.5). Conforme discutido no item 4.2 do Capítulo 4, a disponibilidade hídrica é incrementada, no mais das vezes, sob cenário intermediário. Já o cenário crítico traz reduções abrangentes de disponibilidade hídrica, como era de se esperar devido às projeções de redução de precipitação, embora em algumas regiões também prescreva uma maior disponibilidade.

A Figura 5.11, cujo horizonte temporal é de longo prazo (2042), traz os resultados da identificação das áreas mais sensíveis à mudança do clima, salientando algumas sobreposições entre os dois cenários (na cor alaranjada). No total, são 2.626 ottobacias (27,2% do total) que apresentam modificação de classe de seus balanços hídricos devido à mudança do clima. Por mais que essa modificação ocorra para melhor sob a perspectiva do cenário intermediário de clima, pontua-se o grande risco climático identificado, que afeta praticamente uma terça parte da bacia. Há, pois, uma combinação entre fatores de alerta, quais sejam:

- ✓ Projeções que apontam para menores níveis de precipitação;
- ✓ Projeções de alteração na distribuição das chuvas;
- ✓ Modificações no regime hidrológico já identificadas para a bacia, com base nos dados observados; e
- ✓ Extensão das áreas com sensibilidade para as mudanças.

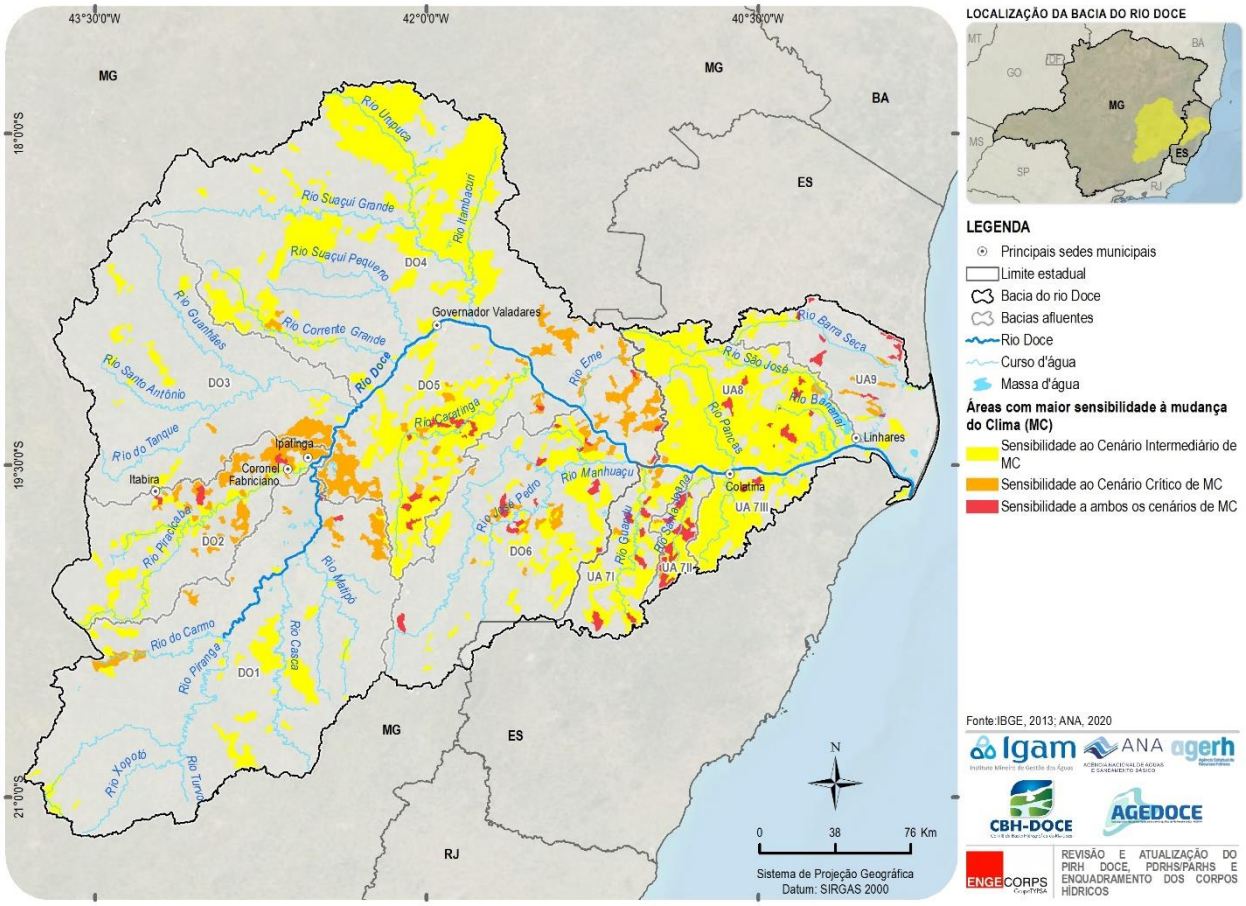


Figura 5.11 - Áreas com Maior Sensibilidade à Mudança do Clima no Horizonte Temporal de Longo Prazo (2042)

Essa combinação corrobora a recomendação já traçada anteriormente de se encarar as mudanças do clima de forma proativa na gestão das águas. Afinal, diversas áreas sensíveis ao clima se sobrepõem com áreas já preocupantes em termos de atendimento das demandas. Ou seja, os principais clusters de demanda são também sensíveis a um fenômeno exógeno e de alta incerteza. Mesmo que em anos regulares não haja alteração de regime hidrológico, a frequência de anos atípicos tende a aumentar, conforme apontam os diversos modelos climáticos avaliados. Esses anos atípicos, portanto, devem se traduzir em dificuldades de atender às demandas e denotam, portanto, regiões-foco de ações de gestão voltadas à contingência e eventos extremos.

5.2.2 Situações de Atenção para o Aspecto Qualitativo

Concentrando-se agora no aspecto qualitativo, abordam-se situações de atenção para as cargas poluidoras orgânicas ($DBO_{5,20}$), de nutrientes (fósforo) e bacteriológicas (*Escherichia coli*). Nota-se, ainda, a complementariedade entre a presente análise e os estudos específicos para o enquadramento (Capítulo 6, em especial, o item 6.2).

No intuito de traçar conclusões integrativas a partir do cenário tendencial e dos cenários alternativos, torna-se possível, em um primeiro momento, apresentar as mudanças antevistas com base nas pressões econômicas e demográficas exógenas. Em um segundo momento, esta pressão pode ser contrastada com os esforços previstos de gestão. Essas respostas, endógenas, produzem expressões espaciais que servem de guia para a consecução do Plano de Ações.

De forma similar à realizada para o aspecto quantitativo, utilizou-se dos resultados de geração de carga poluidora nos diversos cenários para categorizá-los frente às variações esperadas quanto à cena atual, naqueles que: não apresentam variação; que apresentam variação baixa nas cargas poluidoras (até 20% em relação à cena atual); variação média (variação entre 20% e 50%); variação alta (entre 50% e 100%); e, por fim, variação muito alta (> 100%).

Com base nessa análise, identificaram-se as passagens entre essas categorias em função dos cenários tendencial e alternativos, mas sem considerar as perspectivas de gestão (tanto moderada como intensa). Dessa forma, tem-se uma leitura da pressão exógena quanto à geração das cargas poluidoras, que pode vir a ocorrer nos intervalos temporais de curto, médio e longo prazos. Dessa forma, todos os horizontes temporais são considerados para a composição da leitura estratégica de perspectiva de piora na qualidade. Pode-se associar os resultados, portanto, com as perspectivas até o ano de 2042.

A Figura 5.12 apresenta as tipologias obtidas para o parâmetro DBO, deixando claro que mesmo com as perspectivas de redução das taxas de crescimento populacional, um total de 1.465 ottobacias (15,2% do total) deve abrigar trechos com alguma piora na qualidade. Desse quantitativo, 256 ottobacias (2,7%) trazem perspectivas de uma piora baixa, outras 83 (0,9%) uma piora média, 56 (0,6%) uma piora alta e, por fim, 1.070 (11,1%) devem apresentar uma piora muito alta.

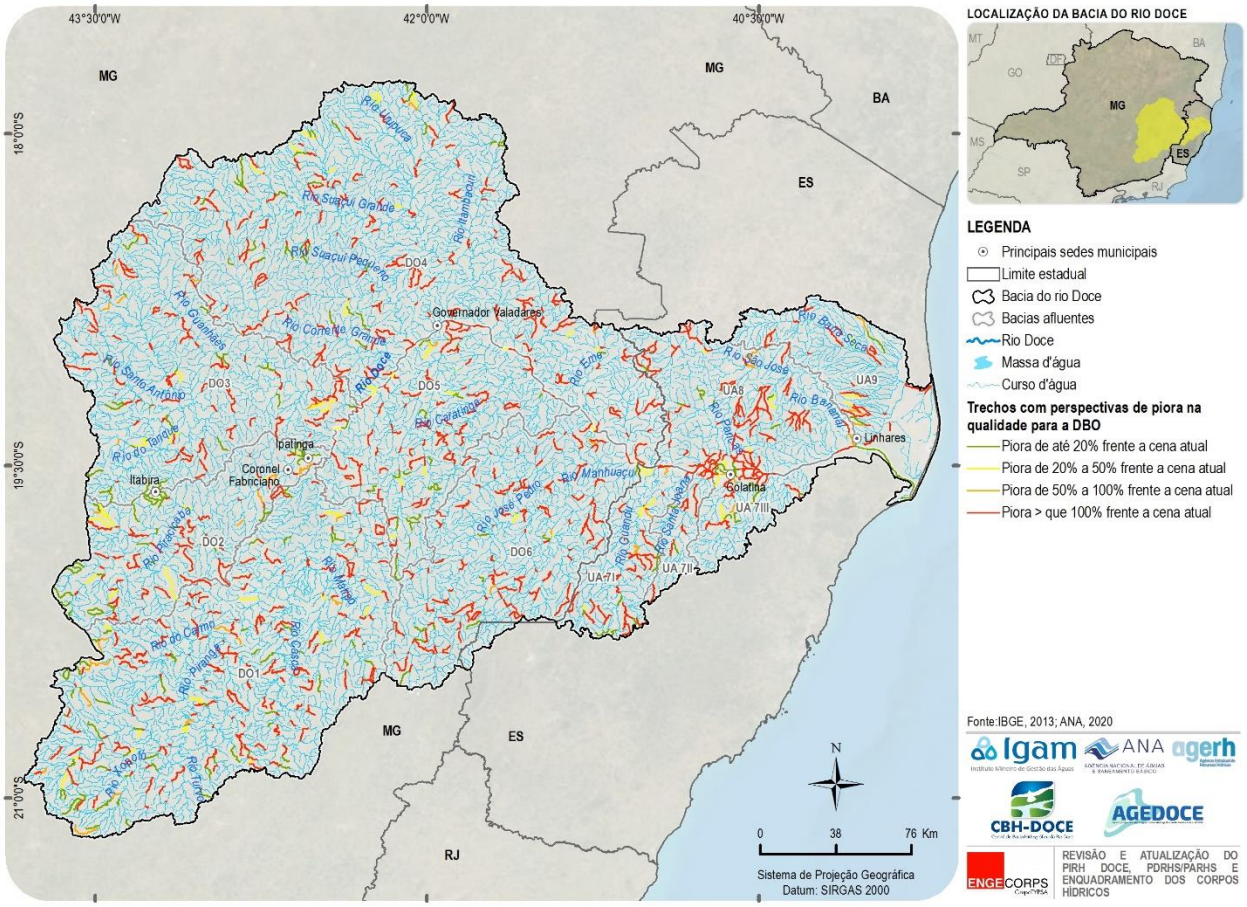


Figura 5.12 - Trechos com Perspectivas de Piora na Qualidade para a DBO no Horizonte Temporal de 20 Anos (até 2042)

Para se avaliar o efeito da imposição das perspectivas endógenas de gestão, identificaram-se as seguintes possibilidades de passagens de classe de variação na carga gerada, dessa vez tendo como base a comparação dos cenários alternativos com gestão contra seus respectivos cenários sem gestão: de muito alta para média ou menor, com Gestão moderada; de muito alta para alta, com Gestão moderada; de alta para média ou menor, com Gestão moderada; de média para baixa ou menor, com Gestão moderada; de muito alta para média ou menor, com Gestão intensa; de muito alta para alta, com Gestão intensa; de alta para média ou menor, com Gestão intensa; e finalmente de média para baixa ou menor, com Gestão intensa.

As possibilidades elencadas consideram o horizonte temporal de médio prazo (2032), no qual podem-se antever as respostas necessárias de gestão. A partir dessa identificação, foram realizados os agrupamentos abaixo:

- ✓ Áreas que respondem à Gestão moderada, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (242 ottobacias, 2,5% do total);
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (174 ottobacias, 1,8% do total); e
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mas apenas na perspectiva Tendencial (335 ottobacias, 3,5% do total).

A Figura 5.13 permite identificar os trechos que passam a ter reduções nas cargas lançadas como resultado das medidas de gestão cenarizadas, trechos estes que se distribuem na bacia em concordância com as sedes urbanas, haja vista se tratar de poluição de origem predominantemente populacional. Os trechos que respondem apenas à gestão intensa na perspectiva tendencial são os mais críticos, pois embora tragam reduções de carga, estas podem não ser suficientes para que se atinjam os padrões de qualidade desejáveis. Não obstante, a comparação entre as duas figuras comprova os efeitos esperados da gestão na ampla redução das cargas poluidoras orgânicas.

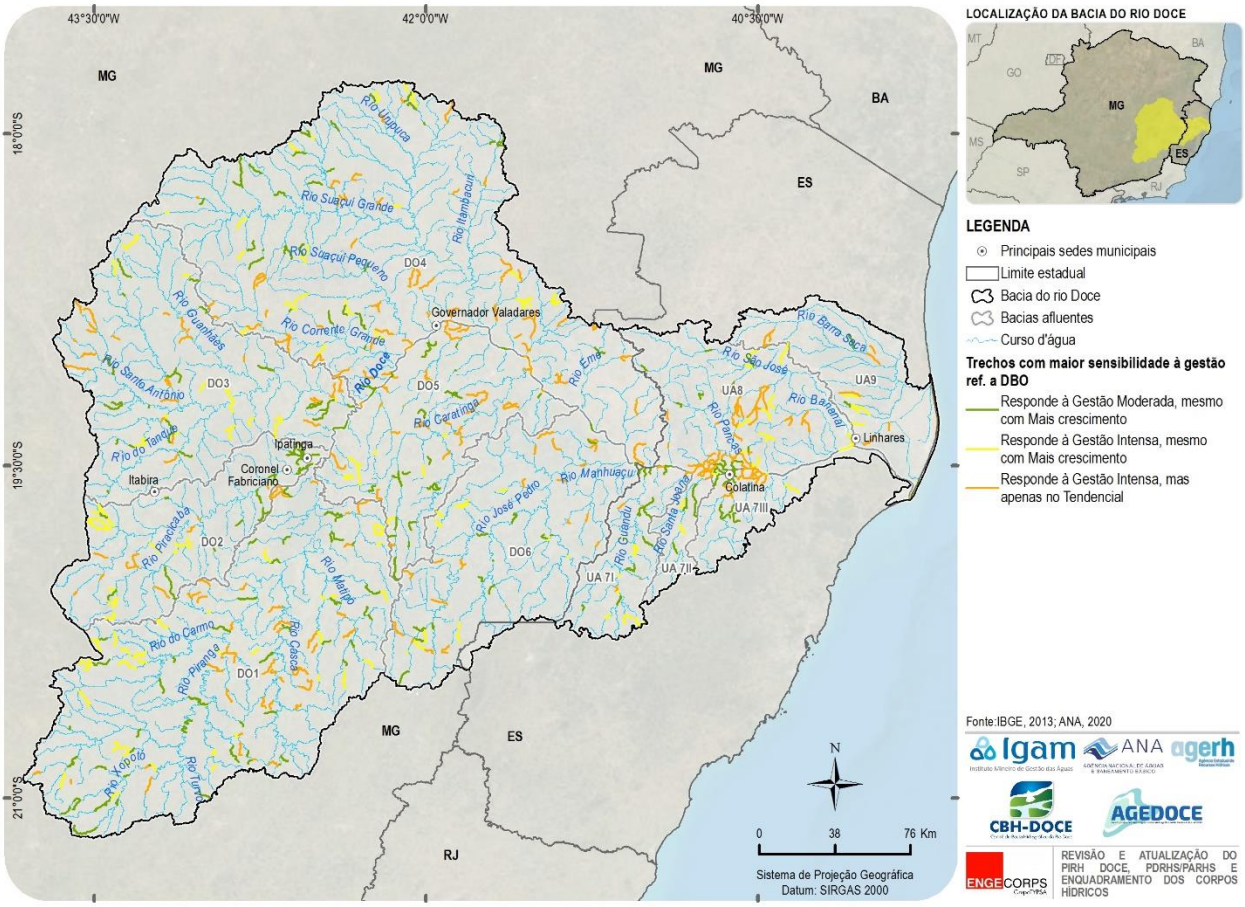


Figura 5.13 - Trechos com Maior Sensibilidade à Gestão para a DBO no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

Em relação ao padrão qualitativo almejado, é importante reforçar que as análises aqui descritas são complementares àquelas que serão apresentadas no Capítulo 6, item 6.2, e que dão base ao exercício de Enquadramento dos corpos d'água. Uma vez que o Enquadramento deve ser decidido com apoio de simulações de qualidade via modelagem matemática, as categorias de mudança aqui identificadas (Figura 5.7) não necessariamente representam as mudanças que devem ser prescritas nas cargas para se atingir uma determinada classe de uso. Não obstante essas ressalvas, identifica-se espacialmente onde, no território, a gestão é mais efetiva em relação às cargas de DBO.

Observa-se pela Figura 5.14 a categorização para o parâmetro fósforo. Sem contar com os esforços programados de gestão, a cenarização aponta para um total de 1.408 ottobacias (14,6% do total) que devem abrigar trechos com alguma piora na qualidade. Segregando essa perspectiva pela intensidade, tem-se que 248 ottobacias (2,6%) ocorre de forma baixa (até 20%). Outras 113 ottobacias (1,2%) apresentam uma piora média, 85 (0,9%) uma piora alta e, por fim, a maior parte, 962 (10,0%) devem apresentar uma piora muito alta, mais do que dobrando as cargas frente a cena atual.

Como é de se esperar, os trechos com as mais severas pioras são aqueles próximos dos centros urbanos. Nota-se que a análise é realizada considerando as modificações antevistas de curto, médio e longo prazos, englobando os vinte anos de horizonte temporal do PIRH Doce.

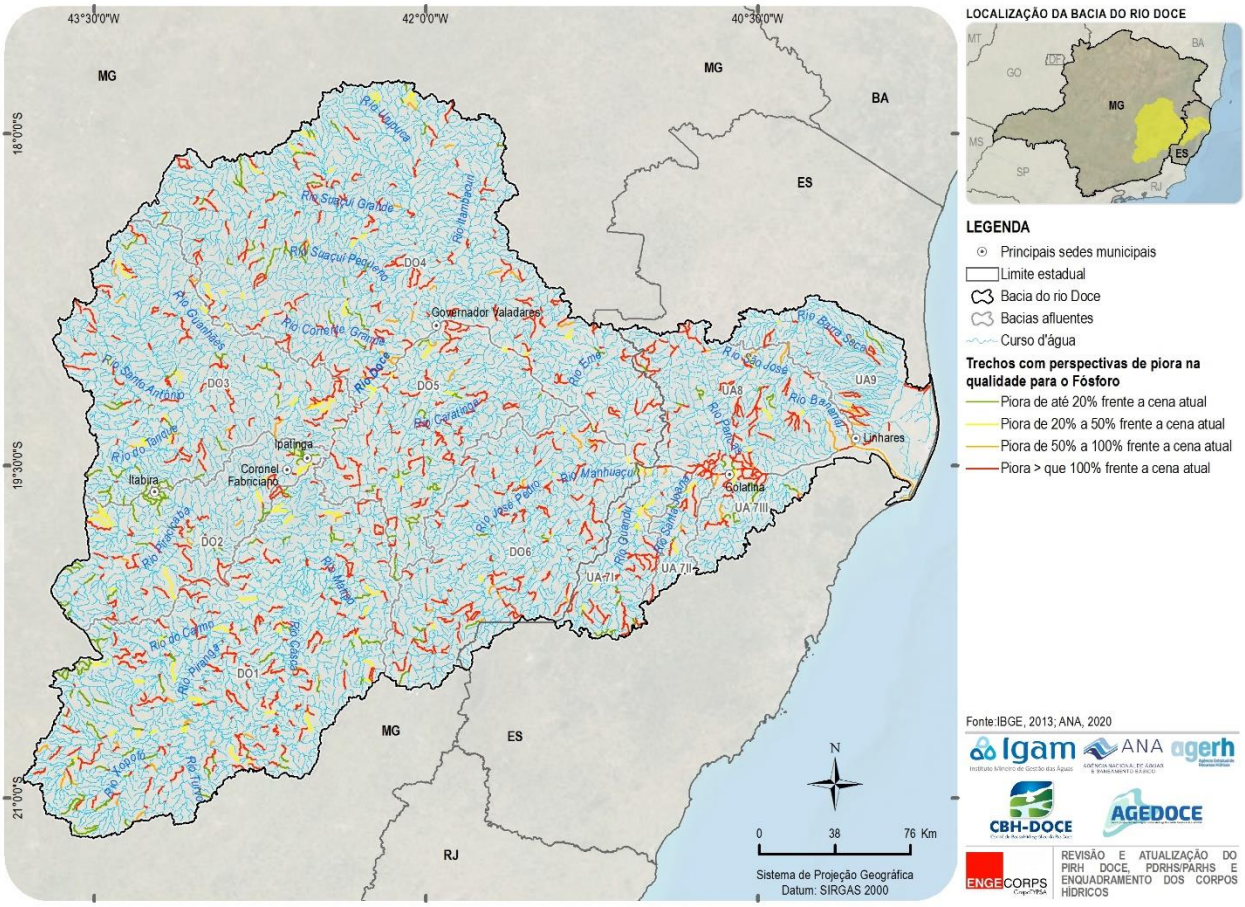


Figura 5.14 - Trechos com Perspectivas de Piora na Qualidade para o Fósforo no Horizonte Temporal de 20 Anos (até 2042)

Para avaliar o efeito da imposição das perspectivas endógenas de gestão, realizou-se a mesma identificação das possibilidades de passagens de categoria de variação na carga gerada de fósforo. Essa análise foi realizada considerando o recorte temporal de médio prazo (2032). A partir de então, foram realizados os agrupamentos a seguir:

- ✓ Áreas que respondem à Gestão moderada, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (266 ottobacias, 2,8% do total);
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (393 ottobacias, 4,1% do total); e
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mas apenas na perspectiva Tendencial (303 ottobacias, 3,1% do total).

Nota-se que cerca de uma terça parte das ottobacias que apresentam piora nas cargas de fósforo não se mostram sensíveis às perspectivas de gestão caso o cenário exógeno seja correspondente ao de Mais crescimento. A Figura 5.15 permite identificar os trechos que passam a ter reduções nas cargas lançadas como resultado das medidas de gestão cenarizadas, trechos estes que se concentram em áreas urbanas.

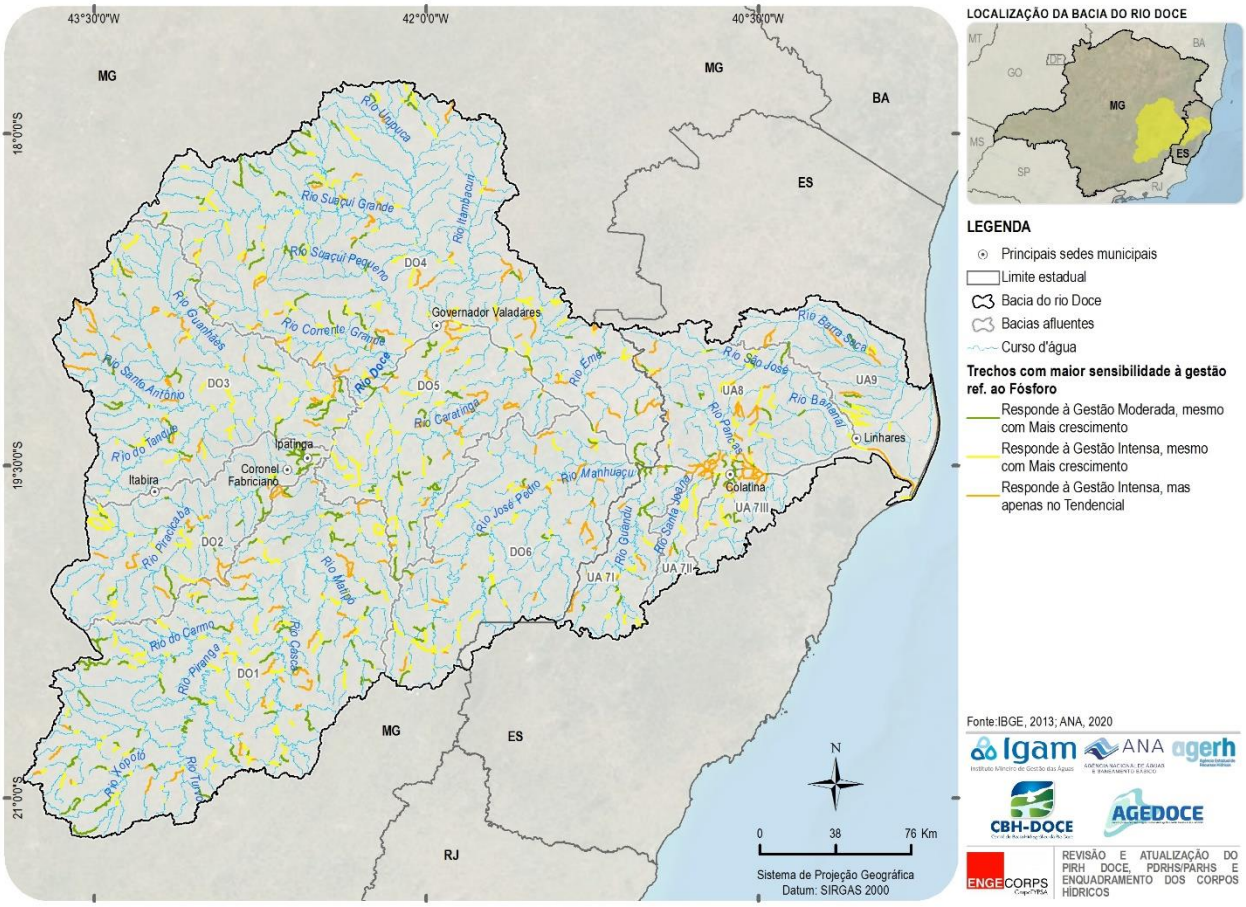


Figura 5.15 - Trechos com Maior Sensibilidade à Gestão para o Fósforo no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

A Figura 5.16 apresenta a categorização das pressões exógenas para o parâmetro Coliformes Termotolerantes, uma vez que o diagnóstico apontou essa bactéria como crítica para a qualidade da água na bacia. A análise das perspectivas de piora para este parâmetro é realizada considerando as modificações antevistas nos três recortes temporais (curto, médio e longo prazos), englobando os vinte anos de análise.

A espacialização dos aumentos previstos na carga gerada desse poluente revela a pressão exógena que se identifica no Prognóstico: um total de 1.206 ottobacias (12,5% do total) devem abrigar trechos com alguma piora na qualidade. Desse quantitativo, 209 ottobacias (2,2%) trazem perspectivas de uma piora baixa, outras 50 (0,5%) uma piora média, apenas 32 (0,3%) uma piora alta e, por fim, 915 (9,5%) devem apresentar uma piora muito alta.

Uma vez que essa piora é verificada pela composição dos resultados exógenas apenas, tem-se uma visualização de como estaria o panorama da qualidade na bacia na ausência das medidas de gestão. Tal como o fósforo, há clara vinculação com as áreas urbanas.

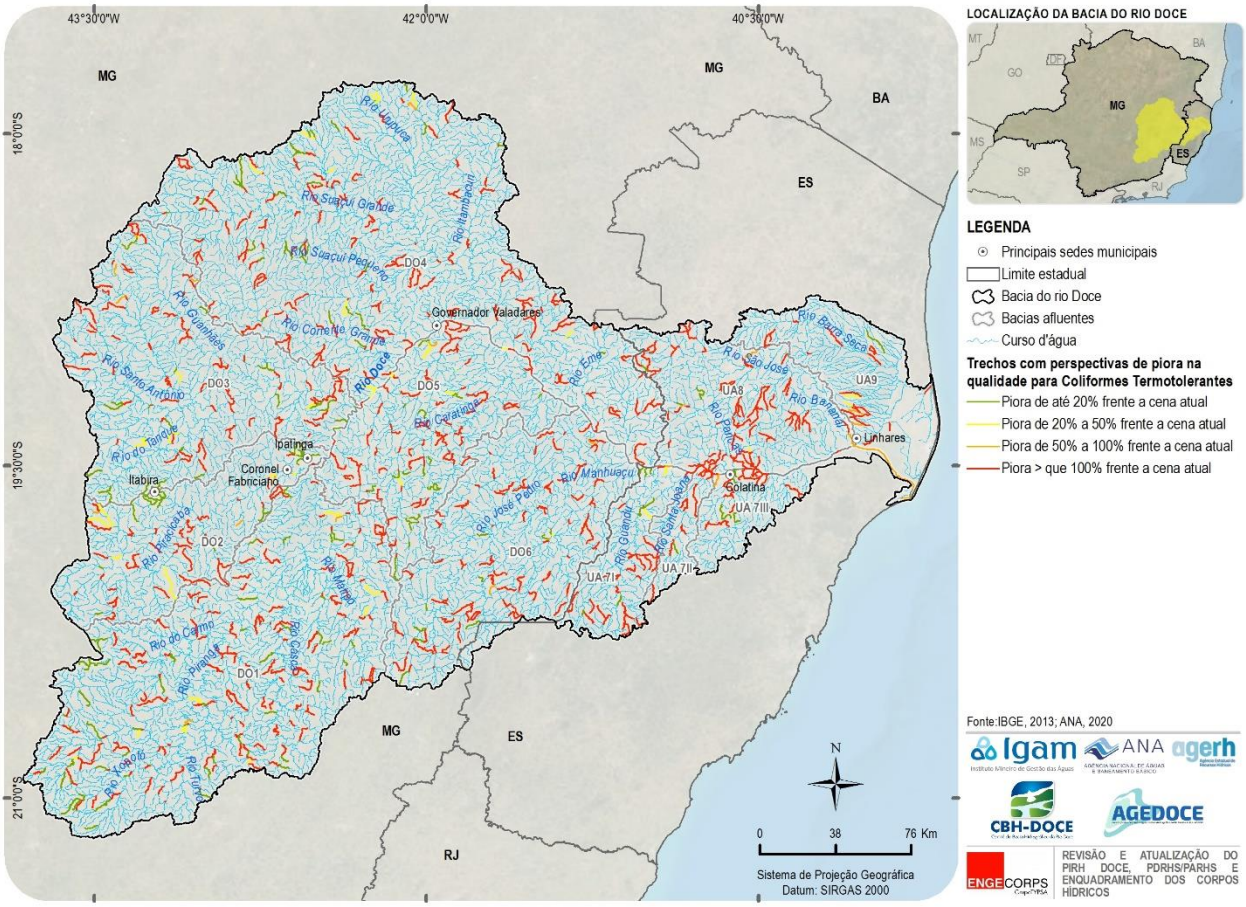


Figura 5.16 - Trechos com Perspectivas de Piora na Qualidade para* Coliformes Termotolerantes *no Horizonte Temporal de 20 Anos (até 2042)

Para se avaliar o efeito da imposição das perspectivas endógenas de gestão sobre as cargas de coliformes, realizou-se a mesma identificação das possibilidades de passagens de categoria de variação na carga gerada. A partir de então, foram realizados os agrupamentos abaixo, que consideram as respostas de gestão para o horizonte temporal de dez anos (médio prazo, ou seja, ano representativo de 2032):

- ✓ Áreas que respondem à Gestão moderada, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (321 ottobacias, 3,3% do total);
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mesmo na perspectiva de Mais crescimento (182 ottobacias, 1,9% do total); e
- ✓ Áreas que respondem à Gestão intensa, mas apenas na perspectiva Tendencial (289 ottobacias, 3,0% do total).

Tal como para o fósforo, a maior parte das ottobacias abriga trechos de rios cuja capacidade de resposta da gestão não é suficiente para fazer frente ao cenário exógeno de Mais crescimento. A Figura 5.17 permite identificar os trechos que passam a ter reduções nas cargas lançadas como resultado das medidas de gestão cenarizadas, trechos estes que se distribuem na bacia em concordância com as sedes urbanas. A comparação das figuras com e sem as medias de gestão apontam não apenas para a eficácia das ações de gestão simuladas, mas também para sua relevância.

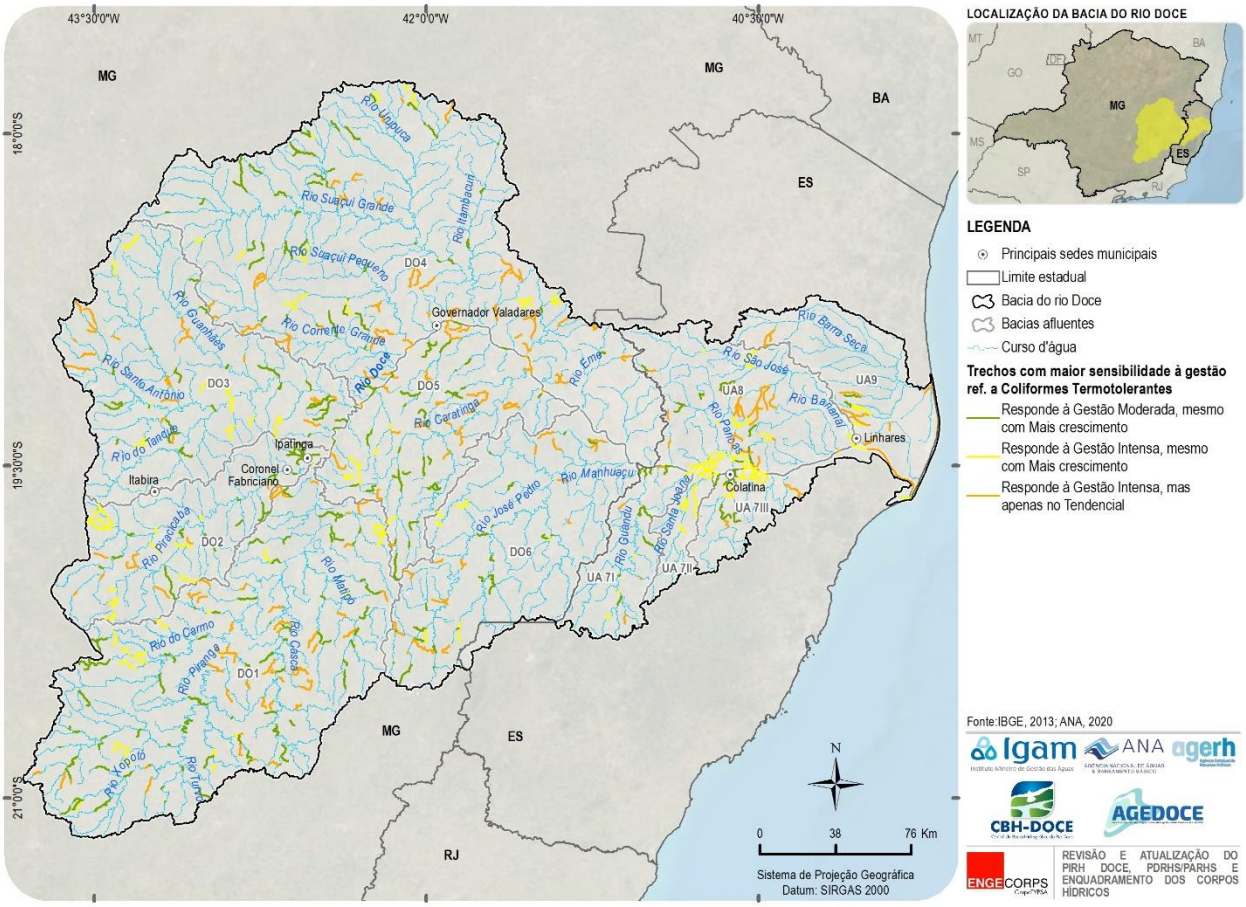


Figura 5.17 - Trechos com Maior Sensibilidade à Gestão para Coliformes Termotolerantes no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

5.2.3 Situações de Atenção para os Aspectos Quali-Quantitativos

Enquanto os itens anteriores apresentaram situações de atenção para os aspectos quantitativos (5.1.1) e qualitativos (5.1.2), o presente item aborda situações comuns, reforçando que o binômio qualidade-quantidade é quase sempre indissociável sob a luz da gestão dos recursos hídricos. A presente análise complementa os detalhes já descritos anteriormente, identificando no território da bacia as áreas de atenção, guiando assim o olhar dos gestores para sobreposições de problemáticas quali-quantitativas.

Em um primeiro recorte, analisam-se as áreas que trazem perspectivas de piora na qualidade e na quantidade das águas.

Para o aspecto qualitativo, considerou-se a piora em quaisquer um dos três parâmetros de qualidade analisados no item 5.1.2, ou seja, DBO, fósforo e Coliformes Termotolerantes. Ademais, consideraram-se todas as faixas de alteração para pior, ou seja, desde uma piora de até 20% até uma piora maior do que 100%.

Já para o aspecto quantitativo, considerou-se qualquer classe de variação para maior, no critério de variação na criticidade do balanço hídrico, quais sejam: pressão no curto prazo, pressão no médio prazo e pressão no longo prazo; bem como as áreas que permanecem com demanda hídrica alta e muito alta.

A combinação entre os dois aspectos dá origem à Figura 5.18, que traz como horizonte temporal as perspectivas conjuntas de alteração ao longo dos 20 anos cenarizados (até 2042). Observam-se os efeitos isolados dos aspectos quali e quantitativos, bem como as áreas onde há uma sobreposição entre eles. São, ao todo, 2.331 ottbacias com perspectivas de criticidade aumentada (24,1% do total), sendo que 794 ocorrem de forma exclusiva para o aspecto quantitativo e a maior parte (1.307, ou 13,5% do total) apenas para o aspecto qualitativo. Identifica-se, ainda, um conjunto de outras 230 ottobacias (2,4%) onde há sobreposição das pioras. Embora a quantidade destes locais críticos sobrepostos não seja muito grande, els devem passar a ser áreas prioritárias de atenção.

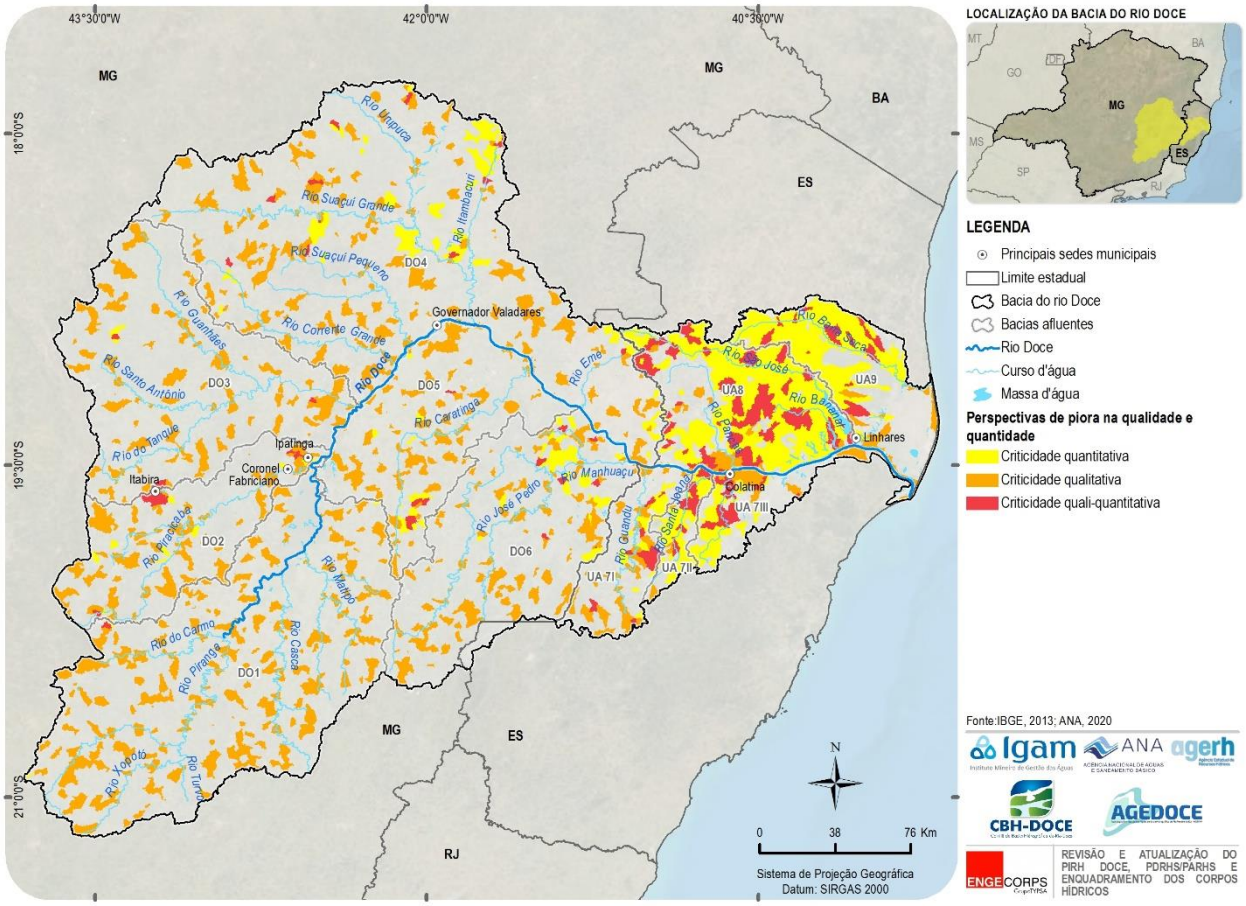


Figura 5.18 - Perspectivas de Piora na Qualidade e Quantidade no Horizonte Temporal de 20 Anos (até 2042)

A partir da identificação das áreas onde ocorrem as perspectivas de maior criticidade para os recursos hídricos, avaliam-se os efeitos esperados da imposição, pelas perspectivas endógenas, de gestão. Realizou-se para tal a combinação das áreas sensíveis à gestão, para o horizonte temporal de 10 anos (médio prazo, 2032), entre os aspectos quali e quantitativos.

Essa combinação classifica como sensível à gestão todas as áreas que respondem a tais perspectivas, sejam elas moderada ou intensa. Considerou-se ainda o cenário exógeno tendencial, simplificando a análise para dar ênfase nas áreas onde há sensibilidade de gestão concomitante entre os aspectos quali e quantitativos.

Ao total são 1.598 ottobacias (16,6% do total) que respondem aos esforços cenarizados de gestão, sendo:

- ✓ 546 (5,7% do total) respondem à gestão quantitativamente;
- ✓ 968 (10,0% do total) responde à gestão qualitativamente; e
- ✓ 84 (0,9% do total) responde à gestão quali-quantitativamente.

A Figura 5.19 permite identificar as áreas descritas, sendo que o baixo número e a dispersão daquelas que respondem à gestão quali e quantitativa de forma concomitante indicam que esforços de gestão devem ser bem direcionados às respectivas problemáticas.

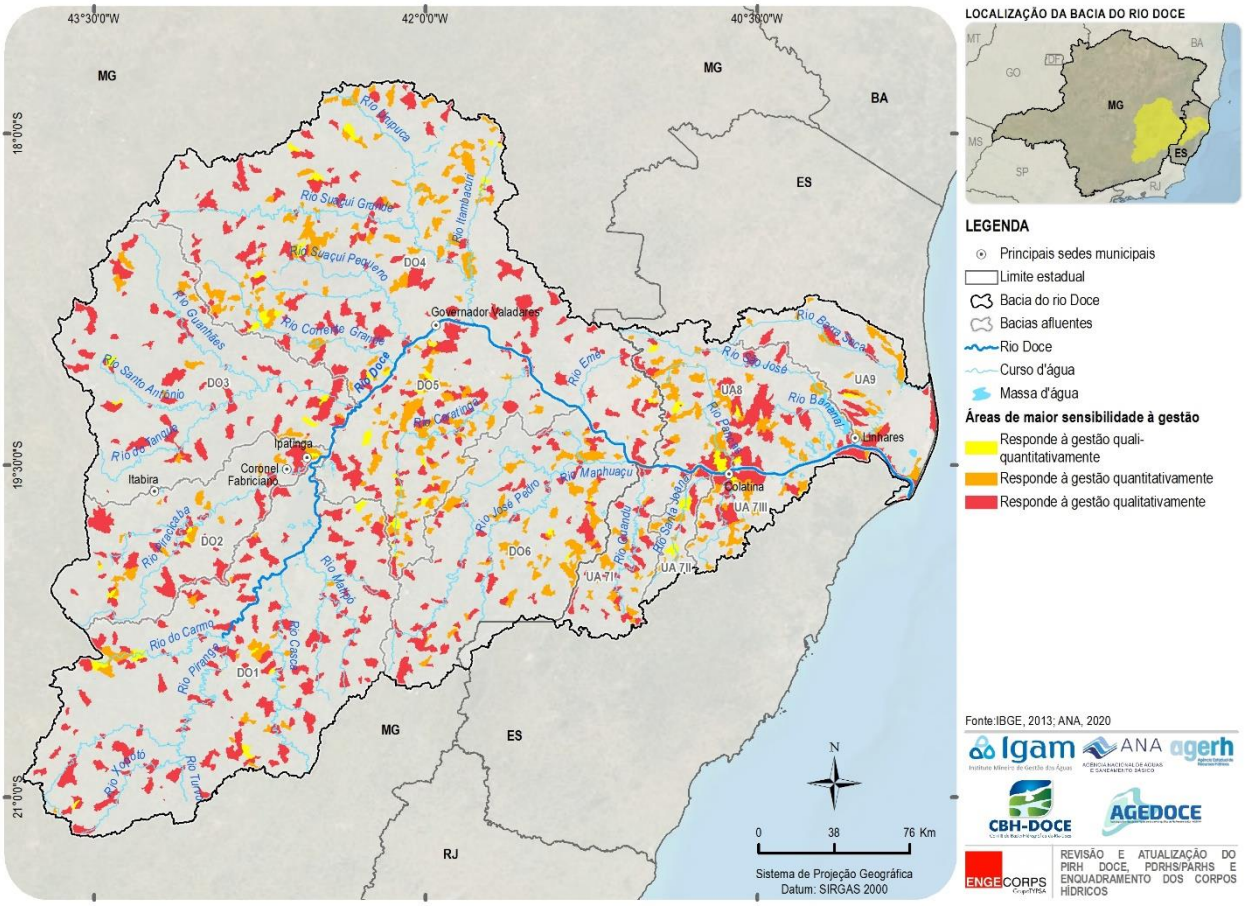


Figura 5.19 - Áreas de Maior Sensibilidade à Gestão no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

5.3 CENÁRIOS DO PLANO

A definição dos Cenários do Plano começa pela descrição do que ele não é: não se trata de uma perspectiva adicional, tampouco da escolha de um dos cenários como representativo, ou ainda da eleição de um dos cenários como sendo o mais provável. Este cenário sintético é aqui concebido como uma leitura integrativa representativa de todos os cenários em conjunto, fruto de uma articulação entre os cenários tendencial e alternativos. Afinal, cada cenário exógeno descortina efeitos distintos sobre a bacia do rio Doce, não cabendo ao gestor dos recursos hídricos "acertar" qual ocorrerá, pois isso é simplesmente impossível.

Deve-se, na concepção de robustez do planejamento, estar preparado para quaisquer cenários, bem como se deve usar das antevisões para dimensionar e articular os diversos esforços endógenos de gestão dos recursos hídricos - esforços estes que perpassam desde o tratamento

de esgotos e a promoção da eficiência hídrica de usuários industriais e de mineração, até as recomendações para os padrões de ocupação do uso do solo.

O Cenário do Plano é voltado, assim, para embasar as estratégias de ação. Muito mais do que precisões, os cenários anteveem magnitudes para guiar o planejamento da gestão dos recursos hídricos na bacia. Para tanto, cada cenário apresenta seu rebatimento quanti-qualitativo, permitindo vislumbrar as diferentes possibilidades de desenvolvimento socioeconômico da bacia do rio Doce e seus reflexos sobre os recursos hídricos.

Ao se deparar com as situações limites - independentemente de causarem desejos ou repulsas - ações mais precisas devem emergir desses cenários, incluindo eventuais limitações de retirada de água; controle restrito sobre novos lançamentos de efluentes que possam comprometer a qualidade das águas de forma indesejada; e a necessária priorização de ações para balizar as decisões dos gestores, que devem focar seus esforços de forma tanto eficiente no uso do recurso público, quanto eficaz, no caminho da conversão da gestão em qualidade ambiental.

Para tanto, o horizonte temporal considerado é o de médio prazo - os próximos 10 anos, ou seja, o ano referencial de 2032. Essa opção privilegia a riqueza das comparações entre as perspectivas endógenas e exógenas, em detrimento do alongamento em 20 anos de um olhar a partir do presente que dificilmente consegue, com qualidade razoável, ser efetivo para a tomada de decisões. Em reforço ao argumento, nota-se as comparações realizadas frente as projeções do PIRH Doce 2010, no qual houve um subdimensionamento do ocorrido em termos de demandas hídricas.

A metodologia de síntese prima, portanto, pelo dirigismo na passagem de um Diagnóstico para um Prognóstico, articulados entre si, para o próximo passo, o Plano de Ações. Busca-se então coerência e síntese a partir dos seguintes elementos: pressão sobre os recursos hídricos, nível de criticidade, e capacidade de resposta da gestão. Os cenários do plano são subdivididos em seus componentes quantitativo (item 5.3.1) e qualitativo (item 5.3.2), sendo que ambos conformam o cenário do plano quali-quantitativo (item 5.3.3).

5.3.1 Cenário do Plano para o Componente Quantitativo

A concepção do Cenário do Plano para o componente quantitativo parte dos resultados obtidos na identificação das situações de atenção discutidas no item 5.1.1. Notadamente, faz-se uso da classificação da pressão exógena exercida sobre os recursos hídricos, considerando apenas as ottobacias cujo resultado de balanço hídrico é médio (acima de 50% de comprometimento). Essa pressão pode encontrar uma situação de existência e permanência no grau de comprometimento. Por outro lado, os esforços de gestão podem ter mais ou menos efeito sobre a situação de conflito antevisto.

O Cenário do Plano, conformado para o horizonte temporal de 2032, portanto, articula esses três aspectos de forma conjunta, permitindo segregar seis casos-tipo distintos, conforme o Quadro 5.5.

QUADRO 5.5 - CASOS-TIPO DO CENÁRIO DO PLANO PARA O COMPONENTE QUANTITATIVO

Casos-tipo	*Definição das situações tipificadas*	*Composição de cada caso-tipo*
1	Demanda hídrica muito baixa sem perspectivas de alteração	7.458 ottobacias (77,2% do total)
2	Demanda hídrica baixa sem perspectivas de alteração	1.021 ottobacias (10,6% do total)
3	Demanda hídrica média e perspectivas de alteração sem geração de comprometimento elevado	149 ottobacias (1,5% do total)
4	Demanda hídrica alta ou muito alta, com pouca pressão de piora, localizada em áreas sensíveis à gestão dos recursos hídricos	169 ottobacias (1,8% do total)
5	Demanda hídrica alta ou muito alta, com pouca pressão de piora, localizada em áreas pouco sensíveis à gestão dos recursos hídricos	470 ottobacias (4,9% do total)
6	Demanda hídrica muito alta, com pressão de piora, localizada em áreas pouco sensíveis à gestão dos recursos hídricos	388 ottobacias (4,0% do total)

Elaboração ENGECORPS, 2022

A Figura 5.20 apresenta o Cenário do Plano para o componente quantitativo.

Observa-se que os casos-tipo 5 e 6 são os que trazem demanda muito alta ou alta em áreas que se mostraram pouco sensíveis às imposições de gestão cenarizadas. A distinção entre eles se dá pela ocorrência de pressão exógena pelos recursos hídricos quantitativos.

Do fato de os casos-tipo 5 e 6 apresentarem áreas insensíveis à gestão, depreende-se tratar-se exclusivamente da simulação das opções abordadas na concepção dos cenários, conforme Capítulo 3, focadas em cada setor usuário. Ao se revelar que as opções de gestão simuladas não são suficientes para conter as áreas de conflito e sua intensidade, deve-se partir para outras formas, quiçá menos convencionais, de gerenciamento.

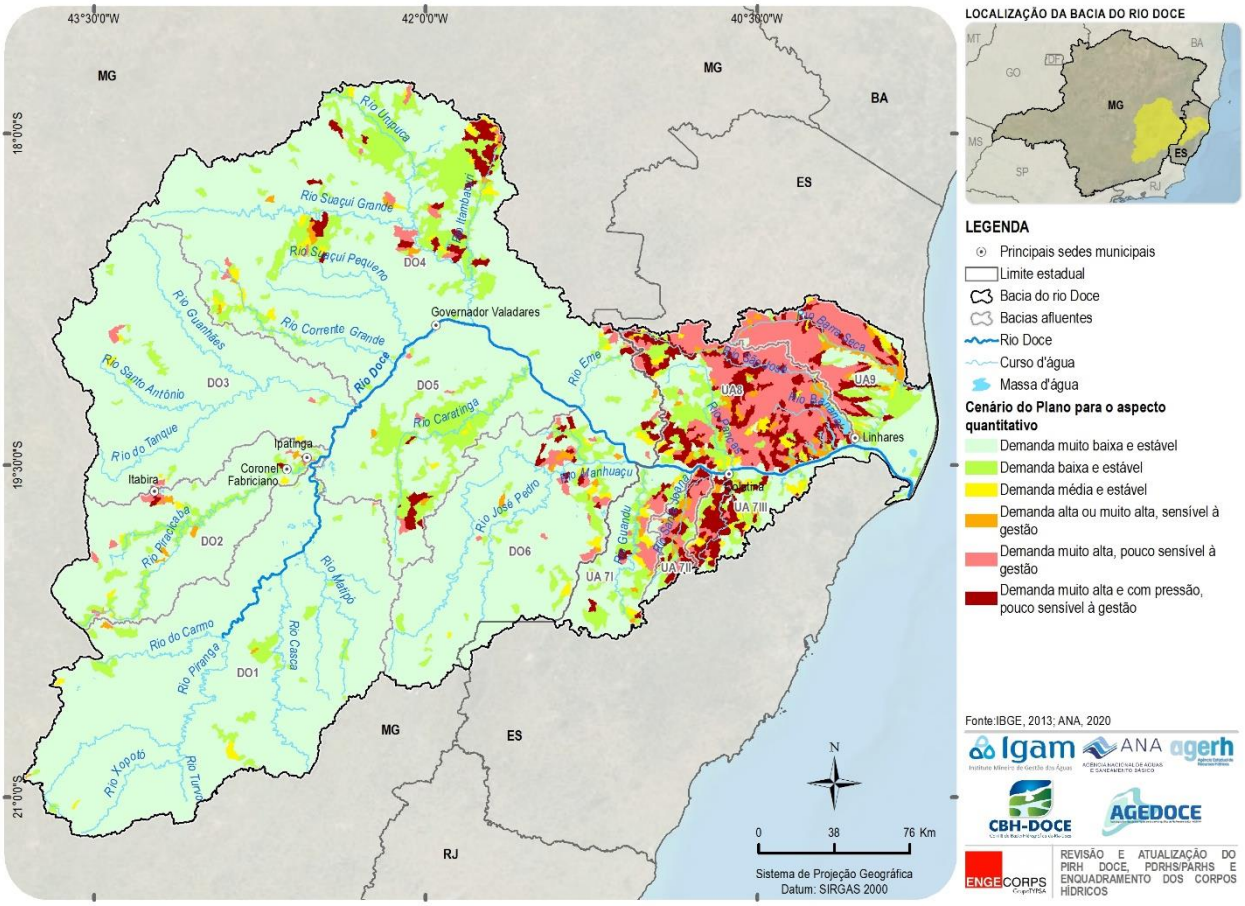


Figura 5.20 - Cenário do Plano para o Componente Quantitativo no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

Dada a estabilidade na pressão e conforto no atendimento das demandas, as áreas de caso-tipo 1, 2 e 3 denotam, *ceteris paribus* (mantendo-se todos os demais fatores constantes, ou seja, desde que se respeitem os demais requisitos ambientais e se detenham os preceitos mercadológicos necessários), potencial para o desenvolvimento de atividades que demandam água em alto grau. Essa indicação deve, ademais, ser cotejada frente à sensibilidade da mudança do clima para que não se fomente atividade com perspectiva de risco aumentado.

Comentam-se abaixo as diferenças e ações pertinentes a cada situação tipificada, com ênfase nos casos-tipo 5 e 6 que demandam ações intensas. Nota-se que o grau de criticidade é crescente do caso-tipo 1 ao caso-tipo 6.

✓ Caso-tipo 6: <u>Demanda hídrica muito alta, com pressão de piora</u>, localizada em áreas pouco sensíveis à gestão dos recursos hídricos

O caso-tipo 6 incita o senso de urgência, haja vista que a restrição de uso e redirecionamento da pressão de crescimento é essencial para que se gerenciem os conflitos. Como forma de se evitar a geração de novos conflitos, são necessárias ações de restrição de novas demandas. Uma vez que estas áreas são concentradas espacialmente na bacia do rio Doce, tornam-se propícias para a adoção de instrumentos econômicos tais como os mercados de água e a concessão de outorgas sazonais. São áreas onde se torna importante a definição de situações emergenciais de restrição de captação e contingência mediante acordos com usuários e

definição de procedimentos para estes casos. Há provável comprometimento das vazões ecológicas, que devem ser compreendidas. São áreas prioritárias para a implantação de medição de vazão e sistemas de monitoramento efetivo.

- ✓ Caso-tipo 5: Demanda hídrica muito alta ou alta, com pouca pressão de piora, localizada em áreas pouco sensíveis à gestão dos recursos hídricos

  Embora a situação destas áreas seja crítica, não foram identificadas pressões para piora ainda maior - o que não significa que não devam ser áreas prioritárias para a gestão de conflitos. As ações se assemelham àquelas delineadas para o caso-tipo 6, ou seja: adoção de instrumentos econômicos, definição de situações emergenciais de restrição de captação e contingência, avaliação das possíveis repercussões sobre as vazões ecológicas. Estas áreas são prioritárias para uma possível flexibilização das outorgas no intuito de comportar níveis distintos de risco e/ou flutuações sazonais de disponibilidade. Mesmo que não se tenham antevistas pressões futuras, deve-se ter restrição para novas captações. São áreas prioritárias para a implantação de medição de vazão e sistemas de monitoramento efetivo.

- ✓ Caso-tipo 4: Demanda hídrica muito alta ou alta, com pouca pressão de piora, localizada em áreas sensíveis à gestão dos recursos hídricos

  Muito embora estas áreas estejam em situação de comprometimento de balanço hídrico, se mostraram responsivas às estratégias de gestão mais convencionais, simuladas com base nas premissas dos cenários. Dessa feita, são áreas que não se tornam prioritárias para mercados de água e outorgas sazonais ou com diferentes níveis de risco. São áreas prioritárias para ações com foco na eficiência do uso da água.

- ✓ Caso-tipo 3: Demanda hídrica média e perspectivas de alteração sem geração de comprometimento elevado

  Devido ao atendimento confortável das demandas e da pouca pressão antevista, estas áreas se constituem em oportunidade para o aproveitamento cauteloso dos recursos hídricos - tanto na implantação de instrumentos de gestão, quanto nas considerações das vazões ecológicas das novas captações. São áreas que têm prioridade menor de gestão do que os casos-tipo 6, 5 e 4; não podem, no entanto, serem relegadas ao médio e longo prazo, uma vez que sua distribuição espacial aponta para a predominância ao longo dos principais rios da bacia.

- ✓ Caso-tipo 2: Demanda hídrica baixa sem perspectivas de alteração

  Áreas de baixa prioridade para gestão, com potencial para desenvolvimento de atividades com alta demanda e implantação de instrumentos de gestão voltados ao médio prazo.

- ✓ Demanda hídrica muito baixa sem perspectivas de alteração

  Áreas de baixa prioridade para gestão, com potencial para desenvolvimento de atividades com alta demanda e implantação de instrumentos de gestão voltados ao longo prazo.

Observa-se que alguns dos casos-tipo (notadamente os arquétipos de classe 3 e 4) englobam um pequeno número de ottobacias que são, adicionalmente, dispersas pelo território da bacia. Mesmo com essas características, as áreas indicadas capturam casos-tipo distintos dos demais, constituindo-se relevante resultado da análise de Prognóstico.

Os arquétipos de demanda média e estável (classe 3) ocorrem em diversas áreas de cabeceiras, como as dos rios Itambacuri, Urupuca, Corrente Grande, Piracicaba e Guandu. Inobstante esse caso tipo traga a característica de estabilidade, pode-se ter nestas áreas ações de manutenção de tais condições. Já os arquétipos de demanda alta ou muito alta, porém sensíveis à gestão (caso-tipo 4), ocorrem por diversas vezes no entorno de áreas mais problemáticas (casos-tipo 5 e 6). A estratégia que dessa identificação decorre pode ser uma de priorizá-las para se obter resultados mais rápidos e mais facilmente percebidos pelos usuários, por exemplo.

Cabe ao Plano de Ações, enfim, partir dos resultados (outputs) do prognóstico e considerar as áreas críticas ou estáveis sob a lógica de ação, na qual estas podem ser agregadas a outras frente as mais adequadas estratégias. O desenho de um plano de ação robusto, pois, exige a consideração de aspectos adicionas e complementares, tais como o desenho das estratégias de ação, a avaliação de sua factibilidade, a articulação de órgãos responsáveis, o desenho de indicadores de resultado e de processo, orçamentos e formas de financiamento, dentre outros.

Como instrumento de planejamento estratégico de longo prazo, o Plano de Bacia deve poder lidar com as características incertas e dinâmicas do futuro, cumprindo sua desafiadora tarefa de equilibrar duas condições aparentemente incompatíveis: por um lado, precisa ser perene no tempo, com decisões e objetivos técnicos que contemplem as dinâmicas naturais e humanas de longo prazo sob o território; por outro, deve ser flexível para se adaptar às eventuais mudanças de cenário que alteram as perspectivas futuras e podem afetar o alcance dos objetivos traçados.

5.3.2 Cenário do Plano para o Componente Qualitativo

De forma análoga ao componente quantitativo, a concepção do Cenário do Plano para o componente qualitativo é construída com base nas situações de pressão exógena e capacidade de respostas apresentadas anteriormente no item 5.1.2. Faz-se, assim, uso da categorização da pressão exógena exercida sobre a geração de cargas poluidoras dos parâmetros de poluição orgânica ($DBO_{5,20}$), por nutriente (fósforo) e bacteriológica (coliformes termotolerantes), pressão essa que pode ser mais ou menos contornada mediante os esforços de gestão.

O cenário do plano, portanto, articula estes dois aspectos de forma conjunta, permitindo segregar quatro casos-tipo distintos, conforme o Quadro 5.6. Tal como o cenário do plano para o componente quantitativo, este é conformado para o horizonte temporal de médio prazo (referente ao ano de 2032).

QUADRO 5.6 - CASOS-TIPO DO CENÁRIO DO PLANO PARA O COMPONENTE QUALITATIVO

Casos-tipo	*Definição das Situações Tipificadas*
1	Sem alteração antevista
2	Aumento nas cargas, localizado em áreas sensíveis à gestão
3	Aumento nas cargas, localizado em áreas pouco sensíveis à gestão
4	Forte aumento nas cargas, localizado em áreas pouco sensíveis à gestão

Elaboração ENGECORPS, 2022

Comentam-se abaixo as diferenças e ações pertinentes a cada situação tipificada, retomando-se o conceito de que as análises aqui descritas são complementares àquelas que serão apresentadas no Capítulo 6, item 6.2, e que dão base ao exercício de Enquadramento dos corpos d'água, via simulações de qualidade com apoio de modelagem matemática.

- ✓ Caso-tipo 4: Forte aumento nas cargas, localizado em áreas pouco sensíveis à gestão

  O caso-tipo 4 incita o senso de urgência, haja vista a previsão de forte aumento das cargas poluidoras justamente em áreas que se mostraram pouco sensíveis às imposições de gestão. Tem-se prioridade máxima no estabelecimento de tratamento de efluentes com alta capacidade de remoção de carga orgânica; restrição máxima para novos lançamentos; necessidade de acordos de condições de entrega de água junto às áreas de montante. Há provável comprometimento das vazões ecológicas, que devem ser compreendidas. São áreas prioritárias para o enquadramento e programas de despoluição de bacias, adicionado de um maior controle de medição de lançamentos e controle das concentrações efetivas.

- ✓ Caso-tipo 3: Aumento nas cargas, localizado em áreas pouco sensíveis à gestão

  O caso-tipo 3 é menos prioritário do que o caso-tipo 4, uma vez que a pressão no aumento das cargas é menor. Embora não incitem o mesmo senso de urgência, são áreas prioritárias uma vez que se mostraram pouco sensíveis às imposições de gestão. São áreas prioritárias para o enquadramento, que age como instrumento de controle da quantidade de carga lançada em respeito ao uso prioritário e as capacidades de depuração do corpo receptor. O tratamento de efluentes deve atentar para a remoção de carga orgânica; devem-se restringir novos lançamentos; há necessidade de acordos de condições de entrega de água junto às áreas de montante.

- ✓ Caso-tipo 2: Aumento nas cargas, localizado em áreas sensíveis à gestão

  O caso-tipo 2 é também prioritário para enquadramento dos corpos d'água em classes preponderantes de uso, muito embora este arquétipo aponte para uma situação de menor urgência na ação. Isso ocorre uma vez que a pressão para piora nos parâmetros de qualidade não é alta como nos casos-tipo anteriores (4 e 3), concomitantemente ao fato de que são áreas que se apresentam sensíveis às imposições de gestão. As estratégias de gestão, dessa forma, devem ser colocadas em prática para que se atinjam as reduções na geração e lançamento de cargas.

A Figura 5.21 apresenta o Cenário do Plano para o componente qualitativo de carga orgânica de DBO, para o qual 84,8% das ottobacias apresentam cursos d'água sem previsões de alteração na carga gerada, ou seja, casos-tipo 1. Esse cenário apresenta 751 ottobacias (7,8% do total) sob caso-tipo 2, 107 sob caso-tipo 3 (1,1%), e outras 607 sob caso-tipo 4 (6,3%).

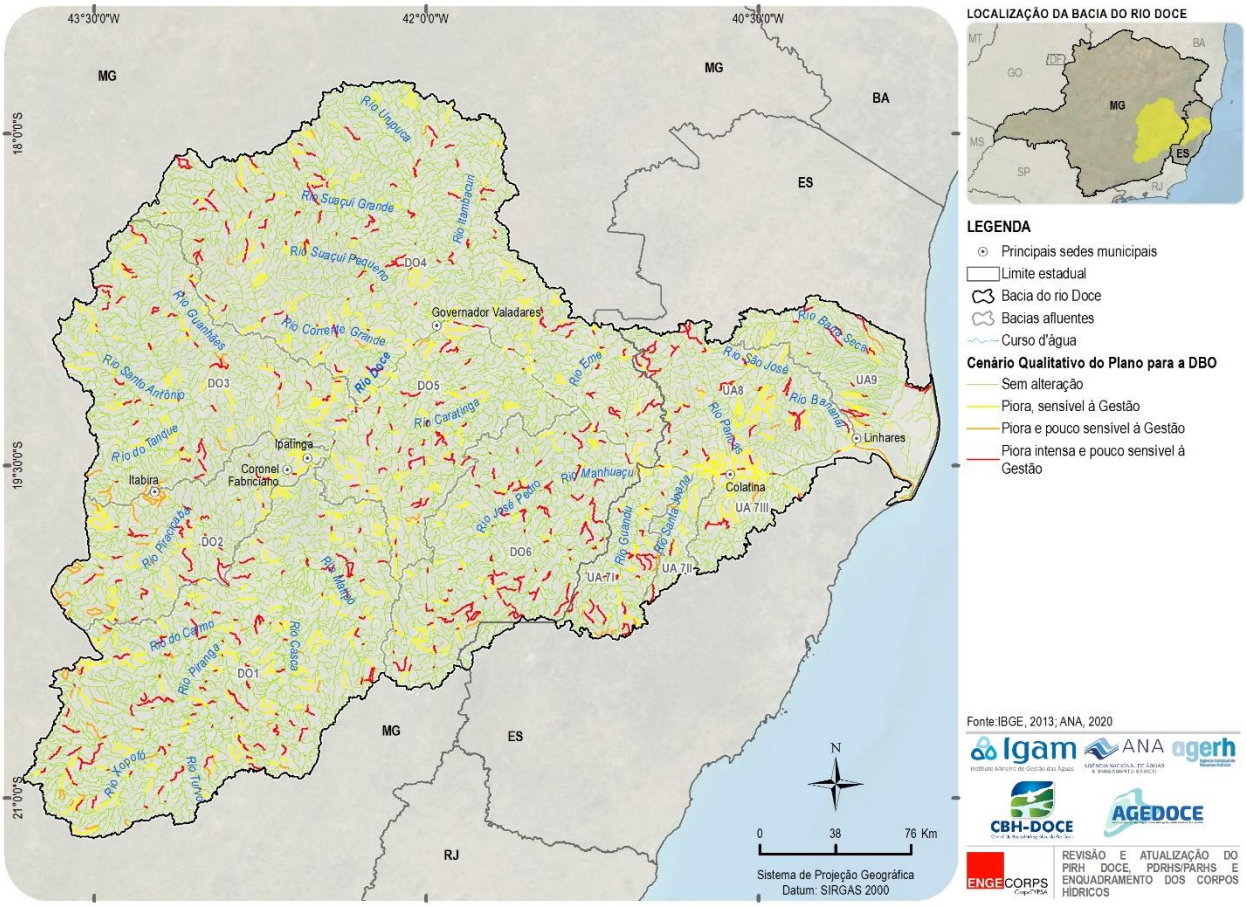


Figura 5.21 - Cenário do Plano para o Componente Qualitativo para a DBO no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

A Figura 5.22, por sua vez, apresenta o Cenário do Plano para o componente qualitativo de carga de fósforo, no qual 85,4% das ottobacias se enquadram sob caso-tipo 1, ou seja, apresentam cursos d'água sem previsões de alteração na carga gerada. Esse cenário apresenta ainda 962 ottobacias (10,0% do total) sob caso-tipo 2, 109 sob caso-tipo 3 (1,1%), e 337 sob caso-tipo 4 (3,5%).

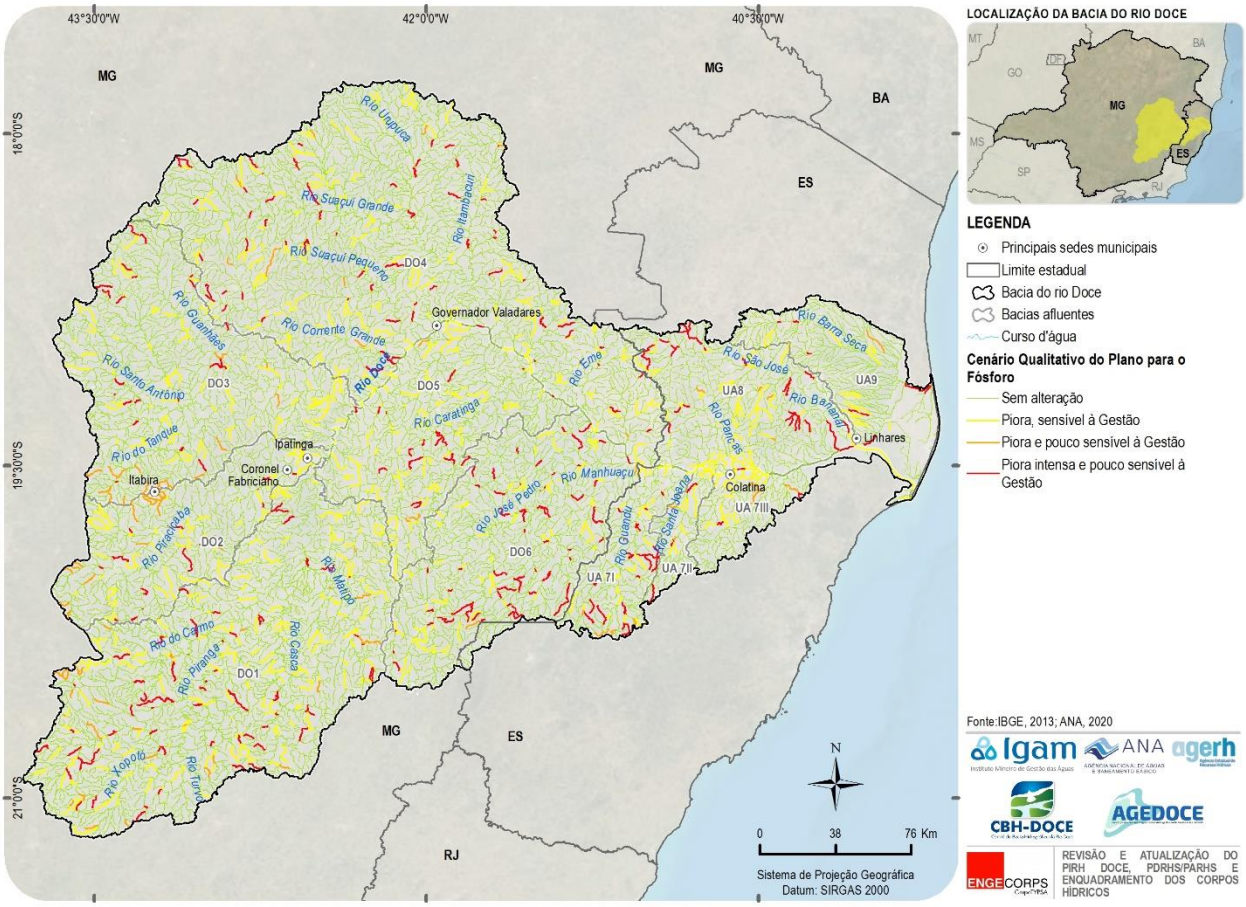


Figura 5.22 - Cenário do Plano para o Componente Qualitativo para o Fósforo no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

Finalmente, a Figura 5.23 apresenta o Cenário do Plano para o componente qualitativo de carga de Coliformes Termotolerantes, no qual 87,5% das ottobacias se enquadram sob caso-tipo 1, ou seja, apresentam cursos d'água sem previsões de alteração na carga gerada. Esse cenário apresenta ainda 792 ottobacias (8,2% do total) sob caso-tipo 2, apenas 56 sob caso-tipo 3 (0,6%), e 358 sob caso-tipo 4 (3,7%).

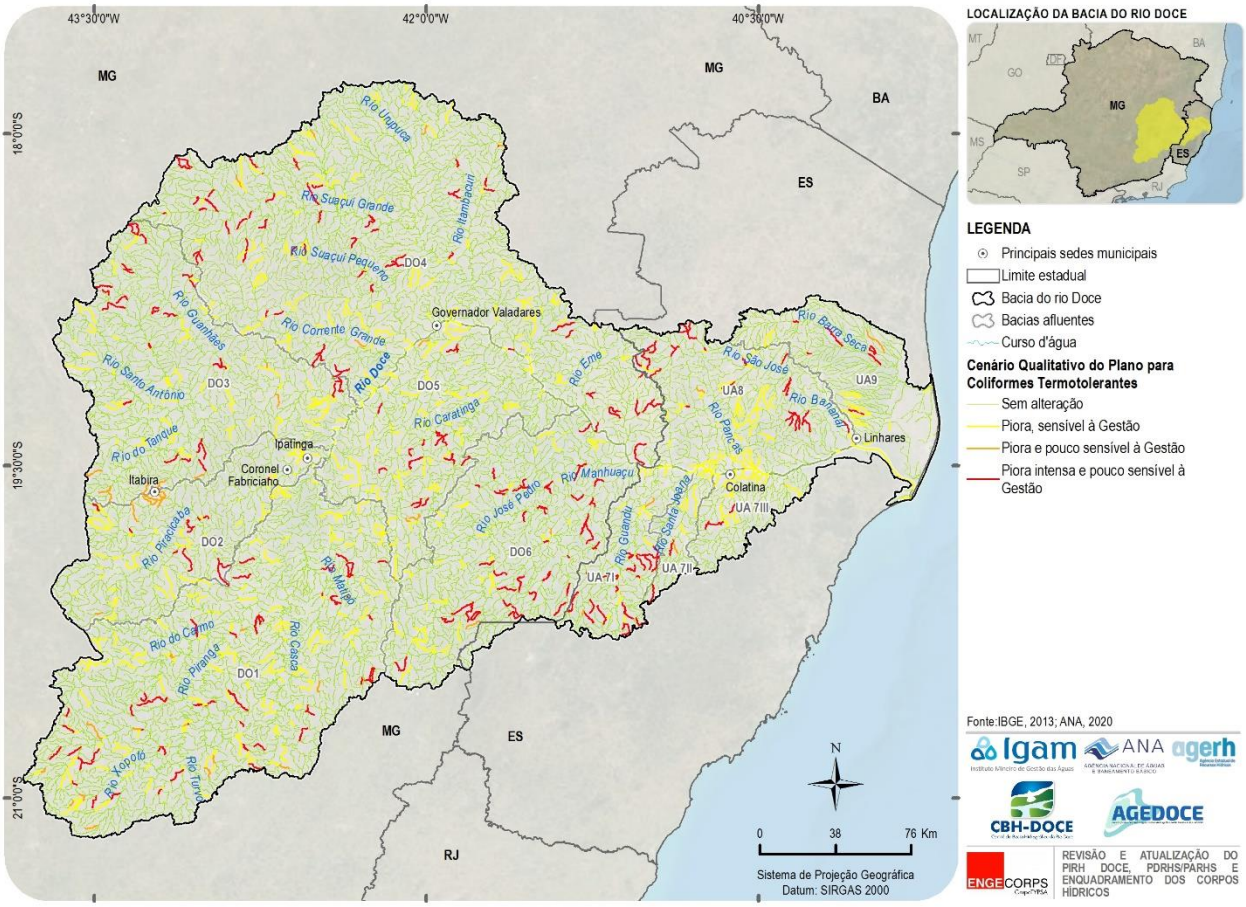


Figura 5.23 - Cenário do Plano para o Componente Qualitativo para Coliformes Termotolerantes no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

5.3.3 Cenário do Plano Quali-Quantitativo

De forma análoga ao trazido pelo item 5.1.3, que abordou as combinações entre as situações de atenção para os aspectos quali e quantitativos, aqui traça-se a combinação entre os casos-tipo quali-quantitativos, compondo o Cenário do Plano combinado. Para essa análise, parte-se dos resultados apresentados nos itens 5.2.1 e 5.2.2, com base na seguinte combinação:

QUADRO 5.7 - CASOS-TIPO DO CENÁRIO DO PLANO QUALI-QUANTITATIVO

Casos-tipo	*Definição das Situações Tipificadas*
1	Sem alteração antevista
2	Criticidade quali ou quanti Alta, sensível à gestão
3	Criticidade quali ou quanti Alta, pouco sensível à gestão
4	Criticidade quali ou quanti Muito alta, pouco sensível à gestão

Elaboração ENGECORPS, 2022

Este Cenário do Plano articula, primeiramente, dois aspectos de forma conjunta: a existência de criticidade e suas perspectivas de piora com a sensibilidade à gestão cenarizadas para cada setor usuário. Especificamente para o aspecto qualitativo, considerou-se como cenário do plano de base aquele, em cada área, que indica a classe mais severa em quaisquer um dos três cenários

do plano para os parâmetros de qualidade analisados no item 5.1.2, ou seja, DBO, fósforo e coliformes termotolerantes.

Ao combinar estes conjuntos sob aspectos quali e quantitativos, tem-se quatro casos-tipo distintos, conformados para o horizonte temporal de médio prazo (referente ao ano de 2032), como se observa na Figura 5.24.

Não se trata de análise que almeja substituir os detalhes das respectivas conclusões de qualidade e de quantidade: priorizou-se a representação no território das mais intensas combinações. As ações de gerenciamento sugeridas para os casos-tipo quantitativos de classe 4, 5 e 6 se combinam com as perspectivas endógenas de gestão para a qualidade da água, recomendações de ação para conter a piora qualitativa dos corpos d'água da bacia do rio Doce.

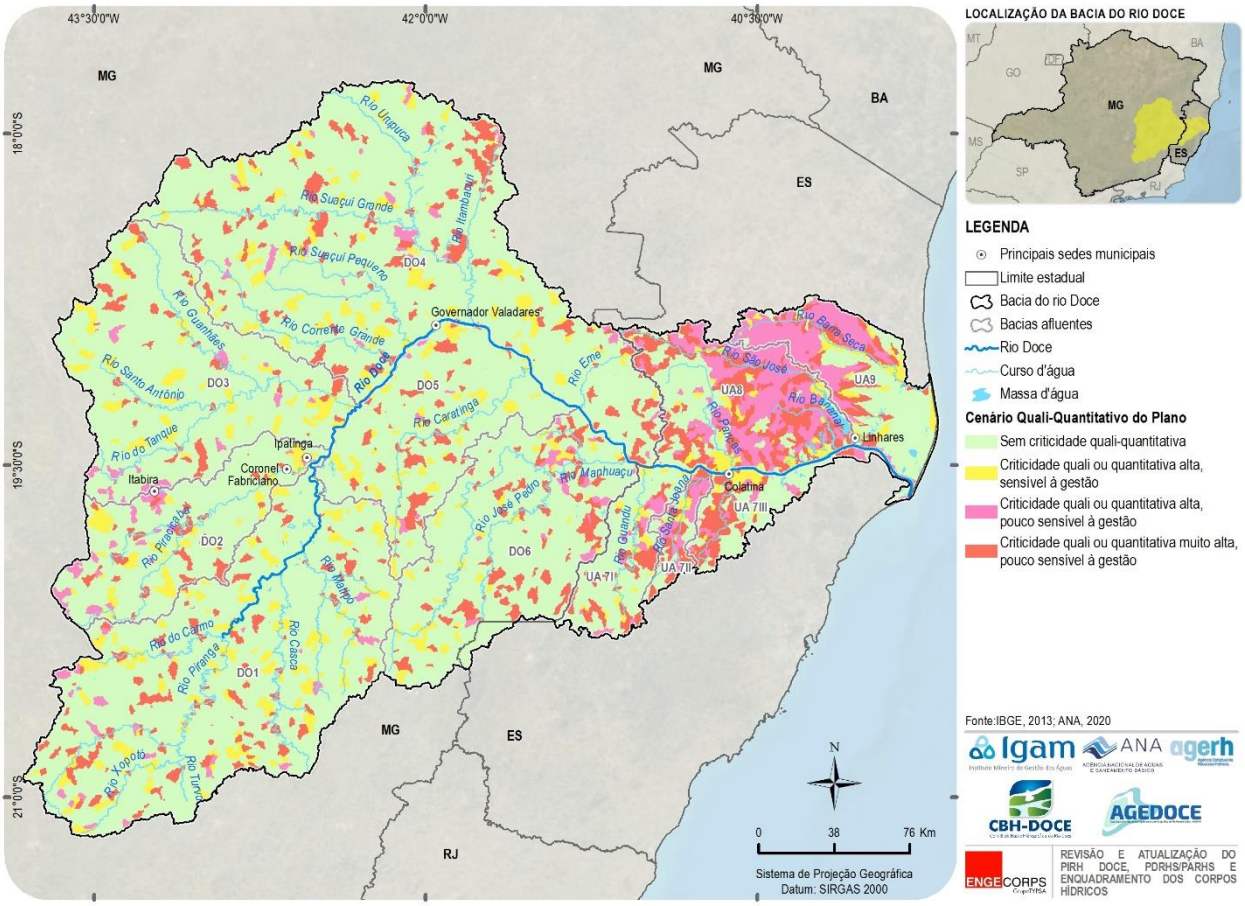


Figura 5.24 - Cenário Quali-Quantitativo do Plano no Horizonte Temporal de Médio Prazo (2032)

6. ESTUDOS ESPECÍFICOS PARA O ENQUADRAMENTO

6.1 CONTEXTUALIZAÇÃO GERAL DO ENQUADRAMENTO NO PROGNÓSTICO

Na presente etapa de Prognóstico, os estudos de Enquadramento, que estão sendo desenvolvidos simultaneamente com a revisão do PIRH Doce têm por objetivo principal estabelecer "o rio que queremos", ou seja, definir alternativas de classes de enquadramento que sejam compatíveis com os usos futuros preponderantes mais restritivos dos corpos d'água da bacia do rio Doce.

Essas alternativas resultarão em metas de qualidade a serem alcançadas ao longo do tempo, em horizontes de curto, médio e longo prazos, de modo que a qualidade atual dos corpos d'água, caso não seja compatível com seus usos futuros mais exigentes, possa ser melhorada progressivamente, a partir de investimentos em ações específicas ao encargo da própria bacia, organizadas em um Programa de Efetivação do Enquadramento, demonstrando, finalmente, qual será o "rio que podemos ter".



Figura 6.1 – "Os três Rios" do Enquadramento

Conforme determina a legislação, principalmente a Resolução do CONAMA nº 357/2005, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 91/2008 e legislação correlata dos estados de Minas Gerais[123] e Espírito Santo[124], as propostas de metas do enquadramento deverão ser elaboradas em função de um conjunto de parâmetros de qualidade da água e das vazões de referência definidas para o processo de gestão de recursos hídricos.

De modo a instruir a escolha dos parâmetros e vazões de referência para o enquadramento, bem como definir os cursos d'água que serão enquadrados na bacia do rio Doce, apresentam-se, a seguir, os resultados da simulação da qualidade das águas considerando as cargas poluentes futuras calculadas para o cenário tendencial.

Em continuação, apresenta-se uma proposta para definição dos parâmetros de referência, das vazões de referência para o enquadramento e de diretrizes e procedimentos para definir quais serão os corpos d'água a serem enquadrados com apoio em metas progressivas de qualidade, a serem monitoradas ao longo do tempo, no posterior Programa de Efetivação do Enquadramento.

[123] Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008; Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH/MG nº 06, de 14 de setembro de 2017.
[124] Resolução CERH/ES nº 28/2011.

Esses temas serão discutidos na Segunda Rodada de Eventos de Participação Pública prevista para a etapa de Prognóstico, visando à sua consolidação.

6.2 SIMULAÇÕES DA QUALIDADE DA ÁGUA – CENÁRIO-BASE DO PROGNÓSTICO E CENÁRIO TENDENCIAL

Este item aborda as simulações matemáticas de qualidade das águas, tomando por base as cargas poluentes revisadas para o cenário atual e as cargas apresentadas no item 4.4 do Capítulo 4 para o cenário tendencial, mais especificamente, as cargas referentes à **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial).

Como será visto, as ações de gestão propostas, mesmo as que já estão em andamento na bacia, concorrem para melhoria da qualidade das águas nos horizontes de médio e longo prazo e, consequentemente, para o atendimento de classes de melhor qualidade pelos 51 cursos d'água modelados.

6.2.1 Considerações Iniciais

Optou-se para apresentar, na Revisão 0 deste PP 04, as simulações de qualidade das águas realizadas com apoio em modelagem matemática para o cenário tendencial, um dos cenários mais prováveis de se materializar, e que considera medidas de gestão já previstas para a bacia do rio Doce.

Considerando as combinações de cenários antes descritas, as simulações futuras aqui apresentadas correspondem à **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), para os três horizontes temporais – 2027, 2032 e 2042 e para as três vazões de referência utilizadas na bacia:

- ✓ A ANA se utiliza da vazão $Q_{95\%}$, vazão de permanência igualada ou superada em 95% do tempo, para gestão da calha do rio Doce e para o rio José Pedro, ambos cursos d'água de domínio da União;
- ✓ O IGAM adota a vazão $Q_{7,10}$, vazão média mínima de sete dias consecutivos e dez anos de período de retorno, para gestão dos cursos d'água de domínio do estado de Minas Gerais; e
- ✓ A AGERH se utiliza da $Q_{90\%}$, vazão de permanência igualada ou superada em 90% do tempo, para gestão dos cursos d'água de domínio do estado do Espírito Santo.

Os resultados dessas simulações possibilitam avaliar, de forma conservadora, as dificuldades antevistas para que se configure o "rio que podemos ter", e para estabelecimento das alternativas de enquadramento mediante a indicação de metas progressivas de melhoria da qualidade das águas, ao longo do tempo.

Possibilitam, também, avaliar os efeitos da continuação do *status quo*, ou seja, crescimento tendencial das pressões exógenas sobre os recursos hídricos e grau *business as usual* (BAU) de resposta, apresentadas para os horizontes temporais de curto (2027), médio (2032) e longo (2042) prazos.

Permitem, ainda, verificar quais os poluentes que mais contribuem para a piora da qualidade da água na bacia, nos diferentes cursos d'água e trechos que foram modelados, contribuindo para subsidiar a escolha dos parâmetros de referência a serem adotados para monitoramento das metas do Enquadramento.

As simulações para as demais oito combinações serão apresentadas na Revisão 1 deste PP 04, após a realização da 2ª Rodada de eventos de participação pública, quando estarão definidos os usos futuros preponderantes mais restritivos, orientadores das classes de enquadramento necessárias, bem como estarão definidos os parâmetros e as vazões de referência a serem adotados para o Enquadramento.

De posse do modelo de qualidade da água calibrado e validado para um ano hidrológico completo, conforme demonstrado no item 2.2. do Capítulo 2 deste relatório, avançou-se nas simulações de cenários visando visualizar o reflexo das alterações de cargas aportantes previstas.

Definiu-se como cenário base dessas simulações uma situação em que condições de contorno adotadas são de período seco, ou seja, as vazões são as utilizadas pelos três órgãos gestores de recursos hídricos ($Q_{90\%,}$ $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$) e as cargas aportantes são aquelas pontuais, de origem urbana, industrial e de mineração (cargas de período seco). Deste modo ficam representados os impactos na qualidade da água observados durante o período de estiagem.

Com efeito, tanto no Diagnóstico como no referido item 2.2, trabalhou-se com um ano hidrológico completo, procedimento necessário para a calibração do modelo matemático. Já a diretriz para o Enquadramento, no contexto do Prognóstico, é dirigida a entender as respostas da bacia ao lançamento de cargas de período seco em situação hidrológica de estiagem, uma vez estar preestabelecido que a vazão de referência para o Enquadramento será uma vazão de estiagem.

Cabe, portanto, considerar as cargas que aportam continuamente aos corpos d'água mesmo quando não há precipitações, ou seja, aquelas que são geradas em fontes pontuais de poluição, tais como os esgotos domésticos e industriais, que têm maior potencial de serem alvo de ações de gestão, e que trazem como consequências os percentuais de redução de cargas apresentados e comentados no item 4.4 do Capítulo 4 deste relatório, alguns deles bastante expressivos.

6.2.2 Cenário-Base do Prognóstico

As Figuras 6.2 a 6.4 apresentam os resultados das simulações matemáticas realizadas para as vazões de referência $Q_{95\%}$, $Q_{7,10}$ e $Q_{90\%}$, em termos das classes de qualidade atendidas pelos 51 cursos d'água modelados e seus respectivos trechos, considerando cargas de período seco da cena atual (ano de 2020), constituindo o Cenário-Base do Prognóstico. A Figura 6.5 mostra a compilação dos resultados, considerando as respectivas vazões de referência dos órgãos gestores, ou seja, os trechos mineiros com a $Q_{7,10}$, os capixabas com a $Q90_{\%}$ e os rios de domínio da União com a $Q95_{\%}$.

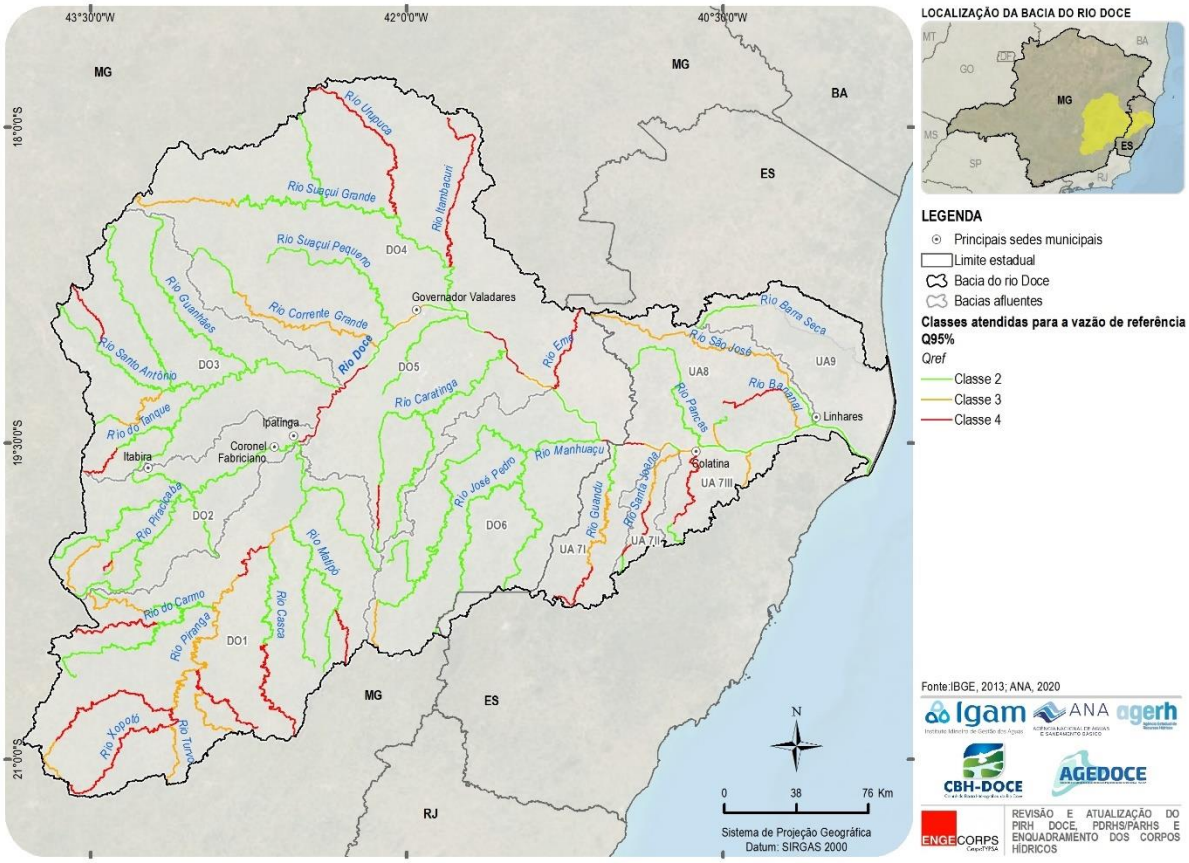


Figura 6.2 – Classes de Qualidade Atendidas no Cenário-Base do Prognóstico – Vazão $Q_{95\%}$

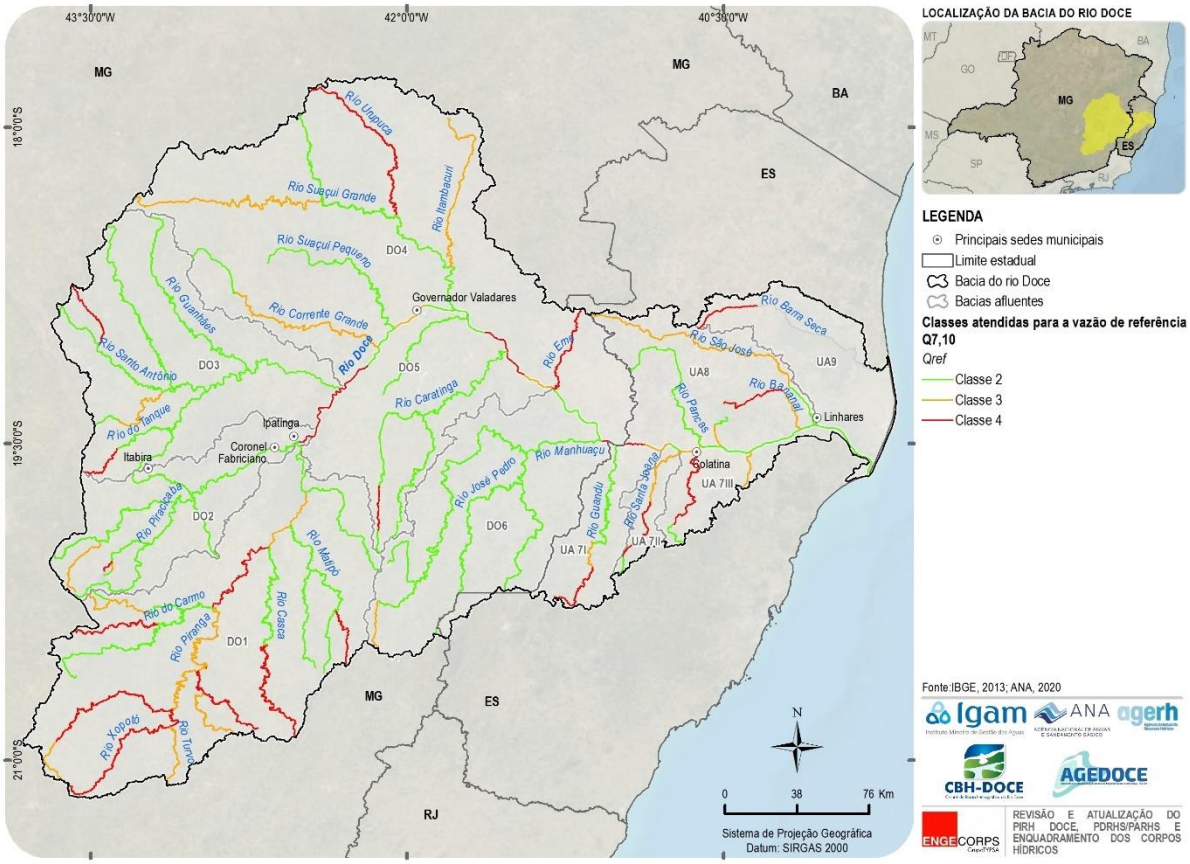


Figura 6.3 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário-Base do Prognóstico – Vazão $Q_{7,10}$

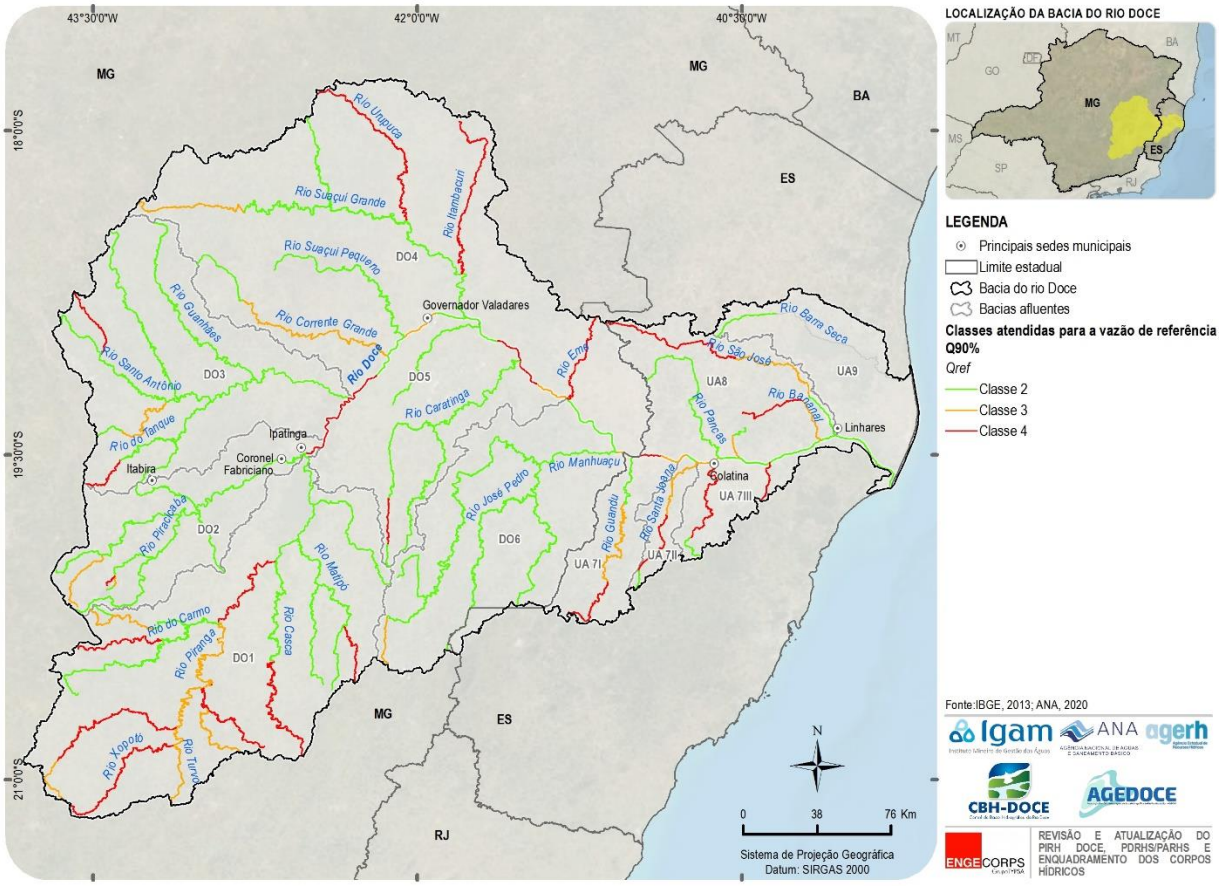


Figura 6.4 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário-Base do Prognóstico – Vazão $Q_{90\%}$

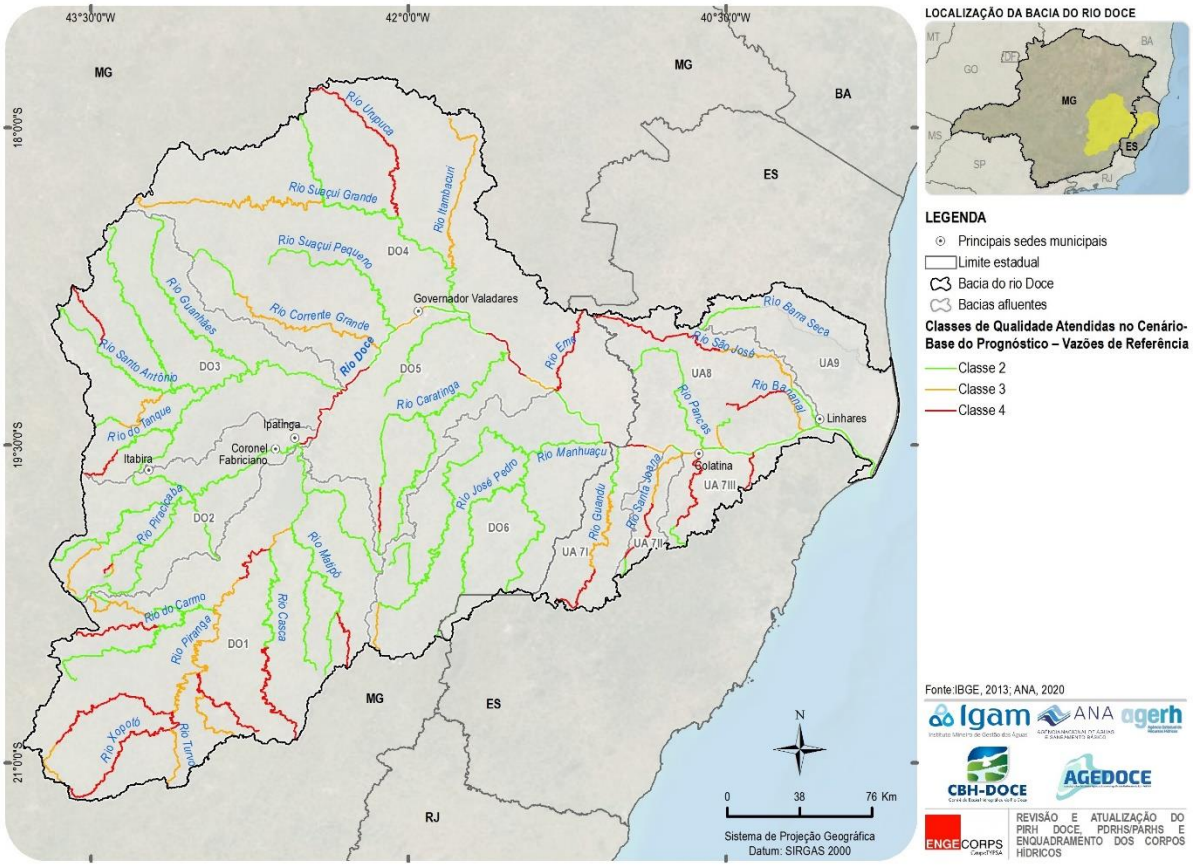


Figura 6.5 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário-Base do Prognóstico – Vazões de Referência

Os resultados das simulações do Cenário-Base refletem o mesmo panorama observado no cenário de calibração do modelo, ano hidrológico modal, período seco, com as piores condições de qualidade da água sendo encontradas na DO1, especialmente nos rios Piranga, Xopotó, Turvo Limpo e Sujo. Pontos críticos também se evidenciam na cabeceira do rio Piracicaba, Eme, Guandu, Urupuca, Bananal, Santa Maria, Santa Joana e Barra Seca. No rio Doce as piores classes são encontradas em proximidades de grandes centros urbanos, assim como demonstrado no Diagnóstico.

Em relação à vazão de referência, nota-se pouca diferença nas simulações, apenas seis trechos de rios dos 180 trechos modelados tiveram alteração de classe devido à alteração de vazão, quatro deles tiveram uma piora nas classes atendidas quando as vazões foram da $Q_{90\%}$ para as $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$. Outros dois trechos tiveram suas piores classes em condição de $Q_{90\%}$, nestes casos, associada à presença de matéria orgânica adsorvida nos sedimentos em suspensão, os quais tem aumento da concentração com o aumento da vazão. Mesmo as diferenças sendo poucas, a vazão $Q_{7,10}$ se mostra como sendo a mais restritiva e que apresenta os piores resultados em termos de atendimento de classes de qualidade.

A Figura 6.6 relaciona os parâmetros que mais contribuíram para classes de pior qualidade na bacia do rio Doce, apresentando esse comportamento nas simulações realizadas com pelo menos uma vazão, considerando as cargas poluentes do Cenário-Base do Prognóstico.

Verifica-se que, à exceção do ferro dissolvido, todos os demais parâmetros são típicos de poluição por cargas de origem orgânica, como já havia sido exposto quando das simulações apresentadas para o ano hidrológico completo, período seco, no Capítulo 2, item 2.2.3. Nota-se que a predominância segue sendo do fósforo, coliformes, DBO, ferro dissolvido e OD. Uma abordagem específica sobre os teores de ferro presentes nas águas da bacia do rio Doce será apresentada no item 6.4 deste capítulo.

Dentro desse contexto, é válido retomar os limites estabelecidos para cada um desses parâmetros para águas doces e salobras, visando ilustrar a sensibilidade de cada parâmetro às classes de atendimento.

O Quadro 6.1 retoma os limites da Resolução CONAMA nº 357/2005, sendo necessário atentar para o fato de que os limites de fósforo total são muito próximos entre si para cada classe, o que provoca uma alta sensibilidade nos resultados da modelagem de qualidade da água em termos da determinação da classe atendida, uma vez que pequenas variações de concentração já podem fazer com que o trecho avaliado passe de Classe 2 para Classe 3.

Ressalta-se também que o parâmetro fósforo total possui os mesmos limites para a Classe 2 e a Classe 1, quando avaliados ambientes lóticos, motivo pelo qual ele aparece sozinho como o parâmetro responsável pela atribuição de Classe 2.

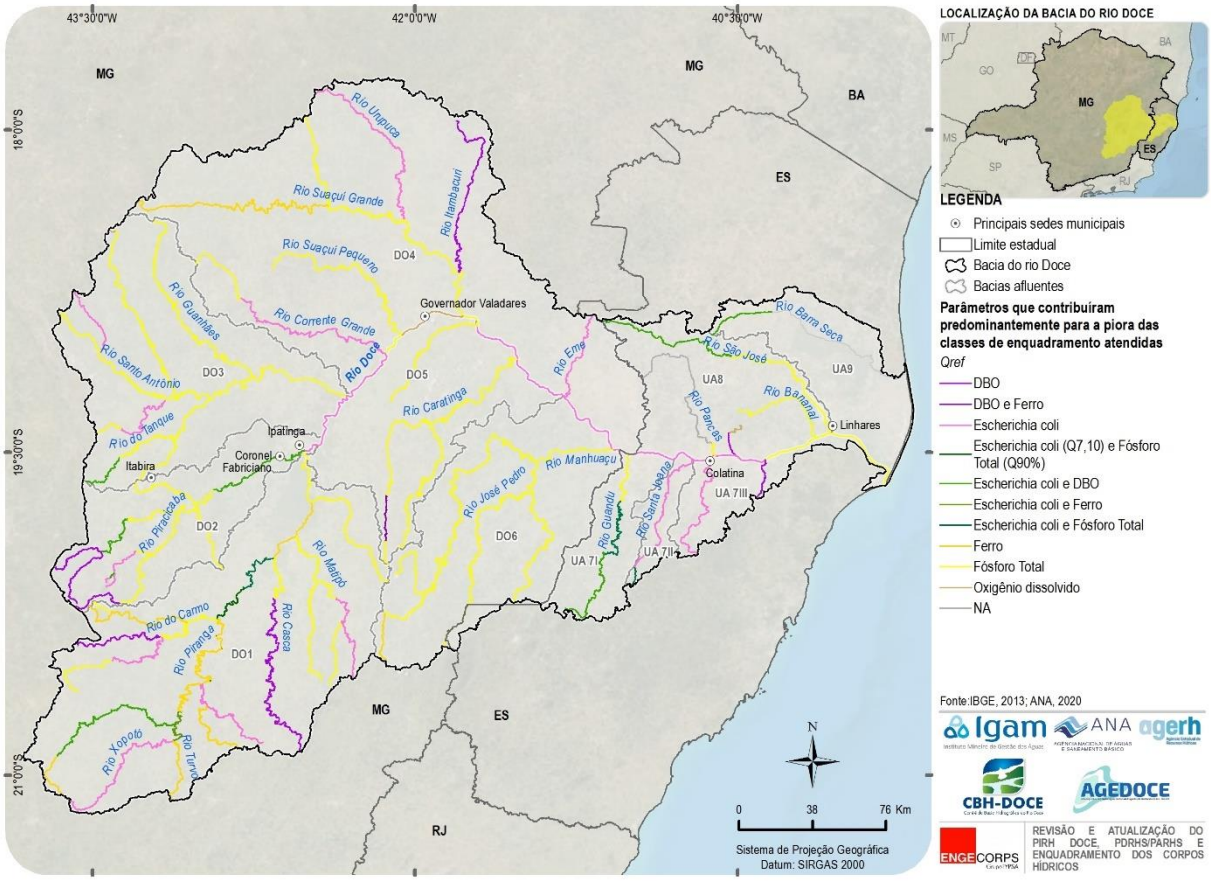


Figura 6.6 – Parâmetros que Contribuíram Predominantemente para a Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações com pelo Menos uma das Vazões – Cenário-Base do Prognóstico

QUADRO 6.1 – LIMITES DE ATENDIMENTO DE CLASSES SEGUNDO A CONAMA 357/2005

Parâmetro	*Limites Água Doce – Ambiente Lótico*				*Limites Água Doce – Ambiente Intermediário **				*Limites Águas Salobras ***			
	Classe 1	*Classe 2*	*Classe 3*	*Classe 4*	*Classe 1*	*Classe 2*	*Classe 3*	*Classe 4*	*Classe 1*	*Classe 2*	*Classe 3*	*Classe 4*
OD (mg/L)	6	5	4	2	6	5	4	2	5	4	3	-
DBO (mg/L)	3	5	10	-	3	5	10	-	-	-	-	-
Pt (mg/L)	0,1	0,1	0,15	-	0,025	0,050	0,075	-	0,124	0,186	-	-
Coliformes Termotolerantes	200	1000	2500	-	200	1000	2500	-	1000	2500	4000	-
Fe Dissolvido (mg/L)	0,3	0,3	5	-	0,3	0,3	5	-	0,3	0,3	-	-

* Os limites de ambientes intermediários foram utilizados naqueles rios do ES que são formadores de lagoas.
** Os limites das águas salobras foram utilizados para a foz do rio Doce, por conta do contato com mar, estando sob influência de intrusão salina.
Elaboração ENGECORPS, 2022

Comparando-se as Figuras 6.2 a 6.4 com as que foram apresentadas no item 2.2.3 (Figuras 2.25 a 2.27), observa-se uma piora da qualidade das águas, quando consideradas apenas as cargas de período seco, não havendo, por exemplo, mais nenhum curso d'água que atenda à Classe 1 e um aumento nos trechos que atendem somente às Classes 3 e 4.

Tal situação seria esperada, uma vez que as simulações deste Cenário-Base do Prognóstico não foram realizadas para um ano hidrológico completo, considerando, portanto, apenas os períodos de estiagem, quando os cursos d'água apresentam menores vazões e, portanto, menor capacidade para absorver e auto depurar as cargas que recebem.

No gráfico da Figura 6.7, estão sintetizados, em percentuais de sua extensão, os trechos de cursos d'água mais impactados pelos parâmetros poluentes representados espacialmente na Figura 6.6.

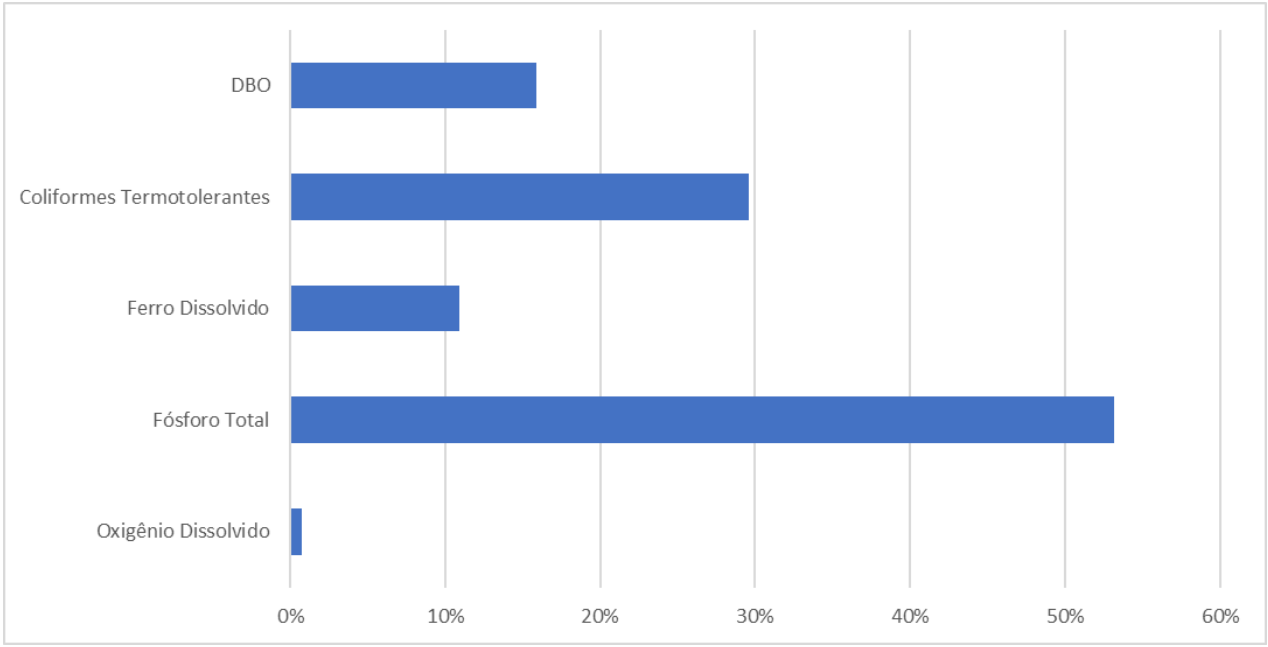


Figura 6.7 – Percentual de Trechos para cada Parâmetro Responsável pela Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações para o Cenário-Base do Prognóstico

Observa-se que, com exceção do nitrato, que figurou como um dos responsáveis por atendimento a classes de pior qualidade quando das simulações para o ano hidrológico completo (ver Figura 2.32), os demais parâmetros se repetem e apresentam percentuais semelhantes, ratificando a importância das cargas pontuais de origem orgânica como as de efeito mais evidente nas condições de qualidade das águas da bacia do rio Doce durante o período seco.

6.2.3 Cenário Tendencial

Os resultados aqui expostos são representativos da **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial), para os três horizontes temporais – 2027, 2032 e 2042 e para as três vazões de referência utilizadas na bacia.

De maneira geral, tais resultados das simulações de qualidade da água refletem as variações de cargas poluentes previstas nos cenários e discutidas no item 4.4.2 do Capítulo 4.

Como será visto, as condições de qualidade da água pioram significativamente para o ano de 2027, quando as cargas de matéria orgânica na bacia são incrementadas, causando problemas não só nos atendimentos de classe devido à DBO, mas também ao OD, uma vez que esse parâmetro tem sua massa consumida durante a estabilização da matéria orgânica.

Para o ano de 2027 não podem ser notadas diferenças significativas dos resultados das classes atendidas entre as vazões de referência, pois a condição de altas cargas aportantes causou uma piora generalizada e minimizou a sensibilidade entre condições de vazões próximas.

Com a entrada das medidas de gestão (horizontes de 2032 e 2042) as condições de qualidade da água são melhoradas, e por vezes, até conseguem retomar as classes do Cenário-Base, demonstrando que com medidas de gestão mais eficiente é possível realizar o desenvolvimento e crescimento de atividades sem comprometer os corpos hídricos.

Analisando a condição mais restritiva de vazão ($Q_{7,10}$), foram 44 trechos que ao final de plano (ano 2042) não conseguiram retomar as classes originais do Cenário-Base; para o caso da vazão de referência $Q_{95\%}$ esse número se reduz para 34 trechos de rio, e para a vazão $Q_{90\%,}$ foram 31 trechos de rios dos 180 modelados que não conseguiram retomar as condições de atendimento de classe do Cenário-Base, mesmo com a aplicação de medidas de gestão.

Dentre os trechos que tiveram condição de atendimento de classe piorada com o passar do tempo destacam-se trechos do rio Doce entre os municípios de Aimorés e Colatina, e o que passa por Governador Valadares, trechos de montante do rio Caratinga, trechos do rio Maquiné, trechos de jusante do rio Piracicaba, trechos do rio da Prata, trechos do rio Conceição e trechos do ribeirão dos Coqueiros.

A redução das cargas aportantes aos rios permitiu uma maior sensibilidade entre os resultados de atendimento de classes de qualidade para diferentes vazões de referência; ainda assim, dentro de um mesmo ano, as diferenças entre as vazões ficam entre 1,7% da $Q_{90\%}$ para a $Q_{95\%}$, 10,5% da $Q_{95\%}$ para a $Q_{7,10}$ e 12,2% entre a $Q_{90\%}$ e a $Q_{7,10}$.

Os principais poluentes apontados no Diagnóstico e Cenário-Base também seguem sendo os principais parâmetros responsáveis pelas atribuições das classes de atendimento nos resultados das simulações de cenário tendencial. O que pode ser observado foi uma maior responsabilidade da DBO e por conseguinte, também do OD, que apresentaram piores classes no cenário tendencial do que anteriormente diagnosticado, devido ao aumento de cargas aportantes.

Os parâmetros coliformes termotolerantes e o fósforo total seguiram sendo os maiores responsáveis pelas classes atendidas mesmo sendo prevista queda das cargas aportantes, demonstrando a grande necessidade de medidas de ação de saneamento básico e instalações de ETEs com capacidade de remoção de nutrientes nos municípios. As concentrações de ferro dissolvido não tiveram variações significativas durante o cenário tendencial; quando ele foi detectado como parâmetro responsável pelo não atendimento de classe, o trecho demonstrava boa qualidade para todos os outros parâmetros, mas seguia sem redução nas concentrações de ferro dissolvido.

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados das simulações matemáticas realizadas para o Cenário Tendencial, em todos os três horizontes temporais considerados – curto prazo (2027), médio prazo (2032) e longo prazo (2042).

6.2.3.1 Horizonte do Ano 2027

As Figuras 6.8. a 6.10 mostram as classes de qualidade atendidas pelos cursos d'água modelados no Cenário Tendencial para o horizonte de curto prazo, o ano de 2027. A Figura 6.11 mostra a compilação dos resultados, considerando as respectivas vazões de referência dos órgãos gestores, ou seja, os trechos mineiros com a $Q_{7,10}$, os capixabas com a $Q90_{\%}$ e os rios de domínio da União com a $Q95_{\%}$.

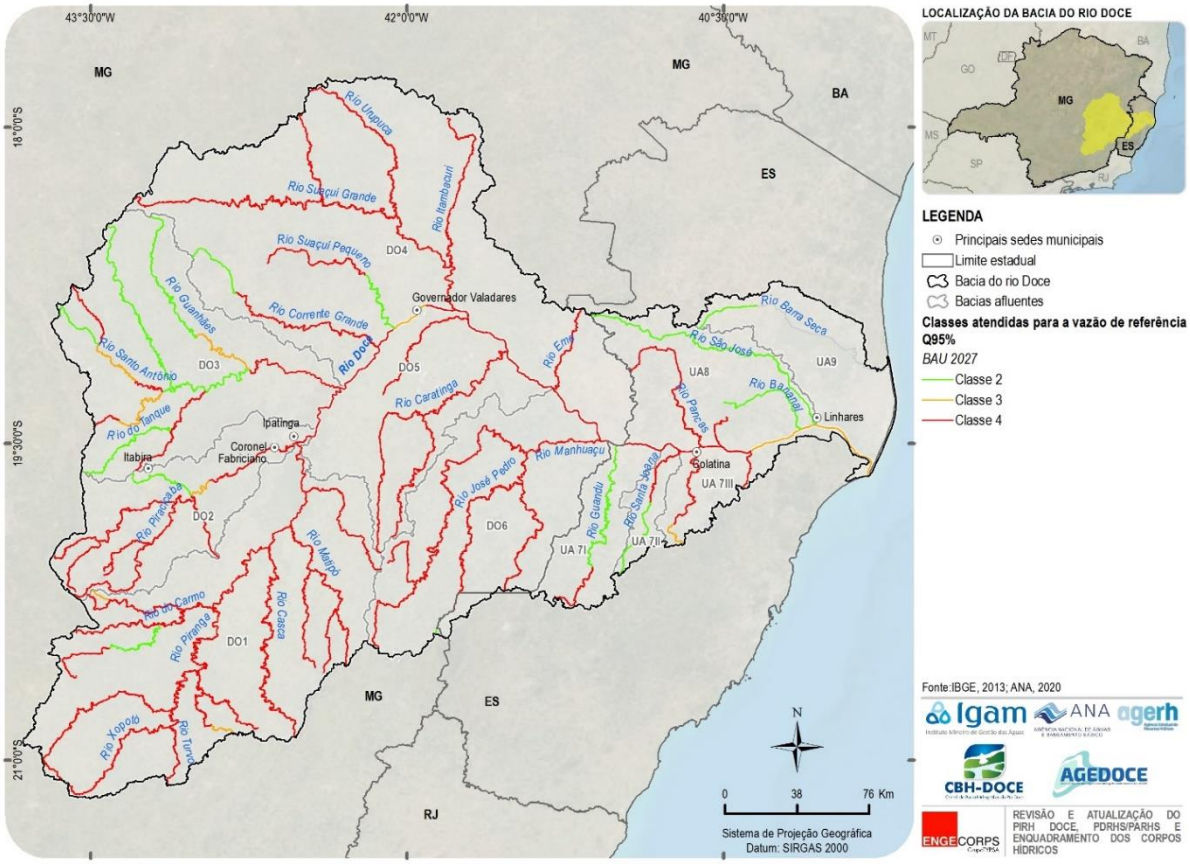


Figura 6.8 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2027 – Vazão $Q_{95\%}$

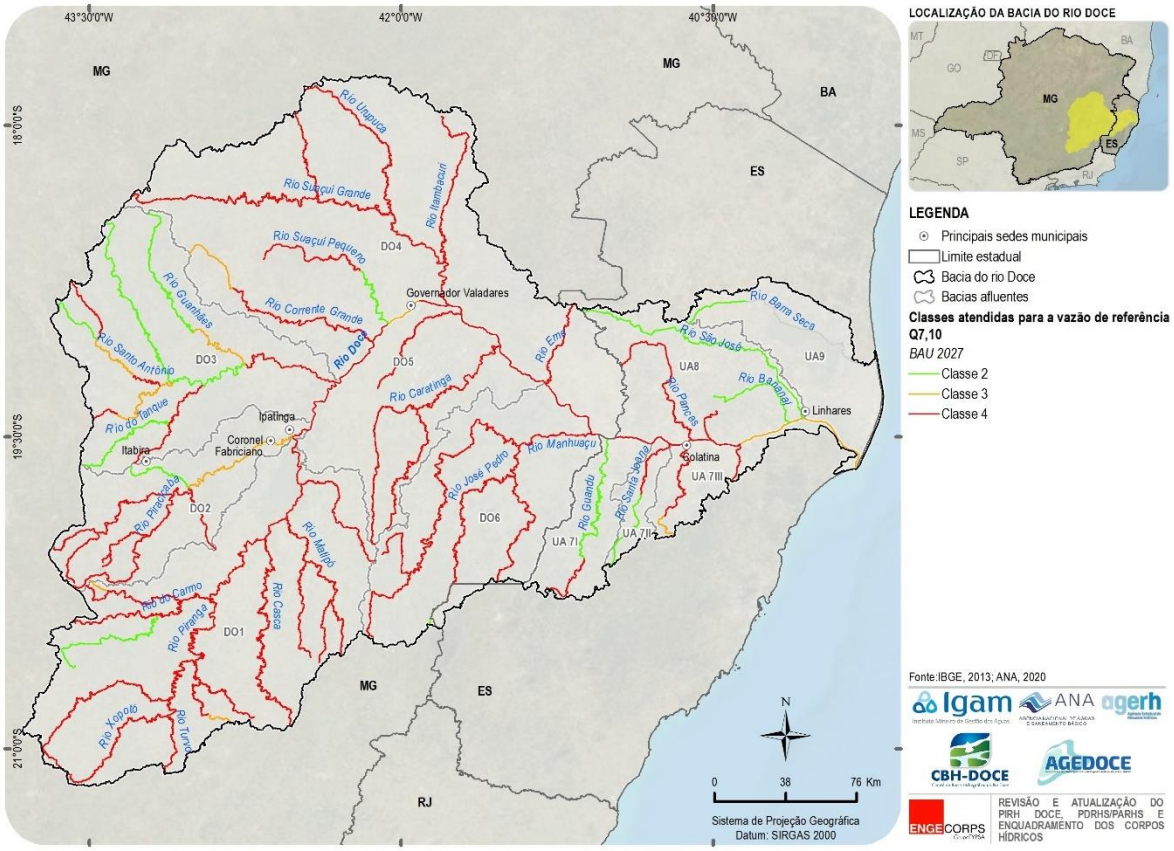


Figura 6.9 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2027 – Vazão $Q_{7,10}$

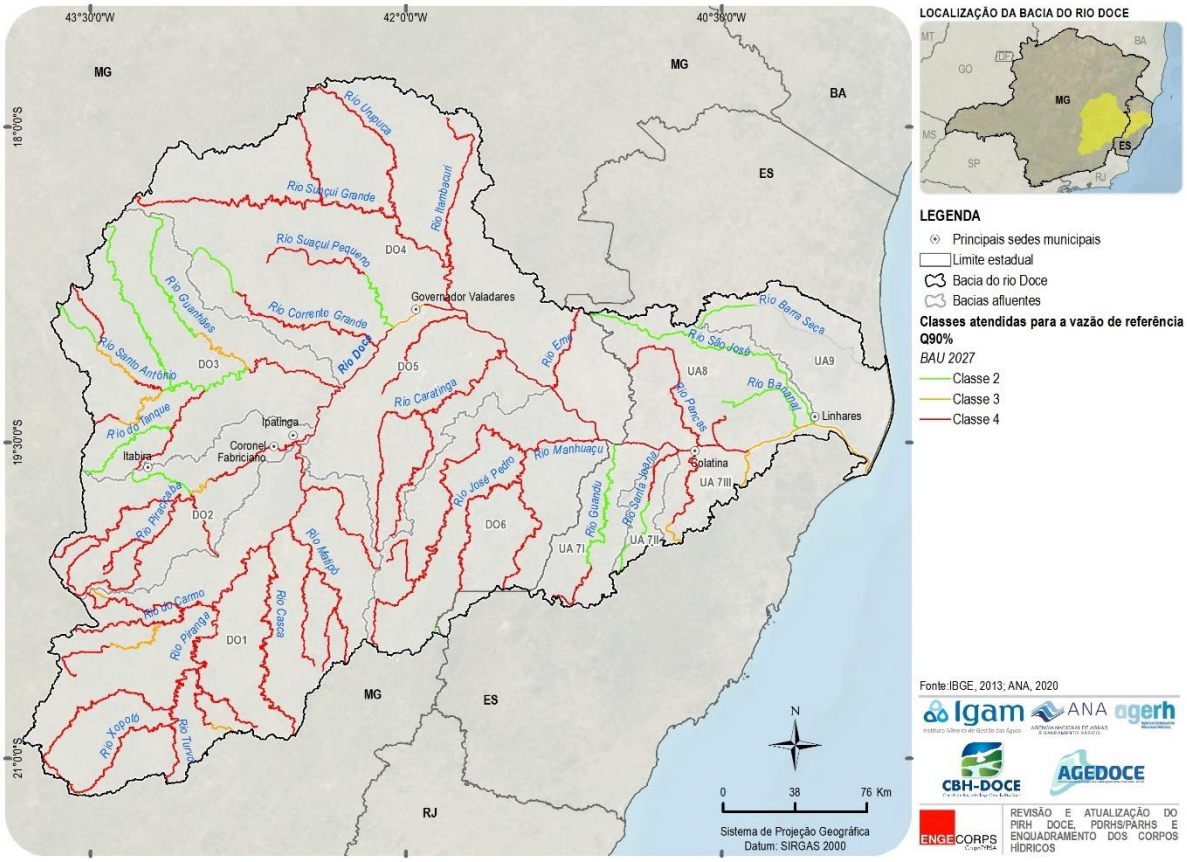


Figura 6.10 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2027 – Vazão $Q_{90\%}$

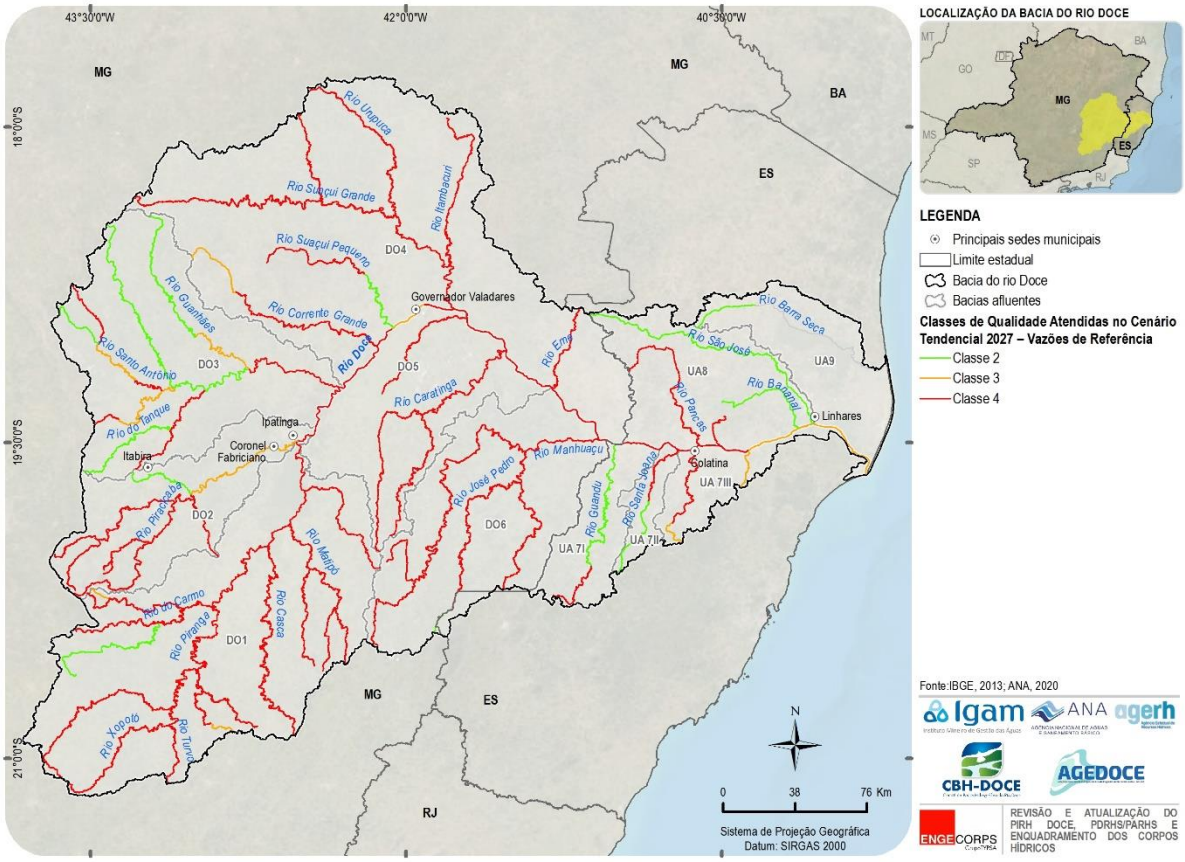


Figura 6.11 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2027 – Vazões de Referência

Com relação às diferenças devido à utilização das três vazões de referência, percebe-se que elas são poucas, tal como verificado para o Cenário-Base do Prognóstico e, também, para as simulações realizadas para o ano hidrológico completo, apresentadas no item 2.2.3.

Comparando-se as Figuras 6.8 a 6.10 com as figuras do Cenário-Base do Prognóstico (6.2 a 6.4), observa-se uma piora expressiva das classes atendidas, basicamente, devido às ainda poucas medidas de gestão adicionais propostas quando da construção dos cenários de curto prazo para o setor de saneamento básico, na perspectiva de pressões exógenas conhecidas sobre os recursos hídricos (tendenciais) combinadas com as respostas endógenas já em curso ou previstas para a bacia (*business as usual* – BAU), que ainda serão tímidas em 2027.

Tais medidas de gestão, especificamente quanto ao saneamento básico, estão descritas no item 3.3.1.6 do Capítulo 3 deste relatório.

De acordo com o que foi apresentado, ilustrado por gráficos e comentado no item 4.4 do Capítulo 4, a **combinação 1** não constitui o cenário que resultará em reduções expressivas das cargas poluentes futuras.

Com efeito, no caso das cargas de fósforo, DBO, coliformes termotolerantes e sólidos suspensos totais (SST), sua redução é clara quando consideradas as perspectivas endógenas favoráveis (gestão dos recursos hídricos), com uma evidente redução de patamar já sob gestão moderada; sob gestão intensa, ocorre outra mais forte redução, atingindo-se um patamar ainda inferior de cargas desses parâmetros. Essas perspectivas estão previstas nas combinações que incluem gestão

moderada e gestão intensa, não fazendo parte da **combinação 1**, razão pela qual, nessa combinação, as classes de qualidade atendidas pelos rios modelados refletem somente a situação característica do *status quo* da bacia, quer quando vista sob as pressões exógenas tendencias, quer sob a análise das respostas endógenas de gestão.

Outra questão a ser considerada são os limites estabelecidos dos teores de cada parâmetro para cada classe de qualidade na Resolução CONAMA nº 357/2005, conforme já comentado. Alguns desses limites admitem muito baixas concentrações nas águas doces. Assim, para vários parâmetros, tais como o fósforo total e os coliformes termotolerantes, que figuram dentre aqueles predominantemente responsáveis pela pior qualidade das águas da bacia, aumentos de cargas, mesmo que pequenos, resultam em concentrações nas águas que superam os limites de Classe 2 ou mesmo de Classe 3, resultando em mudança para classes de pior qualidade.

Nesse sentido, as perspectivas que constituem a **combinação 1** se traduzem na piora das classes de qualidade evidenciadas no cenário tendencial de curto prazo, como visto nas Figuras 6.8 a 6.10, antes apresentadas.

Na Figura 6.12, relacionam-se os parâmetros que mais contribuíram para classes de pior qualidade na bacia do rio Doce, apresentando esse comportamento nas simulações com pelo menos uma vazão, considerando as cargas poluentes de período seco do Cenário Tendencial do horizonte do ano de 2027. Verifica-se que à exceção do ferro dissolvido, todos os demais parâmetros são típicos de poluição por cargas de origem orgânica, reproduzindo o que foi constatado para o Cenário-Base. Conforme já mencionado, uma abordagem específica sobre os teores de ferro presentes nas águas da bacia do rio Doce será apresentada no item 6.4 deste capítulo.

Vale também ressaltar que os parâmetros se repetem quando em comparação com o mapa da figura equivalente do Cenário-Base (Figura 6.6), o que ratifica a relevância das cargas orgânicas pontuais em termos do seu impacto na qualidade das águas da bacia, em condições de vazões de estiagem, com destaque ao fósforo e aos coliformes termotolerantes, presentes em esgotos domésticos lançados no meio hídrico sem tratamento ou com tratamento insuficiente em termos do percentual de remoção de cargas desses parâmetros.

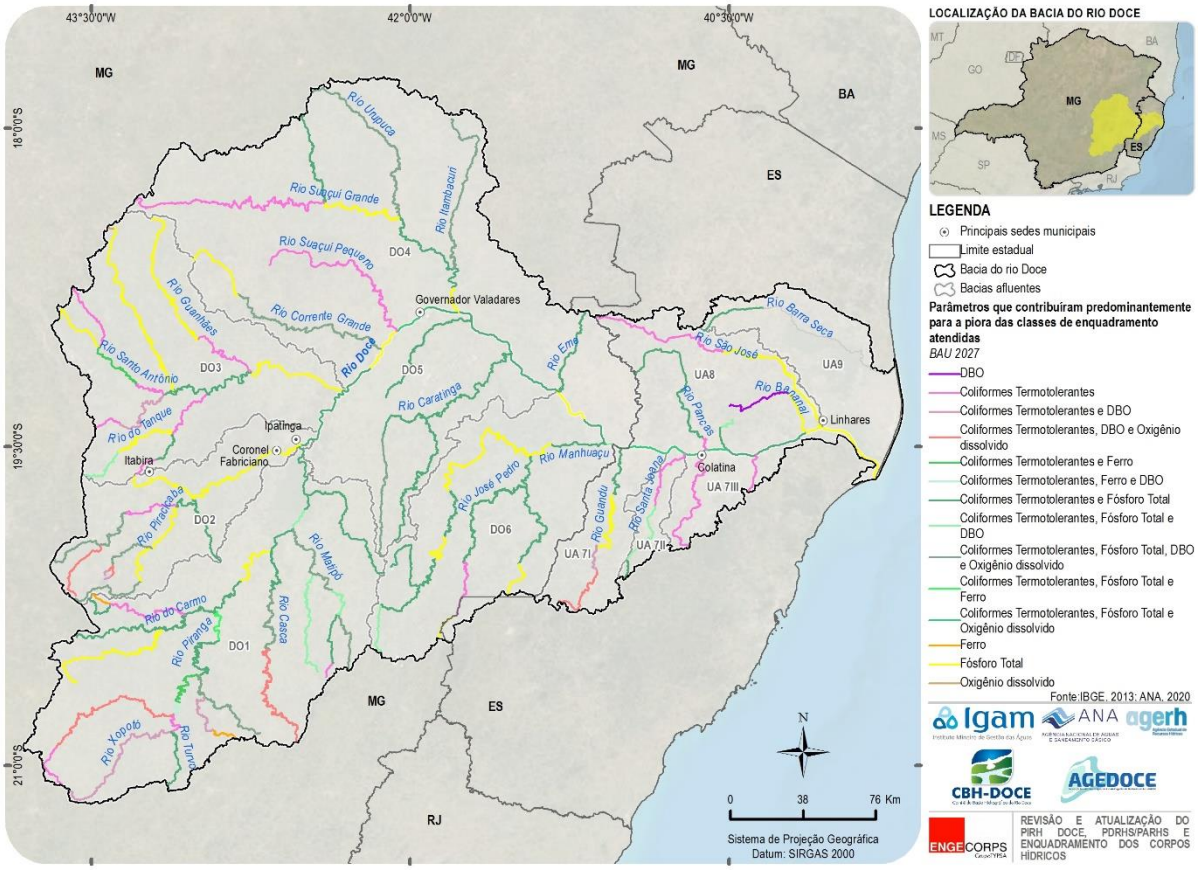


Figura 6.12 - Parâmetros que Contribuíram Predominantemente para a Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações com pelo Menos uma das Vazões – Cenário Tendencial 2027

No gráfico da Figura 6.13, estão sintetizados, em percentuais de sua extensão, os trechos de cursos d'água mais impactados pelos poluentes representados espacialmente na Figura 6.12.

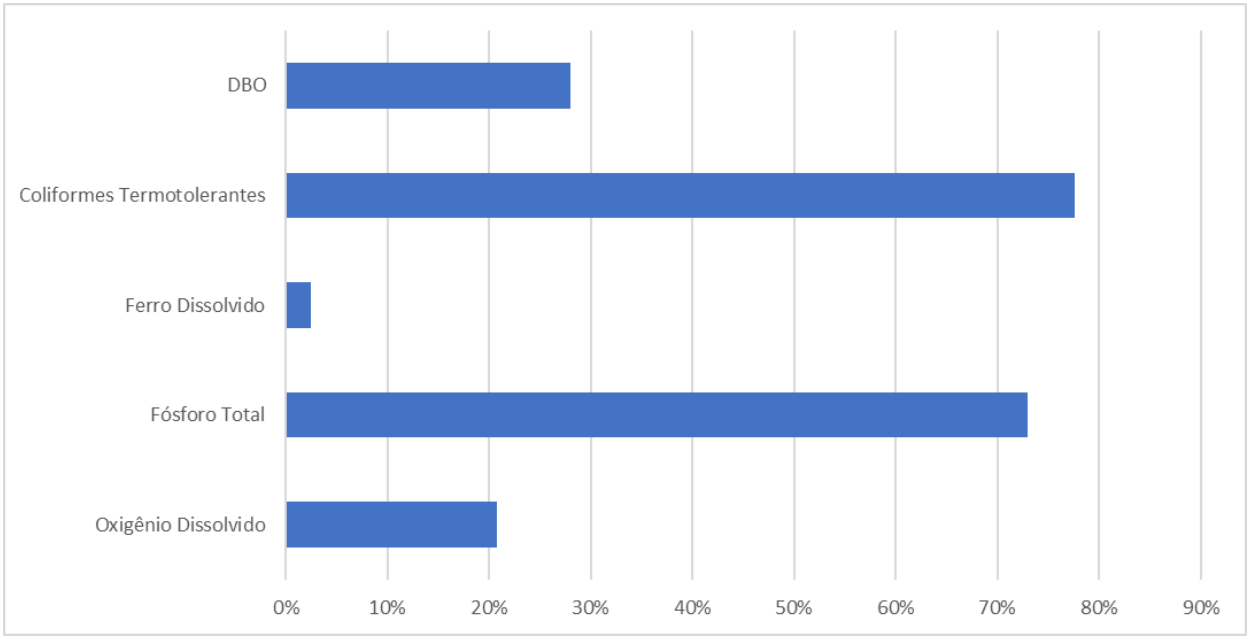


Figura 6.13 - Percentual de Trechos para cada Parâmetro Responsável pela Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações para o Cenário Tendencial de 2027

Nota-se, mais uma vez, a predominância das cargas de origem orgânica como responsáveis pela pior qualidade das águas da bacia do rio Doce durante períodos secos, nesse cenário, com um ganho de importância para os coliformes termotolerantes em relação ao Cenário-Base do Prognóstico. Tal condição decorre de perspectivas exógenas previstas para a bacia na **combinação 1**, tais com o crescimento tendencial da população, associado a medidas de gestão ainda tímidas, com destaque ao saneamento básico, especificamente, à coleta e tratamento de esgotos domésticos.

6.2.3.2 Horizonte do Ano 2032

As Figuras 6.14 a 6.16 mostram as classes de qualidade atendidas pelos cursos d'água modelados no Cenário Tendencial para o horizonte de médio prazo, o ano de 2032. A Figura 6.17 mostra a compilação dos resultados, considerando as respectivas vazões de referência dos órgãos gestores, ou seja, os trechos mineiros com a $Q_{7,10}$, os capixabas com a $Q_{90\%}$ e os rios de domínio da União com a $Q_{95\%}$.

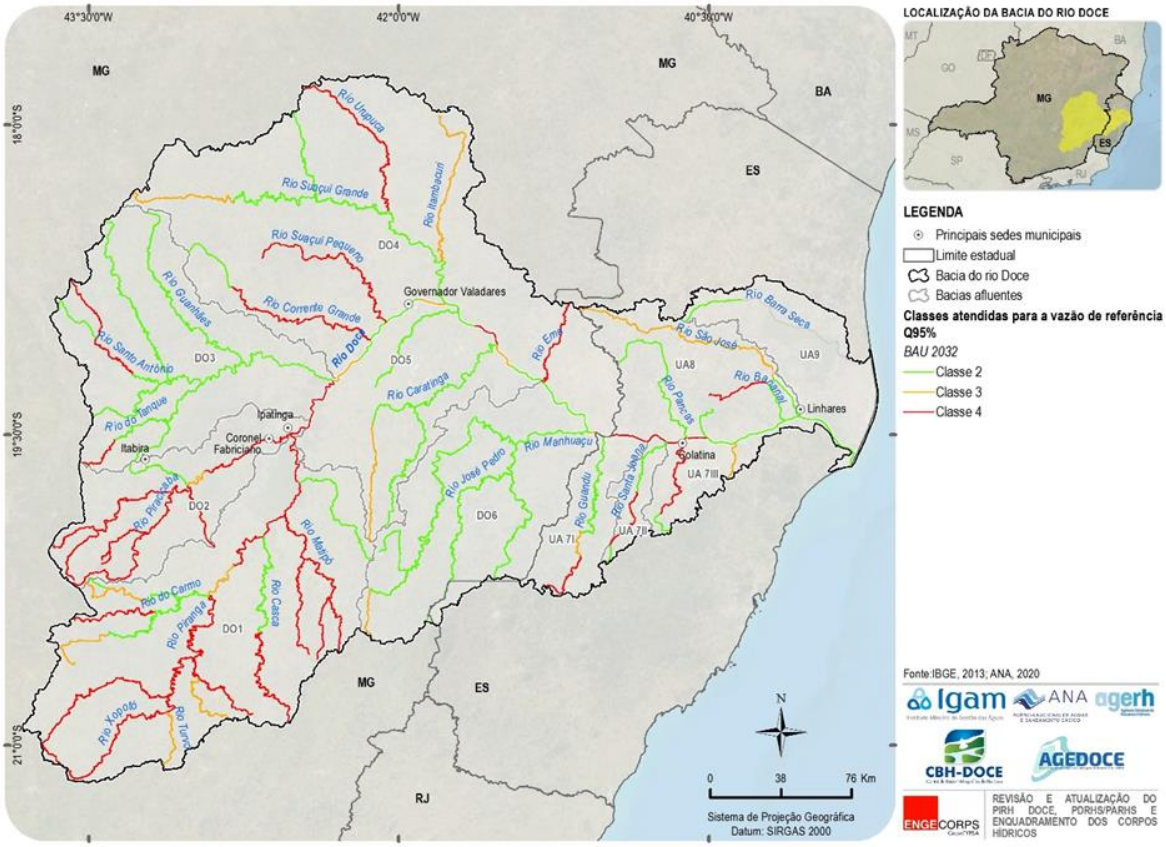


Figura 6.14 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2032 – Vazão Q95%

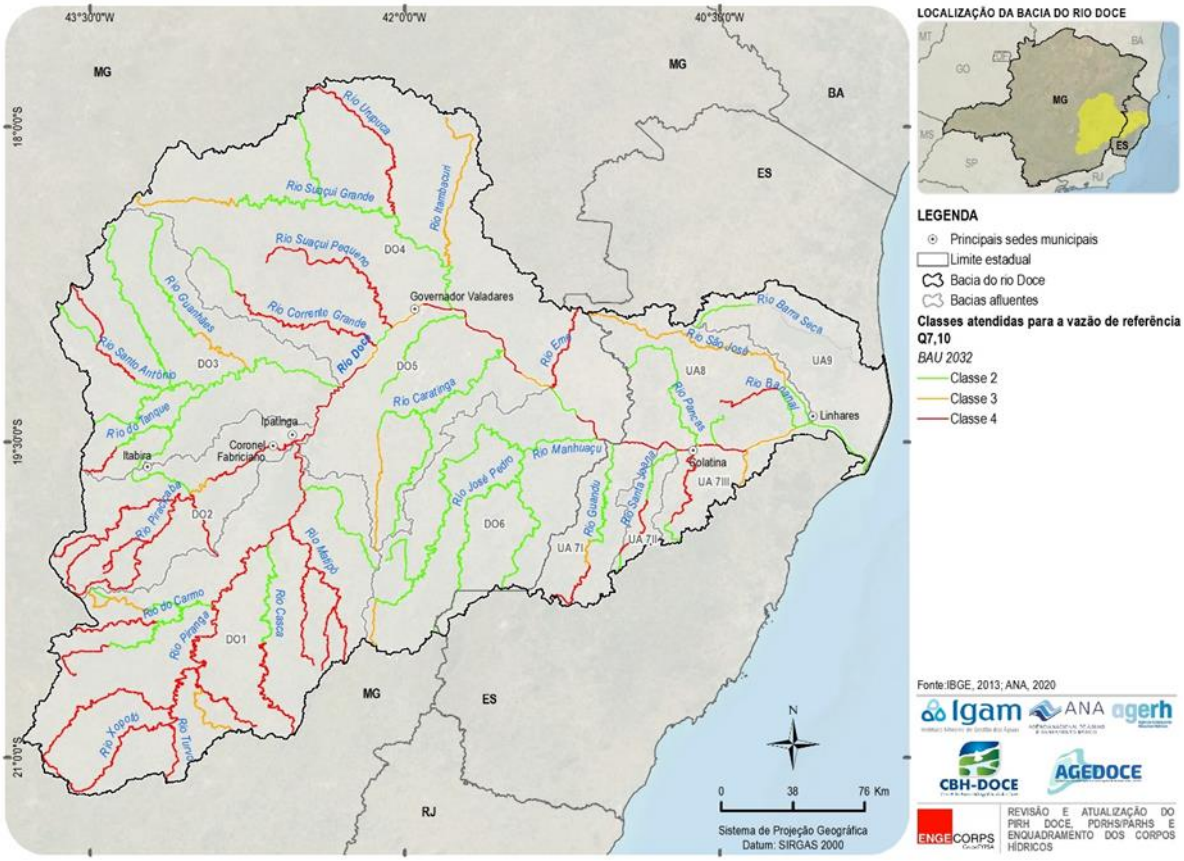


Figura 6.15 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2032 – Vazão Q7,10

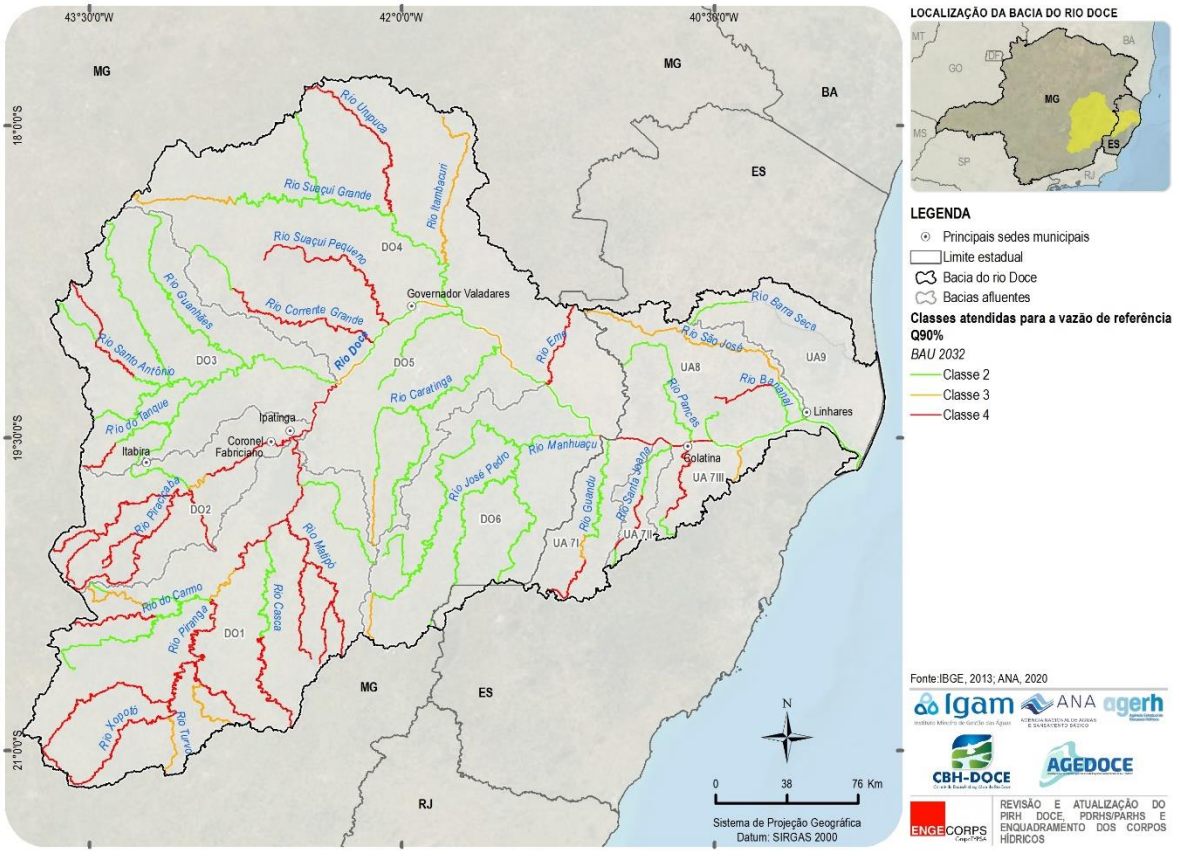


Figura 6.16 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2032 – Vazão Q90%

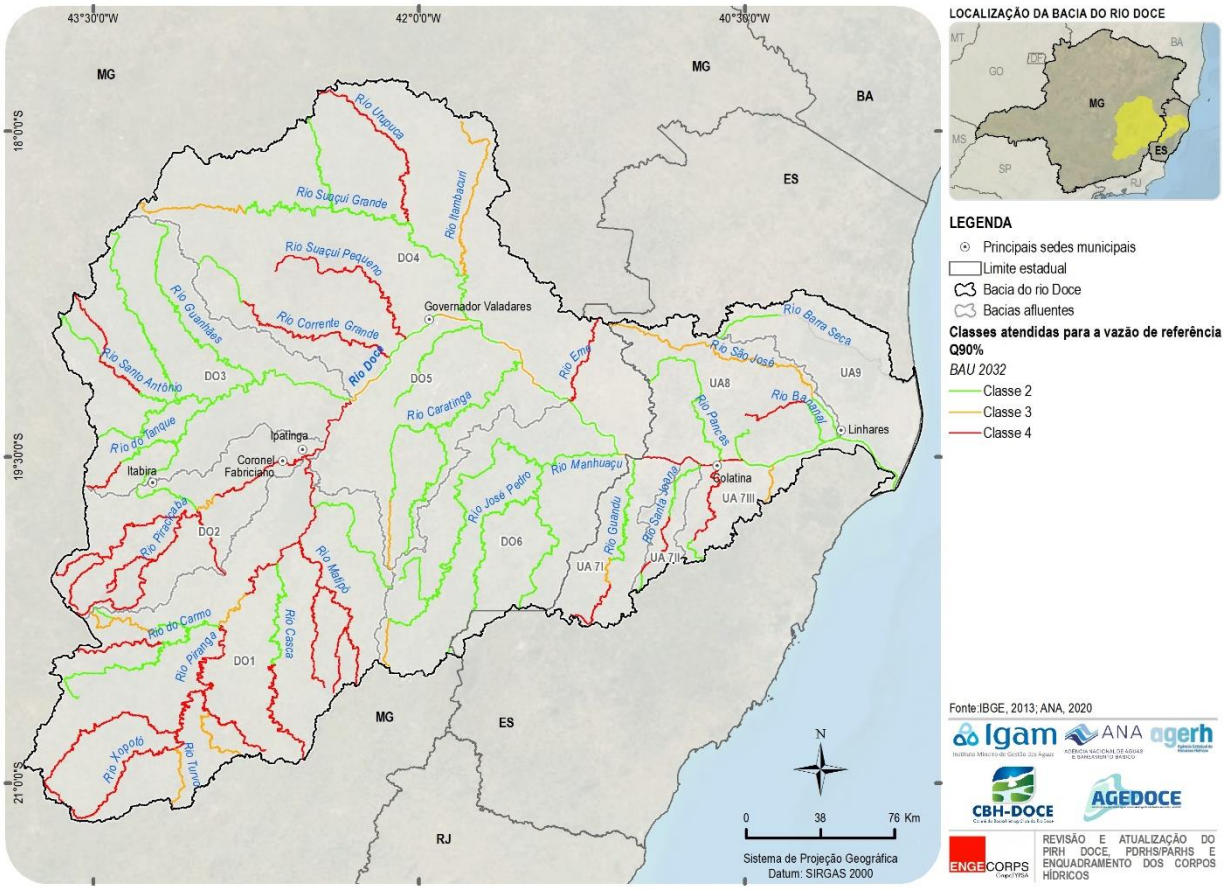


Figura 6.17 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2032 – Vazões de Referência

Vale citar, inicialmente, que, mais uma vez, a adoção de distintas vazões de referência não se reflete em diferenças expressivas nas classes atendidas pelos cursos d'água simulados com apoio de modelo matemático.

Para o horizonte de médio prazo, mesmo na **combinação 1**, está prevista a ampliação de medidas de gestão relacionadas com a coleta e o tratamento de esgotos, trazendo como consequência positiva para a bacia a melhoria da qualidade das suas águas, como pode ser verificado pela comparação entre as Figuras 6.8 a 6.10 representativas do ano de 2027, com as Figuras 6.14 a 6.16, ilustrativas do Cenário Tendencial de 2032.

Como já referido, as medidas de gestão previstas especificamente para o saneamento foram descritas no item 3.3.1.6 do Capítulo 3.

Cabe retornar novamente ao item 4.4 deste relatório, em que estão demonstradas as reduções ou pequenas elevações de cargas poluentes obtidas para quase todos os parâmetros no ano de 2032, justificando a expressiva melhoria geral da qualidade das águas da bacia em relação ao cenário de 2027.

Na Figura 6.18, relacionam-se os parâmetros que mais contribuíram para classes de pior qualidade na bacia do rio Doce, apresentando esse comportamento nas simulações com pelo menos uma vazão, considerando as cargas poluentes do Cenário Tendencial do horizonte do ano de 2032. Verifica-se, novamente, que à exceção do ferro dissolvido, todos os demais

parâmetros são típicos de poluição por cargas de origem orgânica. Conforme já referido, uma abordagem específica sobre os teores de ferro presentes nas águas da bacia do rio Doce será apresentada no item 6.4 deste capítulo.

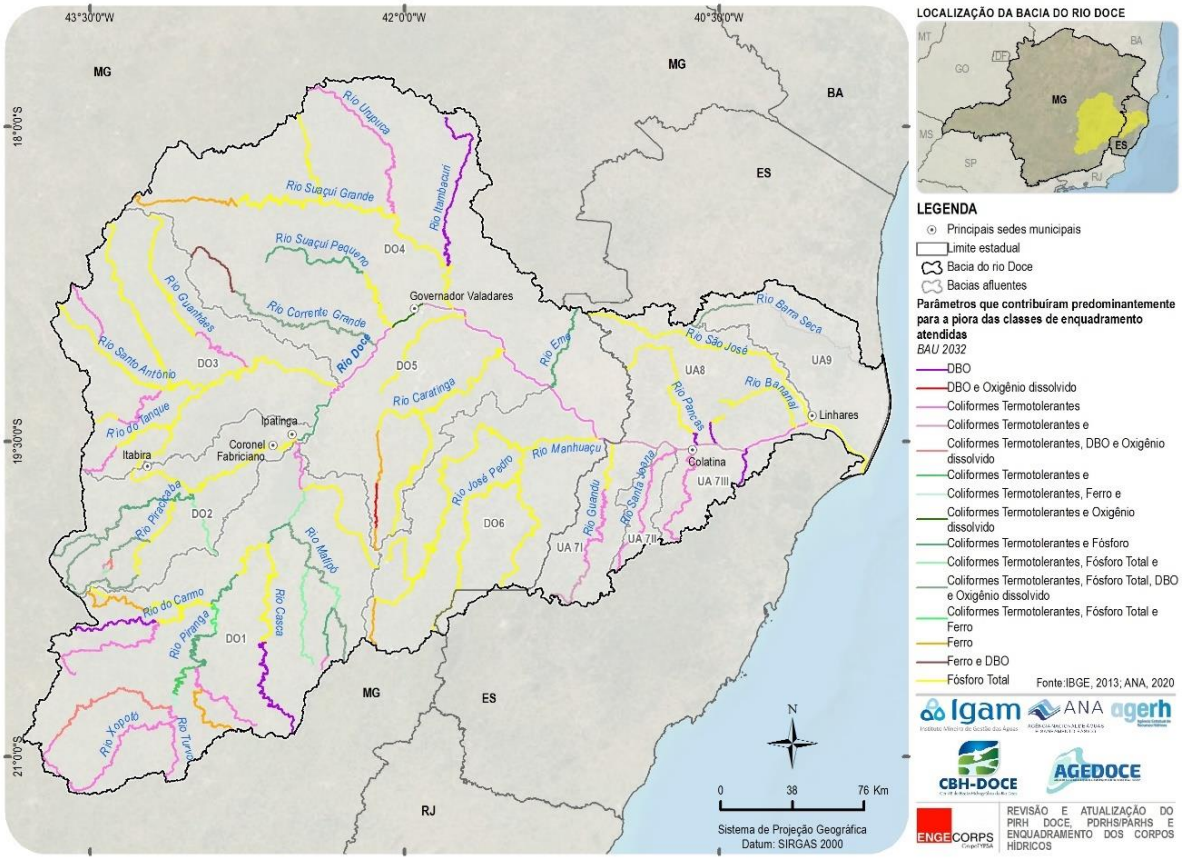


Figura 6.18 - Parâmetros que Contribuíram Predominantemente para a Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações com pelo Menos uma das Vazões – Cenário Tendencial 2032

No gráfico da Figura 6.19, estão sintetizados, em percentuais de sua extensão, os trechos de cursos d'água mais impactados pelos parâmetros poluentes.

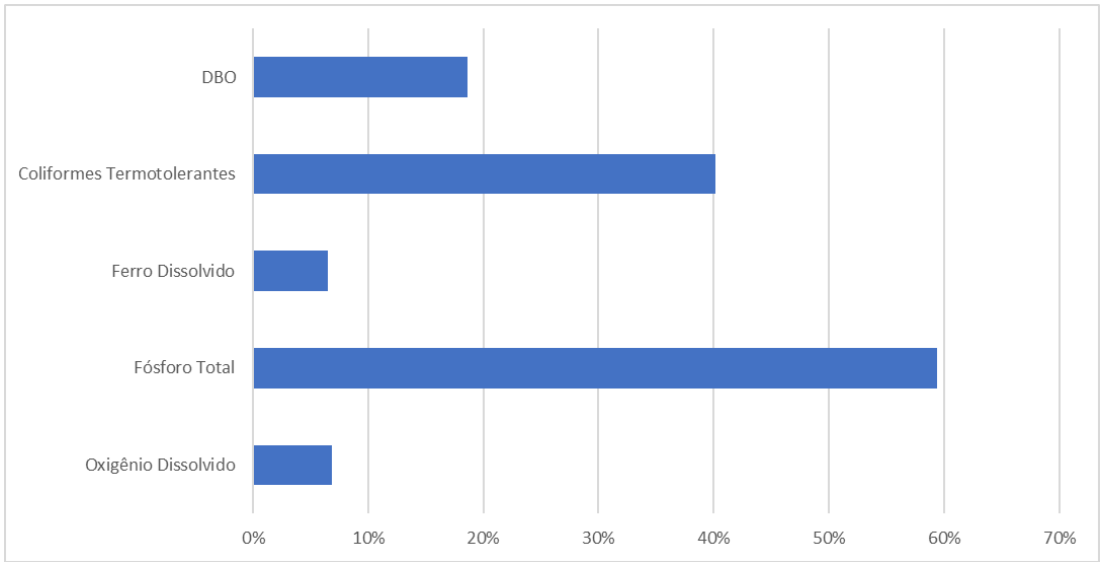


Figura 6.19 - Percentual de Trechos para cada Parâmetro Responsável pela Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações para o Cenário Tendencial de 2032

Observa-se uma participação percentual inferior dos parâmetros representativos de cargas de origem orgânica em relação às de ferro dissolvido, para as quais não há medidas de gestão previstas.

6.2.3.3 Horizonte do Ano 2042

Finalmente, as Figuras 6.20 a 6.22 mostram as classes de qualidade atendidas pelos cursos d'água modelados no Cenário Tendencial para o horizonte de longo prazo, o ano de 2042. A Figura 6.23 mostra a compilação dos resultados, considerando as respectivas vazões de referência dos órgãos gestores, ou seja, os trechos mineiros com a $Q_{7,10}$, os capixabas com a $Q90_{\%}$ e os rios de domínio da União com a $Q95_{\%}$.

Quanto às diferenças obtidas para cada uma das vazões de referência, mais uma vez, elas são pequenas.

Observa-se uma ligeira melhoria na qualidade das águas da bacia em relação ao horizonte de 2032, basicamente, porque as medidas de gestão estão previstas com mais intensidade no médio prazo, resultando no que foi apresentado e comentado no item 4.4 do Capítulo 4 tanto para o ano de 2032 quanto para o longo prazo (ano de 2042).

Na Figura 6.24, relacionam-se os parâmetros que mais contribuíram para classes de pior qualidade na bacia do rio Doce, apresentando esse comportamento nas simulações com pelo menos uma vazão, considerando as cargas poluentes do Cenário Tendencial do horizonte do ano de 2042. Verifica-se, mais uma vez, que à exceção do ferro dissolvido, todos os demais parâmetros são típicos de poluição por cargas de origem orgânica de período seco. Conforme já referido, uma abordagem específica sobre os teores de ferro presentes nas águas da bacia do rio Doce será apresentada no item 6.4 deste capítulo.

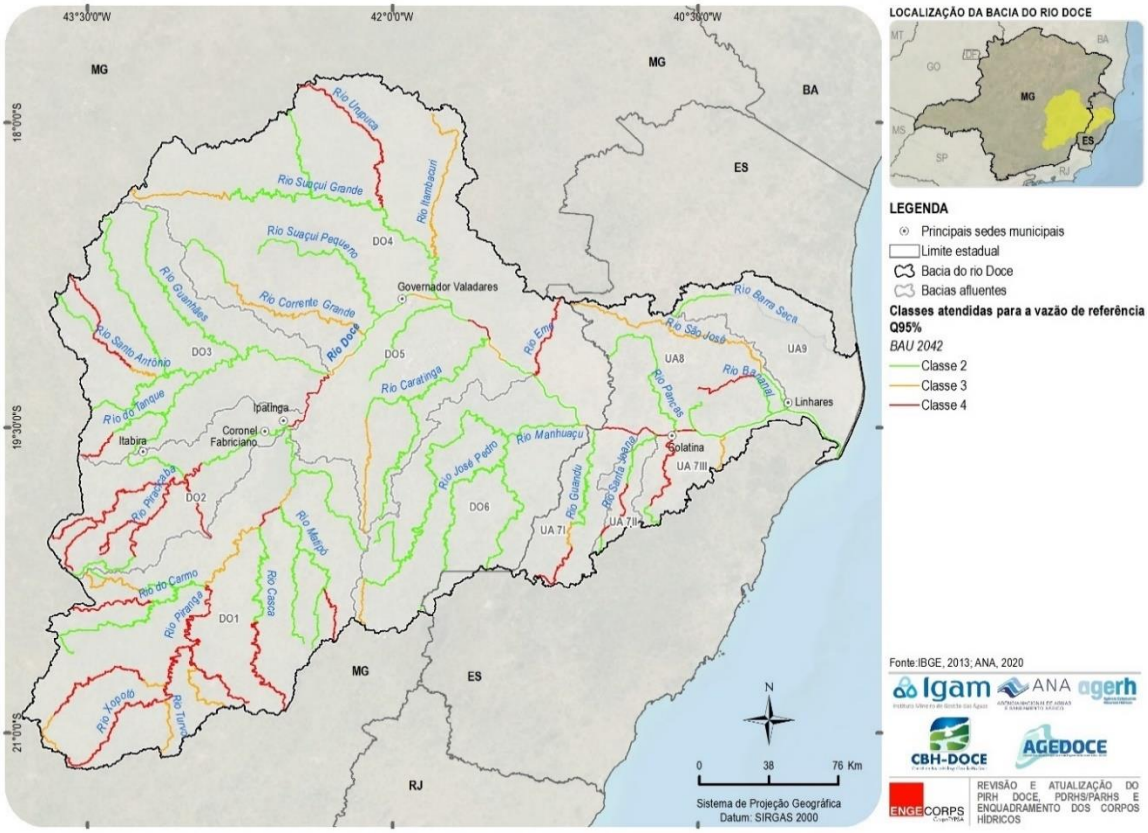


Figura 6.20 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2042 – Vazão Q95%

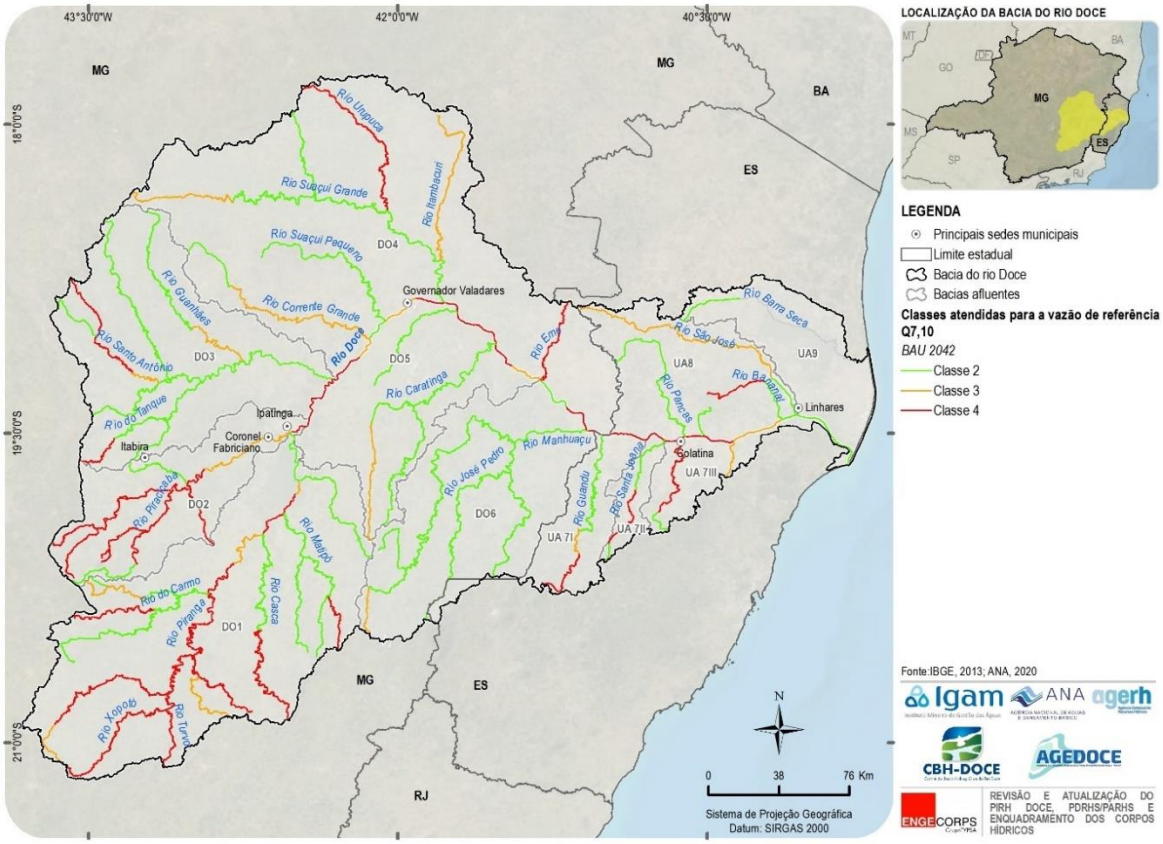


Figura 6.21 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2042 – Vazão Q7,10

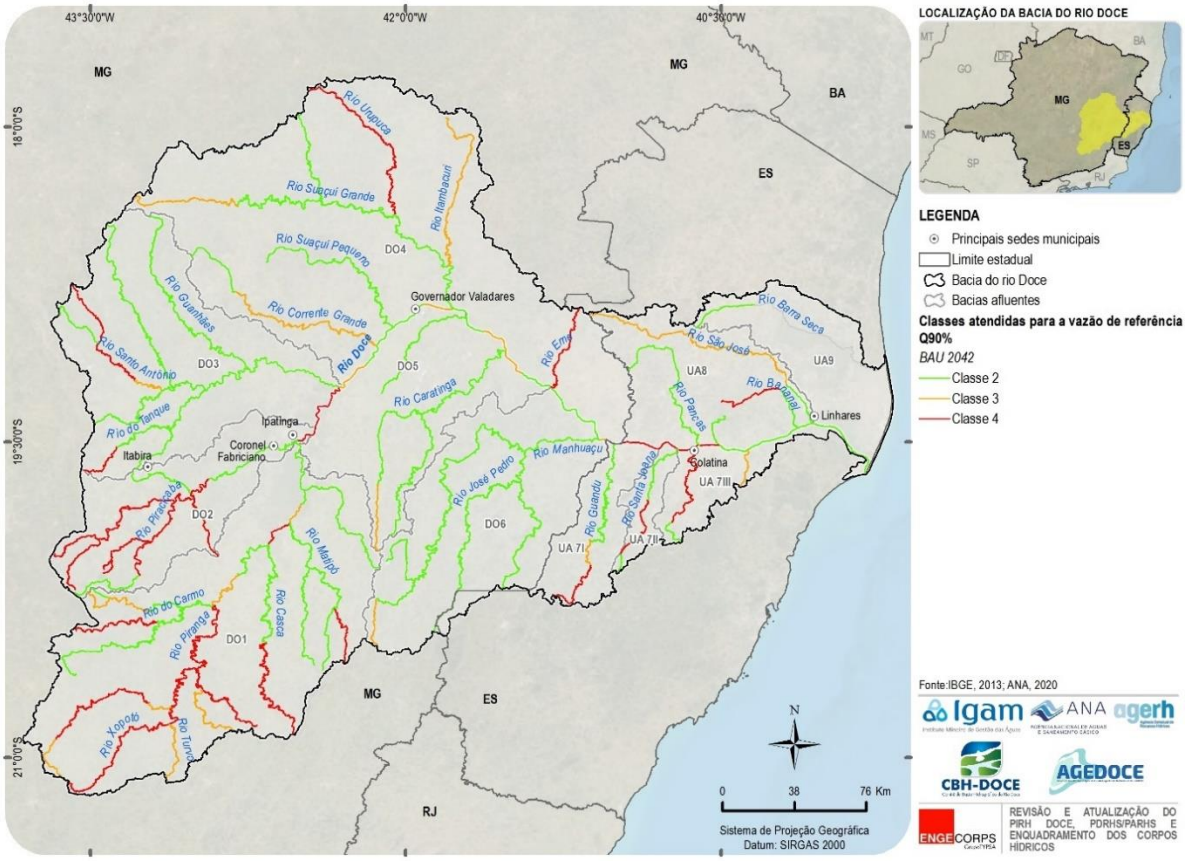


Figura 6.22 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2042 – Vazão $Q_{90\%}$

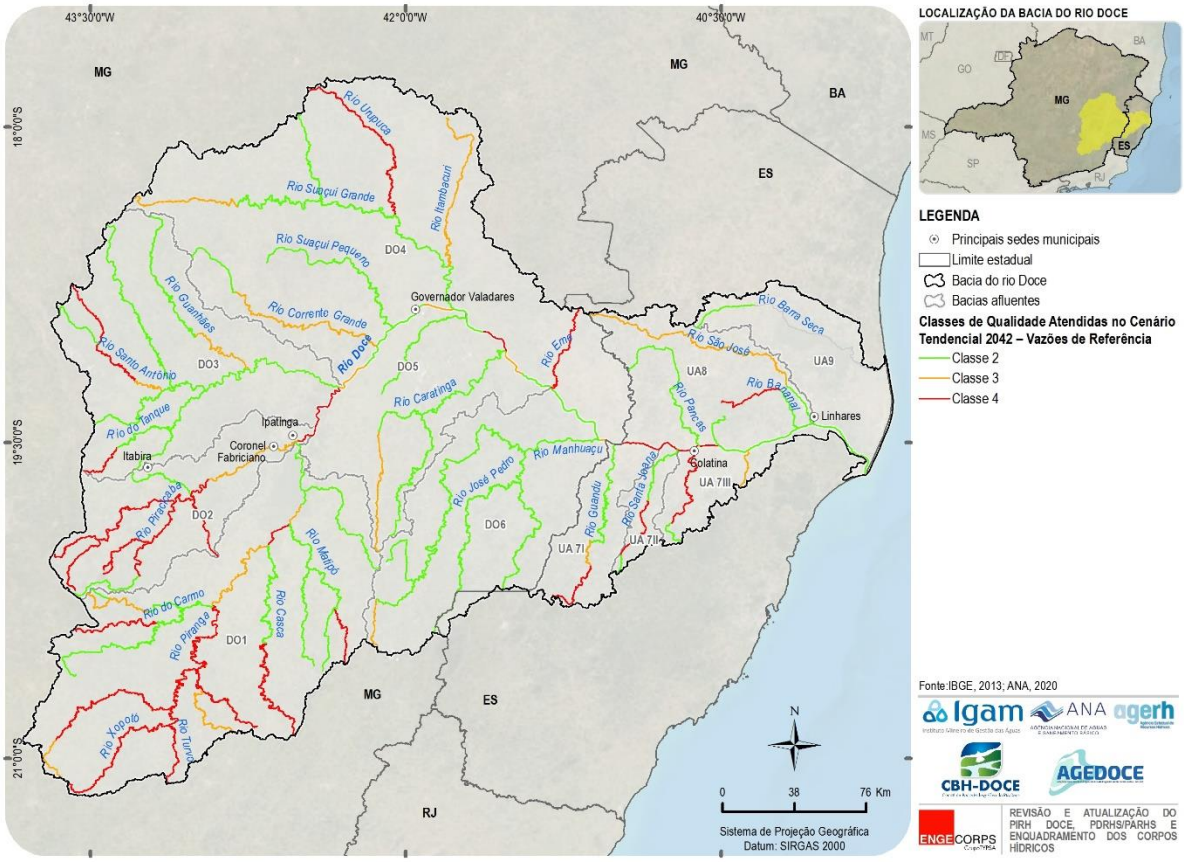


Figura 6.23 - Classes de Qualidade Atendidas no Cenário Tendencial 2042 – Vazões de Referência

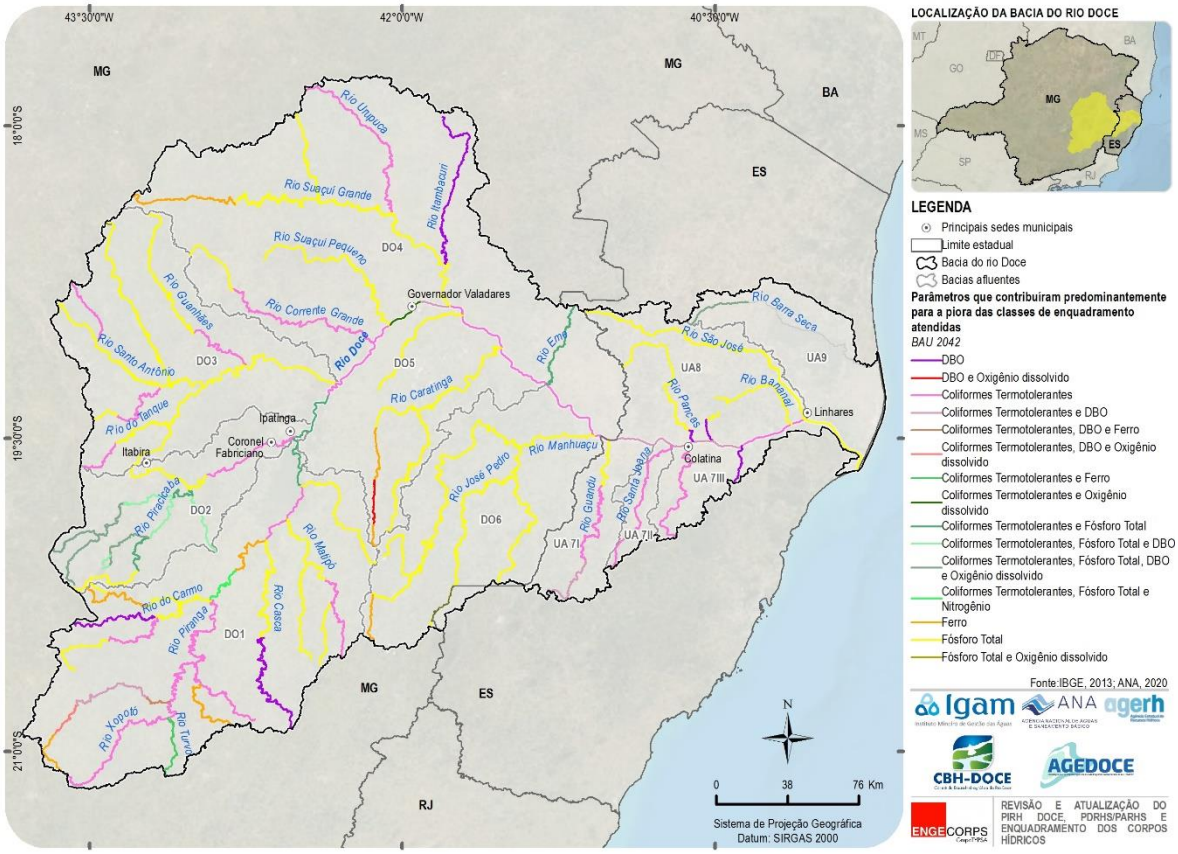


Figura 6.24 - Parâmetros que Contribuíram Predominantemente para a Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações com pelo Menos uma das Vazões – Cenário Tendencial 2042

No gráfico da Figura 6.25, estão sintetizados, em percentuais de sua extensão, os trechos de cursos d'água mais impactados pelos parâmetros poluentes representados espacialmente na Figura 6.24.

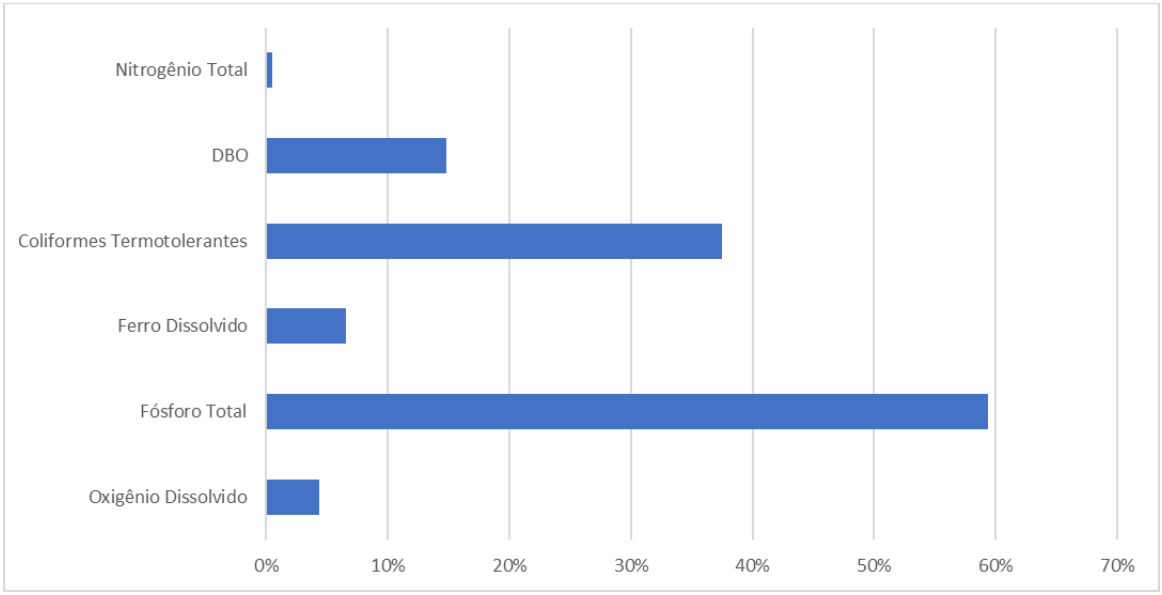


Figura 6.25 - Percentual de Trechos para cada Parâmetro Responsável pela Piora das Classes de Enquadramento Atendidas nas Simulações para o Cenário Tendencial de 2042

Observa-se que a extensão dos cursos d'água afetados por esses parâmetros em toda a bacia apresenta alguma redução em relação ao cenário de 2032, como seria esperado, pelo aumento, ainda que pequeno, das medidas de gestão propostas entre o médio e o longo prazo.

6.3 PROPOSTA PARA SELEÇÃO DOS PARÂMETROS DE REFERÊNCIA PARA O ENQUADRAMENTO

A seleção de parâmetros de referência para o Enquadramento deve ser realizada considerando um conjunto de premissas básicas, como se expõe a seguir.

Em primeiro lugar, os parâmetros devem ser representativos da qualidade da água da bacia resultante das atividades antrópicas geradoras das maiores cargas poluentes; tais atividades devem ser aquelas passíveis de intervenção, visando à melhoria progressiva dessa qualidade. Assim, um constituinte natural das rochas e solos da bacia hidrográfica não é adequado para monitorar o avanço ou a redução de atividades poluentes, uma vez que está presente nas águas, independentemente da ação humana; no caso da bacia do rio Doce, o ferro e o arsênio, dentre outros metais, integram o grupo desses constituintes.

Os parâmetros que se mostrarem responsáveis pela maior quantidade de trechos de cursos d'água em desconformidade com as classes que deveriam atender, em face dos usos futuros preponderantes mais exigentes, devem ser priorizados quando da seleção dos parâmetros de referência para o Enquadramento. Avaliou-se que as cargas de origem orgânica são predominantes na bacia do rio Doce, com maior ênfase nas simulações para períodos secos, grande parte delas proveniente de esgotos domésticos lançados nos corpos hídricos sem tratamento prévio (ver itens 2.2.3, 4.4 e 6.1 deste relatório).

Ademais, as fontes de poluição pontuais, além de serem passíveis de intervenção com maior facilidade, adquirem maior relevância quando se opta pelo Enquadramento considerando a qualidade das águas característica de períodos secos. Com efeito, nesses períodos, a lixívia dos terrenos provocada pelas precipitações perde importância, enquanto os esgotos domésticos e industriais continuam sendo lançados no ambiente hídrico, tratados ou *in natura*.

Quando a bacia possui um sistema de monitoramento da qualidade das águas implantado, a adoção de parâmetros que já são monitorados de forma sistemática é preferível, em detrimento de parâmetros que necessitem de procedimentos de coleta, preservação de amostras e análises de laboratório mais complexas e onerosas. Parâmetros que são medidos *in situ*, com utilização de sondas paramétricas contribuem para reduzir o custo do seu monitoramento.

Tendo em vista que o objetivo básico da seleção dos parâmetros é o de acompanhar a evolução das metas progressivas de qualidade das águas, que estão associadas às classes de qualidade pretendidas pela sociedade da bacia no curto, médio e longo prazos, é necessário que esses parâmetros possuam limites estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 e legislação equivalente de Minas Gerais e Espírito Santo, já mencionada. Vale observar que, no caso da bacia do rio Doce, o trecho de jusante do rio Doce que se estende por cerca de 6 km até sua foz, no Oceano Atlântico, possui águas salobras, bem como trechos de alguns cursos d'água situados na região costeira. O restante dos corpos hídricos da bacia possui águas doces.

Adicionalmente, é necessário ressaltar que, para apoio aos estudos de Enquadramento dos corpos d'água da bacia do rio Doce, está sendo utilizada modelagem matemática de simulação da qualidade das águas e os modelos adotados foram calibrados na etapa de Diagnóstico, tendo sua calibração refinada na presente etapa de Prognóstico, tal como exposto no item 2.2.1 do Capítulo 2 deste relatório. Dessa forma, os parâmetros de referência para o Enquadramento estão bem representados na calibração dos modelos, o que constitui outra premissa importante a ser levada em conta.

Diante do exposto e avaliando o conteúdo do item 4.4 deste relatório, em conjunto com o conteúdo dos itens 2.2.3 do Capítulo 2 e item 6.2 deste capítulo, sugere-se que os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos que poderiam ser adotados seriam os seguintes, todos eles com limites máximos admissíveis em cada classe de qualidade prevista na Resolução do CONAMA nº 357/2005 e na legislação correlata de Minas Gerais e Espírito Santo:

- ✓ **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**: define a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes no ambiente hídrico, sendo o parâmetro mais utilizado para medir o nível de poluição das águas, uma vez que esses microrganismos (bactérias aeróbias, por exemplo) realizam a decomposição da matéria orgânica no meio aquático por meio de processos oxidativos, sobretudo pela respiração. A DBO também é um parâmetro importante para dimensionar e indicar a eficiência das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), porque, ao se comparar a DBO do esgoto bruto com a do efluente final é possível verificar se a matéria orgânica está sendo consumida e se o descarte não vai causar nenhum desequilíbrio no corpo receptor dos efluentes. Níveis de DBO são reduzidos com relativa facilidade em ETEs, com alta eficiência de remoção. A DBO vem sendo monitorada na grande maioria das estações de monitoramento de qualidade da água da bacia;
- ✓ **Carbono Orgânico Total (COT):** é considerado o parâmetro mais conveniente para quantificar o carbono orgânico presente nas águas, pois independe do estado de oxidação da matéria orgânica e não mede outros elementos ligados à cadeia dos compostos orgânicos tais como nitrogênio e hidrogênio, além de compostos inorgânicos que contribuem para a medida de parâmetros tais como a DBO. Em atendimento à Resolução do CONAMA nº 357/2005 e legislação correlata de Minas Gerais e do Espírito Santo, deve ser monitorado em substituição à DBO nos trechos de águas salobras;
- ✓ **Oxigênio Dissolvido (OD)**: trata-se de parâmetro fundamental para representar o "saldo" de oxigênio presente nas águas e indicar a "saúde" do ecossistema hídrico, sendo um fator limitante para manutenção da vida aquática e de processos de autodepuração em corpos d'água; mostrou excelente calibração quando da aplicação da modelagem matemática e integra o grupo de parâmetros que já são monitorados *in situ* na bacia com utilização de sonda paramétrica, com dados disponíveis na maioria das estações;
- ✓ **Fósforo Total (Ptotal)**: trata-se de outro parâmetro indicativo da poluição das águas decorrente de fontes de origem orgânica, que se mostrou presente em níveis elevados na bacia do rio Doce, causando, inclusive, desconformidades importantes das classes de qualidade necessárias em relação às atendidas. Embora seja de mais difícil remoção do que a DBO em ETEs, é possível reduzir seus níveis com adoção de sistemas de tratamento

terciários, com precipitação química e/ou filtração (mais comum), ou ainda com tratamento biológico avançado, com rigoroso controle da operação (menos comum). O fósforo total é parâmetro que também já faz parte do conjunto de variáveis monitoradas na bacia do rio Doce;

- ✓ **Coliformes termotolerantes**: constitui o parâmetro que mais contribuiu para desconformidades entre as classes de qualidade necessárias em face dos usos mais exigentes e as classes atendidas atualmente na grande maioria dos trechos de cursos d'água modelados, tal como demonstrado no item 2.2.3 do Capítulo 2 e 6.1 deste capítulo. É passível de remoção em ETEs, sendo mais comum a desinfecção com agente oxidante (geralmente o Cloro) ou inativante, com emprego de luz ultravioleta. Alternativamente, podem ser utilizadas tecnologias avançadas, que retêm os patogênicos em filtros especiais (ultrafiltração com membranas, por exemplo), porém, exigem rigoroso controle da operação. Esse parâmetro microbiológico também já faz parte do conjunto de variáveis monitoradas na bacia do rio Doce.

Dessa forma, e como sugestão, julga-se que esses cinco parâmetros, que atendem às premissas antes expostas poderiam atender ao conjunto de parâmetros para o monitoramento das metas progressivas do Enquadramento na bacia do rio Doce ao longo da implementação do seu Programa de Efetivação.

Cabe aqui uma avaliação adicional referente aos teores de ferro dissolvido, que também se mostraram elevados na bacia.

O ferro é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, de cuja composição participa com 4,5% em massa, superado apenas pelo oxigênio, o silício e o alumínio (CARVALHO *et al.*, 2014)[125]. Encontrado na forma de óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos, esse elemento é componente acessório ou principal de rochas cristalinas, sedimentares e metassedimentares ocorrentes na bacia hidrográfica do rio Doce.

Na porção mineira da bacia, são comuns as rochas metassedimentares ferruginosas, como o Itabirito, extraído economicamente para produção de ferro. Os principais depósitos são constituídos por formações ferríferas bandadas, contendo principalmente minerais de sílica e de ferro (hematita, magnetita e algumas variedades de carbonatos e silicatos), originados provavelmente por precipitação química. O ferro também aparece na composição das rochas cristalinas, que se estendem predominantemente por 79.783 km², correspondentes a quase 93% da área total da bacia do Rio Doce, incorporado em minerais ferro-magnesianos silicatados do grupo dos piroxênios, anfibólios e micas.

A presença e importância do ferro nas formações geológicas da bacia pode ser mensurada por dados do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Segundo o órgão, dos 8.452 processos minerários ativos em Minas Gerais, referentes ao ano de 2021, 1.596 reportam-se à mineração de ferro – como substância principal ou como subproduto – comprovando o potencial geológico da bacia na formação de jazidas desse metal.

[125] CARVALHO, P.S.L; SILVA, M.M.; ROCIO, M.A.R & MOSZKOWICZ, J. Insumos Básicos. Minério de ferro. BNDES Setorial, n. 39, 2014

Expostas a agentes atmosféricos (chuva e temperatura) e biológicos (ácidos orgânicos), as rochas e minerais sofrem desintegração e decomposição num processo contínuo de transformação que leva à formação do solo. A lixiviação do solo por águas pluviais, em condições ambientais de oxi-redução adequadas, libera o ferro em seu estado ferroso (solúvel). As águas enriquecidas em ferro dissolvido movem-se no sentido descendente até alcançar os lençóis subterrâneos ou movem-se segundo os gradientes topográficos para as bacias de drenagem superficiais.

Teores de ferro acima do limite de potabilidade têm sido encontrados frequentemente em amostras de águas subterrâneas extraídas de poços perfurados nos diversos aquíferos da bacia do rio Doce, conforme publicado em vários estudos hidrogeológicos. Um levantamento com 1.136 poços da COPASA perfurados nessa bacia mostrou que em 298 deles (26%) os limites de ferro total na água subterrânea ultrapassaram 0,3 mg/L. A presença de ferro dissolvido nas águas superficiais da bacia, com teores acima dos limites permitidos para águas de Classe 2 (0,3 mg/L), tem sido comumente registrada nas estações de monitoramento distribuídas pela bacia do rio Doce. Oscilações de grande amplitude dos teores desse metal, alternando-se entre valores abaixo e acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de Classe 2, são ocorrências recorrentes constatadas no monitoramento do ferro nessas águas.

A despeito da inequívoca origem vinculada ao complexo arcabouço geológico da bacia, não foram identificados estudos técnicos que possam atribuir um valor de *background* regional de ferro para as águas superficiais da bacia do rio Doce, de modo a distinguir entre contribuição natural e contribuição antrópica. Como os teores de ferro oscilam e frequentemente ultrapassam o valor de referência da Resolução CONAMA antes mencionada, são relacionados arbitrariamente a episódios de contaminação, ainda que as fontes potenciais geradoras e seus reais impactos sejam pouco conhecidos.

Com o objetivo de demonstrar que os teores de ferro dissolvido presentes nas águas superficiais podem ser naturalmente elevados em razão dos constituintes litológicos presentes na bacia, foram selecionadas as estações de monitoramento RD04 e RD068 (DO1 – Piranga); RD078 (DO3 – Santo Antonio) e RD085 (DO4 – Suaçuí), localizadas conforme mostrado na Figura 6.26. Essas estações situam-se em áreas com pouca interferência antrópica e sem atividades de mineração, cujas águas superficiais reproduzem condições próximas às do ambiente natural.

A Figura 6.27 mostra os gráficos de correlação entre pluviosidade e concentração máxima mensal de ferro dissolvido nas águas superficiais, medida nas estações acima citadas. Nos gráficos é possível observar que os teores desse metal oscilam em correspondência com as precipitações atmosféricas, diminuindo no período de estiagem e aumentando no período chuvoso, quando o carreamento de substâncias ferruginosas das bacias hidrográficas é intensificado.

Valores estatísticos obtidos nas estações analisadas mostram a variabilidade dos teores de ferro dissolvido registrados nas águas superficiais (Quadro 6.2). Valores acima de 0,3 mg/L são frequentes e, no caso da RD085, representam quase 60% das amostras.

QUADRO 6.2 - VALORES ESTATÍSTICOS DOS TEORES DE FERRO DISSOLVIDO (MG/L) MENSURADOS NAS ESTAÇÕES RD04, RD068, RD078 E RD085

Valores estatísticos dos teores de ferro dissolvido (mg/L)						
Estação	***Nº Registros***	***Mínimo***	***Máximo***	***Média***	***Mediana***	***% acima de 0,3 mg/L***
RD04	82	0,038	1,149	0,332	0,248	42,7
RD068	47	0,077	0,775	0,261	0,258	25,5
RD078	48	0,078	0,664	0,264	0,248	33,3
RD085	48	0,118	0,802	0,370	0,340	56,3

Elaboração ENGECORPS, 2022

Os dados analisados refletem as condições de áreas pouco ou nada impactadas pelas atividades humanas, corroborando a interpretação da proveniência natural do ferro, associada ao arcabouço geológico da bacia do rio Doce. As oscilações frequentes dos teores de ferro observadas nos pontos de monitoramento tornam impraticável a determinação de um valor de *background* regional para as águas superficiais da bacia com maior precisão, porém, os dados analisados sugerem que os teores medidos nas águas sejam de origem natural.

Dessa forma, o ferro dissolvido não se mostra um parâmetro adequado para compor o conjunto de parâmetros a ser adotado para monitoramento das metas do Enquadramento.

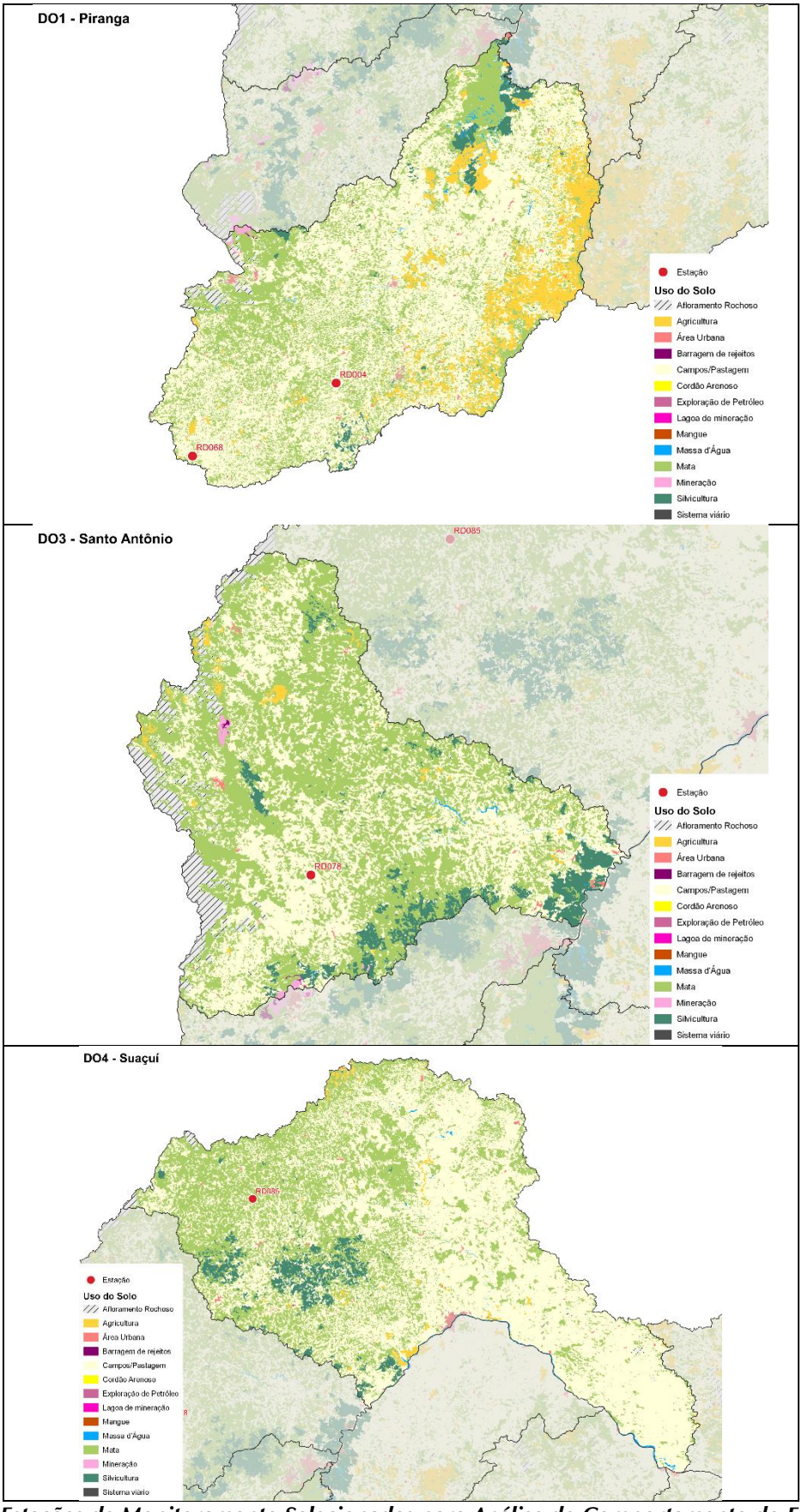


Figura 6.26 - – Estações de Monitoramento Selecionadas para Análise do Comportamento do Ferro Dissolvido nas Águas Superficiais

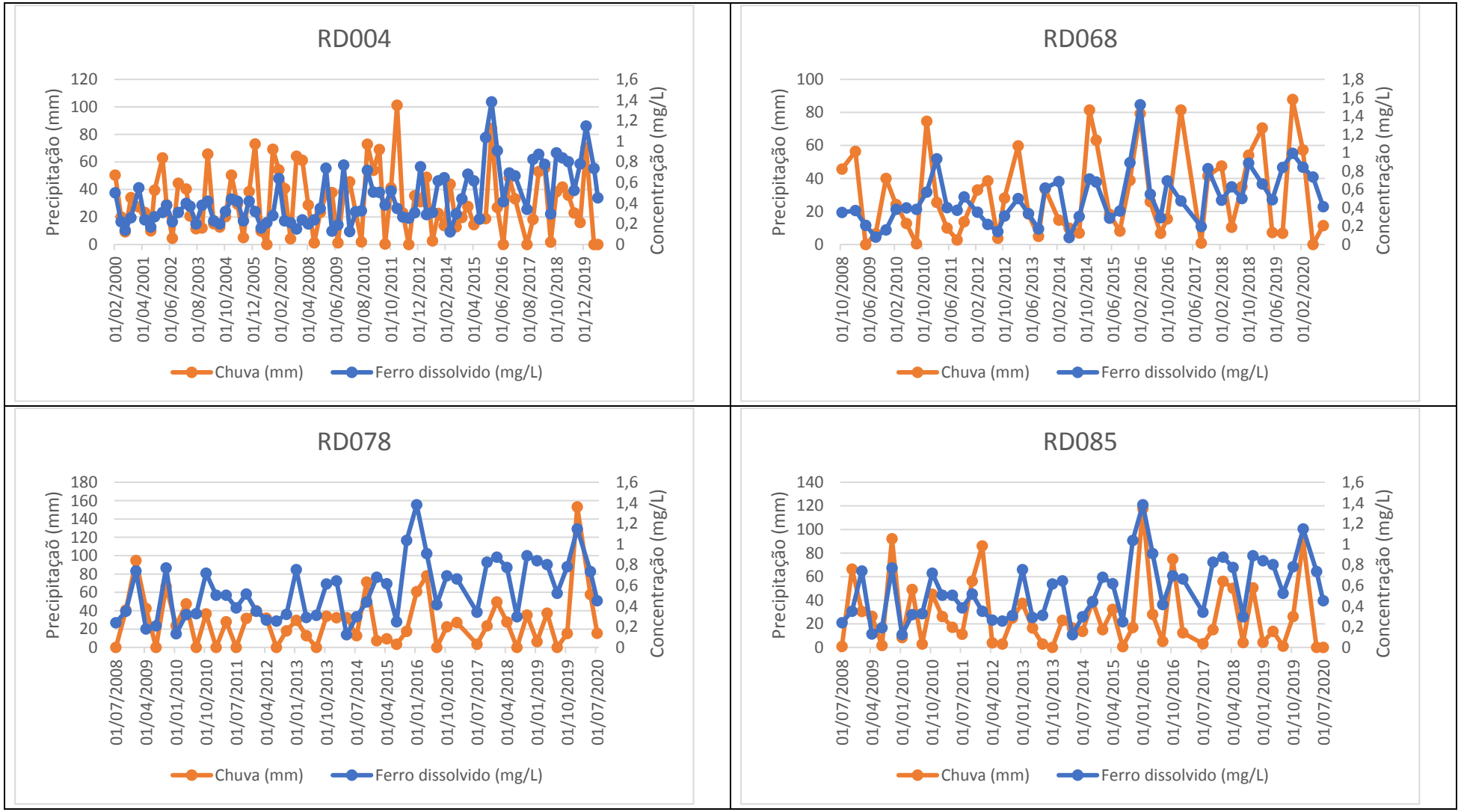


Figura 6.27 – Correlação entre Concentração de Ferro e Precipitação nas Estações Selecionadas

6.4 CONSIDERAÇÕES PARA A SELEÇÃO DE VAZÕES DE REFERÊNCIA

Segundo já descrito no PP 03 (etapa de Diagnóstico) e no item 6.2 deste capítulo, os órgãos gestores de recursos hídricos com atuação na bacia do rio Doce se utilizam de diferentes vazões para gestão dos recursos hídricos:

- ✓ A ANA se utiliza da vazão $Q_{95\%}$, vazão de permanência igualada ou superada em 95% do tempo, para gestão da calha do rio Doce e para o rio José Pedro, ambos cursos d'água de domínio da União;
- ✓ O IGAM adota a vazão $Q_{7,10}$, vazão média mínima de sete dias consecutivos e dez anos de período de retorno, para gestão dos cursos d'água de domínio do estado de Minas Gerais; e
- ✓ A AGERH se utiliza da $Q_{90\%}$, vazão de permanência igualada ou superada em 90% do tempo, para gestão dos cursos d'água de domínio do estado do Espírito Santo.

O modelo matemático de simulação da qualidade das águas na bacia está calibrado para essas três vazões, e os resultados da modelagem realizada com vistas ao Prognóstico foram apresentados no item 6.2.3 para o cenário tendencial, considerando as vazões de referência acima relacionadas.

Como visto no item 6.2.3, as diferenças resultantes da utilização de uma das três vazões são pequenas, sendo os resultados das simulações realizadas bastante semelhantes, em todos os horizontes temporais do cenário tendencial que considera a **combinação 1** (Endógeno BAU, Exógeno Tendencial).

Com base no que foi exposto no item 6.2.3, e visando subsidiar as análises para seleção da vazão de referência para o Enquadramento, apresenta-se, no Quadro 6.3, a quantificação, em extensão dos cursos d'água, dos resultados da modelagem do Cenário Tendencial para o ano de 2032, horizonte em que a melhoria da qualidade das águas é mais evidente após o curto prazo, para as três vazões de referência ($Q_{90\%}$, $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$). No quadro, entre parêntesis, consta o percentual da extensão que atende a cada classe em relação ao total dos rios modelados em toda a bacia do rio Doce.

QUADRO 6.3 - QUANTIFICAÇÃO, EM EXTENSÃO, DOS CURSOS D'ÁGUA MODELADOS, POR CLASSE ATENDIDA E VAZÃO, PARA O CENÁRIO TENDENCIAL 2032 (KM)

Classes Atendidas	$Q_{90\%}$	$Q_{95\%}$	$Q_{7,10}$
1	0	0	0
2	3.812,5 (56%)	3.720,7 (55%)	3.383,8 (50%)
3	876,3 (13%)	954,2 (14%)	947,2 (14%)
4	2.119,2 (31%)	2.133,2 (31%)	2.477,1 (36%)

Elaboração ENGECORPS, 2022

Em média, 53% dos trechos modelados atendem à classe 2, 14% à classe 3 e 33% à classe 4. Embora pequenas, existem diferenças, principalmente para a vazão mais restritiva $Q_{7,10}$.

Na DO1, a piora das classes, com a redução da vazão, ocorre: nos rios Ponte, Mainart e Turvo; nos córregos Cristais, Água Limpa e Amas; e nos ribeirões Cachoeira, Águas Claras e Macuco, totalizando cerca de 100 km de extensão. Para as vazões $Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$ as classes desses mananciais variam entre 2 e 3, passando para 4 na condição de $Q_{7,10}$.

Assim como na DO1, as bacias afluentes DO2 e DO3 apresentaram piora das classes com a vazão $Q_{7,10}$ nos rios Santa Bárbara, Piracicaba e Guanhães, totalizando, aproximadamente, alterações em 155 km de extensão dos rios da DO2 e 56 km da DO3.

Já na DO5, cerca de 38 km do rio Caratinga piorou de classe na simulação com a $Q_{95\%}$ e com a $Q_{7,10}$, passando de classe 2 (com a $Q_{90\%}$) para classe 3.

Quanto aos rios de domínio da União, apenas o rio Doce apresentou mudanças na classe atendida com a vazão $Q_{7,10}$, resultando em cerca de 257 km de trechos com piora de classe, sendo 166 km no Médio Doce, 52 no Baixo Doce e 39 km no Alto Doce.

Em relação às bacias afluentes DO4, DO6 e bacias capixabas, as classes permaneceram as mesmas para as três vazões de referência.

Os gráficos da Figura 6.28 ilustram a quantificação das classes atendidas, por bacias afluentes e rios de domínio da União, para cada vazão de referência.

Dessa forma, caberá aos órgãos gestores, em conjunto com os CBHs, determinar a vazão de referência a ser adotada para o Enquadramento, que poderá ser apenas uma delas para toda a bacia ou poderão ser mantidas as vazões atualmente adotadas pelos três órgãos gestores, valendo observar que a segunda alternativa deverá criar menos dificuldades para tais órgãos gestores, que já possuem seus sistemas de gestão operacionalizados com as respectivas vazões de referência.



Figura 6.28 – Quantificação de Classes de Qualidade Atendidas para as Três Vazões de Referência, por Bacias Afluentes e Rios de Domínio da União – Cenário Tendência 2032

6.5 DIRETRIZES ADOTADAS PARA O ENQUADRAMENTO E CURSOS D'ÁGUA A SEREM ENQUADRADOS

6.5.1 Diretrizes e Procedimentos Adotadas

A principal diretriz adotada no presente estudo com relação ao Enquadramento dos corpos d'água da bacia do rio Doce é a de dotar os CBHs de informações técnicas consistentes para que possam ser definidas, com mais segurança, classes de enquadramento futuras, metas progressivas para o alcance dessas classes nos horizontes de planejamento e para que seja elaborado um Programa de Efetivação do Enquadramento, cumprindo-se, assim, as etapas obrigatórias desse instrumento de gestão de recursos hídricos previstas na legislação que o define.

Nesse sentido, na primeira rodada de Oficinas e Consultas Públicas, realizadas na etapa de Diagnóstico, foi discutido o "rio que temos", com participação ativa da sociedade da bacia na indicação dos usos atuais de 51 cursos d'água, subdivididos em 189 trechos. Foi apresentada a classe de qualidade atualmente atendida por todos esses trechos e estabelecida a classe que deveria ser atendida em face dos usos atuais preponderantes mais exigentes.

Os 51 cursos d'água foram objeto de modelagem matemática considerando 14 parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, atendendo ao que preconiza o Termo de Referência[126]. No item 2.2 do Capítulo 2 deste relatório, apresentaram-se adequações do Diagnóstico realizadas após a obtenção de novos dados de qualidade das águas, bem como os mapas de classes atualmente atendidas resultantes de tais adequações; esses mapas estão apresentados no item 2.2.3.

Para o estabelecimento do "rio que queremos" e, posteriormente, do "rio que podemos ter", nas Oficinas e Consultas Públicas da 2ª Rodada serão abordados os usos futuros pretendidos pela sociedade da bacia para os mesmos 51 cursos d'água já mencionados, com adoção de metodologias participativas.

Contudo, na atual etapa de Prognóstico, buscou-se ampliar a quantidade de cursos d'água que poderiam ser enquadrados, mesmo sem auxílio de modelagem matemática, atendendo a reivindicações da sociedade da bacia manifestadas durante os eventos de participação pública da etapa de Diagnóstico, validadas pelos órgãos gestores.

Trata-se, pois, da adoção de um "Enquadramento Ampliado" para os cursos d'água da bacia para os quais se disponha, pelo menos, dos usos das águas, atuais e futuros, muito embora a indisponibilidade de dados de qualidade das águas com abrangência espacial suficiente resulte em limitações, como por exemplo, o estabelecimento de metas progressivas para o enquadramento, associadas ao seu necessário Programa de Efetivação.

Esse esforço também se justifica visando à aplicação de outros instrumentos de gestão de recursos hídricos, como é o caso da outorga, em especial, a de lançamento de efluentes, ainda não implementada no estado de Minas Gerais, e da cobrança.

[126] Para maiores informações, consultar o item 10.3 do Capítulo 10 do relatório PP 03.

Nesse sentido, investigaram-se as melhores formas de ancorar o Enquadramento desse conjunto de cursos d'água que não foram objeto de modelagem matemática na maior quantidade possível de dados disponíveis, que são os seguintes, além, obviamente, dos dados de estações de monitoramento da qualidade da água existentes na bacia;

- ✓ Usos atuais das águas cadastrados e usos futuros preponderantes mais restritivos, estes, a serem obtidos na 2ª Rodada de eventos de participação pública;
- ✓ Localização de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) de áreas urbanas, na medida em que os efluentes tratados interferem na qualidade das águas do seu corpo receptor, mas levando em conta que ETEs são empreendimentos de interesse público e como tal devem ser priorizados;
- ✓ Mapeamento das Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Terras Indígenas, visto a exigência pela legislação[127] de Classes Especial e 1, respectivamente, para os cursos d'água que cruzam essas áreas;
- ✓ Informações do Atlas Águas referentes aos tipos de tratamento da água atualmente adotados e previstos (simplificado, convencional e avançado) para os municípios da bacia do rio Doce, tendo em vista que a Resolução do CONAMA nº 357/2005 e legislação correlata de Minas Gerais e do Espírito Santo estabelece classes de qualidade dos mananciais diferenciadas para cada tipo de tratamento adotado;
- ✓ Informações do Atlas Esgotos, quanto à previsão de melhorias, ampliações ou implantação de novas ETEs, com os respectivos percentuais de remoção de cargas propostos pelo estudo, para que os corpos receptores dos efluentes tratados atendam à Classe 2, o que, inclusive, foi considerado quando da construção dos cenários.

Para os cursos d'água em que se localizam as ETEs de áreas urbanas, é importante que seja feita avaliação específica quanto à mistura do efluente tratado e lançado no corpo hídrico receptor, de forma a verificar a classe possível de ser considerada. Para tanto, propõe-se utilizar o princípio básico da mistura, já adotado em metodologias consagradas de outorga para diluição de efluentes, com equação apresentada na sequência.

De uma forma geral, trata-se da mistura de um efluente tratado com concentração específica e que será diluído em um corpo hídrico e, a partir daí, constituirá uma vazão indisponível e que deve ser relacionada à concentração permitida, segundo ilustrado pela Figura 6.29. Destaca-se, nesse caso, que a concentração permitida deverá ser aquela relacionada à classe de enquadramento.

[127] Resolução CONAMA nº 357/2005; Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008; Resolução CERH/ES nº 28/2011

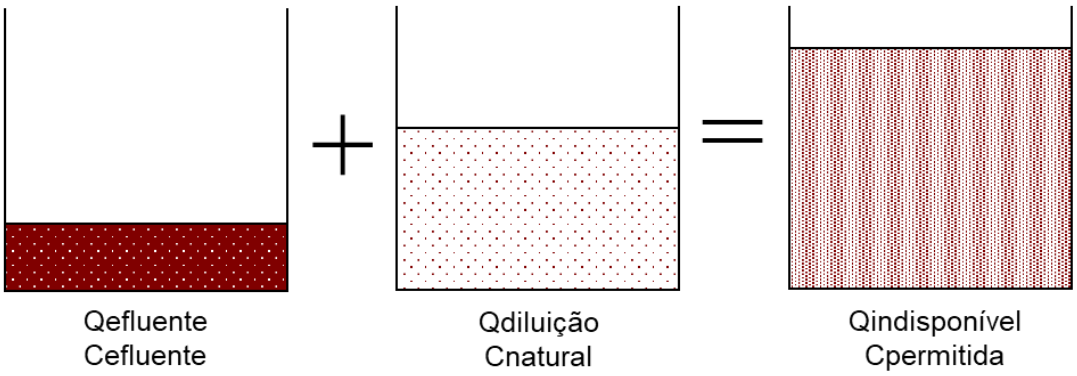


Figura 6.29 – Esquema Básico da Mistura para Diluição de Efluentes

Assim, tem-se a seguinte equação de mistura utilizada:

$$Q_{dil} = Q_{ef} . \frac{(C_{ef} - C_{perm})}{(C_{perm} - C_{nat})}$$

Em que:

- Q_{dil} = vazão de diluição (m^3/s);
- Q_{ef} = vazão do efluente (m^3/s);
- C_{ef} = concentração do efluente para o parâmetro avaliado;
- C_{perm} = concentração permitida para o parâmetro avaliado, na classe considerada de acordo com seu enquadramento;
- C_{nat} = concentração natural do parâmetro avaliado.

Dessa forma, com base na equação em questão e nas informações disponíveis de vazão e concentração dos efluentes tratados, bem como na vazão disponível para diluição (vazão $Q_{7,10}$ em Minas Gerais e $Q_{90\%}$ no Espírito Santo), o que se quer é identificar a concentração obtida após a diluição e que vai dar subsídios para definir a classe de enquadramento por meio dos limites legais relacionados aos valores permitidos – C_{perm}.

Nesse contexto, e considerando os dados disponíveis (e não disponíveis), têm-se os seguintes conjuntos de cursos d'água que poderão ser enquadrados na bacia do rio Doce, com diferentes níveis de aprofundamento dos estudos e das etapas obrigatórias normatizadas pela legislação federal e estadual incidente, com um destaque específico à bacia do rio Piracicaba:

- ✓ ***Agrupamento 1: Enquadramento com Definição de Metas Progressivas e Programa de Efetivação do Enquadramento***

Para esse conjunto, duas metodologias distintas serão adotadas para o enquadramento:

- Enquadramento com Modelagem Matemática, previsto para 44 rios objeto de modelagem matemática na etapa de Diagnóstico, para simulação da qualidade das águas atual e futura. Essa categoria abriga, também, os rios a serem enquadrados pela legislação (Agrupamento 2), que foram modelados;

- ✧ Enquadramento por Cálculo Analítico da Condição de Mistura, aplicável a rios que possuam dados de monitoramento da qualidade das águas que incluam os parâmetros que forem definidos como de referência para o enquadramento; não se trata de modelagem matemática, mas de realizar o referido cálculo "calibrando" os resultados com base nos dados de medições de concentrações de campo e coeficientes de literatura. A quantificação desses cursos d'água irá depender dos parâmetros que forem definidos como de referência para o Enquadramento, após a 2ª Rodada de eventos de participação pública.

✓ ***Agrupamento 2: Enquadramento pela Legislação***

- ✧ Inclui os rios que atravessam Unidades de Conservação (UCs) de proteção integral, que requerem Classe Especial, e rios que atravessam Terras Indígenas (TIs), que requerem Classe 1, não incluídos no Agrupamento 1.

✓ ***Agrupamento 3: Enquadramento Ampliado, sem Metas Progressivas e sem Programa de Efetivação***

Para esse conjunto, duas metodologias distintas serão adotadas para o enquadramento, salientando-se que não há dados de monitoramento da qualidade da água desses rios, o que os diferencia substancialmente dos casos incluídos no Agrupamento 1, impedindo que sejam definidas metas progressivas e Programa de Efetivação:

- ✧ Enquadramento por Equação de Mistura**:** este grupo de rios engloba aqueles cursos d'água que recebem lançamento de efluentes de ETEs de áreas urbanas; neste caso, será possível definir a classe atendida por eles no futuro, mas devido a não ser conhecida a sua qualidade atual, não será possível estabelecer metas progressivas e nem um Programa de Efetivação do Enquadramento. Contudo, serão apresentadas propostas na etapa do Plano de Ações para municípios que lancem os efluentes de suas ETEs em corpos receptores que, mesmo após altos níveis de remoção de poluentes pelos tratamentos adotados, atendam a classes de pior qualidade, incompatíveis com os usos pretensos mais exigentes, como por exemplo, a Classe 4;
- ✧ Enquadramento pelos Usos Pretensos mais Restritivos: o Enquadramento será feito mediante a indicação dos usos pretensos mais exigentes, para que seja possível, pelo menos, definir a classe necessária.

✓ ***Enquadramento da Bacia do Rio Piracicaba***

Quanto ao enquadramento preexistente na bacia do rio Piracicaba, foi ele estabelecido pela Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH nº 9, de 19 de abril de 1994, que definiu classes de enquadramento de dois trechos do rio Piracicaba e de 76 trechos de seus afluentes, considerando Classes Especial, 1 e 2.

O Art. 2º da referida DN estabelece a criação de uma Comissão de Trabalho para avaliar as condições da qualidade das águas e propor medidas para a efetivação do enquadramento, no

prazo de um ano hidrológico, contados da data de publicação da deliberação. Porém, essas determinações não foram cumpridas.

Mais recentemente, a DN Conjunta COPAM-CERH nº 06, de 14 de setembro de 2017, pelo seu Art. 14, parágrafo 2º, estabeleceu que "A revisão referida no caput não se aplicará aos corpos de água já enquadrados nas classes Especial e 1". Na prática, segundo tal DN, cursos d'água de Minas Gerais já enquadrados em Classe Especial ou Classe 1 não podem ter seu enquadramento revisado para classes de pior qualidade.

Essa questão está sendo discutida pelo IGAM e pelo CERH/MG, visando alterar a redação do Art. 14 da DN Conjunta COPAM-CERH 06/2017, uma vez que as classes anteriormente definidas o foram antes da legislação mais recente e os usos atuais das águas e do solo nem sempre se mostram compatíveis com um enquadramento em classes de melhor qualidade.

Dessa forma, com relação às alternativas de enquadramento para a bacia do rio Piracicaba, com suas respectivas metas progressivas, visualizam-se, no mínimo, duas alternativas:

- ✓ Manter o enquadramento atual para os trechos pré-enquadrados em Classes Especial e 1, mesmo sabendo-se, *a priori*, que as classes atualmente atendidas são incompatíveis com alguns usos já praticados e poderão continuar a sê-lo futuramente. Por exemplo, se um determinado trecho da bacia já estiver enquadrado em Classe 1 e os usos futuros exigirem Classe 2, deverá ser mantida a Classe 1, segundo a DN Conjunta COPAM-CERH nº 06, de 14 de setembro de 2017, a rigor, sem necessidade em face dos usos. Antecipa-se, no mínimo, que essa alternativa deverá resultar em vários problemas para a emissão de outorgas de lançamento de efluentes pelo IGAM, quando o instrumento vier a ser implementado em Minas Gerais;
- ✓ Revisar o enquadramento atual de toda a bacia de acordo com os critérios técnicos e metodologias antes descritos para o restante da bacia do rio Doce. No entanto, essa revisão/atualização do enquadramento somente será possível na vigência de nova redação do Art. 14, parágrafo 2º da DN Conjunta COPAM-CERH nº 06, de 14 de setembro de 2017, já mencionada.

6.5.2 Síntese dos Cursos d'Água a Serem Enquadrados

Em face do exposto, verifica-se que o Enquadramento na bacia do rio Doce será realizado em diferentes níveis de aprofundamento dos seus resultados, de acordo com os dados disponíveis e não disponíveis, tal como sintetizado nos Quadros 6.4 a 6.7. A última coluna desses quadros se refere ao percentual da extensão dos cursos d'água em relação ao total da bacia do rio Doce.

QUADRO 6.4 – CURSOS D'ÁGUA PARA ENQUADRAMENTO NA BACIA DO RIO DOCE – AGRUPAMENTO 1 – ENQUADRAMENTO COM METAS PROGRESSIVAS E PROGRAMA DE EFETIVAÇÃO

Procedimento Metodológico para o Enquadramento	*Quantidade de Cursos d'Água*	*Extensão*	
		(km)	*% do Total da Bacia*
Aplicação de modelagem matemática(*)	44 já modelados no Diagnóstico	6.360	13,2
Avaliação da qualidade futura para os parâmetros de referência na estação de monitoramento, mediante cálculo analítico da condição de mistura a partir de dados de medições de concentrações de campo e coeficientes de literatura	A definir	A definir	A definir
Totais		***6.360***	***>13,2***

(*) Inserem-se nesse procedimento os cursos d'água de domínio da União - rio Doce e rio José Pedro.
Elaboração ENGECORPS, 2022

QUADRO 6.5 – CURSOS D'ÁGUA PARA ENQUADRAMENTO NA BACIA DO RIO DOCE – AGRUPAMENTO 2 – ENQUADRAMENTO PELA LEGISLAÇÃO

Procedimentos Metodológicos para o Enquadramento	*Proposta de Metas Progressivas?*	*Programa de Efetivação do Enquadramento?*	*Quantidade de Cursos d'Água*	*Extensão*	
				(km)	*% do Total da Bacia*
Enquadramento pela Resolução CONAMA nº 357/2005 dos cursos d'água que percorrem Unidade de Conservação de Proteção Integral, não incluídos no Agrupamento 1	Não	Não	187	1.478	3,1
Enquadramento pela Resolução CONAMA nº 357/2005 dos cursos d'água que percorrem Terras Indígenas, não incluídos no Agrupamento 1	Não	Não	10	61	0,1
Totais			***197***	***1.540***	***3,2***

Elaboração ENGECORPS, 2022.

QUADRO 6.6 – CURSOS D'ÁGUA PARA ENQUADRAMENTO NA BACIA DO RIO DOCE – AGRUPAMENTO 3 – ENQUADRAMENTO AMPLIADO

Procedimentos Metodológicos para o Enquadramento	*Proposta de Metas Progressivas?*	*Programa de Efetivação do Enquadramento?*	*Quantidade de Cursos d'Água*	*Extensão*	
				(km)	*% do Total da Bacia*
Aplicação de equação de mistura em rios com lançamento de efluentes de ETEs	Não	Não	119	2.137	4,4
Indicação de usos futuros pretensos mais restritivos	Não	Não	876	9.587	19,9
Totais			***995***	***11.724***	***24,3***

Elaboração ENGECORPS, 2022.

QUADRO 6.7 – BACIA DO RIO PIRACICABA

Alternativa	*Procedimentos Metodológicos Alternativos para o Enquadramento*	*Proposta de Metas Progressivas ?*	*Programa de Efetivação do Enquadramento ?*	*Quantidade de Cursos d'Água*	*Extensão*	
					(km)	*% do Total da Bacia*
Manter o Enquadramento atual (Classes Especial e 1)	Rios do Agrupamento 1 – Atualizar o enquadramento existente nos cursos d'água de Classe 2	Sim (*)	Sim (*)	56	1.020	2,1
Revisar/atualizar o Enquadramento	Rios do Agrupamento 1	Sim	Sim	7	579	1,2
	Rios do Agrupamento 2	Não	Não	13	116	0,2
	Rios do Agrupamento 3	Não	Não	77	928	1,8
Totais				***97(**)***	***1.623(**)***	***3,4 (**)***

(*) Para os rios do agrupamento 1.
(**) Total considerando a revisão do enquadramento.
Elaboração ENGECORPS, 2022.

Observa-se, nesses quadros, que estão contemplados cursos d'água da bacia a serem enquadrados com maiores ou menores limitações em face do grau de disponibilidade dos dados necessários.

A linha adotada foi, portanto, a de enquadrar o maior número possível de rios da bacia do rio Doce, com utilização de todos os dados disponíveis, e mesmo para as situações que se encaixam no Enquadramento Ampliado, poderão ser previstas diretrizes para o monitoramento posterior desses rios a partir de demandas para regularização de captações ou lançamento de efluentes nesses inúmeros trechos, no momento, ainda desprovidos de informações sobre a qualidade das suas águas.

A somatória de todos os cursos d'água que serão objeto de enquadramento pelos diferentes métodos propostos alcança um total de cerca 45% da extensão de todos os rios da bacia do rio Doce.

Cabe ressaltar que, em qualquer das situações e metodologias descritas, será necessária a indicação dos usos pretensos mais restritivos por parte da sociedade da bacia, o que será objeto dos eventos de participação pública a serem realizados na 2ª Rodada de Oficinas e Consultas Públicas, para discussão da etapa de Prognóstico.

Com relação aos cursos d'água da UA9 – Barra Seca e Foz do Rio Doce não incluídos nos métodos anteriormente descritos, que somam 123, com 1.400 km de extensão (cerca de 3% do total da bacia), e tal como exposto no Diagnóstico, será necessária a realização de um estudo específico para levantamento dos dados faltantes, de modo que possa ser proposto o seu enquadramento em bases técnicas adequadas. Um Termo de Referência para orientar a elaboração desse estudo, incluindo levantamentos de campo, tais como batimetria dos cursos d'água, coletas de água e medidas de vazões será apresentado na etapa do Plano de Ações.

O panorama representado pelas metodologias adotadas para enquadramento da maior quantidade de cursos d'água possível antecipa que poderão ser necessárias ações para ampliar a densificação da rede de monitoramento da qualidade das águas da bacia, a despeito de ela já se mostrar bastante adequada. Trata-se de identificar áreas específicas com monitoramento ainda esparso e cursos d'água de importância estratégica para o enquadramento, considerando, em paralelo, que sempre serão necessários dados de medidas de vazões e informações sobre a configuração das seções dos cursos d'água, de modo a viabilizar, preferencialmente, a modelagem matemática.

Essas ações, juntamente com todas as demais que serão recomendadas, farão parte do Plano de Ações do PIRH Doce, na linha de integração obrigatória entre os dois instrumentos de gestão de recursos hídricos - o Plano da Bacia e o Enquadramento.

Além disso, o presente estudo poderá servir de referência para definição de métodos e critérios para Enquadramento de cursos d'água de outras bacias hidrográficas compartilhadas entre a União e estados da Federação, uma vez que os procedimentos propostos para a bacia do rio Doce foram discutidos e consensados entre a ANA, o IGAM e a AGERH.

7. TEMAS A SEREM DISCUTIDOS NA SEGUNDA RODADA DE OFICINAS E CONSULTAS PÚBLICAS

O Termo de Referência que define o escopo dos estudos ora em desenvolvimento para revisão do PIRH Doce e Enquadramento dos corpos d'água da bacia em classes de usos preponderantes mais restritivos prevê que na 2ª Rodada de Oficinas e Consultas Públicas sejam discutidos os grandes aspectos do Prognóstico, incluindo as alternativas de enquadramento e a definição dos usos futuros pretendidos pela sociedade da bacia nos cursos d'água selecionados.

Essa determinação está prevista no relatório do Plano de Trabalho (ver Quadro 5.9 desse produto, o PP 01), concluído pela ENGECORPS no início do mês de junho de 2021 e aprovado pelos órgãos gestores de recursos hídricos e GT Plano/CTI.

Tal como realizado na etapa de Diagnóstico, a 2ª Rodada incluirá uma Oficina de Aproximação[128], 10 Oficinas de Consolidação, três Consultas Públicas virtuais e uma Consulta Pública *on line*.

A **Oficina de Aproximação**, realizada no dia 07 de abril de 2022, teve como objetivos:

- ✓ Breve recapitulação das etapas de metodológicas de elaboração do PIRH Doce e Enquadramento;
- ✓ Nivelamento sobre os instrumentos de gestão de recursos hídricos e suas interrelações, sobre objetivos e escopo de um Plano de Recursos Hídricos, e sobre o instrumento de Enquadramento, seus objetivos, conceitos, roteiro para implementação, e seus resultados;
- ✓ Apresentação dos principais resultados do Prognóstico;
- ✓ Descrição dos processos de participação social previstos para a presente etapa de Prognóstico, incluindo metodologia a ser utilizada nas Oficinas de Consolidação e em atividade paralela com vistas ao levantamento dos usos futuros para os cursos d'água do Agrupamento 3 – Enquadramento Ampliado.

Nas **Oficinas de Consolidação**, a serem realizadas entre os dias 18 e 27 de abril, na modalidade virtual (videoconferências), serão discutidas as seguintes questões, com utilização de ferramental e métodos participativos equivalentes aos que foram adotados para a etapa de Diagnóstico:

- ✓ Avaliação geral sobre o Cenário do Plano – Aspectos Quantitativos;
- ✓ Indicação de usos pretensos para os cursos d'água do Agrupamento 1, subdivididos em trechos, incluindo trechos da bacia do rio Piracicaba e trechos dos rios do Agrupamento 2 (Enquadramento pela Legislação), a serem enquadrados mediante modelagem matemática. Após mapeamento participativo desses usos, serão apresentadas pela ENGECORPS as alternativas de classes de enquadramento ("o rio que queremos"), considerando as classes atendidas pelos cursos d'água nos cenários atual e tendencial, como balizamento do esforço que será necessário para alcance de metas mais ambiciosas, quando for o caso. Essas

[128] Como resultado de consenso obtido entre os órgãos gestores, foi definida a realização de apenas uma Oficina de Aproximação na Etapa de Prognóstico congregando participantes de toda a bacia do rio Doce.

alternativas constarão da matriz de enquadramento futura. A verificação do real potencial para alcance dessas metas se rebaterá na próxima etapa do enquadramento, quando será discutido "o rio que podemos ter", na 3a Rodada de eventos de participação pública;

Para identificação dos usos pretensos para os rios do Agrupamento 2 – Enquadramento Ampliado, será desenvolvida uma **atividade paralela**, tendo em vista a grande quantidade de cursos d'água, inviabilizando sua análise durante as Oficinas de Consolidação.

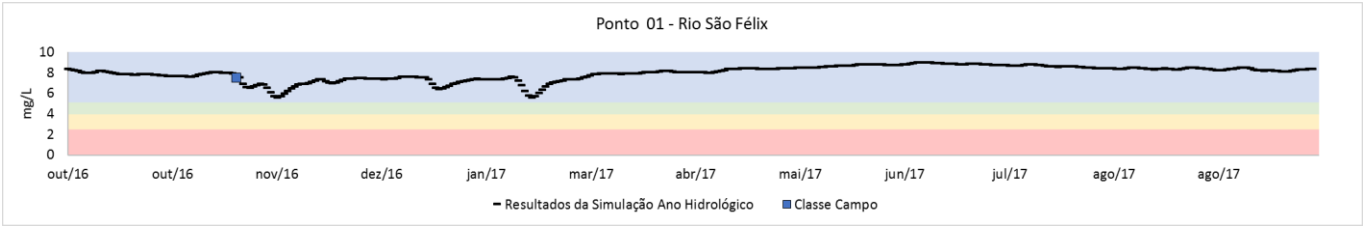
Tal atividade, que se estenderá em período compreendido deste a Oficina de Aproximação até a última Oficina de Consolidação, incluirá a utilização de ferramentas de geoprocessamento que serão disponibilizadas com apoio da AGEDOCE, conforme será exposto na Oficina de Aproximação, oportunidade na qual será realizado um treinamento dos presentes para manipulação do material e operacionalização das suas contribuições.

Nas **Consultas Públicas virtuais**, as serem realizadas nos dias 28 e 29 de abril, serão recebidas contribuições adicionais/complementares com relação aos temas discutidos nas Oficinas de Consolidação.

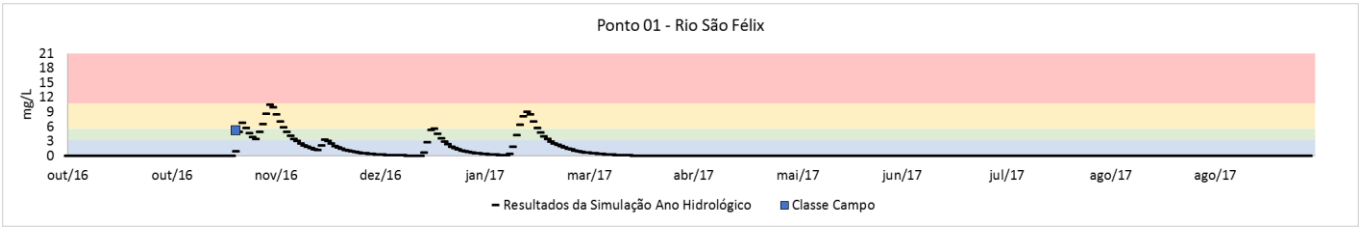
A **Consulta Pública on line** consistirá de formulário que será disponibilizado nos portais dos órgãos gestores e da AGEDOCE, para que o público em geral interessado nos estudos de revisão do PIRH Doce e Enquadramento opine sobre o conteúdo do relatório do Prognóstico.

APÊNDICE I – CALIBRAÇÃO REALIZADA COM OS DADOS DAS COLETAS DE ÁGUA COMPLEMENTARES

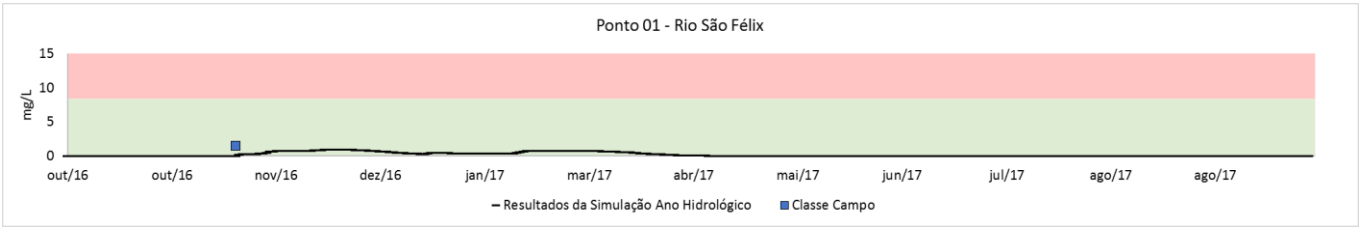
✓ *Ponto 1 – Rio São Félix*



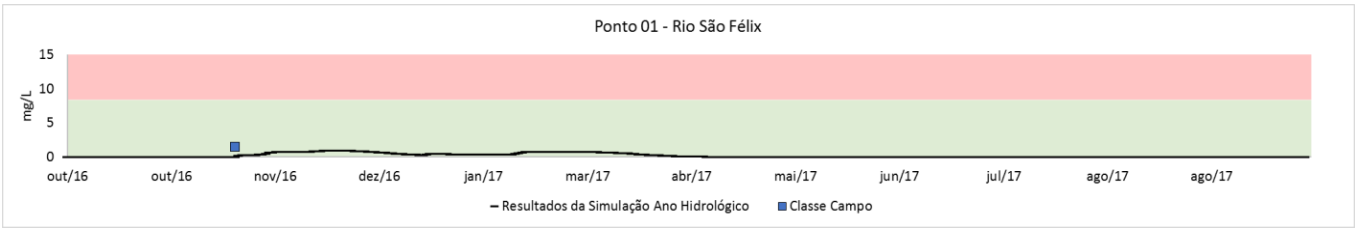
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 1



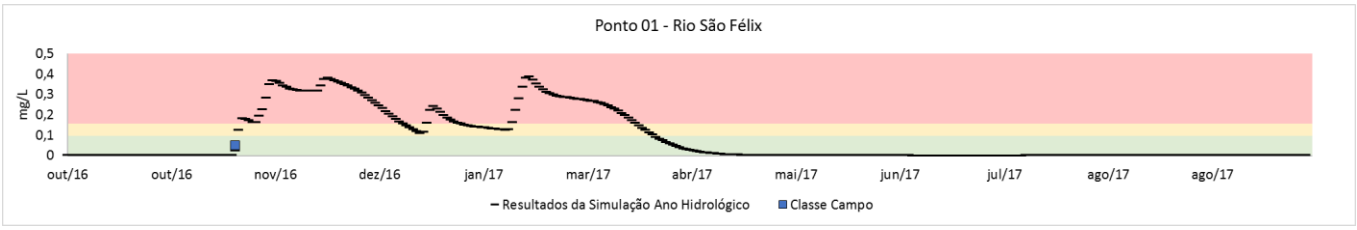
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 1



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 1

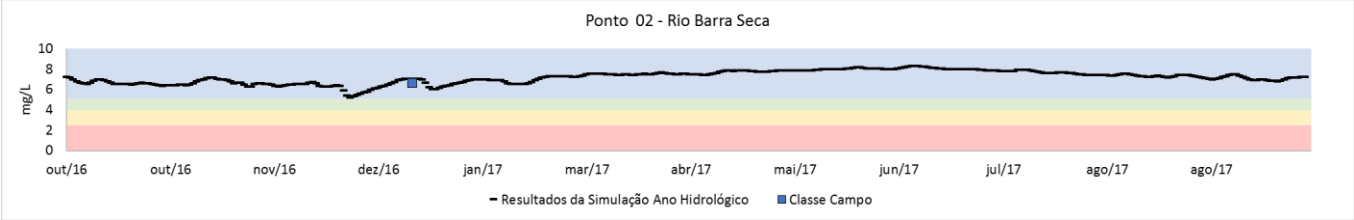


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 1

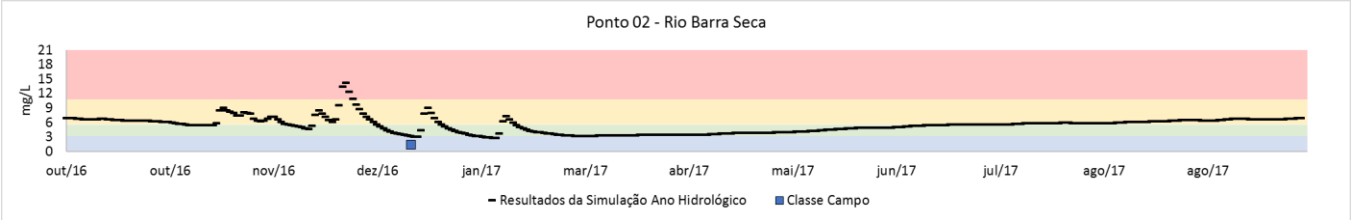


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 1

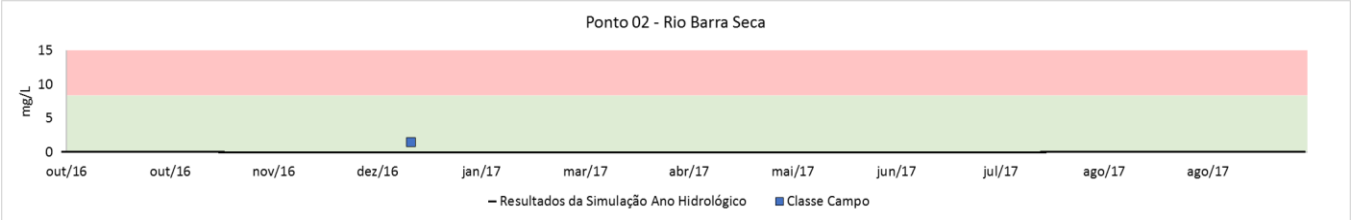
✓ *Ponto 2 – Rio Barra Seca*



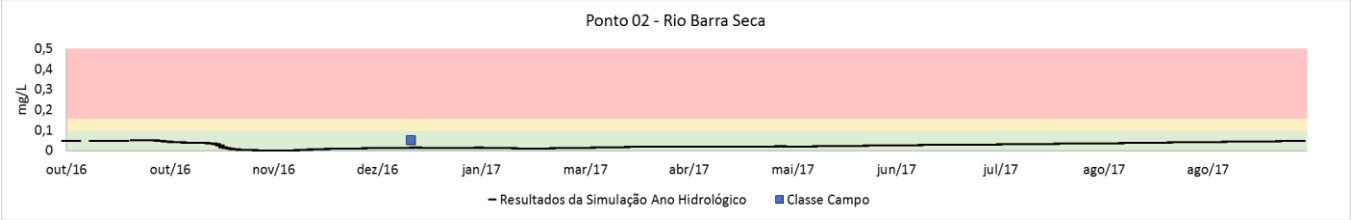
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 2



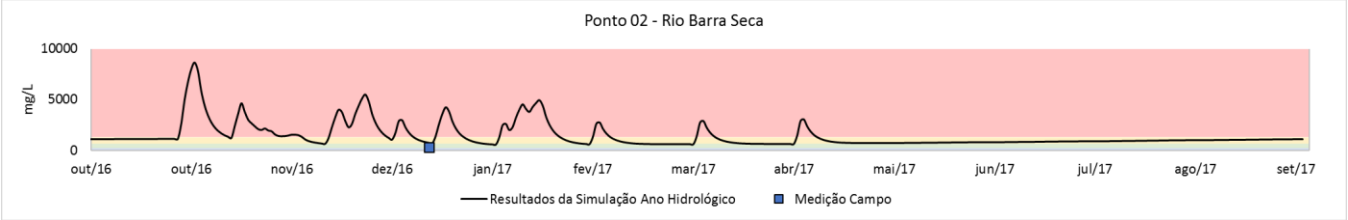
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 2



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 2

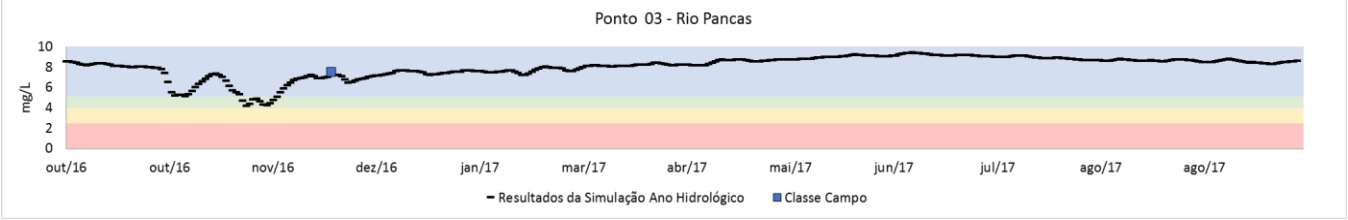


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 2

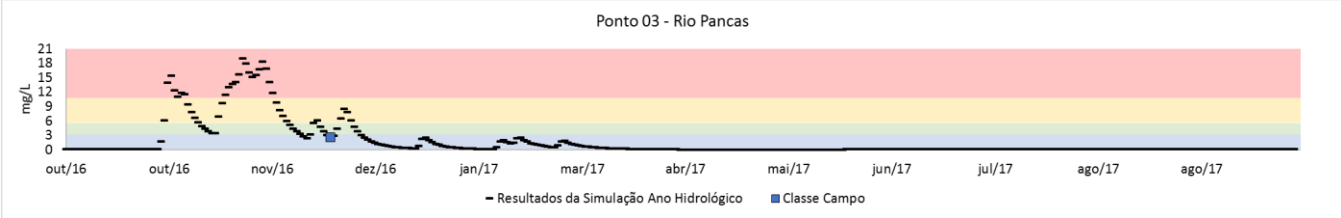


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 2

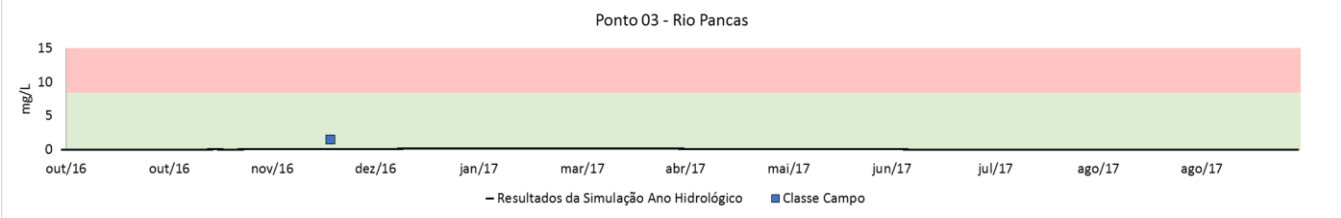
✓ *Ponto 3 – Rio Pancas*



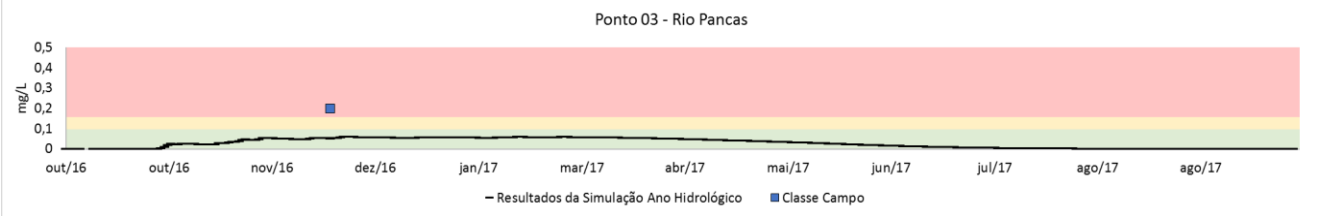
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 3



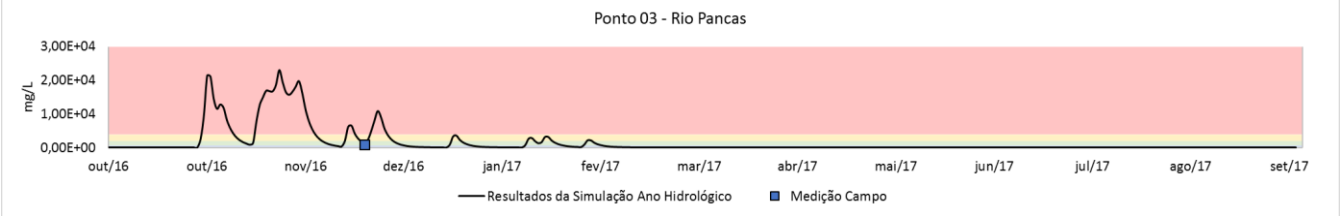
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 3



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 3

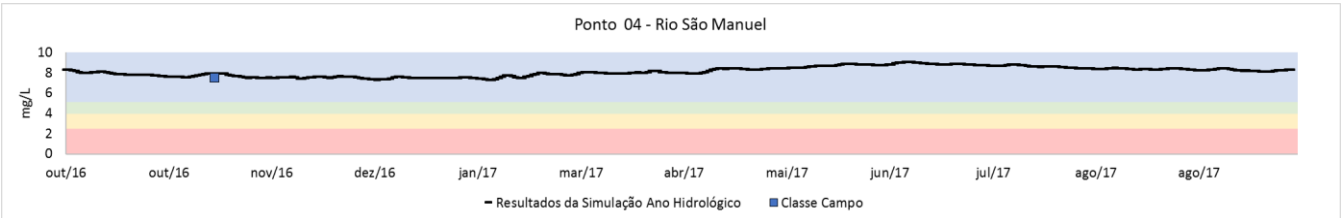


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 3

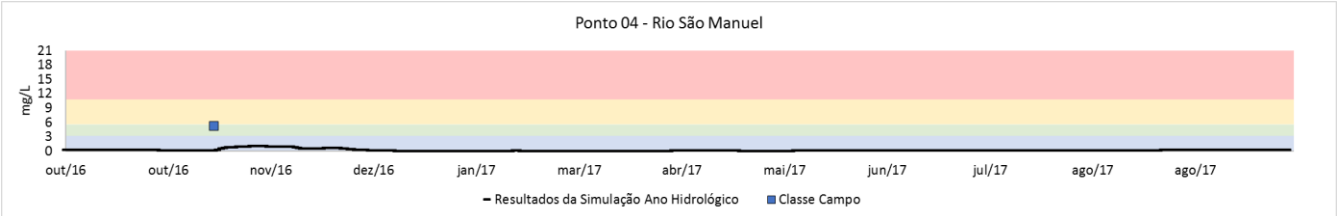


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 3

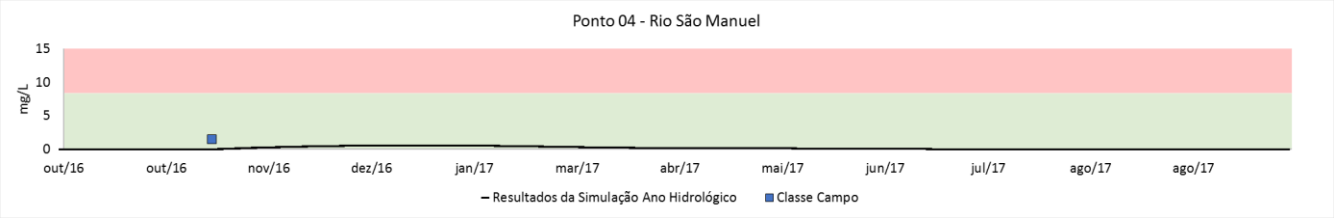
✓ *Ponto 4 – Rio São Manuel*



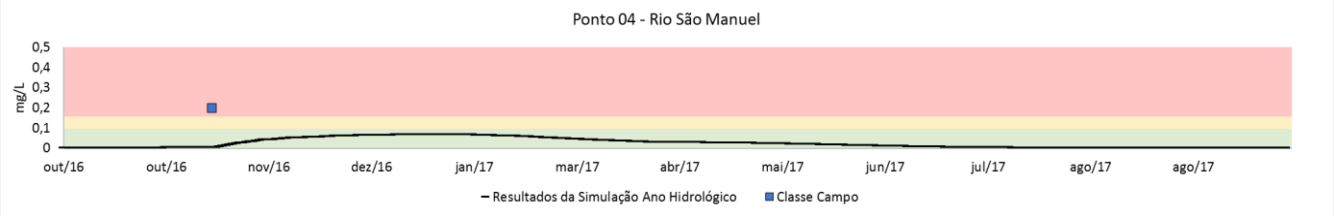
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 4



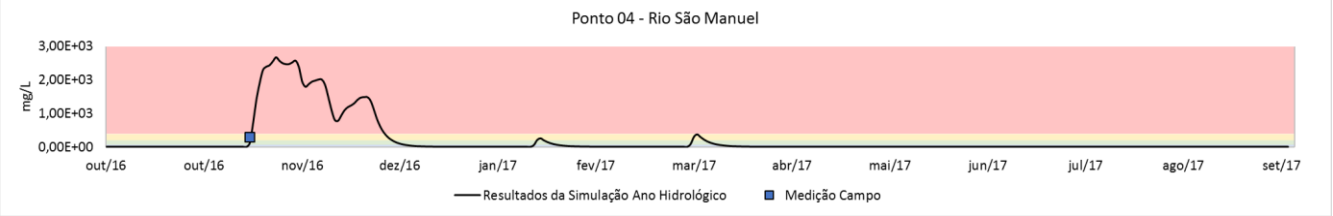
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 4



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 4

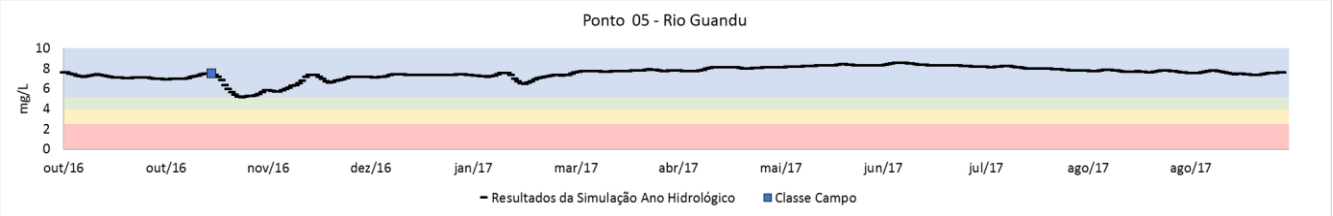


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 4

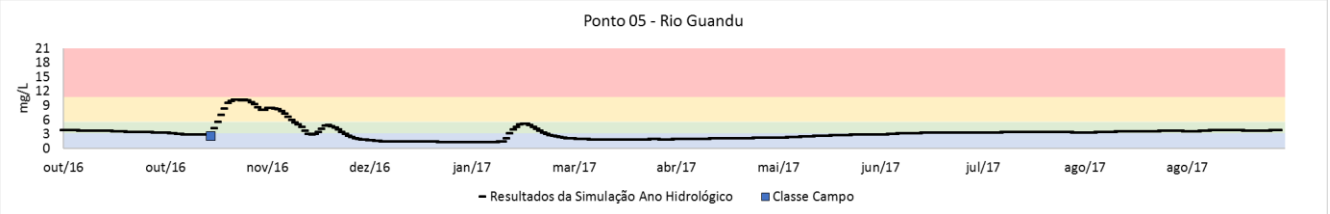


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 4

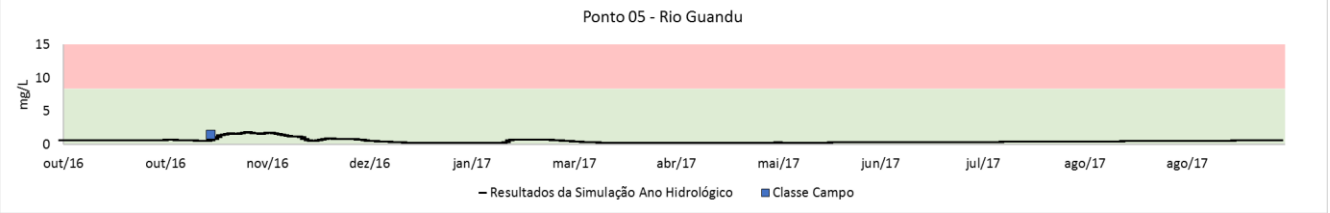
✓ *Ponto 5 – Rio Guandu*



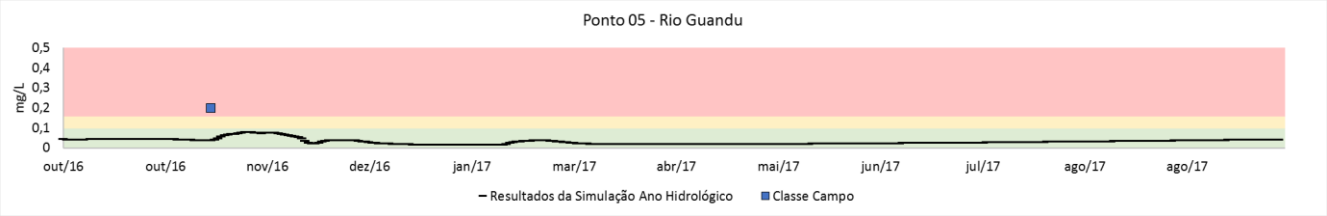
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 5



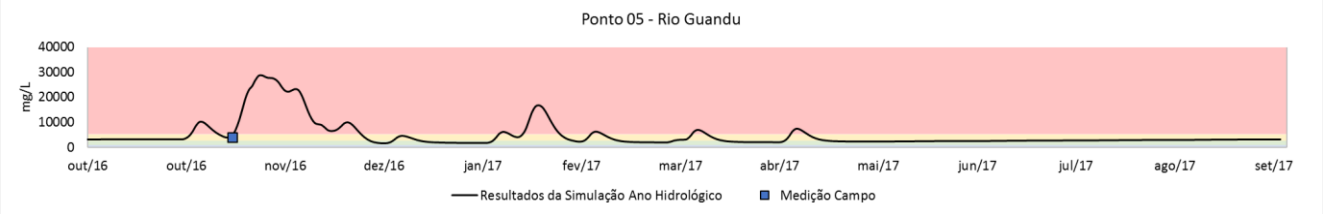
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 5



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 5

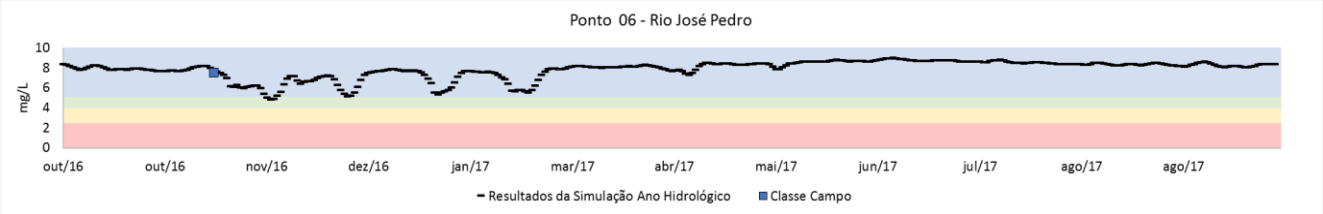


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 5

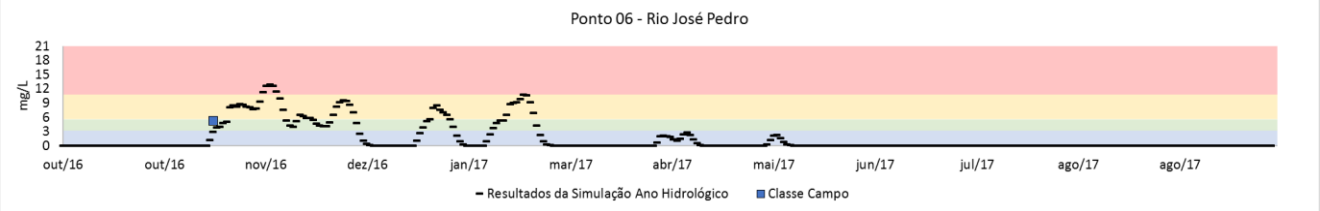


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 5

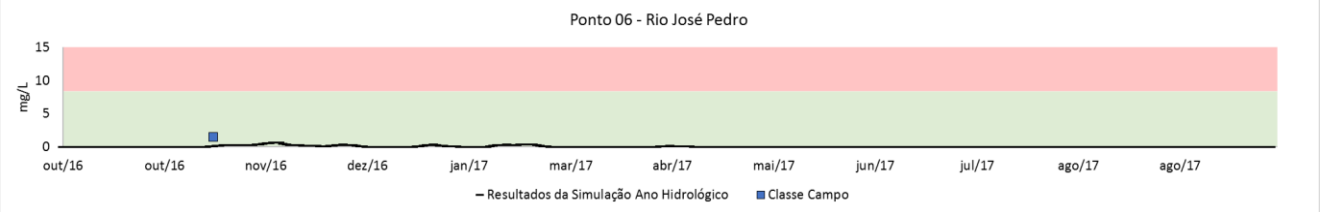
✓ *Ponto 6 – Rio José Pedro*



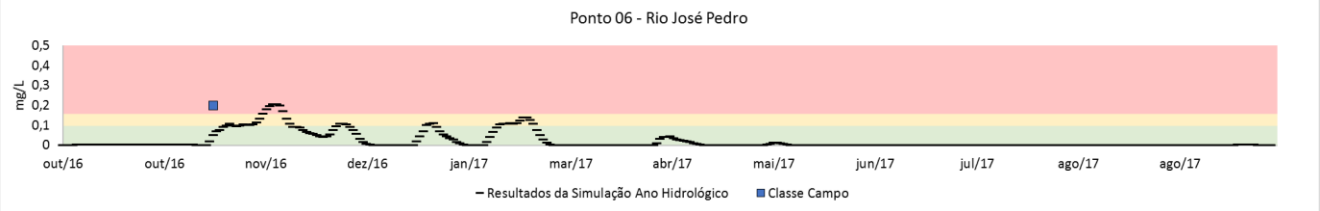
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 6



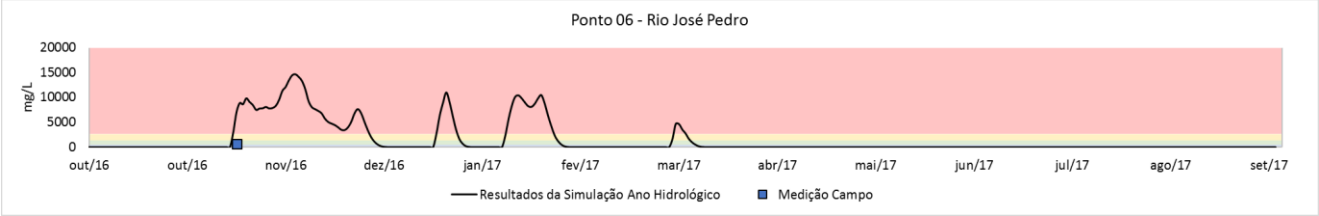
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 6



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 6

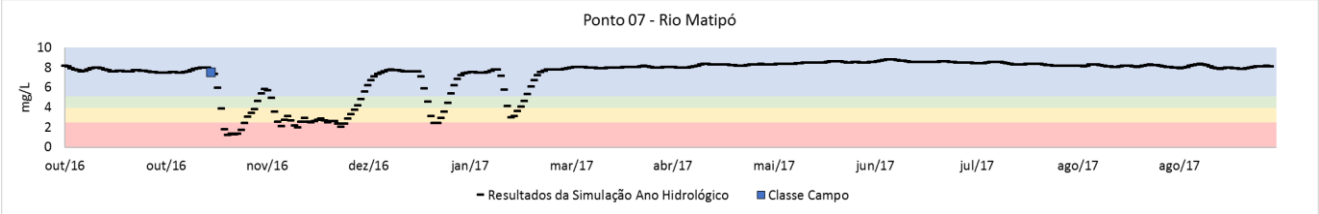


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 6

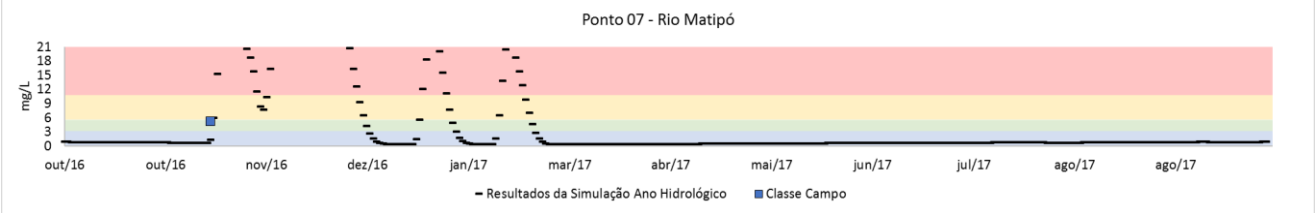


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 6

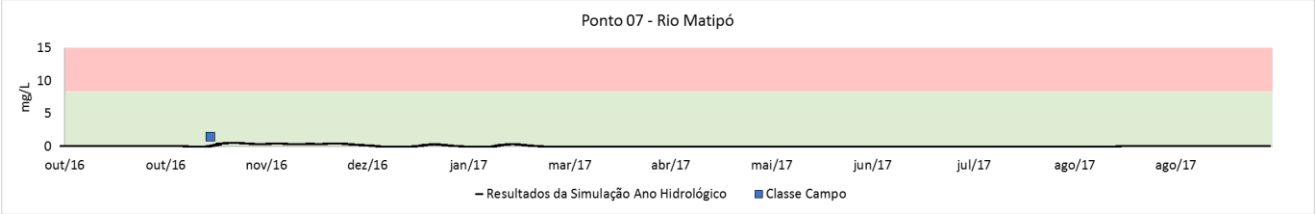
✓ *Ponto 7 – Rio Matipó*



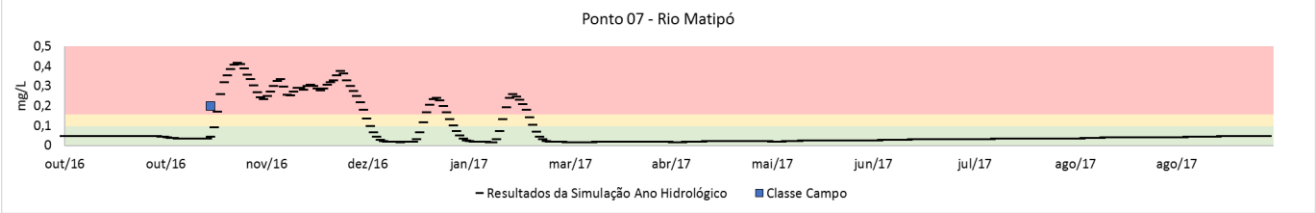
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 7



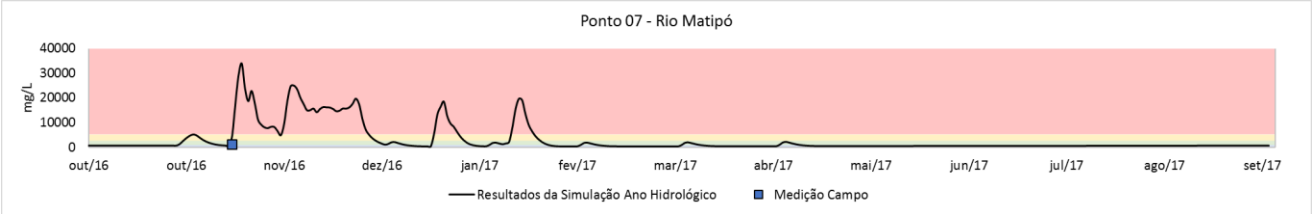
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 7



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 7

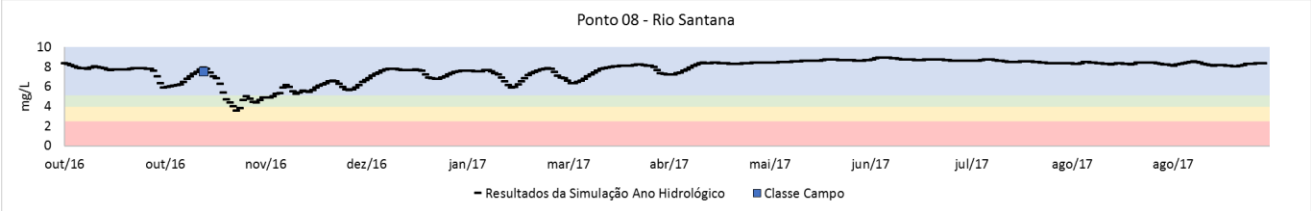


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 7

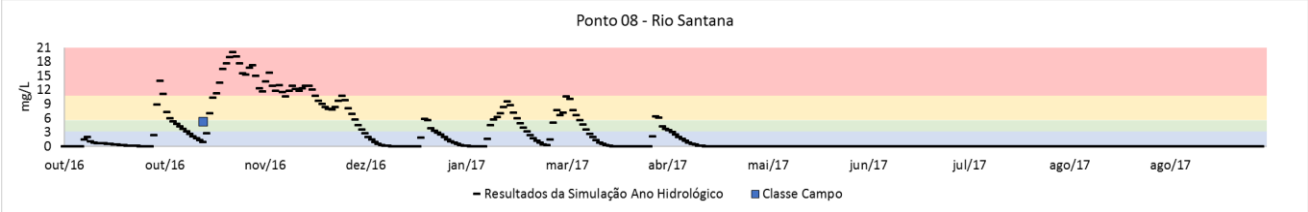


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 7

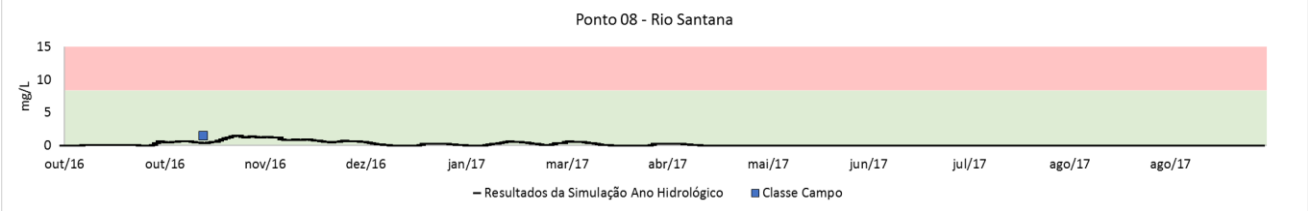
✓ *Ponto 8 – Rio Santana*



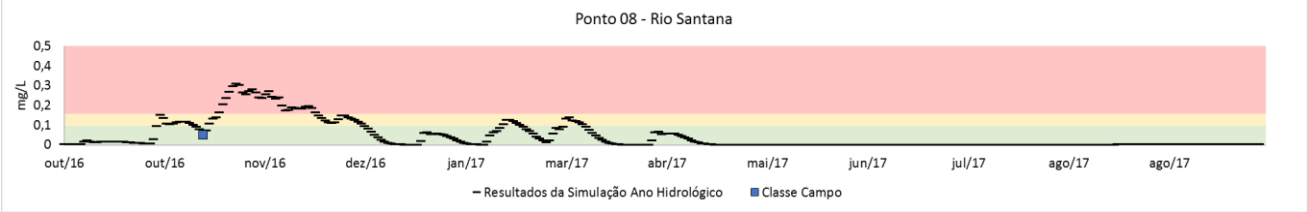
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 8



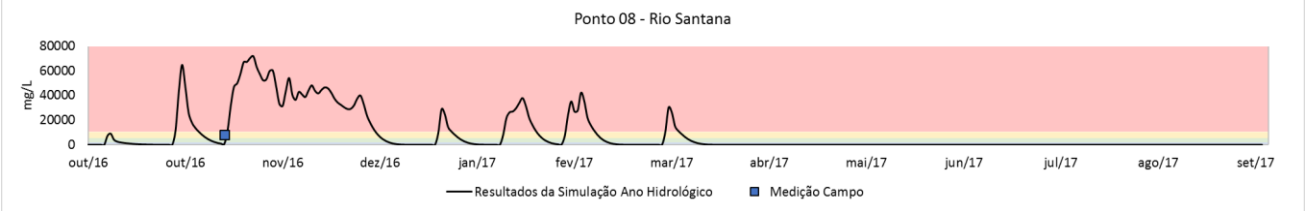
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 8



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 8

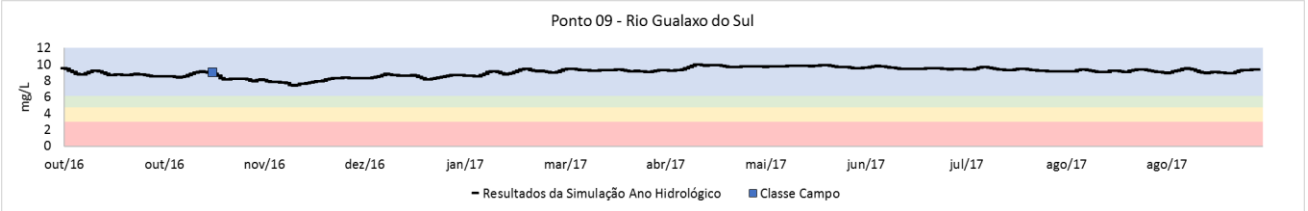


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 8

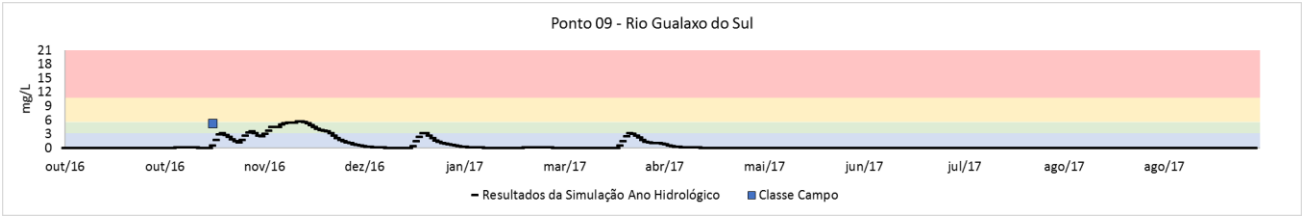


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 8

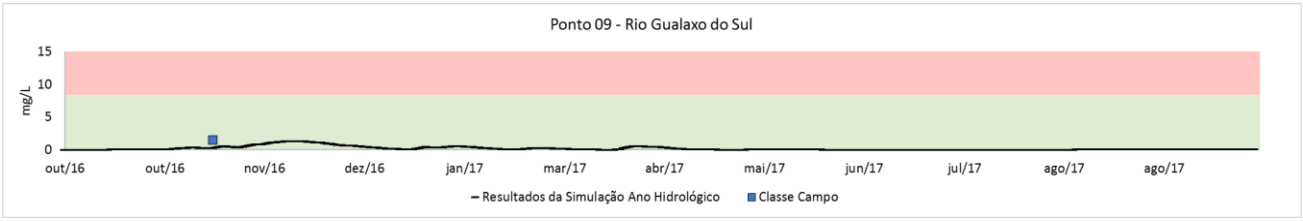
✓ *Ponto 9 – Rio Gualaxo do Sul*



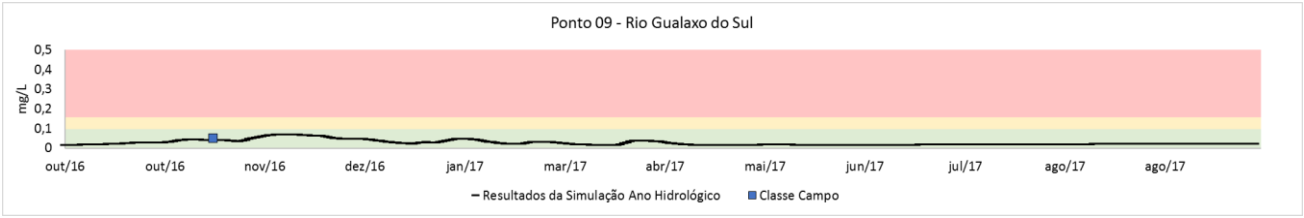
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 9



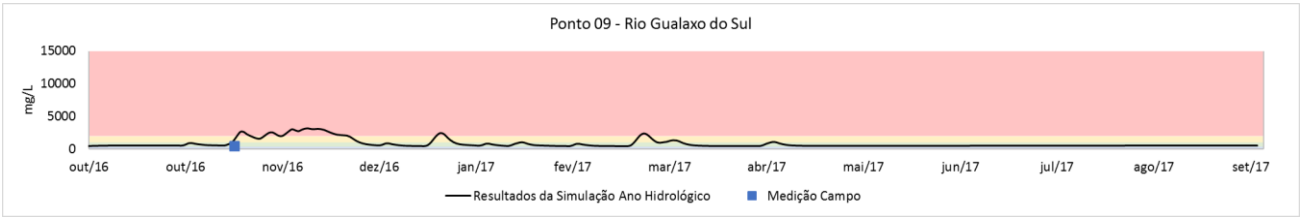
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 9



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 9

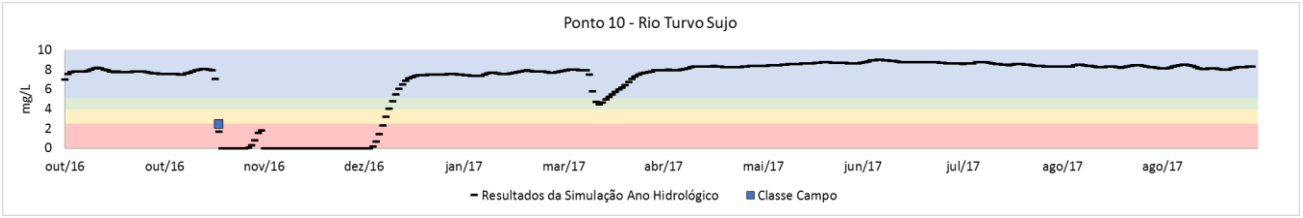


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 9

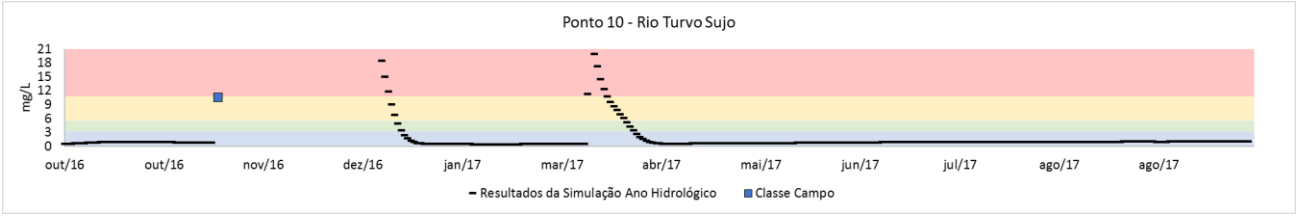


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 9

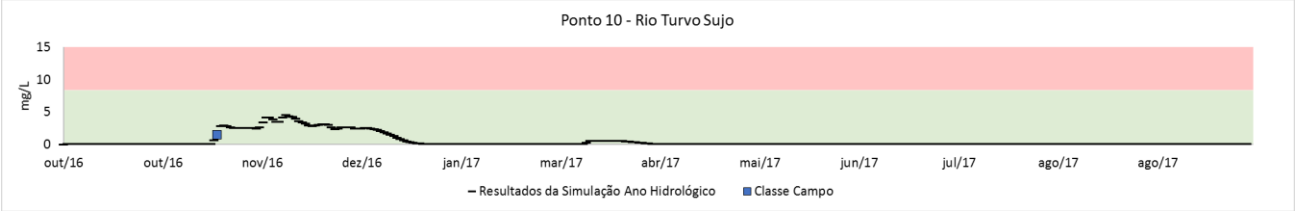
✓ *Ponto 10 – Rio Turvo Sujo*



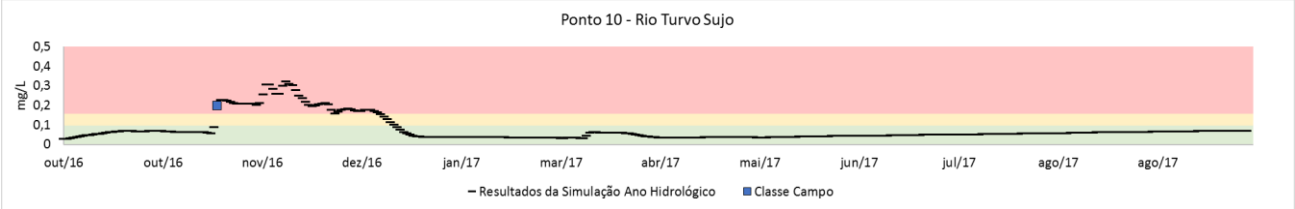
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 10



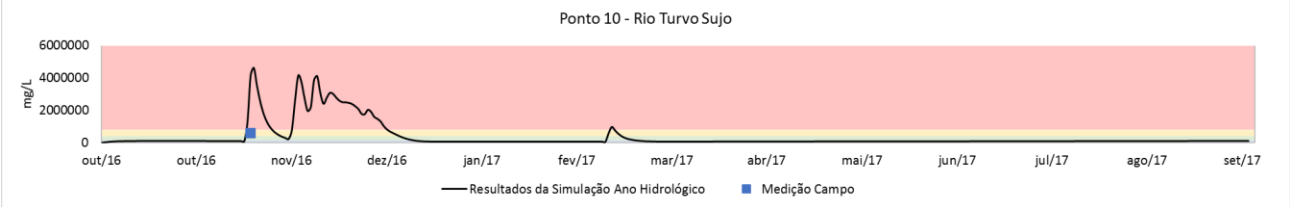
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 10



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 10

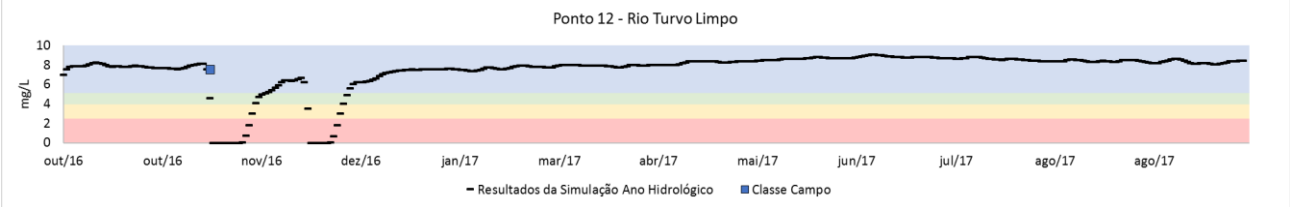


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 10

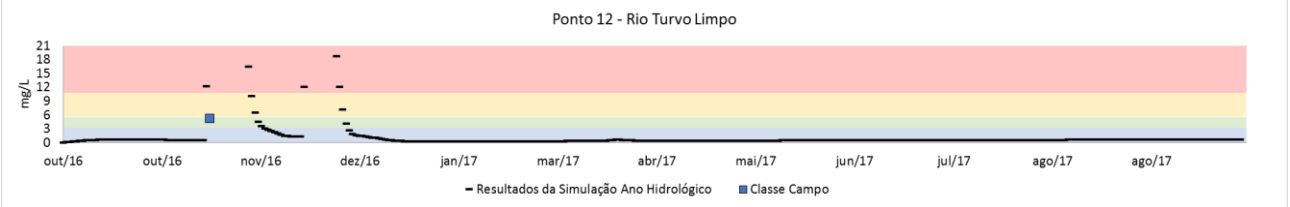


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 10

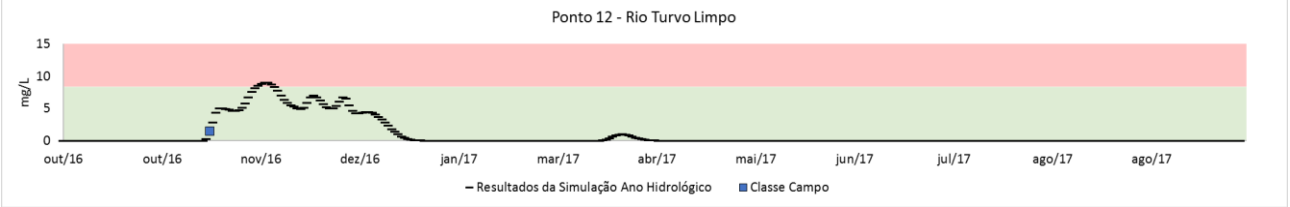
✓ *Ponto 12 – Rio Turvo Limpo*



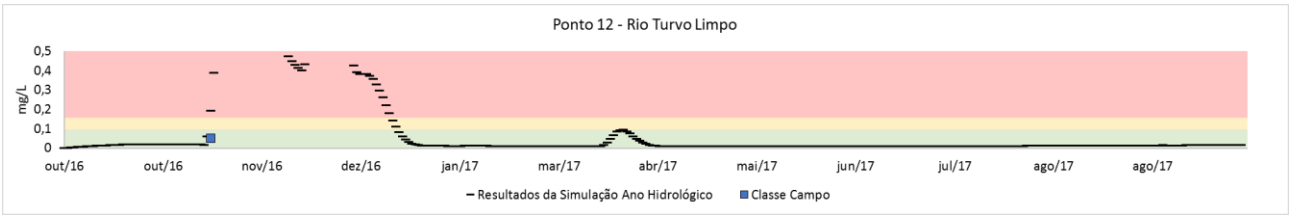
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 12



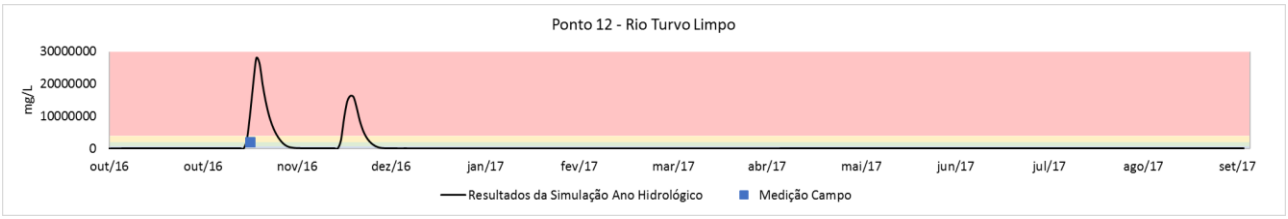
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 12



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 12

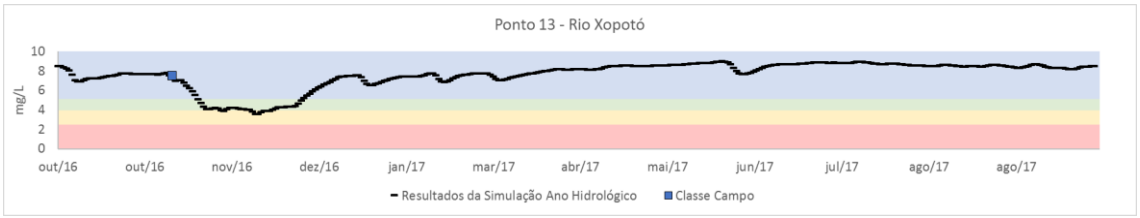


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 12

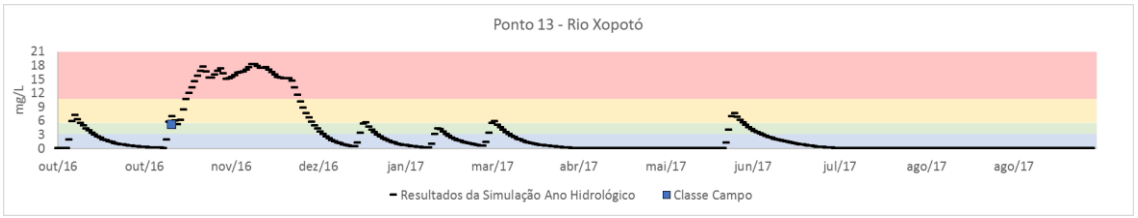


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 12

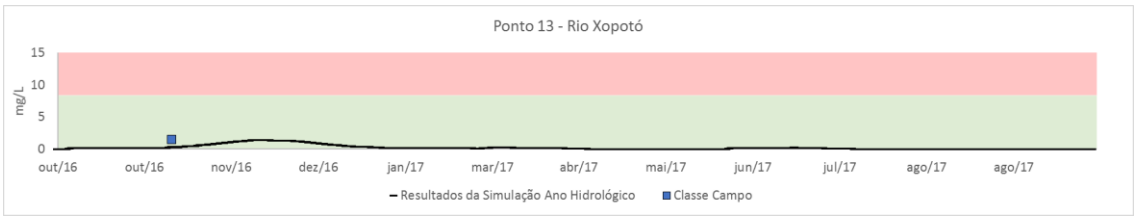
✓ *Ponto 13 – Rio Xopotó*



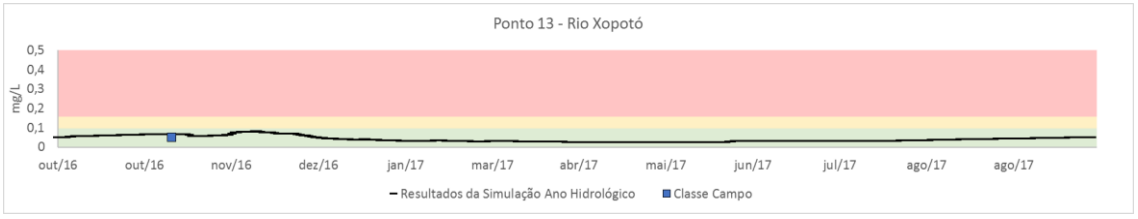
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 13



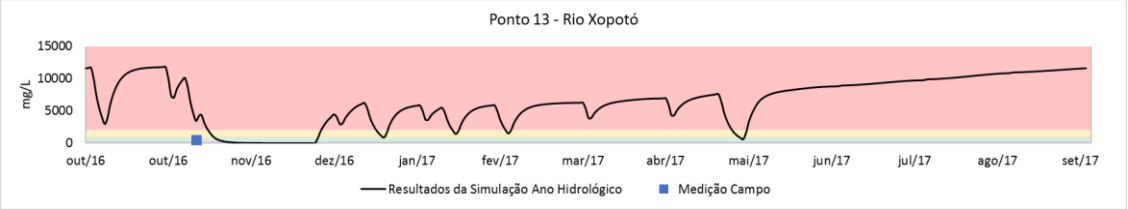
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 13



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 13

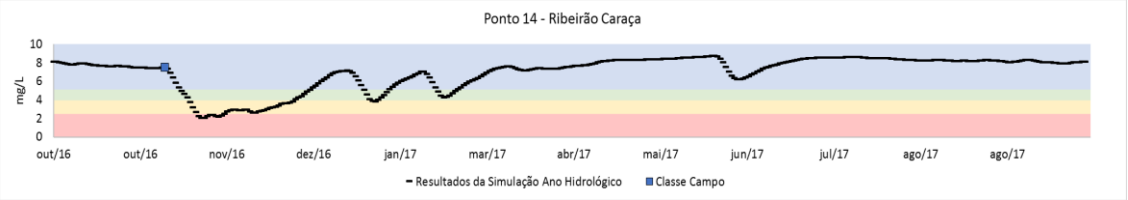


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 13

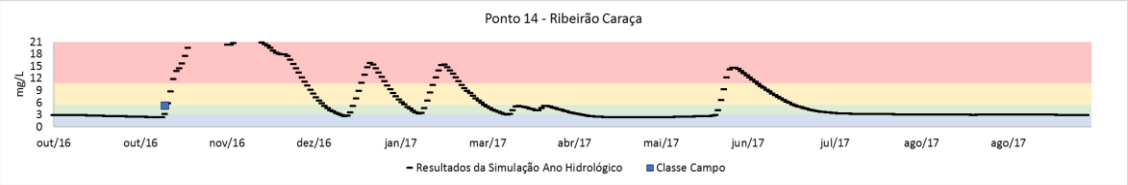


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 13

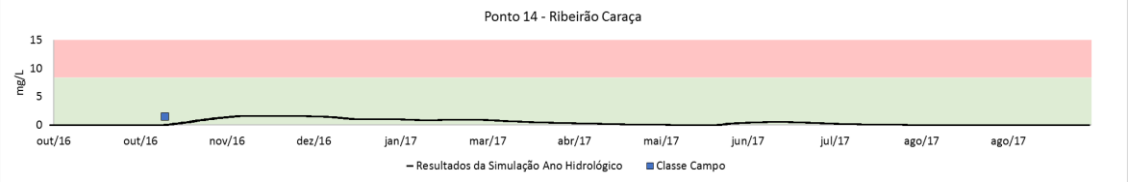
✓ *Ponto 14 – Ribeirão Caraça*



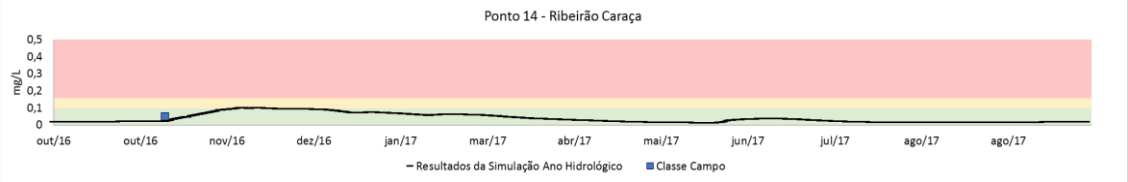
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 14



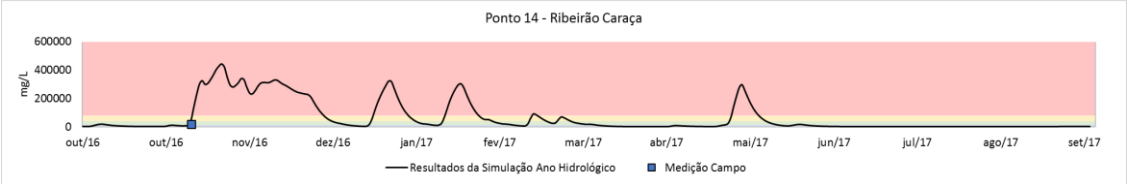
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 14



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 14

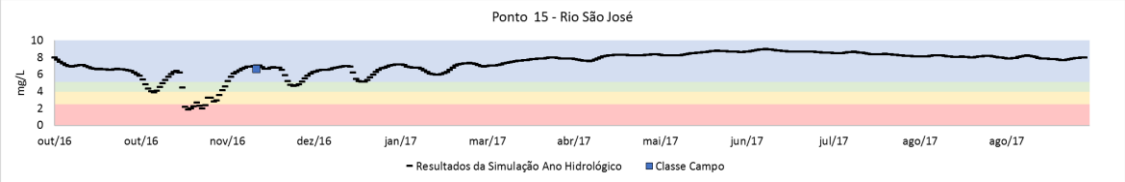


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 14

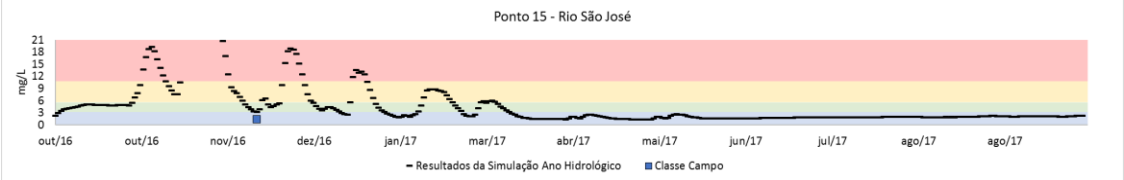


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 14

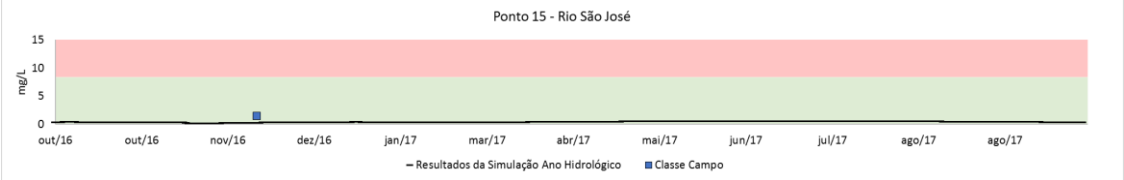
✓ *Ponto 15 – Ribeirão São José*



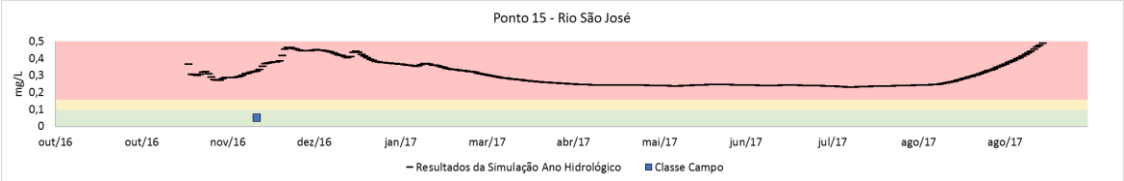
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 15



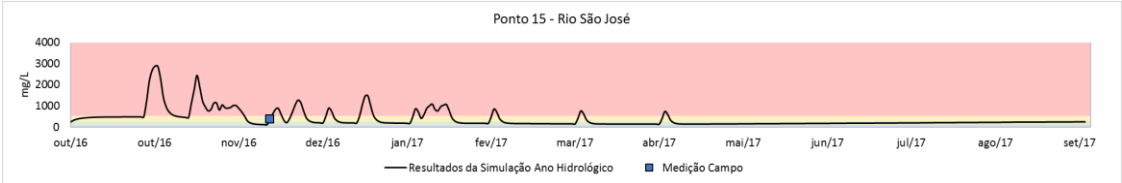
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 15



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 15

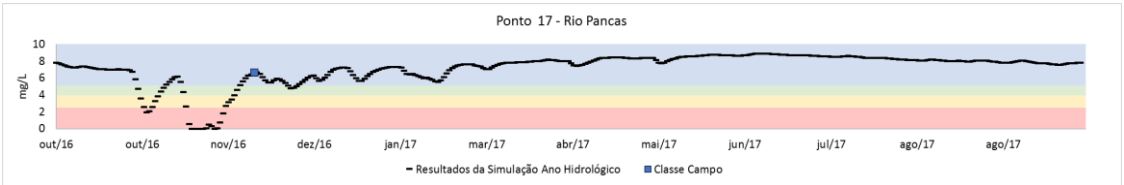


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 15

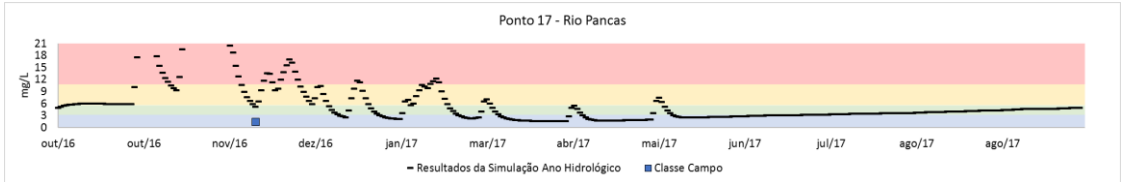


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 15

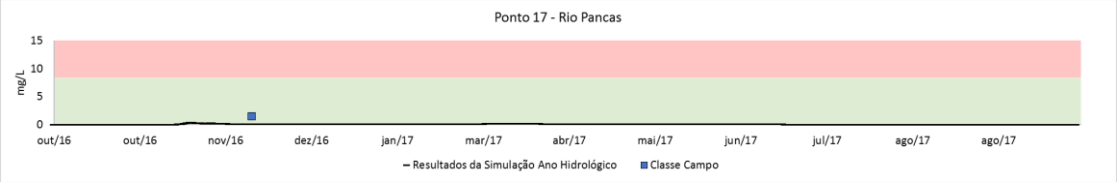
✓ *Ponto 17 – Rio Pancas*



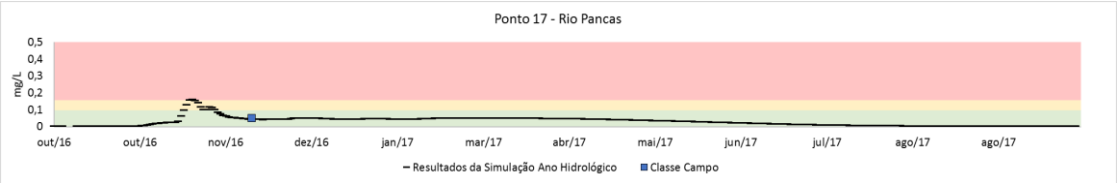
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 17



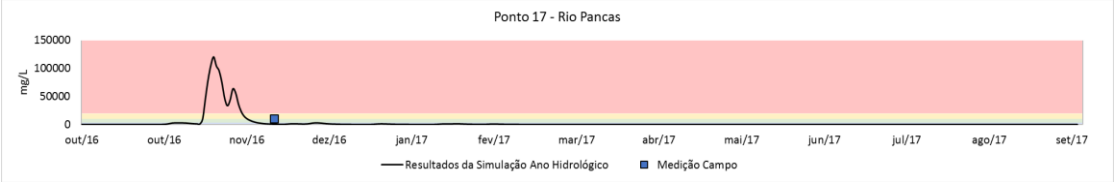
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 17



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 17

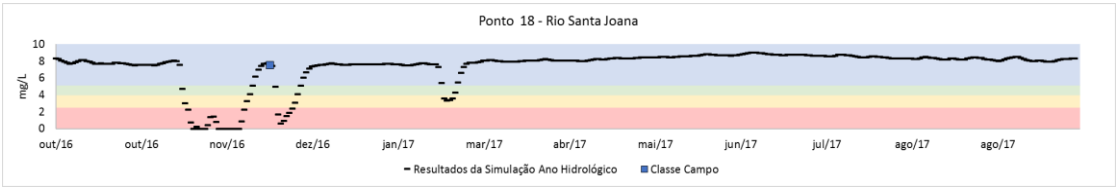


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 17

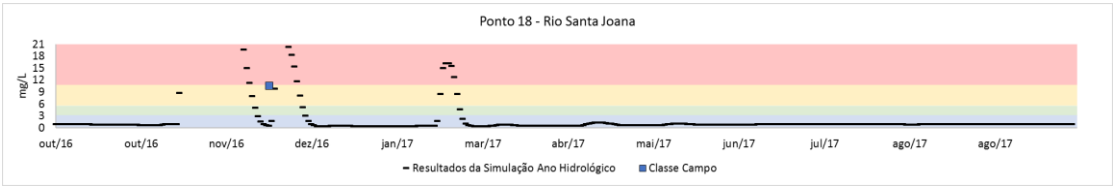


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 17

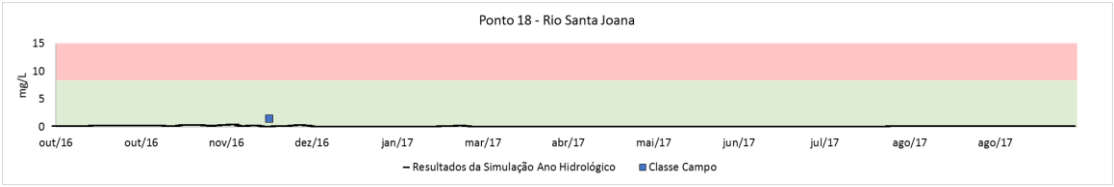
✓ *Ponto 18 – Rio Santa Joana*



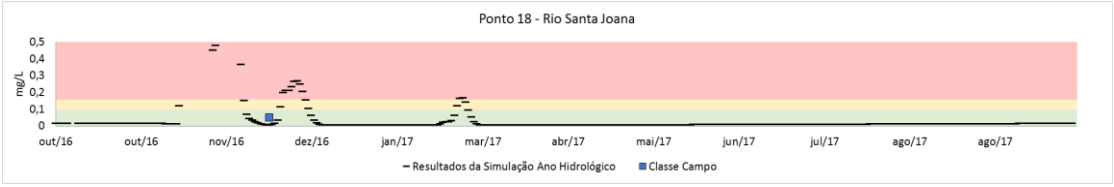
Polutograma OD (out 2021) – Ponto 18



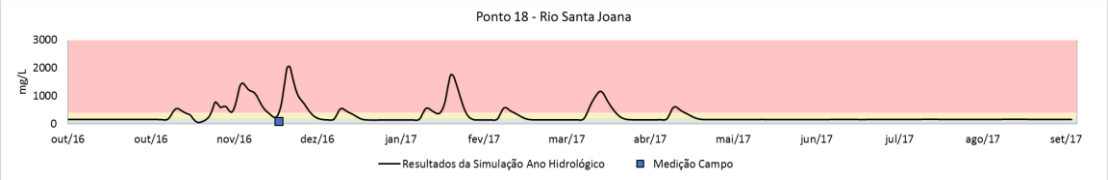
Polutograma DBO (out 2021) – Ponto 18



Polutograma Nitrato (out 2021) – Ponto 18

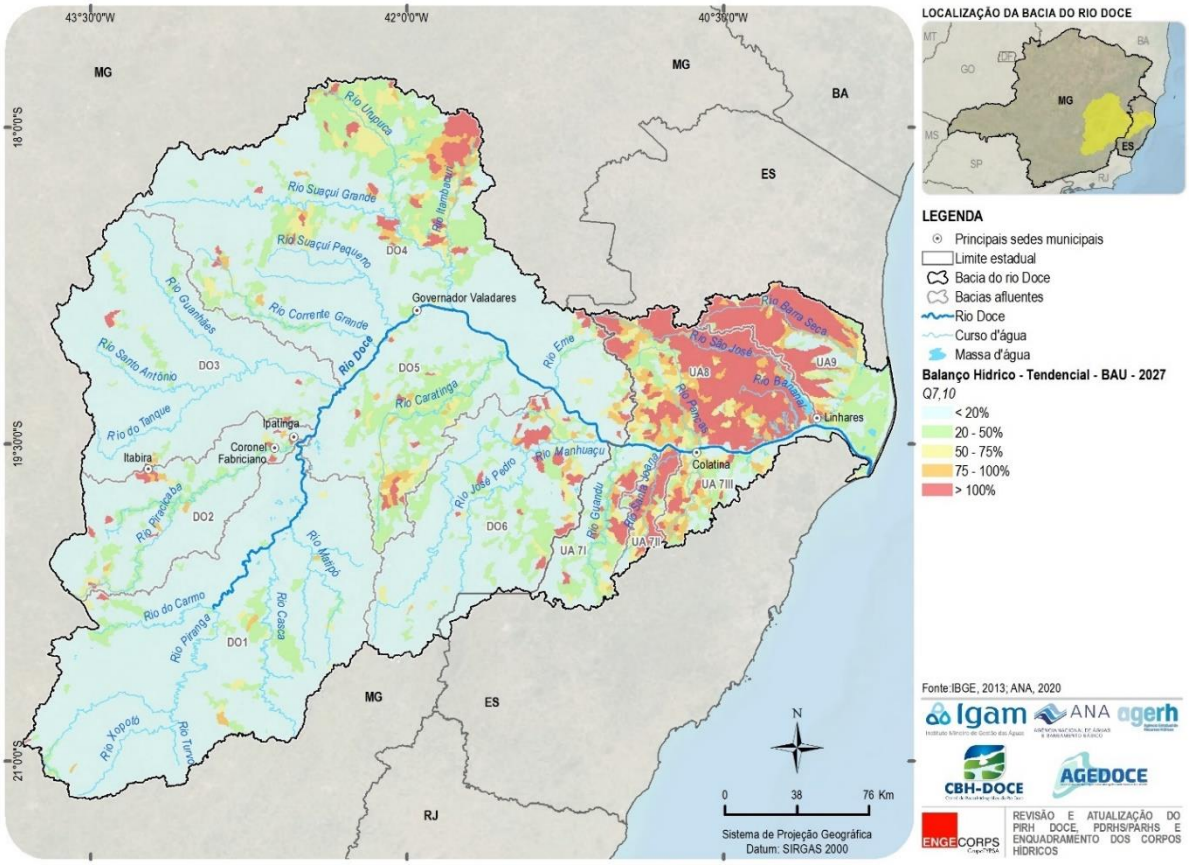


Polutograma Fósforo Total (out 2021) – Ponto 18

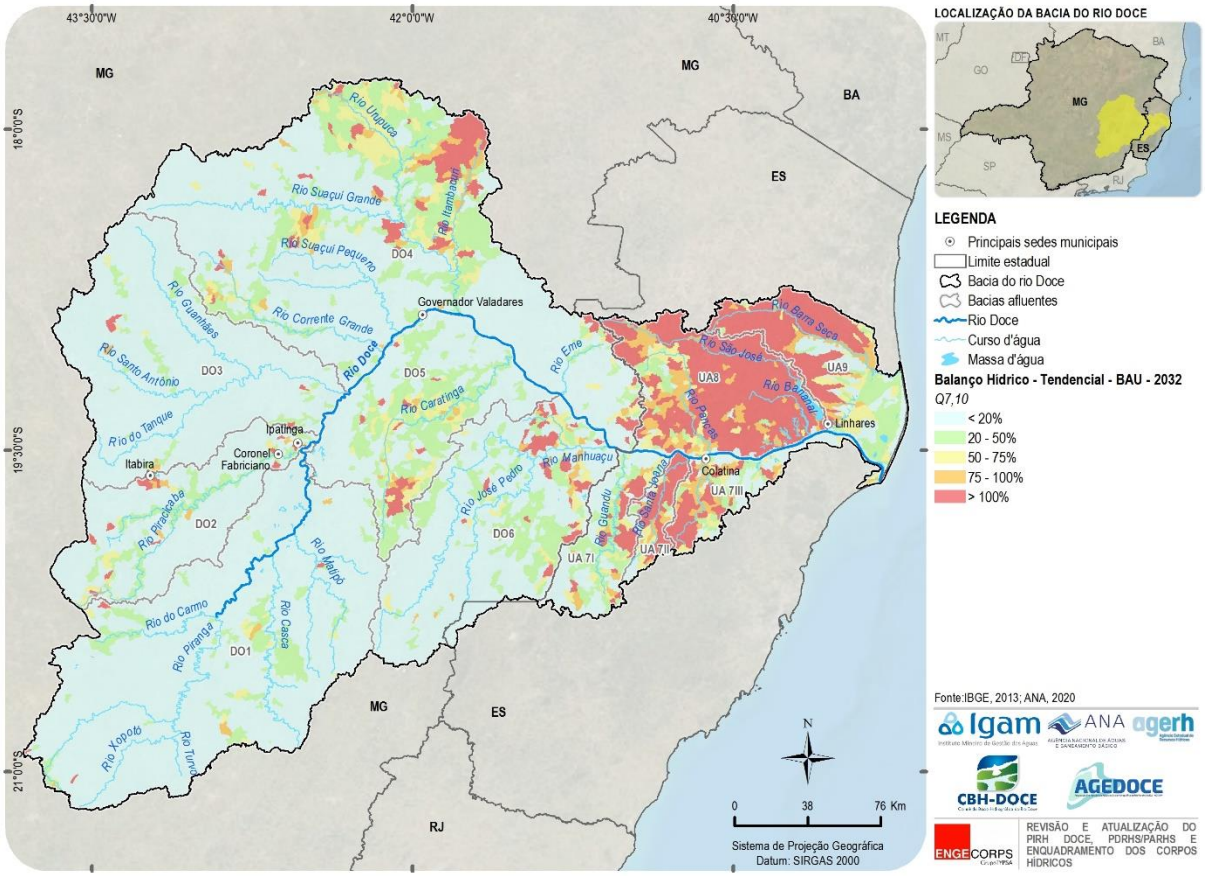


Polutograma Coliformes Termotolerantes (out 2021) – Ponto 18

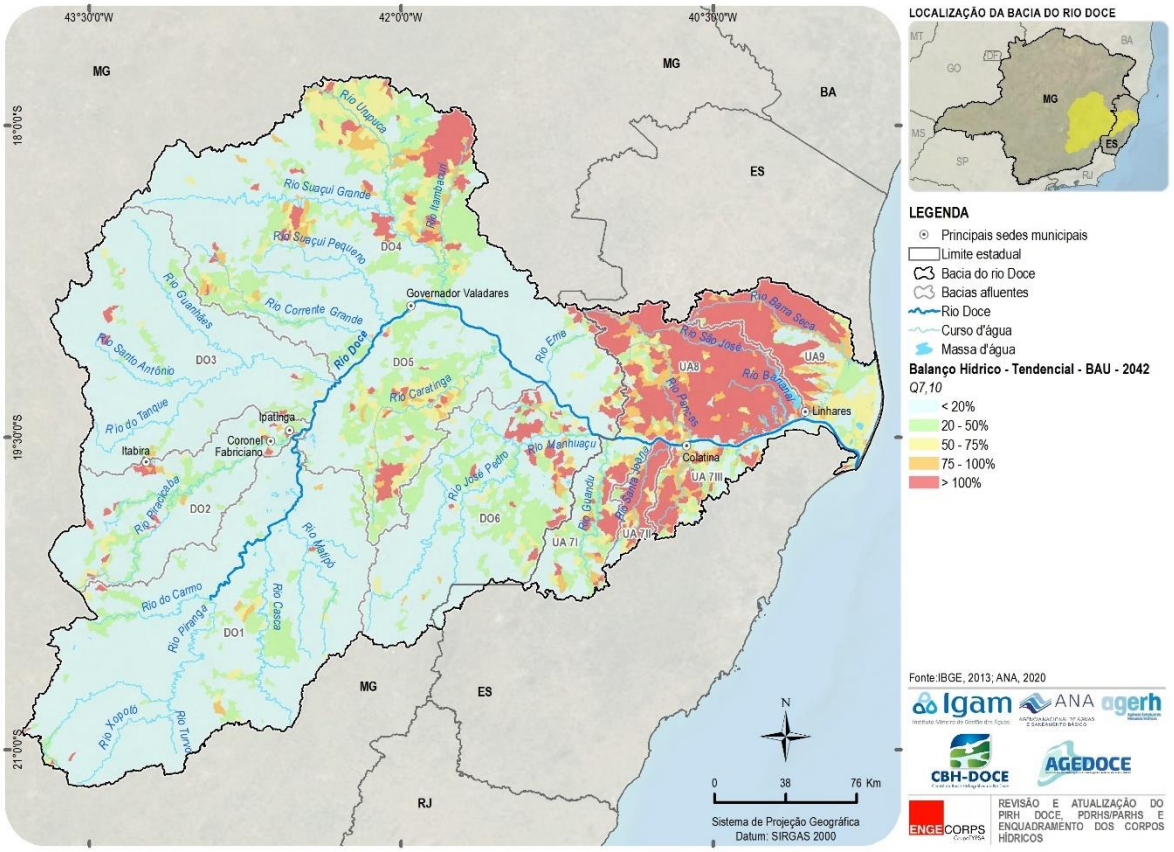
APÊNDICE II – BALANÇOS HÍDRICOS QUANTITATIVOS COM AS VAZÕES $Q_{7,10}$ E $Q_{90\%}$



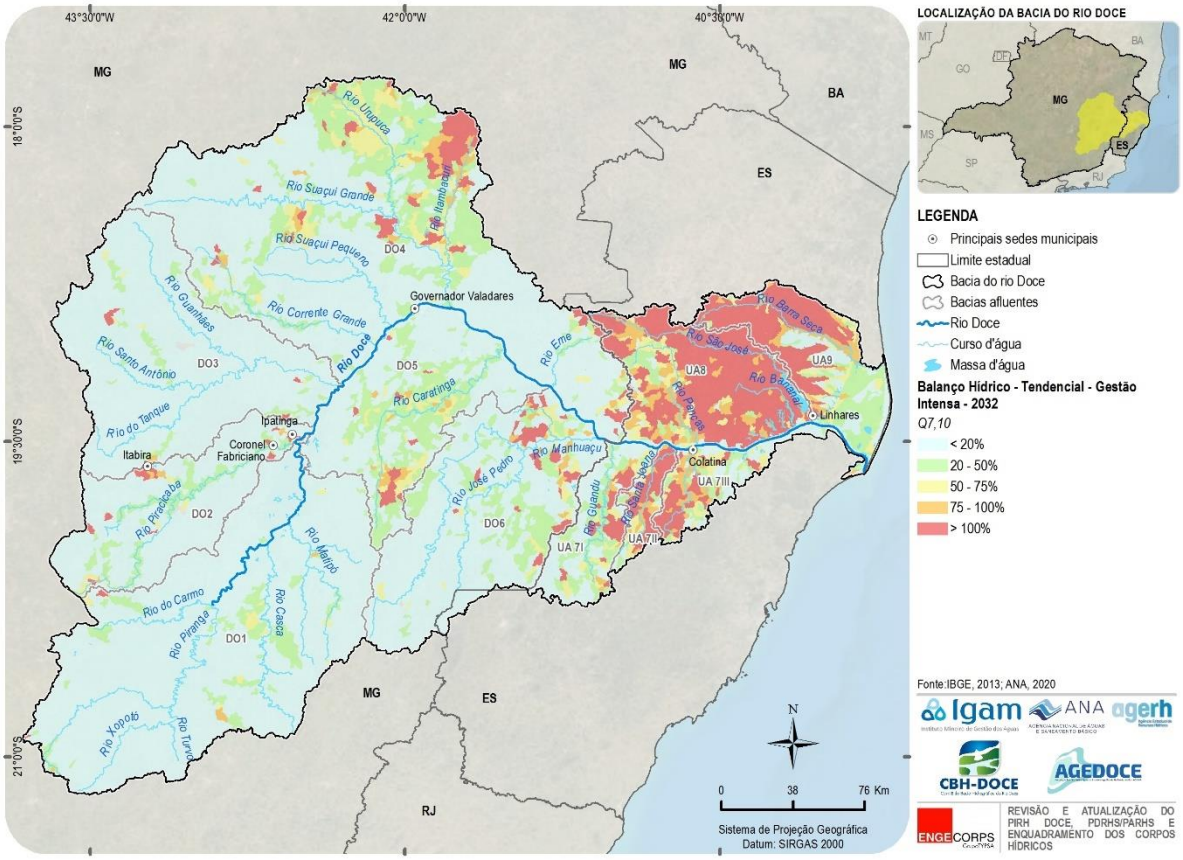
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2027 - Vazão $Q_{7,10}$



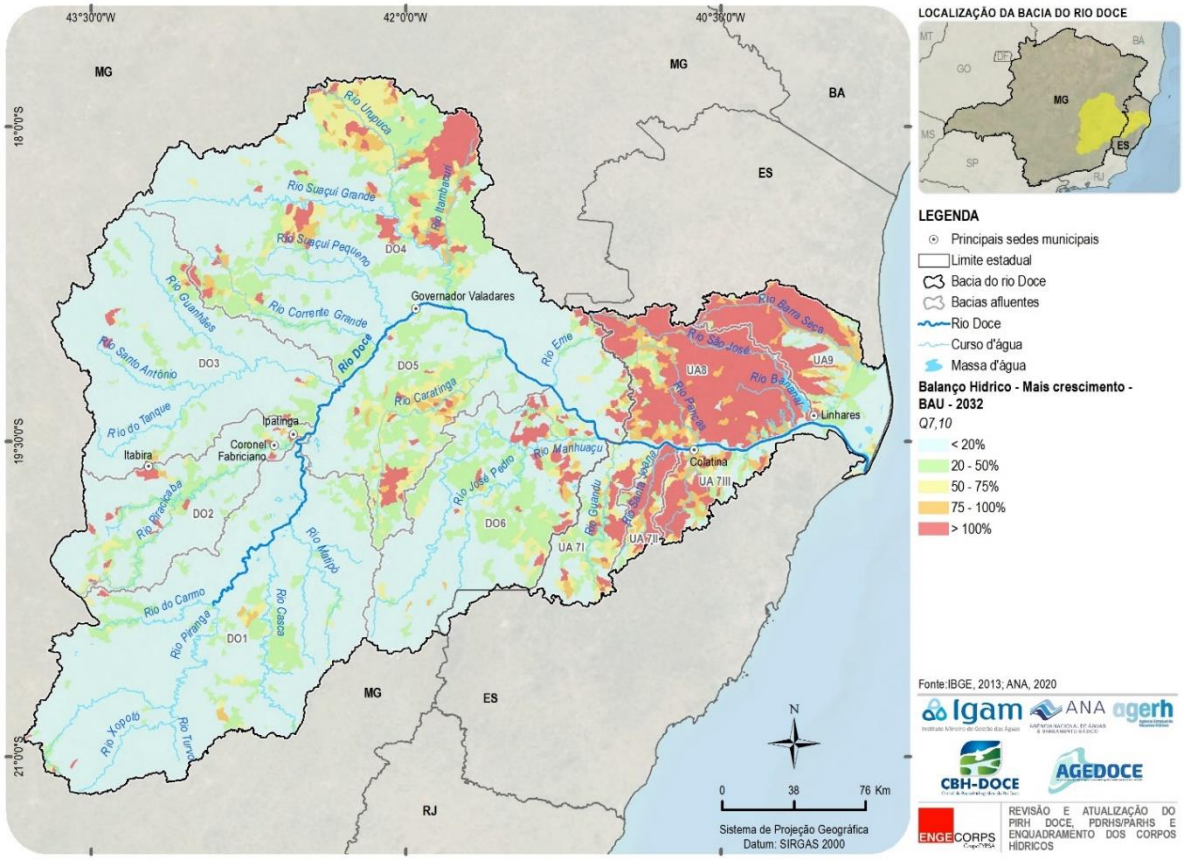
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2032 – Vazão $Q_{7,10}$



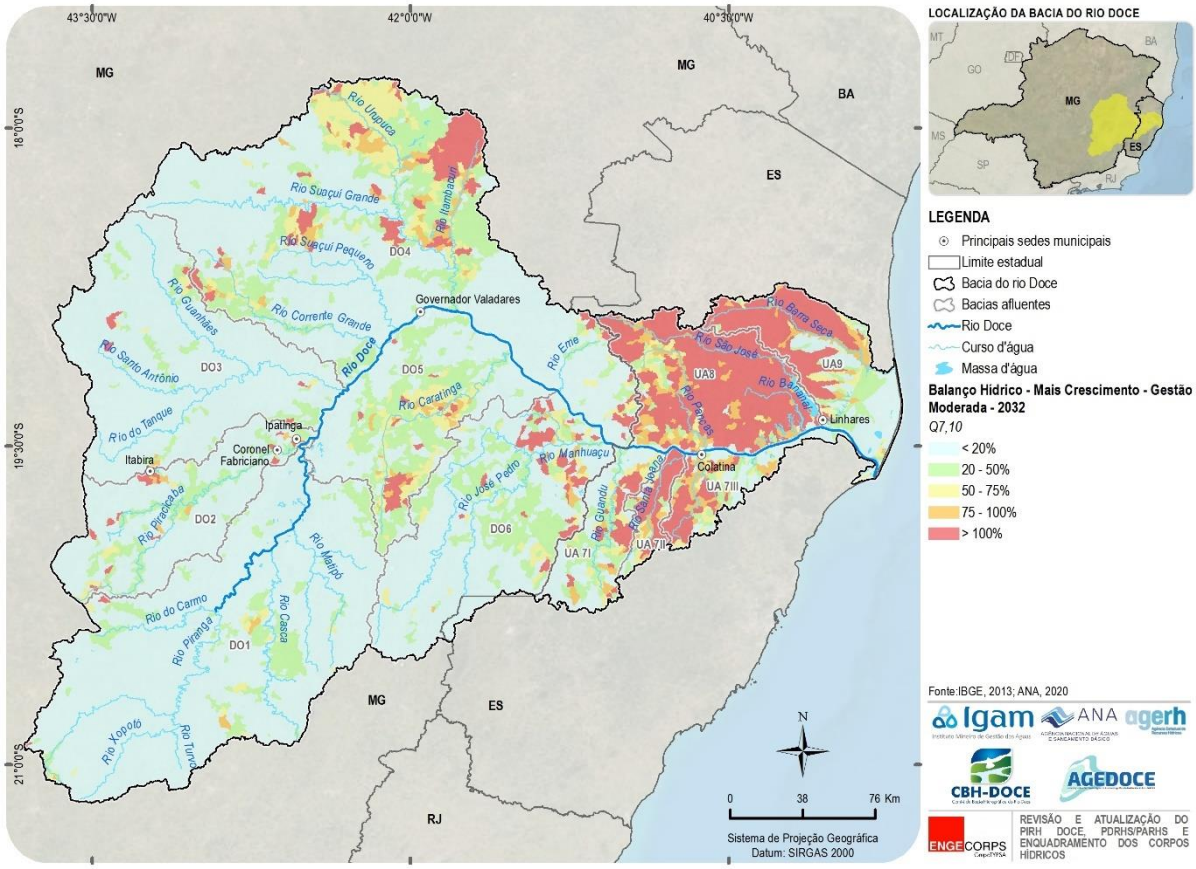
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2042 - $Q_{7,10}$



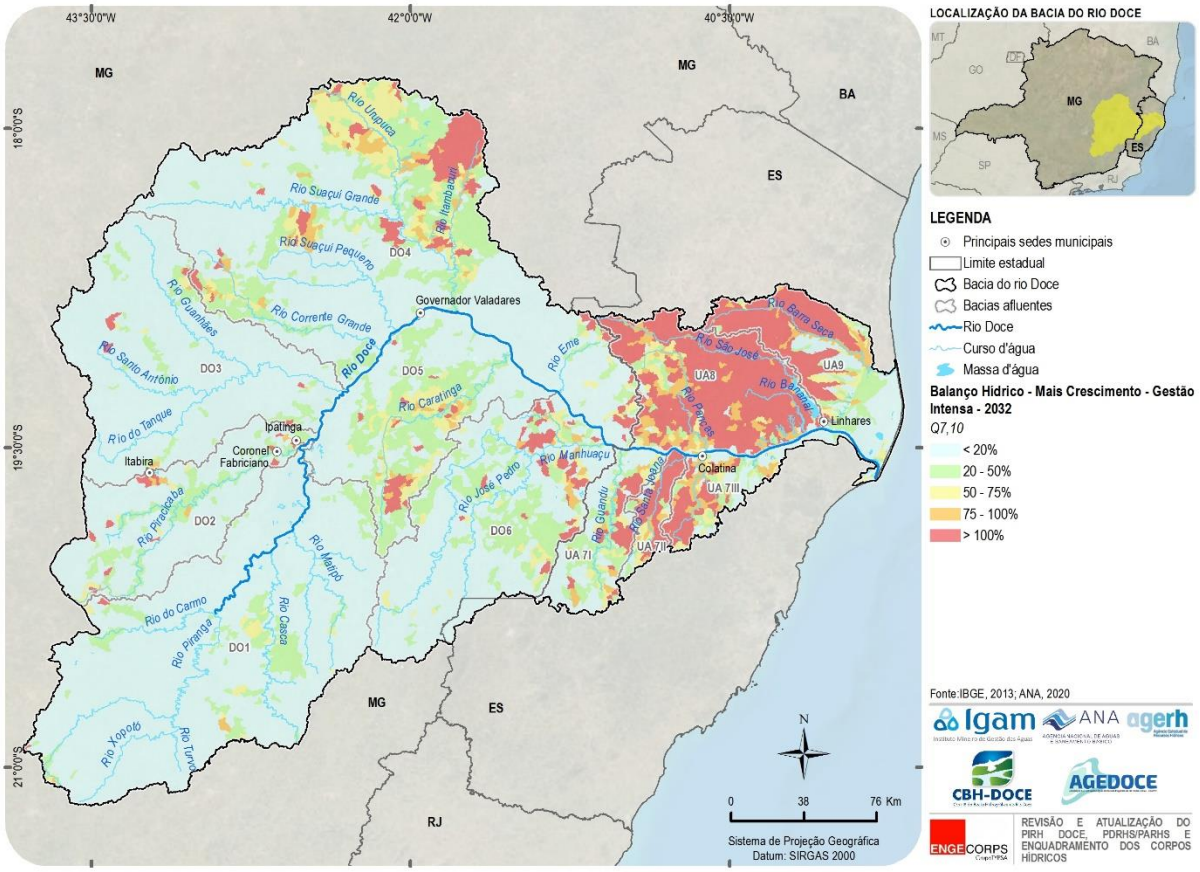
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial e ano 2032 - $Q_{7,10}$



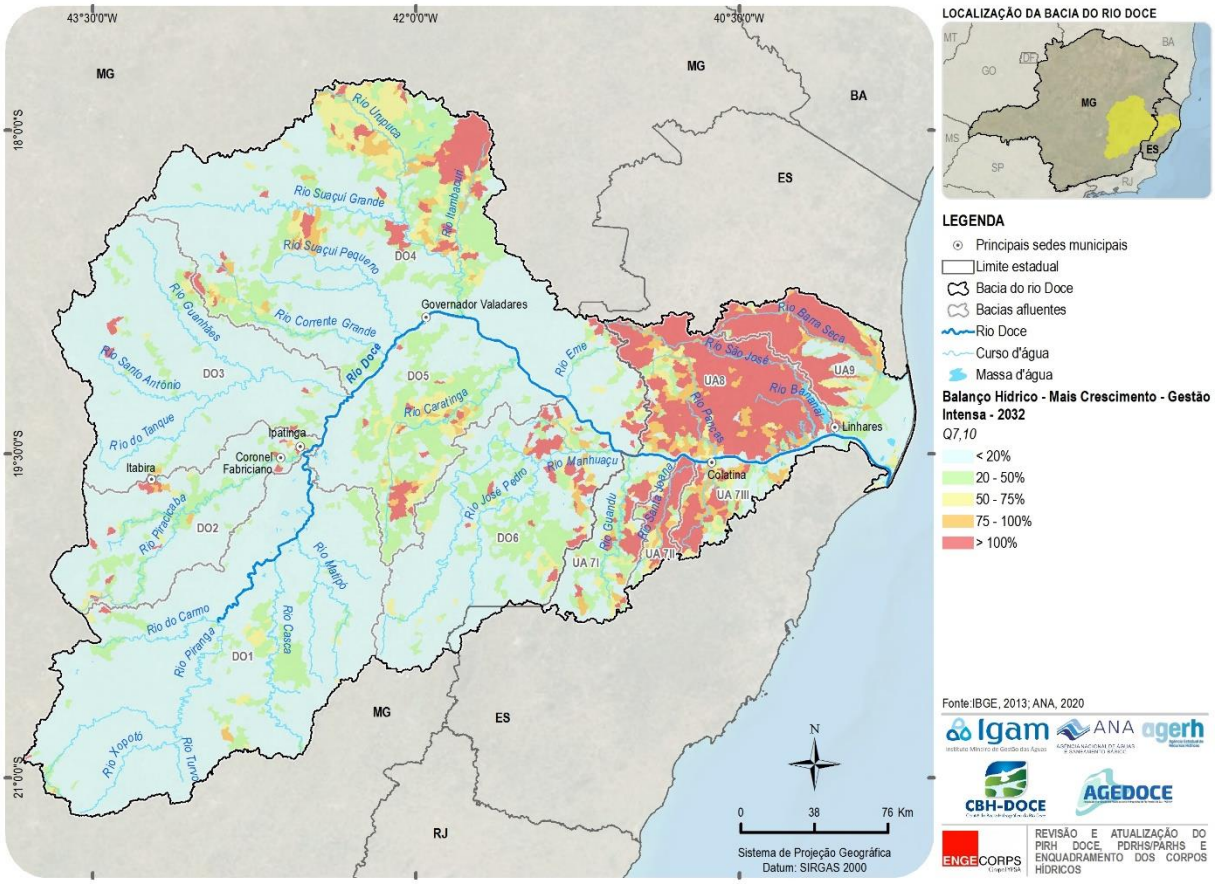
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032 – Vazão $Q_{7,10}$



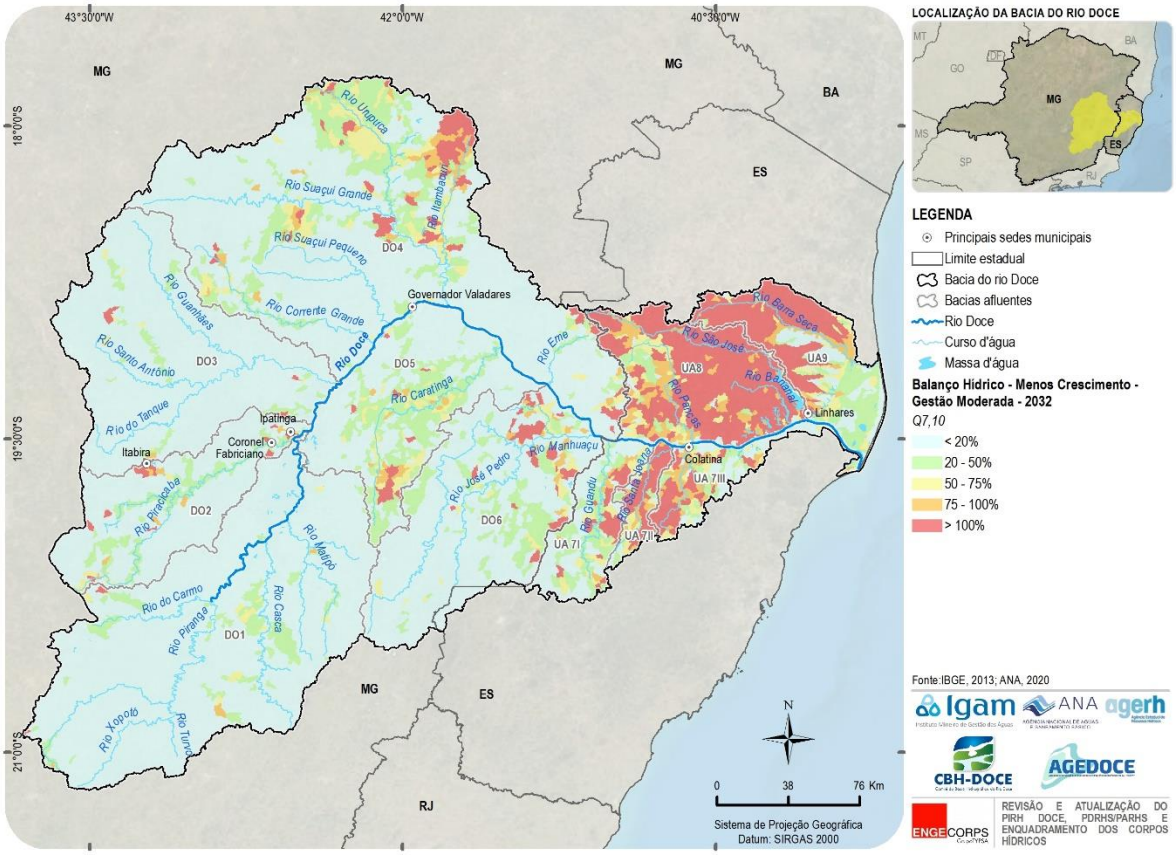
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032 - $Q_{7,10}$



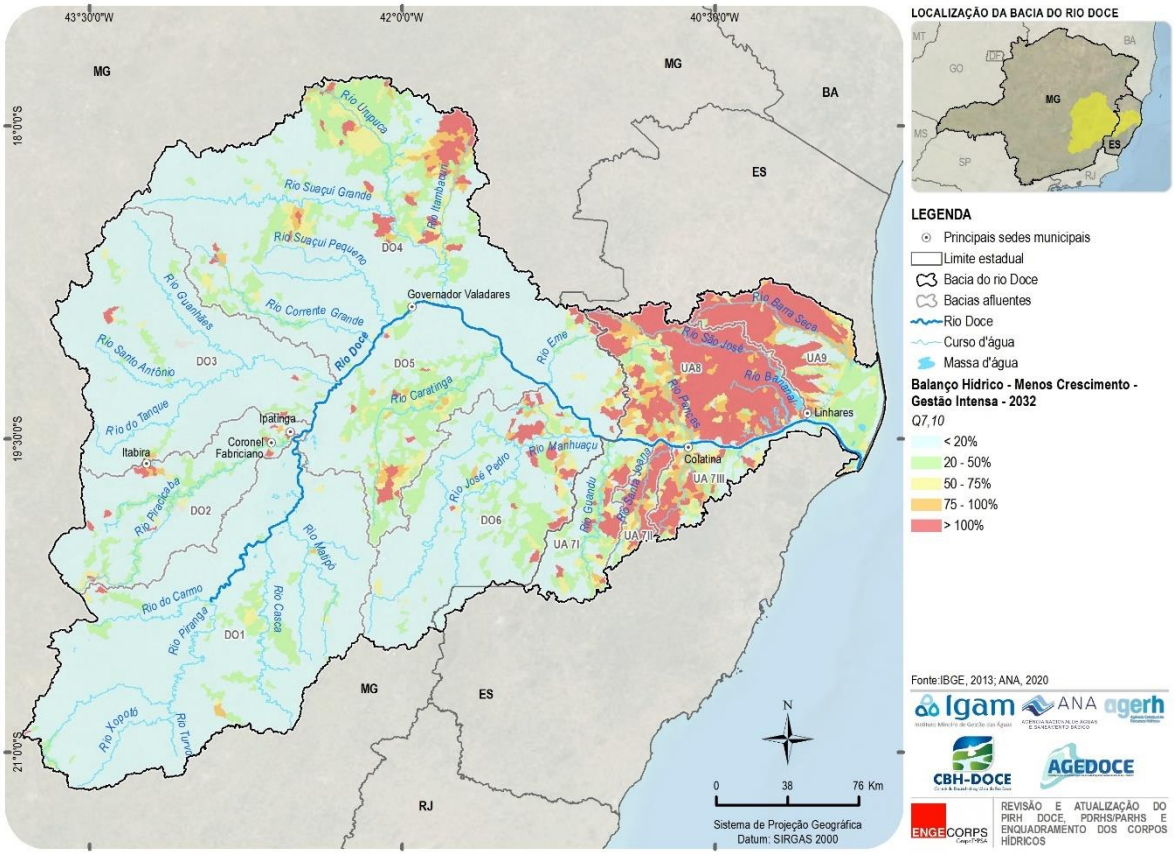
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032 - $Q_{7,10}$



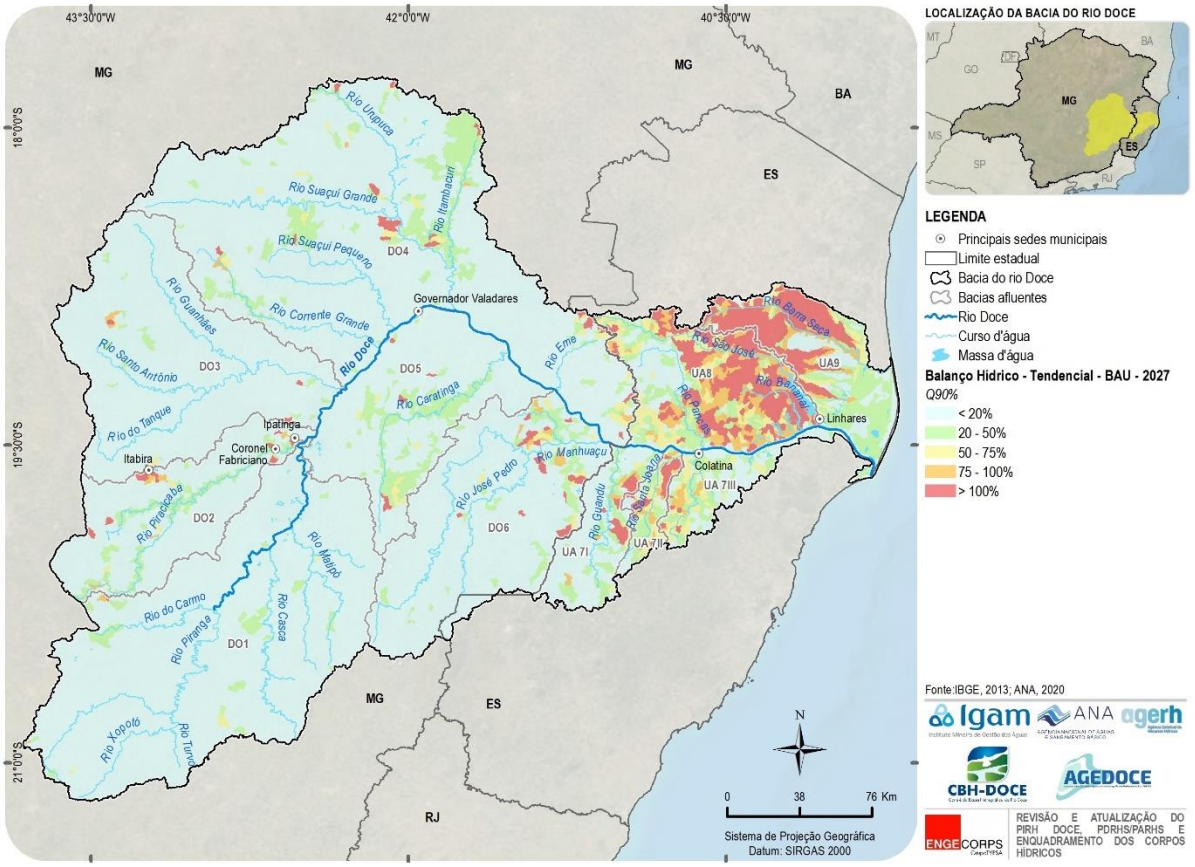
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032 - $Q_{7,10}$



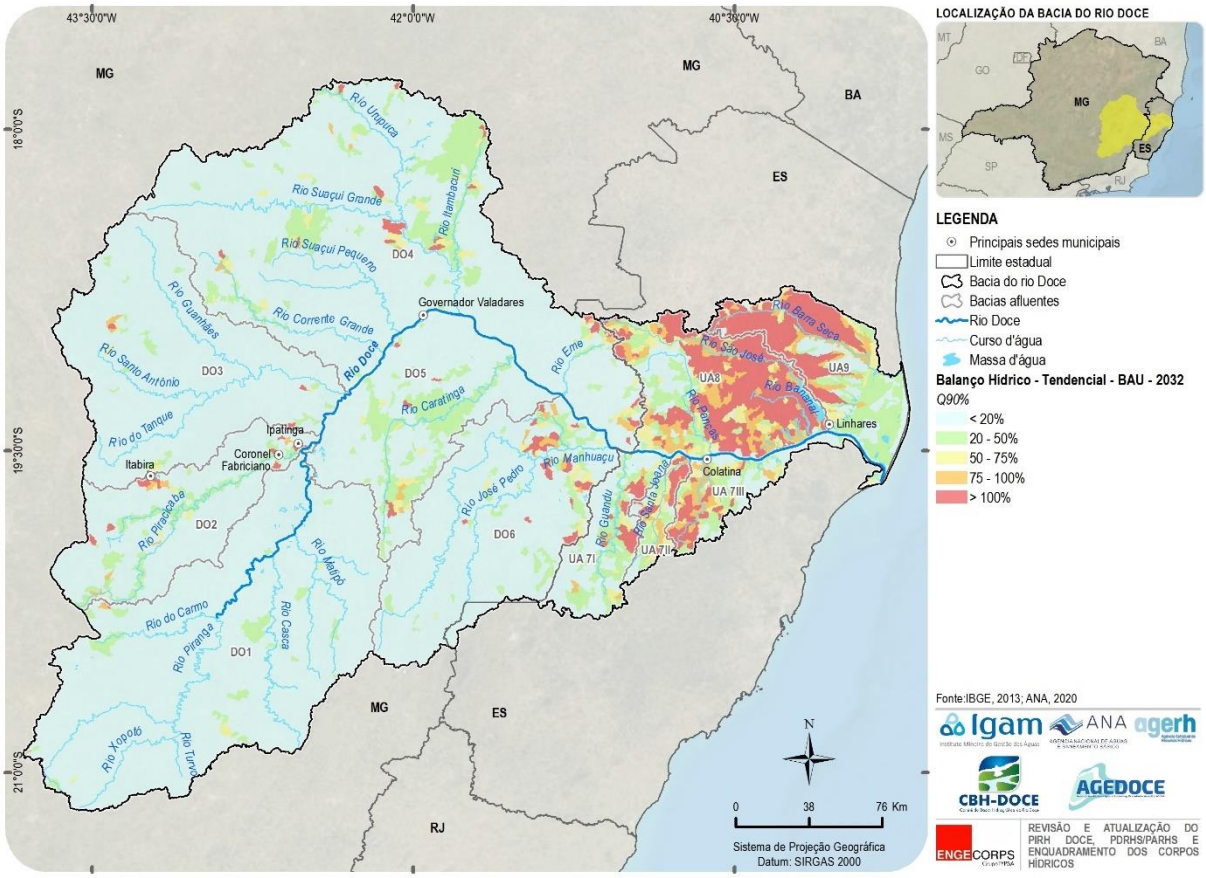
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032 - $Q_{7,10}$



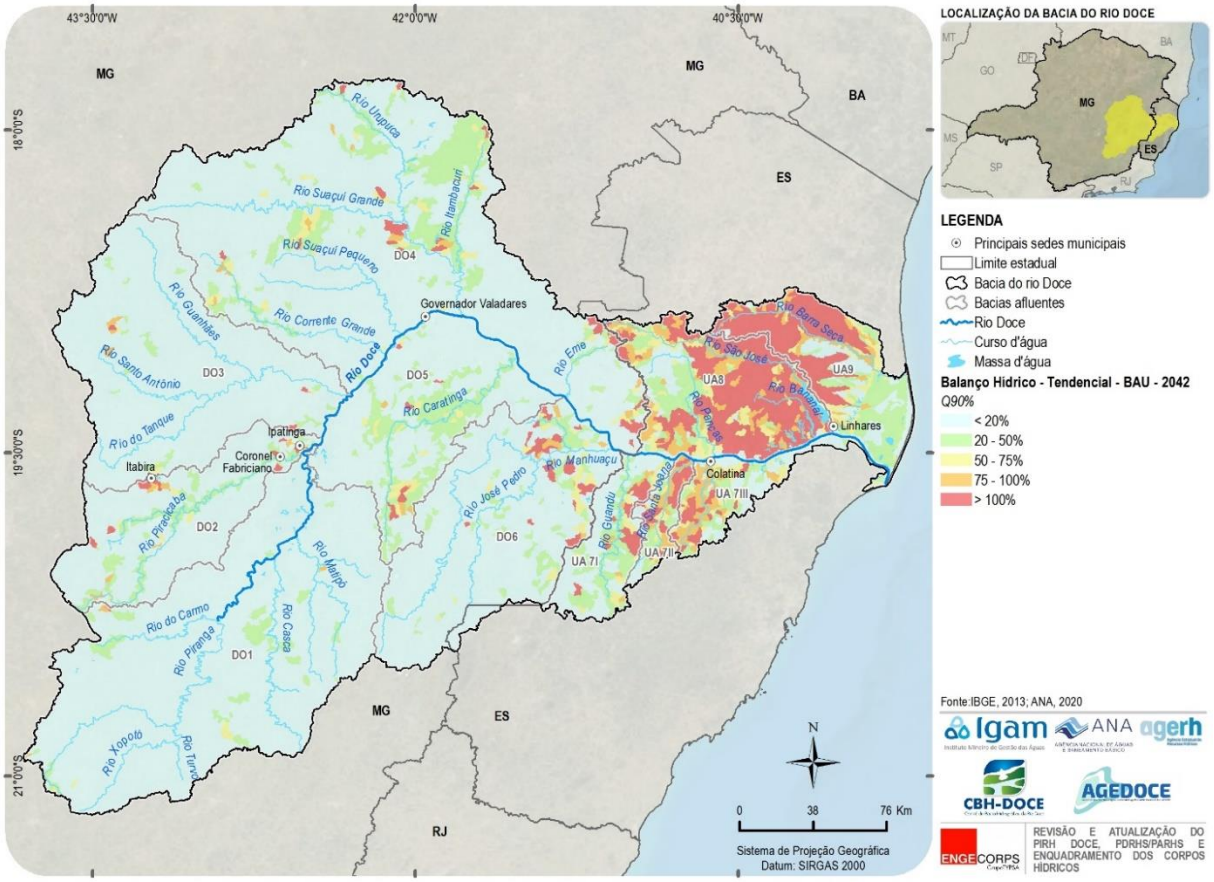
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032 - $Q_{7,10}$



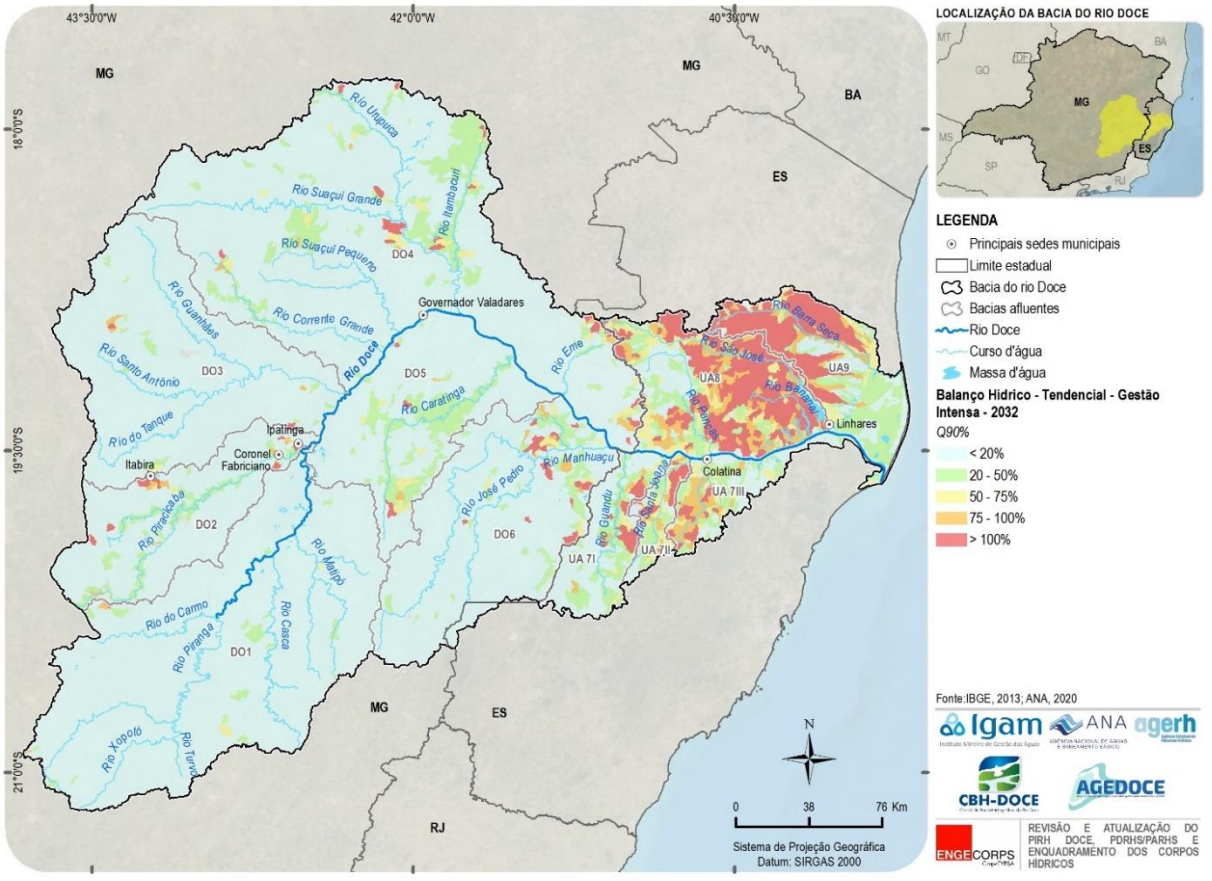
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2027 - $Q_{90\%}$



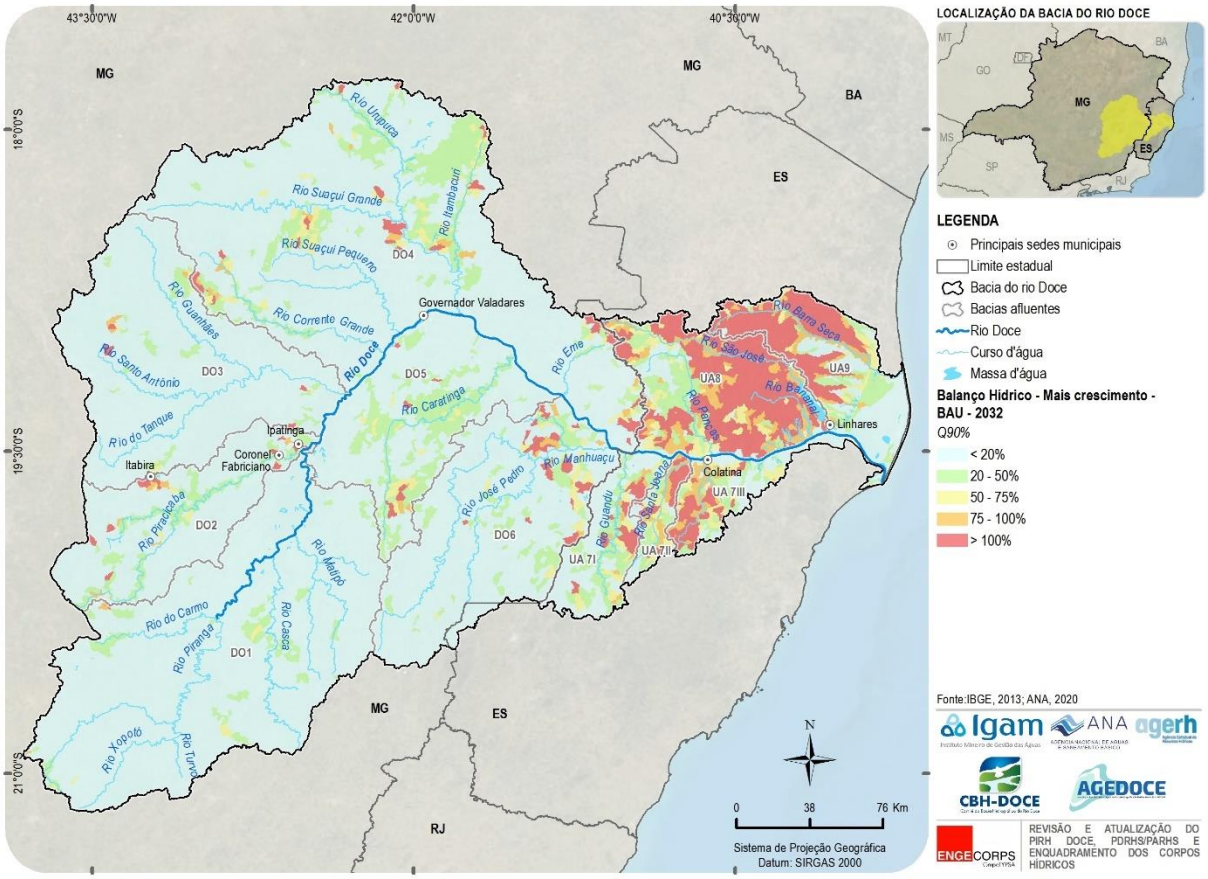
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2032 - $Q_{90\%}$



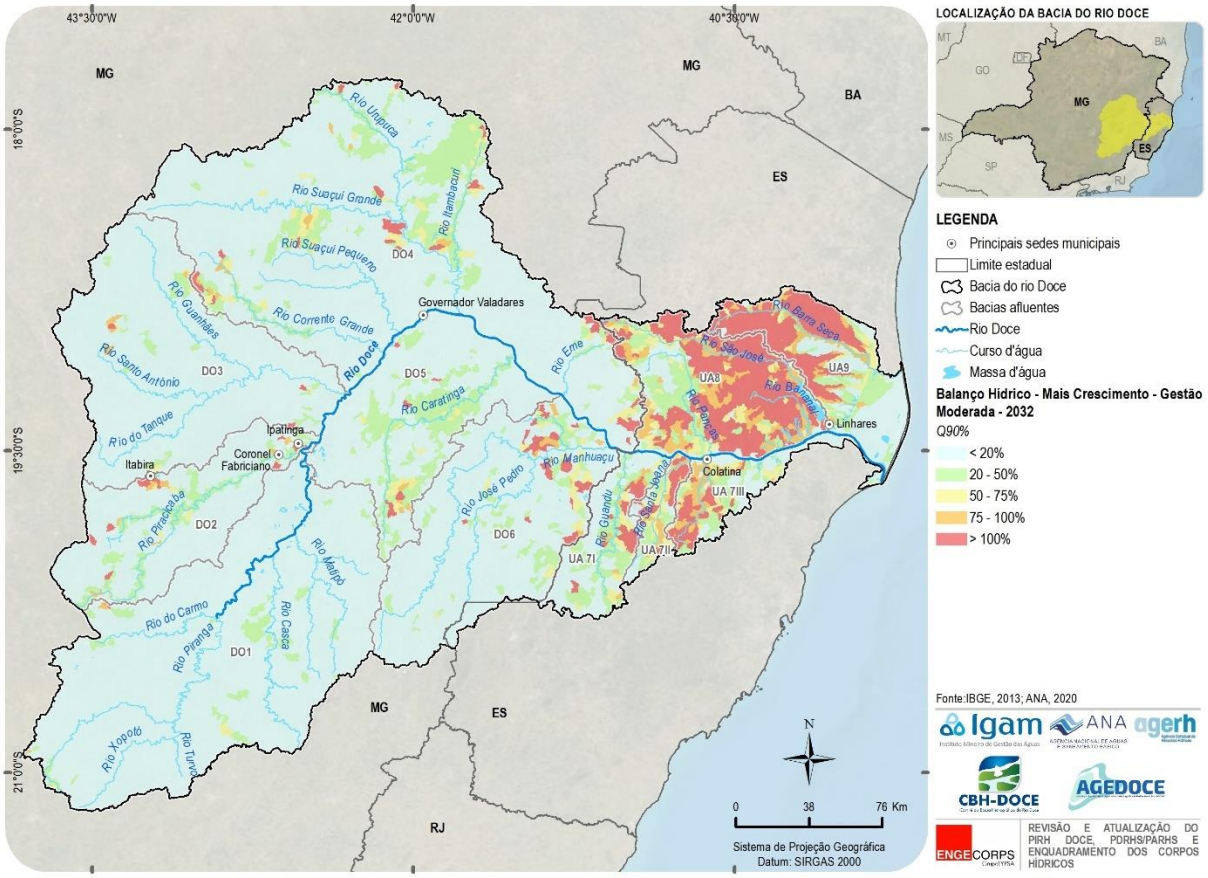
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Tendencial e ano 2042 - $Q_{90\%}$



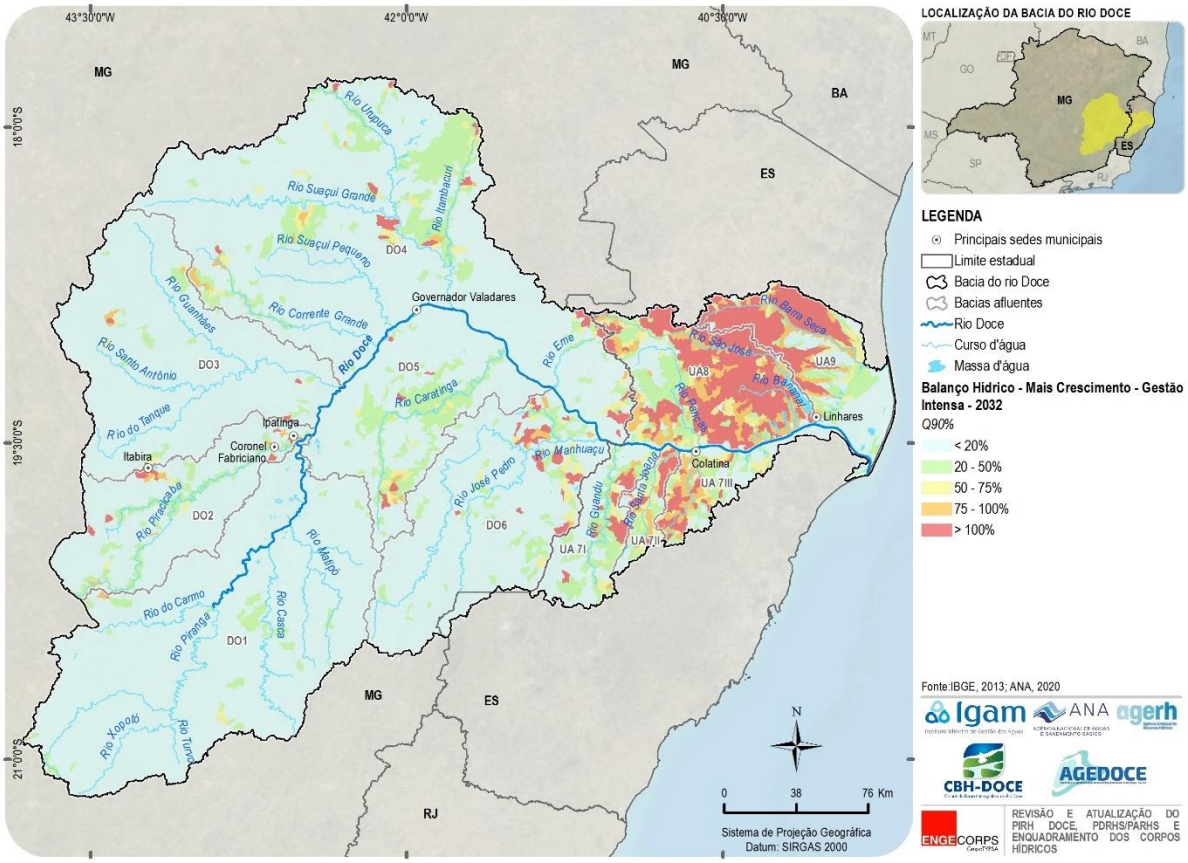
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Tendencial e ano 2032 - $Q_{90\%}$



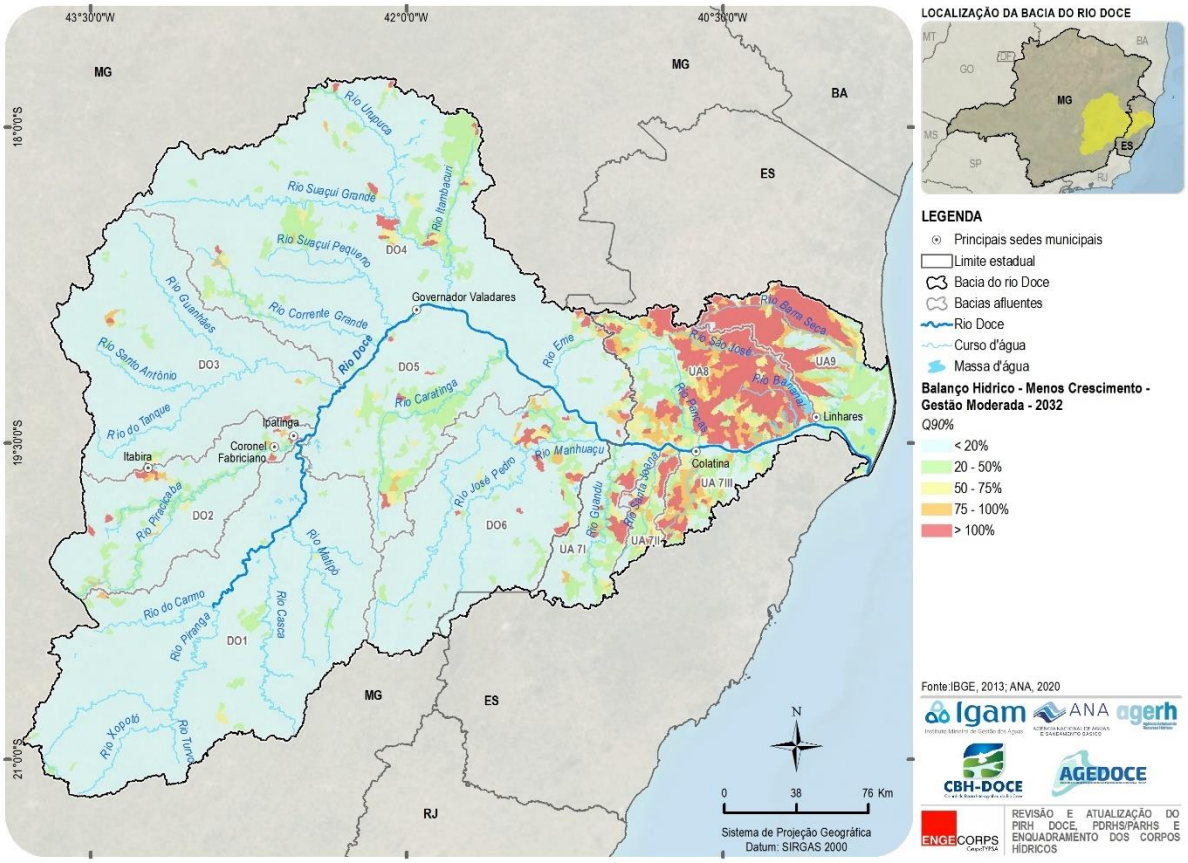
Balanço Hídrico - Endógeno BAU, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032 - $Q_{90\%}$



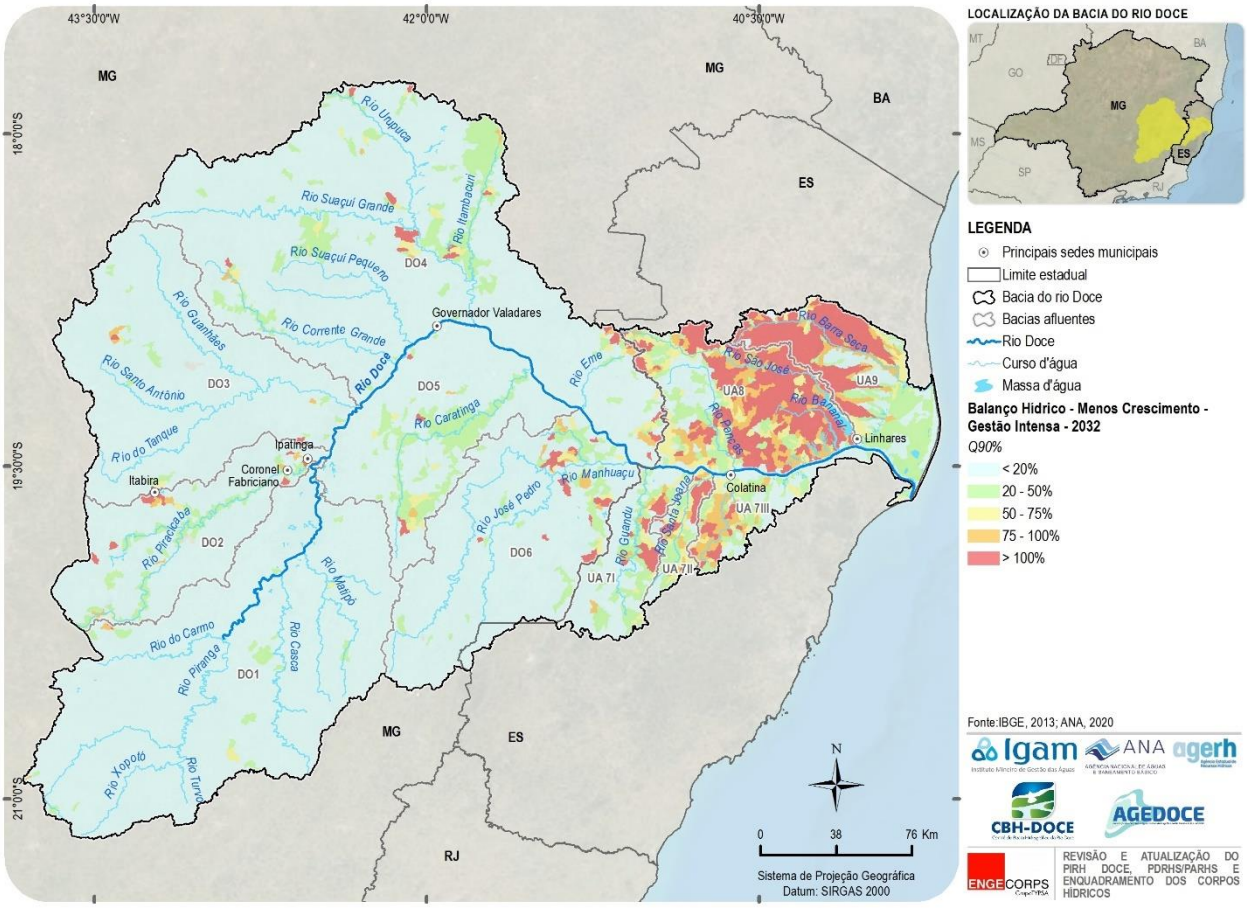
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032 - $Q_{90\%}$



Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Mais Crescimento e ano 2032 - $Q_{90\%}$



Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Moderada, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032 - $Q_{90\%}$



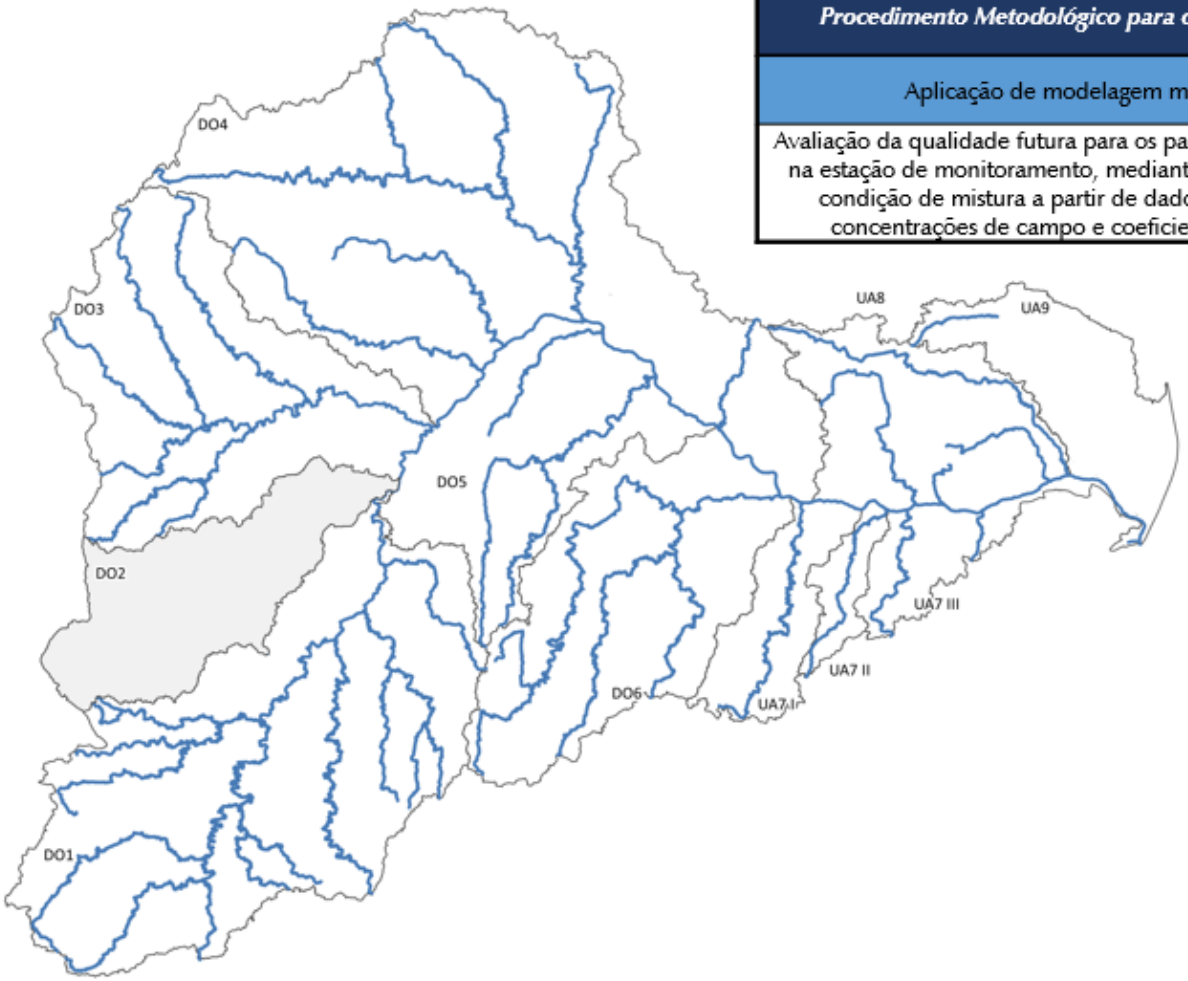
Balanço Hídrico - Endógeno Gestão Intensa, Exógeno Menos Crescimento e ano 2032 - $Q_{90\%}$

APÊNDICE III – SÍNTESE DOS CURSOS D'ÁGUA A SEREM ENQUADRADOS

Metodologias para o Enquadramento na Bacia do Rio Doce

Procedimento Metodológico para o Enquadramento	Quantidade de Cursos d'Água	Extensão (km)	Extensão % do Total*
Aplicação de modelagem matemática	44	6.360	13,0
Avaliação da qualidade futura para os parâmetros de referência na estação de monitoramento, mediante cálculo analítico da condição de mistura a partir de dados de medições de concentrações de campo e coeficientes de literatura	A definir	A definir	A definir
Totais	**> 44**	**> 6.360**	**>13,0**

*Total da Bacia



Agrupamento 1

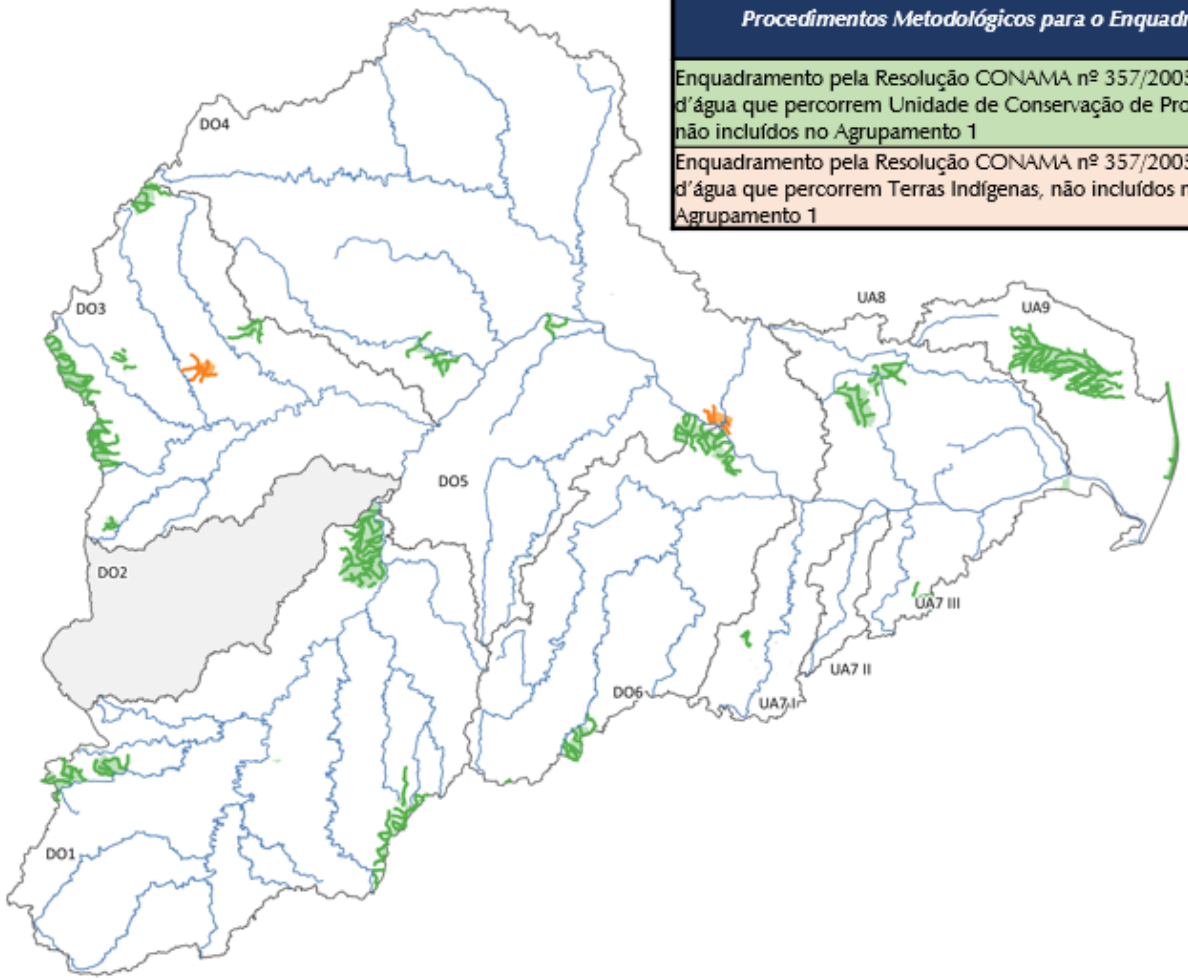
Enquadramento com Metas Progressivas e Programa de Efetivação

Agrupamento 1 - Enquadramento com Metas Progressivas e Programa de Efetivação

Metodologias para o Enquadramento na Bacia do Rio Doce

Procedimentos Metodológicos para o Enquadramento	Proposta de Metas Progressivas?	Programa de Efetivação do Enquadramento?	Nº de Cursos d'Água	Extensão (km)	Extensão % do Total*
Enquadramento pela Resolução CONAMA nº 357/2005 dos cursos d'água que percorrem Unidade de Conservação de Proteção Integral, não incluídos no Agrupamento 1	Não	Não	187	1.478	3,0
Enquadramento pela Resolução CONAMA nº 357/2005 dos cursos d'água que percorrem Terras Indígenas, não incluídos no Agrupamento 1	Não	Não	10	61	0,1
		Totais	197	1.540	3,1

*Total da Bacia



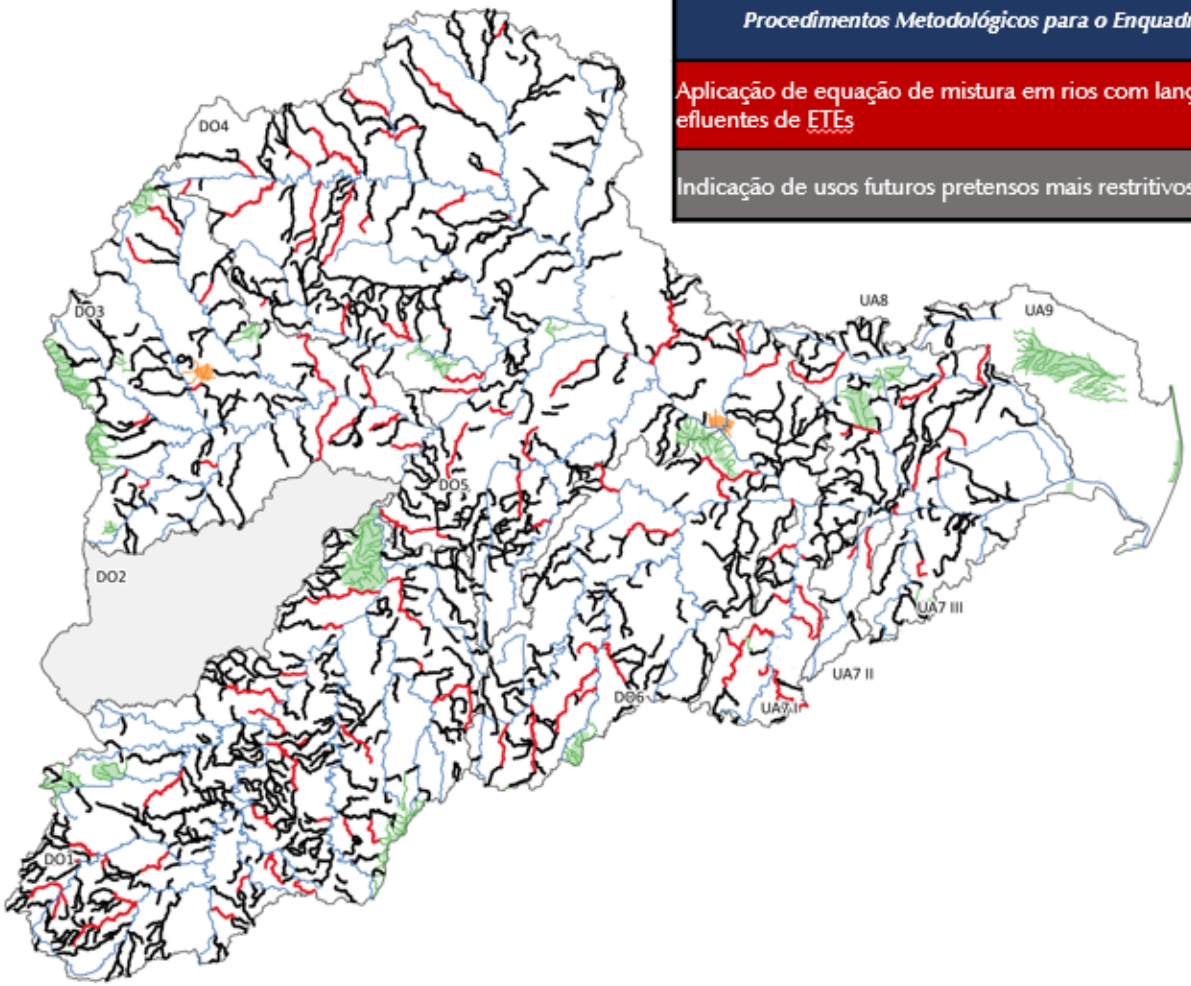
Agrupamento 2
Enquadramento pela Legislação

Agrupamento 2 - Enquadramento pela Legislação

Metodologias para o Enquadramento na Bacia do Rio Doce

Procedimentos Metodológicos para o Enquadramento	Proposta de Metas Progressivas?	Programa de Efetivação do Enquadramento?	Nº de Cursos d'Água	Extensão (km)	Extensão % do Total*
Aplicação de equação de mistura em rios com lançamento de efluentes de ETEs	Não	Não	119	2.137	4,0
Indicação de usos futuros pretensos mais restritivos	Não	Não	876	9.587	20,0
		Totais	*995*	*11.724*	*24,0*

*Total da Bacia

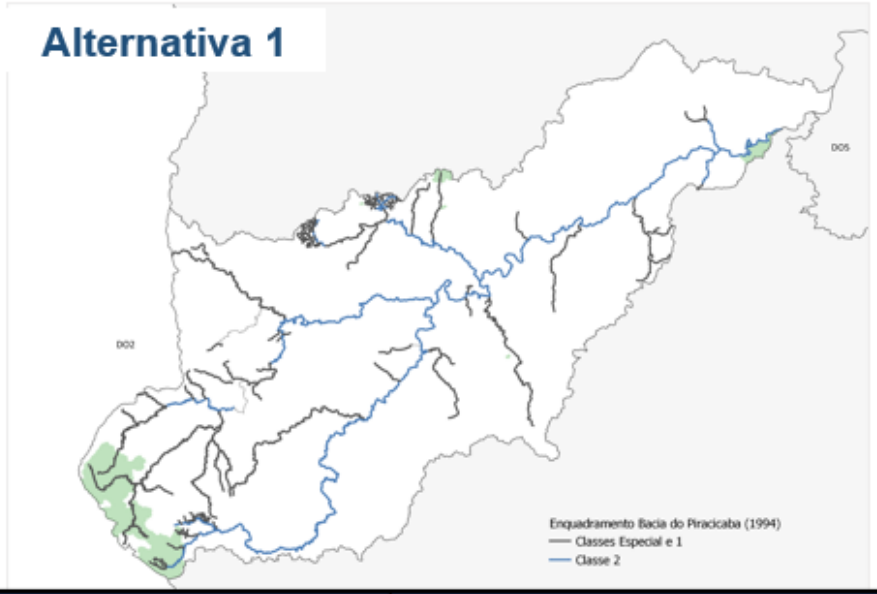


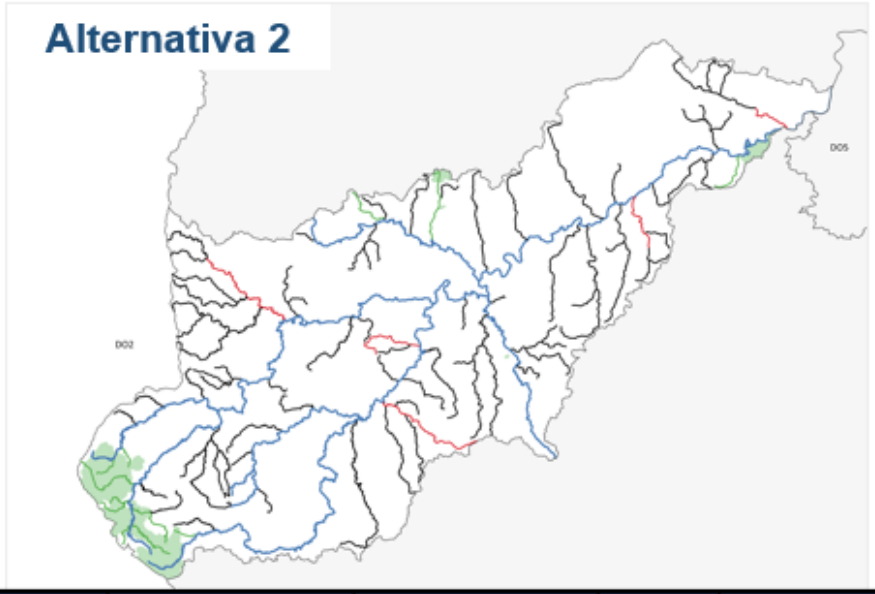
Agrupamento 3
Enquadramento Ampliado

Agrupamento 3 - Enquadramento Ampliado

Metodologias para o Enquadramento na Bacia do Rio Doce

Bacia do Rio Piracicaba



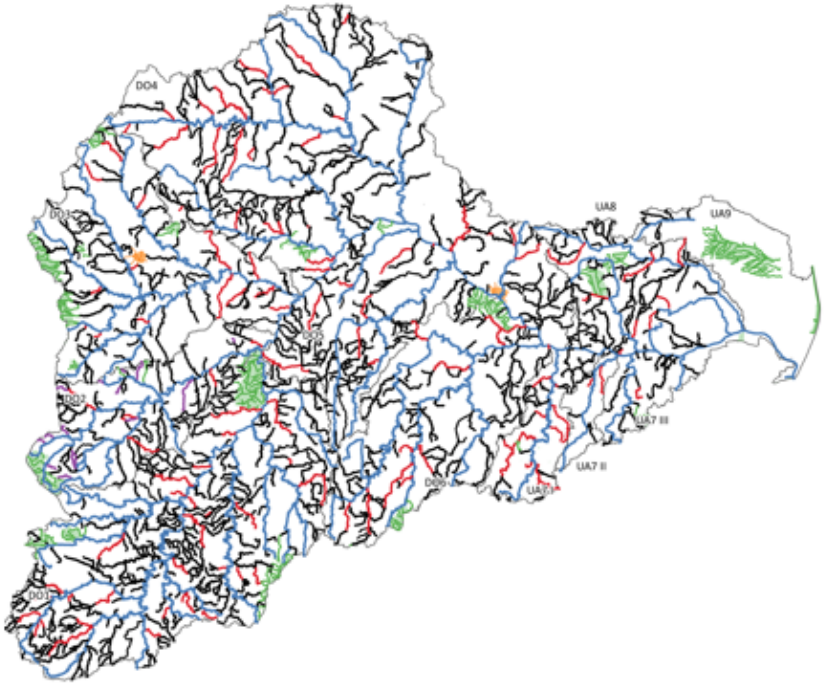


Alternativa	*Procedimentos Metodológicos para o Enquadramento*		*Proposta de Metas Progressivas?*	*Programa de Efetivação do Enquadramento?*	*Nº de Cursos d'Água*	*Extensão*	
						(km)	*% do Total**
1 - Manter o Enquadramento atual (Classes Especial e 1)	*Rios do Agrupamento 1 – Atualizar o enquadramento existente nos cursos d'água de Classe 2*		Sim (Apenas para os rios do Agrupamento 1)	Sim (Apenas para os rios do Agrupamento 1)	56	1.020	2,1
2 - Revisar/atualizar o Enquadramento	*Rios do Agrupamento 1*		Sim	Sim	7	579	1,2
	Rios do Agrupamento 2	UC	Não	Não	13	116	0,2
	Rios do Agrupamento 3	Equação de Mistura (ETEs)	Não	Não	5	88	0,2
		Usos futuros pretensos mais restritivos	Não	Não	72	840	1,8
				Totais	*97*	*1.623*	*3,4*

*Total da Bacia

Bacia do Rio Piracicaba

Metodologias para o Enquadramento na Bacia do Rio Doce



Agrupamento	Procedimento Metodológico para o Enquadramento	Proposta de Metas Progressivas ?	Programa de Efetivação?	Nº de Cursos d'Água	Extensão	
					(km)	% do Total*
1 Metas Progressivas e Programa de Efetivação	Aplicação de modelagem matemática	Sim	Sim	44	6.360	13,0
	Avaliação da qualidade futura para os parâmetros de referência na estação de monitoramento, mediante cálculo analítico da condição de mistura a partir de dados de medições de concentrações de campo e coeficientes de literatura	Sim	Sim	A definir	A definir	A definir
2 Legislação	Enquadramento pela Resolução CONAMA nº 357/2005 dos cursos d'água que percorrem Unidade de Conservação de Proteção Integral, não incluídos no Agrupamento 1	Não	Não	187	1.478	3,1
	Enquadramento pela Resolução CONAMA nº 357/2005 dos cursos d'água que percorrem Terras Indígenas, não incluídos no Agrupamento 1	Não	Não	10	61	0,1
3 Enquadramento Ampliado	Aplicação de equação de mistura em rios com lançamento de efluentes de ETEs	Não	Não	119	2.137	4,0
	Indicação de usos futuros pretensos mais restritivos	Não	Não	876	9.587	20,0
Bacia do Rio Piracicaba	Manter o Enquadramento atual	-	-	56	1.020	2,1
	Revisar/atualizar o Enquadramento					
	- Rios do Agrupamento 1	Sim	Sim	7	579	1,2
	- Rios do Agrupamento 2	Não	Não	13	116	0,2
	- Rios do Agrupamento 3	Não	Não	77	928	2,0
Totais				*1.333***	21.246**	~45,0**

*Total da Bacia
** Considerando a revisão da bacia do Piracicaba

Síntese Bacia do Rio Doce

PIRH
BACIA DO RIO DOCE

Igam
Instituto Mineiro de Gestão das Águas

ANA
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO

agerh
Agência Estadual de Recursos Hídricos

CBH-DOCE
Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce

CBH-BARRA SECA E FOZ DO RIO DOCE/ES
CBH-CARATINGA/MG
CBH-GUANDU/ES
CBH MANHUAÇU/MG
CBH-PIRACICABA/MG
CBH-PIRANGA/MG
CBH-PONTÕES E LAGOAS DO RIO DOCE/ES
CBH-SANTA JOANA/ES
CBH-SANTA MARIA DO DOCE/ES
CBH-SANTO ANTÔNIO/MG
CBH-SUAÇUÍ/MG

AGEDOCE
Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul - AGEVAP

ENGECORPS
GrupoTYPSA

Engecorps Engenharia S.A.

Alameda Tocantins 125, 12º andar - cj.1202 - 06455-020 - Alphaville - Barueri - SP - Brasil

Tel: (11) 2135-5252 | e-mail: comercial@engecorps.com.br

www.engecorps.com.br