
AGEVAP
ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Serviço

Estudo de atualização do quadro de demandas hídricas e atualização dos balanços hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul

Relatório

Produto 7 – Relatório Final

Novembro, 2025

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE QUADROS	10
LISTA DE SIGLAS.....	17
1. APRESENTAÇÃO	20
2. ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS ESTUDOS E SISTEMATIZAÇÃO DA BASE ESPACIAL	22
3. METODOLOGIA	25
4. ARTICULAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS	27
5. PROPOSIÇÃO, DISCUSSÃO E VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE CÁLCULO.....	45
5.1. ABASTECIMENTO HUMANO URBANO	46
5.2. ABASTECIMENTO HUMANO RURAL	53
5.3. DESSEDENTAÇÃO ANIMAL	55
5.4. IRRIGAÇÃO	60
5.5. INDÚSTRIA.....	63
5.6. MINERAÇÃO	65
5.7. TERMOELETRICIDADE.....	67

5.8.	EVAPORAÇÃO DE RESERVATÓRIOS	70
6.	QUADRO DAS DEMANDAS ATUAIS E FUTURAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	72
6.1.	CENA ATUAL DAS DEMANDAS	72
6.1.1.	Abastecimento humano urbano	72
6.1.2.	Abastecimento humano rural	75
6.1.3.	Dessedentação Animal	79
6.1.4.	Irrigação	85
6.1.5.	Indústria	88
6.1.6.	Mineração	91
6.1.7.	Termoeletricidade	94
6.1.8.	Evaporação Líquida	99
6.1.9.	Transposições	109
6.1.10.	Consolidação das Demandas – Cena Atual	117
6.2.	CENARIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS	122
7.	BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	135
7.1.	METODOLOGIA	135
7.2.	BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA A CENA ATUAL NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	139
7.3.	BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA A CENA ATUAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	143
7.4.	BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA A CENA FUTURA DE MAIOR PRESSÃO	165
7.5.	BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	188
7.6.	IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM MAIOR ÍNDICE DE COMPROMETIMENTO HÍDRICO	196

7.6.1.	Águas Superficiais.....	196
7.6.2.	Águas Subterrâneas.....	199
8.	HISTÓRICO DE REGRAS OPERATIVAS DAS UHES DO SISTEMA HIDRÁULICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	201
8.1.	DESCRIÇÃO GERAL.....	201
8.2.	TRANSPOSIÇÕES.....	205
8.2.1.	Transposição do Sistema Guandu.....	208
8.2.2.	Transposição Jaguari Atibainha.....	210
8.3.	HISTÓRICO DA OPERAÇÃO E CRISE HÍDRICA DE 2014-2015.....	212
8.3.1.	Evolução dos Volumes Armazenados.....	212
8.3.2.	Histórico das Condicionantes de Operação.....	217
8.4.	ESTUDOS ANTERIORES SOBRE A OPERAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO DO PARAÍBA DO SUL.....	224
9.	AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO E SOCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO.....	227
9.1.	IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO.....	227
9.1.1.	Metodologia para a alteração da disponibilidade hídrica.....	227
9.1.2.	Metodologia para a alteração das demandas hídricas.....	227
9.1.3.	Balanço Hídrico de Águas Superficiais.....	238
9.1.4.	Balanço Hídrico de Águas Subterrâneas.....	264
9.2.	IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	268
9.2.1.	Impactos Relacionados ao Deficit Hídrico.....	268
9.3.	PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PRIORIZAÇÃO DE DEMANDAS E CONSIDERAÇÃO OPERACIONAL NO BALANÇO HÍDRICO.....	301
10.	ANÁLISE CRÍTICA DOS DESAFIOS E AVANÇOS AO PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO ESTUDO.....	308

11.	RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS	315
12.	REFERÊNCIAS	318

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1 – UNIDADES DE PLANEJAMENTO E PRINCIPAIS CURSOS D'ÁGUA	23
FIGURA 2-2 – DIVISÃO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL EM SUB-BACIAS E UNIDADES DE PLANEJAMENTO	24
FIGURA 3-1 – FLUXOGRAMA DE PROCESSO PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO.....	26
FIGURA 5-1 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO PARA A ESTIMATIVA DE DEMANDA DO ABASTECIMENTO HUMANO URBANO	47
FIGURA 5-2 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO PARA A ESPACIALIZAÇÃO DA DEMANDA DO ABASTECIMENTO HUMANO URBANO	48
FIGURA 5-3 – SISTEMATIZAÇÃO DAS BASES PARA ESTIMATIVA E ESPECIALIZAÇÃO PARA OS LANÇAMENTOS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.	52
FIGURA 5-4 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO PARA A ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO DO ABASTECIMENTO HUMANO RURAL	54
FIGURA 5-5 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO PARA A ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO PARA A DESSEDENTAÇÃO ANIMAL	57
FIGURA 5-6 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO PARA A IRRIGAÇÃO	62
FIGURA 5-7 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO PARA A ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO DO SETOR INDUSTRIAL	64
FIGURA 5-8 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO DO SETOR DE MINERAÇÃO	66
FIGURA 5-9 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO DAS TERMOELÉTRICAS	69
FIGURA 5-10 – FLUXO E SISTEMATIZAÇÃO DA ESTIMATIVA DE DEMANDA E ESPACIALIZAÇÃO PARA A EVAPORAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS	71
FIGURA 6-1 – VAZÃO DE RETIRADA DESTINADA À DEMANDA ABASTECIMENTO HUMANO URBANO POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	73
FIGURA 6-2 – VAZÃO DE RETIRADA DESTINADA À DEMANDA ABASTECIMENTO HUMANO RURAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.	76
FIGURA 6-3 – VAZÃO DE RETIRADA DESTINADA À DESSEDENTAÇÃO ANIMAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.	84
FIGURA 6-4 – VAZÃO DE RETIRADA DESTINADA À IRRIGAÇÃO POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.	86
FIGURA 6-5 – VAZÃO DE RETIRADA DESTINADA À DEMANDA INDUSTRIAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.	89
FIGURA 6-6 – VAZÃO DE RETIRADA DESTINADA À MINERAÇÃO POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	92
FIGURA 6-7 – MAPA DAS USINAS TERMOELÉTRICAS DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL EM OPERAÇÃO.	97
FIGURA 6-8 – VAZÃO DE RETIRADA DAS USINAS TERMOELÉTRICAS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DO PARAÍBA DO SUL.....	98

FIGURA 6-9 – MAPA DOS RESERVATÓRIOS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL E LOCALIZAÇÃO DOS APROVEITAMENTOS HIDROELÉTRICOS EM OPERAÇÃO.....	100
FIGURA 6-10 – VAZÃO DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MÉDIA ANUAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	104
FIGURA 6-11 – VAZÃO DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MÉDIA MENSAL (JANEIRO A ABRIL).....	106
FIGURA 6-12 – VAZÃO DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MÉDIA MENSAL (MAIO A AGOSTO).....	107
FIGURA 6-13 – VAZÃO DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MÉDIA MENSAL (SETEMBRO A DEZEMBRO).....	108
FIGURA 6-14 – LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS E TRANSPOSIÇÕES DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	111
FIGURA 6-15 – ESQUEMA GERAL DO PERCURSO DOS PRINCIPAIS RIOS E RESERVATÓRIOS DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL.....	113
FIGURA 6-16 – ESQUEMA GERAL DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS DOS RIOS PARAÍBA DO SUL, PIRAI E RIBEIRÃO DAS LAJES.....	114
FIGURA 6-17 – DEMANDAS HÍDRICAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL CONSOLIDADAS POR SETORES.....	118
FIGURA 6-18 – TIPOS DE DEMANDA (SUBTERRÂNEA OU SUPERFICIAL) POR SETOR USUÁRIO.....	119
FIGURA 6-19 – DEMANDAS CONSOLIDADAS DA CENA ATUAL POR UPs (SEM CONSIDERAR TRANSPOSIÇÕES E EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS).....	120
FIGURA 6-20 – DEMANDAS PROJETADAS (SEM CONSIDERAR TRANSPOSIÇÕES E EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS) PARA OS HORIZONTES DE TEMPO NOS CENÁRIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS AVALIADOS	134
FIGURA 7-1 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₀ , CENA ATUAL – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	140
FIGURA 7-2 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	141
FIGURA 7-3 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENA ATUAL – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	142
FIGURA 7-4 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP ALTO PARAÍBA DO SUL	148
FIGURA 7-5 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENA ATUAL – UP ALTO PARAÍBA DO SUL	149
FIGURA 7-6 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP PRETO E PARAIBUNA	150
FIGURA 7-7 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENA ATUAL – UP PRETO E PARAIBUNA	151
FIGURA 7-8 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP POMBA E MURIAÉ.....	152
FIGURA 7-9 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENA ATUAL – UP POMBA E MURIAÉ.....	153
FIGURA 7-10 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP MÉDIO PARAÍBA DO SUL	156
FIGURA 7-11 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL, CENA ATUAL – Q ₉₅ – UP PIABANHA.....	157

FIGURA 7-12 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP RIO DOIS RIOS	158
FIGURA 7-13 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP BAIXO PARAÍBA DO SUL	159
FIGURA 7-14 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENA ATUAL – UP RIO PIRAI.....	161
FIGURA 7-15 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q ₉₀ – CENÁRIO ATUAL E DE MAIOR PRESSÃO (2045).....	166
FIGURA 7-16 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q ₉₅ – CENÁRIO ATUAL E DE MAIOR PRESSÃO (2045).....	167
FIGURA 7-17 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q _{7,10} – CENÁRIO ATUAL E DE MAIOR PRESSÃO (2045).....	167
FIGURA 7-18 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP ALTO PARAÍBA DO SUL	172
FIGURA 7-19 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP ALTO PARAÍBA DO SUL	173
FIGURA 7-20 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP PRETO E PARAIBUNA	174
FIGURA 7-21 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP PRETO E PARAIBUNA	175
FIGURA 7-22 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP POMBA E MURIAÉ	176
FIGURA 7-23 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q _{7,10} , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP POMBA E MURIAÉ	177
FIGURA 7-24 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP MÉDIO PARAÍBA DO SUL	178
FIGURA 7-25 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP PIABANHA.....	179
FIGURA 7-26 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP RIO DOIS RIOS	180
FIGURA 7-27 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP BAIXO PARAÍBA DO SUL.....	181
FIGURA 7-28 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) – UP RIO PIRAI	182
FIGURA 7-29 – DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA – CENA ATUAL	190
FIGURA 7-30 – DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA – CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045).....	191
FIGURA 8-1 – LOCALIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS E TRANSPOSIÇÕES DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	204
FIGURA 8-2 – ESQUEMA GERAL DAS TRANSPOSIÇÕES DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL	206
FIGURA 8-3 – ESQUEMA GERAL DO PERCURSO DOS PRINCIPAIS RIOS E RESERVATÓRIOS DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL	207
FIGURA 8-4 – LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA GUANDU.....	208
FIGURA 8-5 – ESQUEMA GERAL DOS APROVEITAMENTOS HIDRELÉTRICOS DOS RIOS PARAÍBA DO SUL, PIRAI E RIBEIRÃO DAS LAJES	209

FIGURA 8-6 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SISTEMA GUANDU	209
FIGURA 8-7 – LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA JAGUARI - ATIBAINHA	211
FIGURA 8-8 – INTERLIGAÇÃO DO SISTEMA JAGUARI-ATIBAINHA.....	212
FIGURA 8-9 – SÉRIE TEMPORAL DO VOLUME ÚTIL ARMAZENADO, EM RELAÇÃO AO VOLUME ÚTIL TOTAL DO RESERVATÓRIO EQUIVALENTE	213
FIGURA 8-10 – SÉRIES HISTÓRICAS DIÁRIA DE VOLUME ÚTIL ARMAZENADO EM CADA RESERVATÓRIO.....	215
FIGURA 8-11 – MÉDIAS ANUAIS DOS VOLUMES ÚTEIS PARA OS QUATRO RESERVATÓRIOS ANALISADOS E O RESERVATÓRIO EQUIVALENTE	216
FIGURA 9-1 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q_{90} – CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇA CLIMÁTICA E ONDA DE CALOR	239
FIGURA 9-2 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q_{95} – CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇA CLIMÁTICA E ONDA DE CALOR	239
FIGURA 9-3 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, $Q_{7,10}$ – CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇA CLIMÁTICA E ONDA DE CALOR	240
FIGURA 9-4 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{90} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	241
FIGURA 9-5 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{95} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	242
FIGURA 9-6 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – $Q_{7,10}$, MUDANÇAS CLIMÁTICAS – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	243
FIGURA 9-7 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{95} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP ALTO PARAÍBA DO SUL.....	253
FIGURA 9-8 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – $Q_{7,10}$, MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP ALTO PARAÍBA DO SUL.....	254
FIGURA 9-9 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{95} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP PRETO E PARAIBUNA	255
FIGURA 9-10 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – $Q_{7,10}$, MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP PRETO E PARAIBUNA	256
FIGURA 9-11 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{95} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP POMBA E MURIAÉ	257
FIGURA 9-12 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – $Q_{7,10}$, MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP POMBA E MURIAÉ	258
FIGURA 9-13 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{95} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP MÉDIO PARAÍBA DO SUL.....	259
FIGURA 9-14 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL, MUDANÇAS CLIMÁTICAS – Q_{95} – UP PIABANHA	260
FIGURA 9-15 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q_{95} , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP RIO DOIS RIOS.....	261

FIGURA 9-16 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP BAIXO PARAÍBA DO SUL	262
FIGURA 9-17 – BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL ANUAL – Q ₉₅ , MUDANÇAS CLIMÁTICAS – UP RIO PIRAI	263

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2-1 – ÁREAS DE ABRANGÊNCIA DAS UNIDADES DE PLANEJAMENTO.	22
QUADRO 4-1 – TOTAL DE DEMANDAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO URBANO POR FONTE DE DADOS (M ³ /S)	30
QUADRO 4-2 – TOTAL DE DEMANDAS PARA ABASTECIMENTO HUMANO RURAL POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).....	32
QUADRO 4-3 – TOTAL DE DEMANDAS PARA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).....	34
QUADRO 4-4 – TOTAL DE DEMANDAS PARA CONSUMO INDUSTRIAL POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).	36
QUADRO 4-5 – TOTAL DE DEMANDAS PARA MINERAÇÃO POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).	38
QUADRO 4-6 – TOTAL DE DEMANDAS PARA IRRIGAÇÃO POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).....	40
QUADRO 4-7 – TOTAL DE DEMANDAS PARA OUTROS USOS POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).....	42
QUADRO 4-8 – TOTAL DE DEMANDAS PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL POR FONTE DE DADOS (M ³ /S).....	43
QUADRO 5-1 – COEFICIENTES TÉCNICOS POR UNIDADE DA FEDERAÇÃO – UF E POPULAÇÃO.....	49
QUADRO 5-2 – COEFICIENTES DE USO, PERDA E RETORNO PARA O ABASTECIMENTO HUMANO RURAL.....	53
QUADRO 5-3 – COEFICIENTES TÉCNICOS DA DESSEDENTAÇÃO ANIMAL E OUTROS USOS	58
QUADRO 5-4 – COEFICIENTES DE CAPTAÇÃO E CONSUMO (L/KWH) DO SETOR DE TERMOELÉTRICAS	67
QUADRO 6-1 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE ABASTECIMENTO HUMANO DA CENA ATUAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO. 74	
QUADRO 6-2 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE ABASTECIMENTO HUMANO RURAL DA CENA ATUAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	77
QUADRO 6-3 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE ABASTECIMENTO RURAL DA CENA ATUAL E POPULAÇÃO RURAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	78
QUADRO 6-4 – DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE CABEÇAS POR REBANHO (CENA ATUAL) POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	80
QUADRO 6-5 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA HÍDRICA POR REBANHO (CENA ATUAL) POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	81
QUADRO 6-6 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE DESSEDENTAÇÃO ANIMAL DA CENA ATUAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO..	83

QUADRO 6-7 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE IRRIGAÇÃO DA CENA ATUAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	87
QUADRO 6-8 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA INDUSTRIAL DA CENA ATUAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	90
QUADRO 6-9 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE MINERAÇÃO DA CENA ATUAL EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SUPERFICIAIS POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	93
QUADRO 6-10 – USINAS TERMELÉTRICAS OPERANTES NA BACIA POR TIPO DE COMBUSTÍVEL E POTÊNCIA INSTALADA.	96
QUADRO 6-11 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE TERMOELETRICIDADE DA CENA ATUAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	98
QUADRO 6-12 – VAZÃO DE EVAPORAÇÃO MÉDIA LÍQUIDA MENSAL PARA OS RESERVATÓRIOS COM ÁREA SUPERIOR A 1 km ²	101
QUADRO 6-13 – VAZÃO MÉDIA DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MENSAL AGRUPADA POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL, PARA OS RESERVATÓRIOS COM ÁREA SUPERIOR A 1 km ²	102
QUADRO 6-14 – DISTRIBUIÇÃO DA DEMANDA DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MÉDIA ANUAL DA CENA ATUAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	103
QUADRO 6-15 – VAZÃO MÉDIA DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA MENSAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL.	105
QUADRO 6-16 – PRINCIPAIS APROVEITAMENTOS LOCALIZADOS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	110
QUADRO 6-17 – QUADRO RESUMO DAS TRANSPOSIÇÕES DA CENA ATUAL DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL.	116
QUADRO 6-18 – VALORES CONSOLIDADOS DAS DEMANDAS HÍDRICAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL NA CENA ATUAL (SEM CONSIDERAR TRANSPOSIÇÕES E EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS).....	121
QUADRO 6-19 – CENÁRIOS PROSPECTIVOS ADOTADOS PARA A CENARIZAÇÃO	123
QUADRO 6-20 – VALORES CONSOLIDADOS NO CENÁRIO DE MENOR PRESSÃO, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.	126
QUADRO 6-21 – VALORES CONSOLIDADOS NO CENÁRIO TENDENCIAL, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.	129
QUADRO 6-22 – VALORES CONSOLIDADOS NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.	132
QUADRO 7-1 – ÍNDICES UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DE BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL	135
QUADRO 7-2 – REGRAS DE OUTORGA CONSIDERADAS EM CADA ESTADO E EM RIOS DE DOMÍNIO DA UNIÃO.	138
QUADRO 7-3 – RESUMO DOS CENÁRIOS CONSIDERADOS NO BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL	138
QUADRO 7-4 – ÍNDICES UTILIZADOS PARA A ANÁLISE DE BALANÇO HÍDRICO SUBTERRÂNEO	139
QUADRO 7-5 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, NA CENA ATUAL, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO, Q ₉₀	144
QUADRO 7-6 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, NA CENA ATUAL, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO, Q ₉₅	144

QUADRO 7-7 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, NA CENA ATUAL, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO, $Q_{7,10}$	145
QUADRO 7-8 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, NA CENA ATUAL, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	146
QUADRO 7-9 – ANÁLISE DE RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL DA CENA ATUAL INTEGRADA À DISPONIBILIDADE HÍDRICA (VAZÃO DE REFERÊNCIA Q_{95}).....	162
QUADRO 7-10 – ANÁLISE DE RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL DA CENA ATUAL INTEGRADA À DISPONIBILIDADE HÍDRICA (UPS COM VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{7,10}$)	164
QUADRO 7-11 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q_{95} - CENÁRIO ATUAL E DE MAIOR PRESSÃO (2045) – POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	170
QUADRO 7-12 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, $Q_{7,10}$ - CENÁRIO ATUAL E DE MAIOR PRESSÃO (2045) – POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	171
QUADRO 7-13 – ANÁLISE DE RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL INTEGRADA À DISPONIBILIDADE HÍDRICA, PARA O CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO 2045 (VAZÃO DE REFERÊNCIA Q_{95}).	185
QUADRO 7-14 – ANÁLISE DE RESULTADOS DO BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL INTEGRADA À DISPONIBILIDADE HÍDRICA, PARA O CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO 2045 (UPS COM VAZÃO DE REFERÊNCIA $Q_{7,10}$).	187
QUADRO 7-15 – RESUMO DAS DEMANDAS HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO, NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL CONSIDERANDO A CENA ATUAL E O CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045).	189
QUADRO 7-16 – DEMANDAS SUBTERRÂNEAS EM RELAÇÃO ÀS RESERVAS EXPLOTÁVEIS – CENA ATUAL	193
QUADRO 7-17 – DEMANDAS SUBTERRÂNEAS EM RELAÇÃO ÀS RESERVAS EXPLOTÁVEIS – CENÁRIO FUTURO DE MAIOR PRESSÃO (2025)	194
QUADRO 8-1 – PRINCIPAIS APROVEITAMENTOS LOCALIZADOS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL E DADOS OPERATIVOS	203
QUADRO 8-2 – TRANSPOSIÇÕES EXTERNAS NA BACIA DO PARAÍBA DO SUL	205
QUADRO 8-3 – CARACTERÍSTICAS DE ARMAZENAMENTO DOS RESERVATÓRIOS DO SISTEMA PARAÍBA DO SUL	212
QUADRO 8-4 – CONDICIONANTES DE OPERAÇÃO DEFINIDAS NA RESOLUÇÃO Nº 211/2003.....	219
QUADRO 8-5 – RESOLUÇÕES DE REDUÇÃO TEMPORÁRIA ESTABELECIDAS DURANTE A CRISE HÍDRICA 2014/2016.....	221
QUADRO 8-6 – CONDICIONANTES DEFINIDOS NA RESOLUÇÃO Nº 1382/2015	223

QUADRO 9-1 – CONSOLIDAÇÃO DAS DEMANDAS DE ABASTECIMENTO HUMANO URBANO (M ³ /s) SOB CENÁRIO DE EMISSÕES SSP2-4.5 E ONDA DE CALOR NO ANO DE 2045	229
QUADRO 9-2 – CONSOLIDAÇÃO DAS DEMANDAS DE ABASTECIMENTO HUMANO RURAL (M ³ /s) SOB CENÁRIO DE EMISSÕES SSP2-4.5 E ONDA DE CALOR NO ANO DE 2045	230
QUADRO 9-3 – CONSOLIDAÇÃO DAS DEMANDAS DE IRRIGAÇÃO (M ³ /s) SOB MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO ANO DE 2045	231
QUADRO 9-4 – CONSOLIDAÇÃO DAS DEMANDAS DE CRIAÇÃO ANIMAL (M ³ /s) SOB CENÁRIO DE EMISSÕES SSP2-4.5 E ONDAS DE CALOR NO ANO DE 2045	232
QUADRO 9-5 – COMPARAÇÃO DAS DEMANDAS DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA (M ³ /s), NA CENA ATUAL E NOS CENÁRIOS DE MAIOR PRESSÃO (2045) E DE MUDANÇA CLIMÁTICA POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	233
QUADRO 9-6 – VALORES CONSOLIDADOS DE DEMANDA HÍDRICA TOTAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO.....	234
QUADRO 9-7 – VALORES CONSOLIDADOS DE DEMANDA HÍDRICA SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	235
QUADRO 9-8 – VALORES CONSOLIDADOS DE DEMANDA HÍDRICA SUBTERRÂNEA NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO, POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO	236
QUADRO 9-9 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q ₉₀ - CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ONDA DE CALOR – ALTO PARAÍBA DO SUL, RIOS PRETO E PARAIBUNA, POMBA E MURIAÉ E MÉDIO PARAÍBA DO SUL.....	247
QUADRO 9-10 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q ₉₀ - CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ONDA DE CALOR – PIABANHA, RIO DOIS RIOS, BAIXO PARAÍBA DO SUL E SUB-BACIA DO RIO PIRAI	248
QUADRO 9-11 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q ₉₅ - CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ONDA DE CALOR – ALTO PARAÍBA DO SUL, RIOS PRETO E PARAIBUNA, POMBA E MURIAÉ E MÉDIO PARAÍBA DO SUL.....	249
QUADRO 9-12 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q ₉₅ - CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ONDA DE CALOR – PIABANHA, RIO DOIS RIOS, BAIXO PARAÍBA DO SUL E SUB-BACIA DO RIO PIRAI	250
QUADRO 9-13 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q _{7,10} - CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ONDA DE CALOR – ALTO PARAÍBA DO SUL, RIOS PRETO E PARAIBUNA, POMBA E MURIAÉ E MÉDIO PARAÍBA DO SUL.....	251
QUADRO 9-14 – PERCENTUAL DE OTTOBACIAS EM CADA FAIXA DE BALANÇO HÍDRICO, Q _{7,10} - CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045), MUDANÇAS CLIMÁTICAS E ONDA DE CALOR – PIABANHA, RIO DOIS RIOS, BAIXO PARAÍBA DO SUL E SUB-BACIA DO RIO PIRAI.	252
QUADRO 9-15 – DEMANDAS SUBTERRÂNEAS EM RELAÇÃO ÀS RESERVAS EXPLOTÁVEIS NOS CENÁRIOS AVALIADOS.	267

QUADRO 9-16 – QUANTIDADE DE INTERFERÊNCIAS SOB RISCO HÍDRICO SOB VAZÃO $Q_{95\%}$, POR FINALIDADE DE USO, NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE).....	269
QUADRO 9-17 – QUANTIDADE DE INTERFERÊNCIAS SOB RISCO HÍDRICO SOB VAZÃO $Q_{7,10}$, POR FINALIDADE DE USO, NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE).....	269
QUADRO 9-18 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - TOTAL DE INTERFERÊNCIAS.....	271
QUADRO 9-19 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - INDÚSTRIA E MINERAÇÃO.	272
QUADRO 9-20 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - CONSUMO HUMANO.	272
QUADRO 9-21 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - AGROPECUÁRIA.	272
QUADRO 9-22 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - OUTROS USOS E NÃO DISCRIMINADOS.....	273
QUADRO 9-23 – INDICADORES HÍBRIDOS DE EFICIÊNCIA NO CONSUMO E NO USO DE ÁGUA NA REGIÃO SUDESTE DO BRASIL	275
QUADRO 9-24 – CHECAGEM DE ADERÊNCIA DAS PREMISSAS DE VALORAÇÃO DO USO DA ÁGUA NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL.....	279
QUADRO 9-25 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - TOTAL DE INTERFERÊNCIAS.....	280
QUADRO 9-26 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - INDÚSTRIA E MINERAÇÃO.....	281
QUADRO 9-27 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - CONSUMO HUMANO	281
QUADRO 9-28 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - AGROPECUÁRIA.....	281

QUADRO 9-29 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE) - OUTROS USOS E NÃO DISCRIMINADOS	282
QUADRO 9-30 – RISCO HÍDRICO DA POPULAÇÃO HUMANA ABASTECIDA POR CAPTAÇÃO SUPERFICIAL NO CENÁRIO DE MAIOR PRESSÃO (2045) SEM MUDANÇA DO CLIMA (RISCO DE BASE)	283
QUADRO 9-31 – QUANTIDADE DE INTERFERÊNCIAS SOB RISCO HÍDRICO COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA.....	286
QUADRO 9-32 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - TOTAL DE INTERFERÊNCIAS	287
QUADRO 9-33 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - INDÚSTRIA E MINERAÇÃO	287
QUADRO 9-34 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - CONSUMO HUMANO.....	288
QUADRO 9-35 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - AGROPECUÁRIA	288
QUADRO 9-36 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - OUTROS USOS E NÃO DISCRIMINADOS	288
QUADRO 9-37 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - TOTAL DE INTERFERÊNCIAS	289
QUADRO 9-38 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - INDÚSTRIA E MINERAÇÃO	290
QUADRO 9-39 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - CONSUMO HUMANO	291
QUADRO 9-40 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - AGROPECUÁRIA.....	291
QUADRO 9-41 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA - OUTROS USOS E NÃO DISCRIMINADOS.....	291
QUADRO 9-42 – RISCO HÍDRICO DA POPULAÇÃO HUMANA ABASTECIDA POR CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA CRÔNICA	292
QUADRO 9-43 – QUANTIDADE DE INTERFERÊNCIAS SOB RISCO HÍDRICO COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA.....	294
QUADRO 9-44 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - TOTAL DE INTERFERÊNCIAS.	295
QUADRO 9-45 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - INDÚSTRIA E MINERAÇÃO	296
QUADRO 9-46 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - CONSUMO HUMANO.....	296
QUADRO 9-47 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - AGROPECUÁRIA	296
QUADRO 9-48 – RISCO HÍDRICO FÍSICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - OUTROS USOS E NÃO DISCRIMINADOS	297
QUADRO 9-49 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - TOTAL DE INTERFERÊNCIAS.....	298
QUADRO 9-50 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - INDÚSTRIA E MINERAÇÃO	298

QUADRO 9-51 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - CONSUMO HUMANO	299
QUADRO 9-52 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - AGROPECUÁRIA.....	299
QUADRO 9-53 – RISCO HÍDRICO ECONÔMICO DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA - OUTROS USOS E NÃO DISCRIMINADOS.....	299
QUADRO 9-54 – RISCO HÍDRICO DA POPULAÇÃO HUMANA ABASTECIDA POR CAPTAÇÃO SUPERFICIAL COM MUDANÇA DO CLIMA AGUDA	300

LISTA DE SIGLAS

AGEVAP – Associação Pró-Gestão das Águas do Rio Paraíba do Sul

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANM – Agência Nacional de Mineração

BHPS – Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul

CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

CNARH – Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos

CNI – Confederação Nacional das Indústrias

CRH-SP – Conselho Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (Atual SP Águas)

DAURH – Declarações Anuais de Uso de Recursos Hídricos

DCPs – Declarações de Cargas Poluidoras

DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

EDBH-PS – Estudo de Demandas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

EDH-PS – Estudo das Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul

EEAB – Estação Elevatória de Água Bruta

EMATER - Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETA – Estação de Tratamento de Águas

GAOPS – Grupo de Assessoramento à Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul

GTEE – Grupo de Trabalho dos Estudos Estratégicos

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICH – Índice de Comprometimento Hídrico

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

OGRHs – Órgãos Gestores de Recursos Hídricos

ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico

PDRH – Plano Diretor de Recursos Hídricos

PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado

PIRH-PS – Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul

PPM – Pesquisa Pecuária Municipal

PRHs – Planos de Recursos Hídricos

RAIS – Relatório Anual de Informações Sociais

RALIE – Relatório de Acompanhamento da Expansão da Oferta de Geração de Energia Elétrica

SAR – Sistema de Acompanhamento de Reservatórios

SIGEL – Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico

SIN – Sistema Integrado Nacional

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens

UEL – Usina Elevatória

UHEs – Usinas Hidrelétricas

UP – Unidade de Planejamento

1. APRESENTAÇÃO

Este documento consiste no Produto 7 do estudo desenvolvido para a Associação Pró-Gestão das Águas do Rio Paraíba do Sul – AGEVAP com vistas à atualização do quadro de demandas hídricas e atualização dos balanços hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

O estudo foi elaborado no contexto do contrato nº 071/2023 assinado entre a AGEVAP e o Consórcio NIPPON KOEI LAC – REGEA – RHAMA. Conforme será exposto mais à frente, o documento abrange uma série de etapas, tendo sido consolidados e sintetizados seus resultados em cada um dos próximos capítulos do documento.

Nesse sentido, este produto apresenta um resumo executivo dos estudos desenvolvidos, focando nos principais resultados obtidos ao longo do trabalho. De forma obter os resultados detalhados, o leitor interessado pode se remeter a cada um dos produtos de forma específica, que apresenta seus resultados completos, incluindo as respectivas metodologias de trabalho. Assim, são expostos na sequência os produtos elaborados no contexto do estudo:

- Produto 0 – Plano de Trabalho Consolidado;

- Produto 1 – Articulação e consolidação de dados secundários;
- Produto 2 – Mobilização, contatos técnicos, validação e consolidação de dados primários;
- Produto 3 – Quadro das demandas hídricas da bacia do rio Paraíba do Sul atual e futuro;
- Produto 4 – Balanço Hídrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul;
- Produto 5 – Histórico e diagnóstico das regras operativas das UHEs do Sistema Hidráulico da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul;
- Produto 6 – Avaliação do impacto econômico e social e do impacto das mudanças climáticas no balanço hídrico;
- Produto 7 – Resumo executivo.

Destaca-se que cada produto foi acompanhado de seu banco de dados, seguindo este último produto junto com o banco de dados consolidado do estudo.

Para atendimento ao objetivo do produto, o presente documento é estruturado em 11 capítulos, incluindo este de apresentação, como exposto a seguir:

- ✓ Capítulo 1 – Apresentação: apresenta a estrutura do documento;

- ✓ Capítulo 2 – Área de abrangência dos estudos: apresenta a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, como área de abrangência do trabalho em desenvolvimento;
- ✓ Capítulo 3 – Metodologia de processo: apresenta o caminho previsto para a execução do trabalho, envolvendo todas as etapas de estudo;
- ✓ Capítulo 4 – Articulação e Consolidação de Dados Secundários: apresenta uma síntese dos resultados do Produto 1;
- ✓ Capítulo 5 – Proposição, Discussão e Validação das Metodologias de Cálculo: apresenta uma síntese dos resultados do Produto 2;
- ✓ Capítulo 6 – Quadro das Demandas Atuais e Futuras da Bacia do Rio Paraíba do Sul: apresenta uma síntese dos resultados do Produto 3;
- ✓ Capítulo 7 – Balanço Hídrico da Bacia do Rio Paraíba do Sul: apresenta uma síntese dos resultados do Produto 4;
- ✓ Capítulo 8 – Histórico de Regras Operativas das UHEs do Sistema Hidráulico da Bacia do Rio Paraíba do Sul: apresenta uma síntese dos resultados do Produto 5;
- ✓ Capítulo 9 – Avaliação do Impacto Econômico e Social das Mudanças Climáticas no Balanço Hídrico: apresenta uma síntese dos resultados do Produto 6;
- ✓ Capítulo 10 – Análise Crítica dos Desafios e Avanços ao Processo de Elaboração do Estudo: apresenta os principais desafios relacionados ao estudo desenvolvido;
- ✓ Capítulo 11 – Recomendações para estudos futuros: apresenta recomendações para a continuidade dos estudos;
- ✓ Capítulo 12 – Referências.

2. ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS ESTUDOS E SISTEMATIZAÇÃO DA BASE ESPACIAL

A área de abrangência dos estudos tratou da totalidade da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, envolvendo a bacia como um todo e suas Unidades de Planejamento e Gestão, de acordo com o Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – PIRH-PS e conforme exposto no Quadro 2-1.

A Figura 2-1 espacializa as Unidades de Planejamento no contexto da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul e apresenta a localização dos três estados que a bacia faz parte (Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo).

Quadro 2-1 – Áreas de abrangência das Unidades de Planejamento.

Nº	Nome	Área (km²)	% da bacia do rio Paraíba do Sul	Unidade da Federação
1	Paraíba do Sul – Trecho Paulista	13.944,01	22,6%	SP
2	Preto Paraibuna	7.185,99	11,7%	MG
3	Pomba e Muriaé	13.537,26	22,0%	MG
4	Médio Paraíba do Sul	6.429,06	10,4%	RJ
5	Piabanha	3.459,19	5,6%	RJ

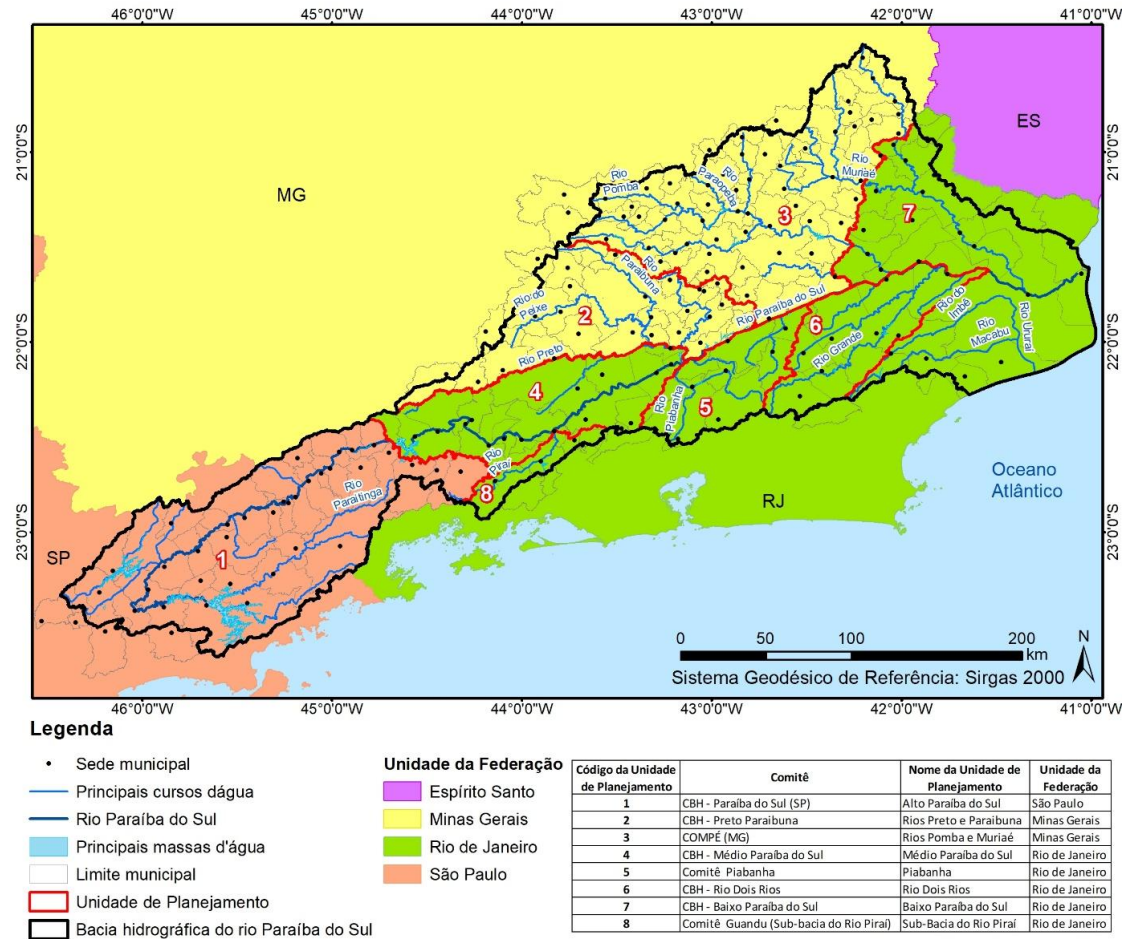
Nº	Nome	Área (km²)	% da bacia do rio Paraíba do Sul	Unidade da Federação
6	Rio Dois Rios	4.462,38	7,3%	RJ
7	Baixo Paraíba do Sul	11.509,60	18,7%	RJ
8	Sub-bacia do Rio Pirai	1.017,90	1,7%	RJ

Fonte: PIRH-PS, 2021.

Além da divisão em Unidades de Planejamento (UPs), o Estudo das Disponibilidades Hídricas na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul – EDH-PS adotou a divisão por sub-bacia afluente e Ottobacias. A Figura 2-2 apresenta a localização das 13 sub-bacias que compõem a bacia do rio Paraíba do Sul, sendo elas: Alto Vale do Rio Paraíba do Sul, Baixo Vale do Rio Paraíba do Sul, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, Médio Vale Inferior do Rio Paraíba do Sul, Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul, Rio Carangola, Rio Dois Rios, Rio Muriaé, Rio Paraibuna, Rio Piabanha, Rio Pirai, Rio Pomba e Rio Preto.

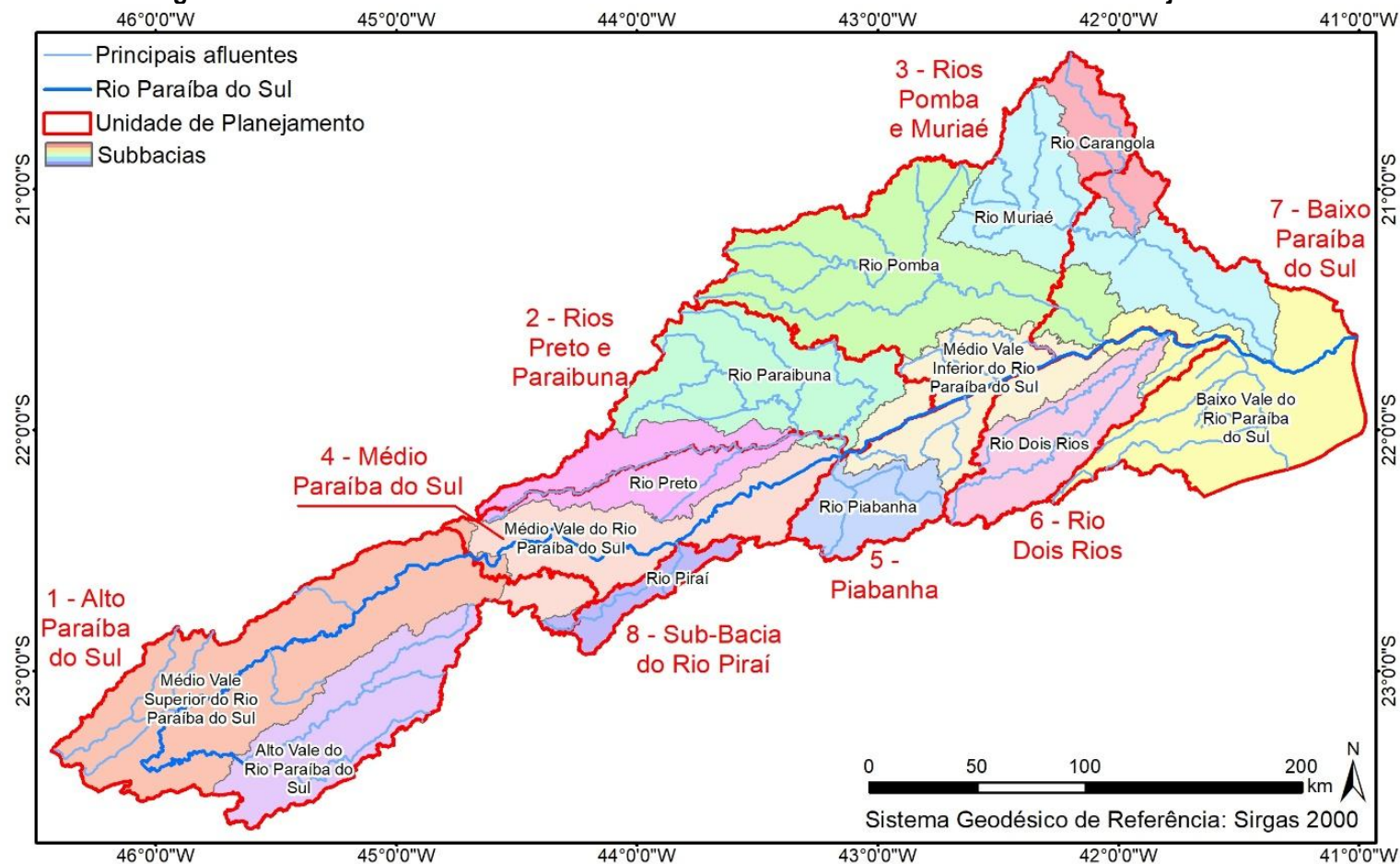
De forma complementar, destaca-se que todas as informações e análises desenvolvidas ao longo do estudo são espacializadas por ottobacias / microbacias (trechos de rio), ou seja, na discretização dos estudos de disponibilidade hídrica. Dessa forma, os resultados podem ser analisados por trecho de rio ou por microbacia.

Figura 2-1 – Unidades de planejamento e principais cursos d'água



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Figura 2-2 – Divisão da bacia do rio Paraíba do Sul em Sub-bacias e Unidades de Planejamento



Fonte: elaborado pelo Consórcio

3. METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em um total de oito etapas, tendo iniciado com o planejamento do estudo e seguindo até a consolidação do relatório final e do banco de dados com as informações geradas e sistematizadas ao longo do estudo.

Para entendimento das etapas de desenvolvimento do estudo, foi construída a Figura 3-1 com o processo adotado envolvendo o caminho previsto, considerando todas as etapas do estudo. De uma forma geral, o trabalho foi iniciado por seu planejamento detalhado de atividades, cujos resultados foram apresentados no primeiro produto desenvolvido. Na sequência, passou-se à consolidação de dados secundários, o que foi bastante relevante para a identificação de diferenças nos valores estimados para cada uma das finalidades de demandas da bacia em função de distintos estudos identificados.

O estudo seguiu para a terceira etapa, que constou de oficinas e eventos para a discussão e validação das metodologias de cálculo para cada finalidade de uso da água. Com base nas metodologias validadas a quarta etapa teve as demandas atualizadas e apresentadas de forma objetiva tanto para a cena atual, quanto para cenários futuros desenvolvidos para a bacia.

Em seguida, em função dos resultados consolidados de demandas e das bases de disponibilidades hídricas advindas do Estudo das Disponibilidades Hídricas da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (EDH-PS), foi realizado o balanço hídrico da bacia, identificando as regiões mais críticas, tanto para as cenas atuais, quanto para os cenários e cenas futuras.

A etapa seguinte tratou de uma análise histórica das informações de regras operativas dos sistemas hidráulicos da bacia e seguiu com a avaliação de mudanças climáticas e seus impactos econômicos e sociais para a bacia. Por fim, o estudo conclui para a sua consolidação junto ao presente documento, apresentando os resultados globais e sintetizados de cada etapa e respectivo produto. Vale destacar, mais uma vez, que o presente produto apresenta uma síntese do trabalho, mas o detalhe das atividades, metodologias e resultados de cada etapa podem ser verificados em cada produto específico.

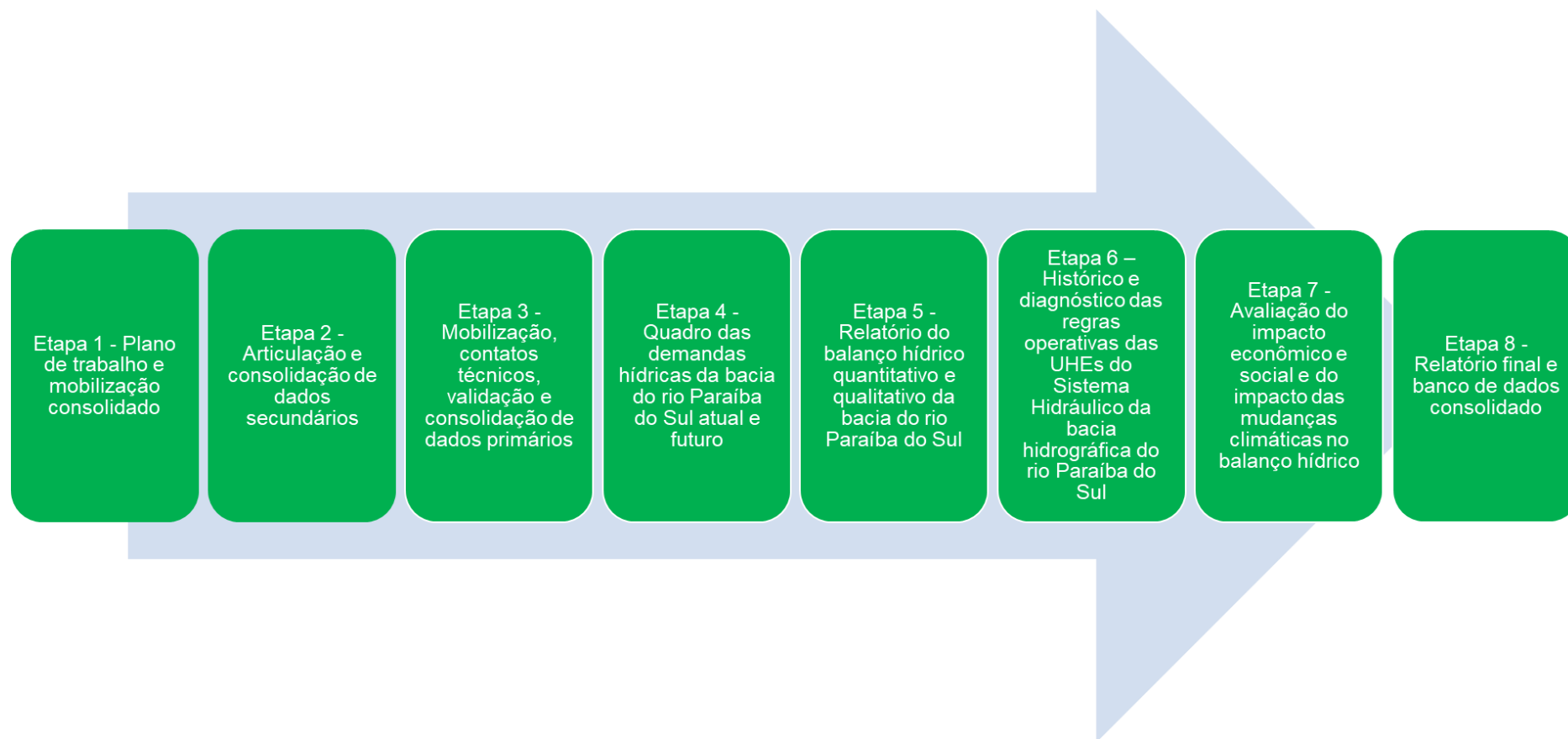


Figura 3-1 – Fluxograma de processo para o desenvolvimento do estudo.

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

4. ARTICULAÇÃO E CONSOLIDAÇÃO DE DADOS SECUNDÁRIOS

Os principais objetivos dessa etapa de estudo foram de levantar e consolidar as principais e mais atuais base de dados de demandas disponíveis e utilizadas pelo órgão gestor federal, órgãos gestores estaduais e demais organizações, considerando setores usuários específicos.

Nesse contexto, são apresentadas, na sequência, as principais bases de dados consultadas, sistematizadas e analisadas, com os dados apresentados de forma integrada por setor usuário, por Unidade de Planejamento e para a bacia do rio Paraíba do Sul como um todo:

- Bases de dados de outorgas de águas de domínio da União e dos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo advindas diretamente dos Órgãos Gestores de Recursos Hídricos (OGRHs);
- Bases de dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH);
- Estimativas de usos consuntivos de águas realizadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA);
- Atlas Águas – captações de água para abastecimento humano;
- Atlas Esgotos – lançamentos de efluentes de esgotamento sanitário;
- Atlas Irrigação – estimativas de uso da água nacionais com a finalidade de irrigação de culturas;
- Atlas de Saneamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro do Instituto Estadual do Ambiente (INEA);
- Informes e Relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil;
- Estimativas de evaporação líquida de reservatórios realizadas pela ANA;
- Estimativas de usos da água na indústria, realizadas pela ANA;
- Relação de aproveitamentos hidrelétricos existentes e planejados, conforme base da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL);
- Relação de barragens cadastradas no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB);

- Base de dados de Declarações de Cargas Poluidoras (DCPs) de Minas Gerais;
- Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERHs) de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo;
- Plano Integrado de Recursos Hídricos (PIRH) da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul;
- Planos de Recursos Hídricos (PRHs) de cada uma das Unidades de Planejamento;
- Outras fontes de dados como Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Natural Energia, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Portal GEOINEA, Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos dos estados da bacia, Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) etc.

Todos os dados identificados nos estudos em questão foram sistematizados e consolidados em uma base única, de forma a permitir uma análise crítica e identificação de diferenças e lacunas entre seus resultados apresentados.

Para o desenvolvimento da análise crítica, foram elaborados quadros comparativos das vazões individualizadas por estudo e por setor usuário.

Para os estudos que apresentavam vazão de modo pontual, os dados foram tratados visando a padronização da unidade em m³/s, separação por Unidade de Planejamento, e agrupamento das finalidades de uso em sete setores usuários (abastecimento humano urbano, abastecimento humano rural, dessedentação animal, consumo industrial, mineração, irrigação e outros).

Na sequência, são apresentados quadros resumo por finalidade de uso, integrando todas as informações apresentadas nas bases consultadas, consistidas e sistematizadas

A partir dos quadros em questão, podem ser verificadas relevantes diferenças nos valores, como será exposto a seguir. Vale destacar que essas diferenças se devem a metodologias e formas de cálculo, bem como nas atualizações de dados e fontes de informações, não significando erro ou incorreção em alguma delas. Apesar das diferenças por vezes bastante sensíveis nas informações, tais bases foram bastante úteis para subsidiar as análises e estimativas realizadas nas etapas seguintes do trabalho e que serão expostas mais à frente neste documento.

Assim, do Quadro 4-1 ao Quadro 4-8 são apresentadas sínteses integrando os resultados apresentados em cada estudo realizado e base utilizada, mostrando, por setor usuário e na somatória, as diferenças entre as estimativas realizadas. Na sequência dos quadros, são apresentadas análises comparando os resultados para cada setor usuário e porção estadual da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

Quadro 4-1 – Total de demandas para Abastecimento Humano Urbano por fonte de dados (m³/s)

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2023 insignificante		Outorgas INEA 2023		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH- MG 2011	PERH- RJ 2014	PERH- SP 2020	PIRH- PS 2015	PDRH MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf							superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	5,20	3,17	-	-	-	-	-	-	1,20	2,97	6,19	-	-	12,19	5,70	-	-	8,57	1,92
Preto Paraibuna	0,65	1,35	0,16	0,08	0,002	0,000	-	-	-	-	1,52	1,53	-	-	1,74	1,74	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,72	2,43	3,22	0,33	0,002	0,003	-	-	-	-	1,71	1,63	-	-	1,92	1,92	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	3,27	0,22	-	-	-	-	0,038	0,028	-	-	3,44	-	3,73	-	2,59	-	2,59	-	-
Piabanha	0,07	1,15	-	-	-	-	0,233	0,003	-	-	1,19	-	2,04	-	1,23	-	1,23	-	-
Rio Dois Rios	0,23	0,20	-	-	-	-	0,147	0,000	-	-	0,84	-	1,08	-	0,72	-	0,72	-	-
Baixo Paraíba do Sul	2,27	0,23	-	-	-	-	0,215	0,158	-	-	2,10	-	3,07	-	2,02	-	2,02	-	-
Sub-bacia do Rio Piraí	0,09	-	-	-	-	-	0,000	0,000	-	-	0,23	-	7,69	-	0,17	-	0,07	-	-
Total - Paraíba do Sul	12,50	8,75	3,38	0,41	0,004	0,003	0,633	0,189	1,20	2,97	17,22	3,15	17,62	12,19	16,09	3,66	6,63	8,57	1,92

Fonte: Elaborado pelo Consórcio

Notas: Para os dados do PERH-MG não foram considerados os municípios com sede fora da bacia.

Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

A observação das informações do Quadro 4-1 permite apresentar a seguinte análise crítica referente ao setor saneamento, considerando as demandas para abastecimento humano urbano.

- Para a porção paulista da bacia, observa-se que o total apresentado no PERH/SP de 2020 ($12,185\text{m}^3/\text{s}$) é muito superior ao valor apresentado no PIRH com data de atualização de 2015 ($5,70\text{m}^3/\text{s}$) e, também, bastante superior à soma de outorgas emitidas pela ANA ($5,20$ e pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), atual SP Águas ($4,17$, sendo $1,20\text{m}^3/\text{s}$ de águas superficiais e $2,97$ de águas subterrâneas). Há, ainda, outro valor diferente apresentado no plano de bacia cujos dados têm atualização de 2019 ($10,49$, sendo $8,57\text{m}^3/\text{s}$ de águas superficiais e $1,92\text{m}^3/\text{s}$ de águas subterrâneas);
- Na porção mineira, as variações são menores entre os totais apresentados, à exceção do total outorgado. O total outorgado e de autorizações de usos insignificantes para as bacias dos rios Preto e Paraibuna é de $0,89\text{m}^3/\text{s}$, mas o total apresentado de estimativa de usos consuntivos da ANA é de $1,52\text{m}^3/\text{s}$, próximo do dado do PERH/MG ($1,53\text{m}^3/\text{s}$) e do PIRH ($1,74\text{m}^3/\text{s}$). O valor apresentado no Plano Diretor de

Recursos Hídricos (PDRH) de 2021 é igual ao valor do PIRH ($1,74\text{m}^3/\text{s}$). Na bacia dos rios Pomba e Muriaé, o total outorgado identificado foi de $4,28\text{m}^3/\text{s}$ ($0,72\text{m}^3/\text{s}$ pela ANA, $3,55\text{m}^3/\text{s}$ de outorgas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) – águas superficiais e subterrâneas e $0,005\text{m}^3/\text{s}$ de usos insignificantes – águas superficiais e subterrâneas), bastante diferente dos restantes, que mostram certa coerência: $1,71\text{m}^3/\text{s}$ na estimativa de usos consuntivos da ANA, $1,63\text{m}^3/\text{s}$ no PERH e $1,92\text{m}^3/\text{s}$ no PIRH e no PDRH;

- Na parte fluminense da bacia, tem-se um total de $6,75\text{m}^3/\text{s}$ outorgados, $7,80\text{m}^3/\text{s}$ nas estimativas de usos consuntivos, $6,73\text{m}^3/\text{s}$ no PIRH e $6,63\text{m}^3/\text{s}$ nos planos de bacias hidrográficas. Por outro lado, o PERH/RJ apresenta um total de demandas de $17,62\text{m}^3/\text{s}$, bastante superior aos demais.

Quadro 4-2 – Total de demandas para Abastecimento Humano Rural por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2023 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	-	-	-	-	superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	0,003	1,372	-	-	-	-	-	-	-	-	0,124	0,335	0,193	5,547	0,220	-	-	1,730	0,027
Preto Paraibuna	0,000	0,005	0,107	0,180	0,087	0,204	-	-	-	-	-	-	0,041	-	0,050	0,050	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,000	0,012	0,002	0,315	0,242	0,632	-	-	-	-	-	-	0,160	-	0,200	0,200	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	0,001	0,060	-	-	-	-	0,016	0,011	0,001	0,015	-	-	0,066	-	0,080	-	0,000	-	-
Piabanha	0,001	0,039	-	-	-	-	0,037	0,029	0,001	0,010	-	-	0,082	-	0,100	-	0,100	-	-
Rio Dois Rios	0,000	0,002	-	-	-	-	0,000	0,007	0,002	0,037	-	-	0,068	-	0,080	-	0,080	-	-
Baixo Paraíba do Sul	0,000	0,003	-	-	-	-	0,000	0,015	0,002	0,111	-	-	0,158	-	0,180	-	0,100	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,000	0,001	-	-	-	-	0,000	0,000	0,001	0,001	-	-	0,013	-	0,010	-	0,005	-	-
Total - Paraíba do Sul	0,004	1,494	0,109	0,494	0,329	0,837	0,053	0,063	0,007	0,174	0,12	0,34	0,78	5,55	0,92	0,25	0,28	1,73	0,03

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Nota: Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

A observação das informações do Quadro 4-2 permite apresentar a seguinte análise crítica referente ao setor saneamento, considerando as demandas para abastecimento humano rural.

- Na porção paulista, o valor mais discrepante é o do PERH/SP, que apresenta 5,547m³/s, valor bastante superior às outras bases;
- Nas bacias mineiras, os valores de outorgas e usos insignificantes são os mais discrepantes, bastante superiores aos restantes. Nesse sentido, foi identificado um total de 1,77m³/s de outorgas e cadastros de usos insignificantes, contra 0,20m³/s de estimativas de usos consuntivos da ANA e 0,25m³/s no PIRH e na soma dos dois PDRHs mais recentes;
- Na parte fluminense da bacia, os valores estimados foram próximos em todas as fontes: 0,45m³/s no PIRH, 0,39m³/s no estudo de usos consuntivos da ANA e 0,30m³/s outorgados e com cadastros de usos insignificantes, além de 0,28m³/s na soma dos planos de bacias hidrográficas fluminenses.

Quadro 4-3 – Total de demandas para Dessedentação Animal por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2024 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH-MG 2011	PERH-RJ 2014	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf							superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	0,000	0,054	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,62	-	-	0,00	0,41	-	-	0,04	0,00
Preto Paraibuna	0,000	0,002	0,001	0,003	0,070	0,030	-	-	-	-	-	-	0,24	0,22	-	-	0,19	0,19	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,001	0,052	0,035	0,023	0,269	0,086	-	-	-	-	-	-	0,67	0,66	-	-	0,50	0,50	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	0,002	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,001	-	-	0,34	-	0,21	-	0,21	-	0,21	-	-
Piabanha	0,000	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,11	-	0,09	-	0,09	-	0,09	-	-
Rio Dois Rios	0,001	0,001	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,24	-	0,16	-	0,19	-	0,19	-	-
Baixo Paraíba do Sul	0,004	0,005	-	-	-	-	0,000	0,000	0,004	0,001	-	-	0,68	-	0,60	-	0,49	-	0,49	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,001	-	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,04	-	0,09	-	0,03	-	0,03	-	-
Total - Paraíba do Sul	0,0077	0,1131	0,0358	0,0254	0,3390	0,1159	0,000	0,000	0,005	0,002	0,00	0,00	2,95	0,88	1,16	0,00	2,11	0,69	1,01	0,04	0,00

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Notas: Os dados do PERH-MG não consideraram os municípios com sede fora da bacia.

Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

As informações no Quadro 4-3 permitem subsidiar análise crítica referente ao setor pecuário, mais especificamente no que se refere às demandas para dessedentação animal.

- No trecho paulista, não foram identificadas outorgas com essa finalidade, possivelmente consideradas essas demandas junto ao abastecimento rural ou irrigação, como atividade agropecuária. Por outro lado, as bases das estimativas de usos consuntivos da ANA ($0,62\text{m}^3/\text{s}$) e do PIRH ($0,41\text{m}^3/\text{s}$) mostraram compatibilidade nos valores;
- No trecho mineiro, as bases de outorgas e usos insignificantes ($0,52\text{m}^3/\text{s}$) apresentaram valores inferiores aos restantes: $0,92\text{m}^3/\text{s}$ nas estimativas de usos consuntivos da ANA; $0,88\text{m}^3/\text{s}$ pelo PERH/MG e $0,69\text{m}^3/\text{s}$ no PIRH e PDRH;
- No total das bacias fluminenses, também é possível observar os valores das outorgas ($0,007\text{m}^3/\text{s}$) inferiores às demandas apresentadas nas outras fontes: $1,42\text{m}^3/\text{s}$ pelas estimativas de usos consuntivos da ANA; $1,16\text{m}^3/\text{s}$ no PERH/RJ e $1,01\text{m}^3/\text{s}$ no PIRH e nos planos de bacias fluminenses.

Quadro 4-4 – Total de demandas para Consumo Industrial por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2024 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estim. de uso consunt. ANA 2022	Água para indúst. ANA 2017	PERH-MG 2011	PERH-RJ 2014	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH-MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	-	-	-	-	-	-	-	superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	2,387	3,104	-	-	-	-	-	-	-	-	0,533	2,998	2,13	2,30	-	-	5,67	4,40	-	-	4,32	1,41
Preto Paraibuna	0,000	0,391	0,212	0,034	0,021	0,020	-	-	-	-	-	-	0,29	0,22	0,14	-	-	2,18	2,18	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,122	0,762	0,299	0,177	0,054	0,045	-	-	-	-	-	-	0,45	0,45	0,26	-	-	0,85	0,85	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	4,502	0,076	-	-	-	-	0,014	0,101	0,001	0,011	-	-	1,80	1,81	-	16,89	-	7,62	-	7,62	-	-
Piabanha	0,001	0,184	-	-	-	-	0,037	0,014	0,000	0,000	-	-	0,42	0,41	-	0,57	-	0,09	-	0,09	-	-
Rio Dois Rios	0,000	0,078	-	-	-	-	0,000	0,003	0,001	0,002	-	-	0,14	0,14	-	0,26	-	0,03	-	0,03	-	-
Baixo Paraíba do Sul	0,236	0,345	-	-	-	-	0,111	0,033	0,004	0,050	-	-	0,31	0,33	-	14,61	-	1,53	-	1,53	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,118	0,000	-	-	-	-	0,000	0,000	0,000	0,000	-	-	0,09	0,18	-	35,94	-	0,18	-	0,00	-	-
Total - Paraíba do Sul	7,3654	4,9398	0,5115	0,2109	0,0748	0,0658	0,162	0,151	0,007	0,064	0,53	3,00	5,64	5,84	0,40	68,27	5,67	16,88	3,03	9,27	4,32	1,41

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Notas: Para os dados do PERH-MG e do estudo Água na Indústria: Uso (Demanda) e Coeficientes Técnicos, não foram considerados os municípios com sede fora da bacia.

Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

As demandas sintetizadas para consumo industrial, são apresentadas no Quadro 4-4 e permitem uma análise crítica da seguinte forma:

- No caso da porção paulista, as estimativas de usos consuntivos da ANA ($2,13\text{m}^3/\text{s}$) e do estudo de uso da água na indústria ($2,30\text{m}^3/\text{s}$) se mostram bastante inferiores aos restantes: $5,92\text{m}^3/\text{s}$ de outorgas ($2,387\text{m}^3/\text{s}$ da ANA, $0,533\text{m}^3/\text{s}$ de águas superficiais do DAEE e $2,998\text{m}^3/\text{s}$ de águas subterrâneas do DAEE); $5,67\text{m}^3/\text{s}$ no PERH/SP, $4,40\text{m}^3/\text{s}$ no PIRH e $5,73\text{m}^3/\text{s}$ no plano de bacia hidrográfica ($4,32\text{m}^3/\text{s}$ de águas superficiais e $1,41\text{m}^3/\text{s}$ de águas subterrâneas);
- Nas bacias mineiras, não é verificada grande discrepância entre os resultados de outorgas e cadastros de usos insignificantes de águas de domínio do estado e da União ($0,985\text{m}^3/\text{s}$) contra $0,74\text{m}^3/\text{s}$ de estimativas da ANA de usos consuntivos, $0,66\text{m}^3/\text{s}$ do estudo de uso da água na indústria, $0,40\text{m}^3/\text{s}$ no PERH/MG e $3,03\text{m}^3/\text{s}$ no PIRH;
- No caso do Rio de Janeiro, a discrepância maior se dá pelas informações do PERH/RJ, que mostram mais de $68\text{m}^3/\text{s}$ de

demandas para esse setor, em relação ao valor de $5,24\text{m}^3/\text{s}$ nas outorgas e usos insignificantes de águas estaduais e da União e $2,77\text{m}^3/\text{s}$ nas estimativas de usos consuntivos da ANA.

Quadro 4-5 – Total de demandas para Mineração por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2024 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH-MG 2011	PERH-RJ 2014	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH-MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	-	-	-	-	-	-	superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	0,11	11,79	-	-	-	-	-	-	-	-	3,13	6,12	0,04	-	-	0,00	0,05	-	-	0,13	0,00
Preto Paraibuna	0,05	0,06	1,03	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,02	-	-	0,01	0,01	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,07	0,08	0,22	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-	0,02	4,11	-	-	0,03	0,03	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	0,07	0,02	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	-	0,27	-	0,01	-	0,01	-	-
Piabanha	0,00	0,23	-	-	-	-	0,10	0,00	0,00	0,00	-	-	0,01	-	0,03	-	0,01	-	0,01	-	-
Rio Dois Rios	0,02	0,07	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	-	0,01	-	0,01	-	0,01	-	-
Baixo Paraíba do Sul	0,11	0,01	-	-	-	-	0,00	0,00	0,01	0,00	-	-	0,01	-	1,12	-	0,01	-	0,01	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	-	0,11	-	0,00	-	0,00	-	-
Total - Paraíba do Sul	0,44	12,25	1,24	0,00	0,01	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	3,13	6,12	0,08	4,13	1,54	0,00	0,13	0,04	0,04	0,13	0,00

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Notas: Para os dados do PERH-MG não foram considerados os municípios com sede fora da bacia.

Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

O Quadro 4-5 apresenta as informações de demandas sintetizadas para o setor de mineração, com grandes discrepâncias entre os valores identificados nas diferentes bases:

- Na bacia paulista, tem-se 9,36m³/s outorgados (0,11m³/s de outorgas da ANA e 9,25m³/s de outorgas do DAEE) contra 0,04m³/s de demandas estimadas de usos consuntivos pela ANA; 0,050m³/s do PIRH; e 0,13m³/s no plano de bacia hidrográfica;
- Nas bacias mineiras, também pode ser verificada grande discrepância nos dados, com 1,38m³/s de outorgas e cadastros de usos insignificantes (0,12m³/s de outorgas da ANA e 1,26m³/s de outorgas e cadastros de usos insignificantes do IGAM); 0,02m³/s de estimativas do estudo da ANA; 4,13m³/s no PERH/MG; e 0,04m³/s no PIRH e no PDRH;
- Variação sensível nos resultados também é identificada na porção fluminense da bacia, com 0,32m³/s outorgados; 0,024m³/s de estimativas da ANA; 1,54m³/s do PERH; e 0,04m³/s no PIRH e nos planos de bacias.

Quadro 4-6 – Total de demandas para Irrigação por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2024 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH-MG 2011	PERH-RJ 2014	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH-MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	-	-	-	-	-	-	superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	0,37	5,04	-	-	-	-	-	-	-	-	2,34	0,04	1,89	-	-	5,55	2,36	-	-	3,24	0,02
Preto Paraibuna	0,00	0,24	0,07	0,00	0,05	0,02	-	-	-	-	-	-	0,14	0,18	-	-	0,15	0,15	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,11	0,69	0,56	0,05	0,24	0,06	-	-	-	-	-	-	1,09	2,84	-	-	1,63	1,63	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,49	-	0,97	-	0,23	-	0,23	-	-
Piabanha	0,00	0,02	-	-	-	-	0,02	0,00	0,00	0,00	-	-	1,85	-	10,22	-	0,89	-	0,89	-	-
Rio Dois Rios	0,00	0,02	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,90	-	3,17	-	0,97	-	0,97	-	-
Baixo Paraíba do Sul	0,28	0,32	-	-	-	-	0,25	0,00	0,05	0,02	-	-	0,97	-	5,47	-	6,62	-	6,62	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00	0-	0,00	-	-	0,02	-	0,88	-	0,02	-	0,01	-	-
Total - Paraíba do Sul	0,77	6,34	0,63	0,05	0,30	0,07	0,26	0,00	0,05	0,02	2,34	0,04	7,34	3,02	20,71	5,55	12,87	1,78	8,72	3,24	0,02

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Notas: Para os dados do PERH-MG não foram considerados os municípios com sede fora da bacia.

Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

Tratando do setor irrigação, tem seus resultados apresentados de forma sintética no Quadro 4-6 e a análise crítica é apresentada na sequência.

- No caso de São Paulo, não são observadas grandes variações entre as fontes de dados: 2,75m³/s outorgados (0,37m³/s de águas de domínio da União e 2,38m³/s de águas estaduais); 2,36m³/s apresentados no PIRH; 3,26m³/s no plano de bacia hidrográfica; e 1,89m³/s no estudo da ANA de usos consuntivos;
- A porção mineira da bacia apresenta certa compatibilidade nos resultados das bases analisadas, a unidade de planejamento Preto Paraibuna apresenta 0,18m³/s no PERH/MG e 0,15m³/s no PIRH e no PDRH/MG, enquanto Pomba e Muriaé apresentam valores com maior discrepância, 2,84m³/s no PERH/MG e 1,63m³/s no PIRH e no PDRH/MG.
- A porção fluminense apresenta também grande discrepância nas bases de dados, com 0,62m³/s outorgados; 4,23m³/s de estimativas de usos consuntivos da ANA; 8,73m³/s do PIRH e dos planos de bacia hidrográfica; e 20,71m³/s no PERH/RJ.

Quadro 4-7 – Total de demandas para Outros Usos por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2024 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH-MG 2011	PERH-RJ 2014	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH-MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	-	-	-	-	-	-	superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	0,01	3,90	-	-	-	-	-	-	-	-	1,69	0,78	1,10	-	-	0,79	1,11	-	-	6,91	0,60
Preto Paraibuna	0,09	2,66	0,13	0,01	0,08	0,02	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	0,06	0,06	-	-	-
Pomba e Muriaé	0,01	1,02	1,34	0,03	0,25	0,07	-	-	-	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	0,00	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	0,02	0,12	-	-	-	-	0,00	0,06	0,00	0,01	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	-
Piabanha	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,02	0,00	0,01	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	-
Rio Dois Rios	0,00	0,02	-	-	-	-	0,01	0,01	0,00	0,03	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	-
Baixo Paraíba do Sul	0,12	0,03	-	-	-	-	0,00	0,05	0,01	0,06	-	-	0,00	-	-	-	0,63	-	0,63	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	-
Total - Paraíba do Sul	0,26	7,75	1,46	0,04	0,33	0,09	0,02	0,14	0,02	0,12	1,69	0,78	1,16	0,00	0,00	0,79	1,80	0,06	0,63	6,91	0,60

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Notas: Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

Quadro 4-8 – Total de demandas para a Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul por fonte de dados (m³/s).

UP \ Fonte	Outorgas ANA 2024	CNARH	Outorgas IGAM 2024		Cadastro IGAM 2024 insignificante		Outorgas INEA 2023		Cadastro INEA 2023 insignificante		Outorgas DAEE 2023		Estimativa de uso consuntivo ANA 2022	PERH-MG 2011	PERH-RJ 2014	PERH-SP 2020	PIRH-PS 2015	PDRH-MG 2021	PBH RJ 2018 e 2021	PBH 2019	
	superf	superf	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	subt	superf	-	-	-	-	-	-	superf	subt
Paraíba do Sul – Trecho Paulista	8,08	28,43	-	-	-	-	-	-	-	-	9,01	13,25	12,16	-	-	24,19	14,26	-	-	24,93	3,97
Preto Paraibuna	0,79	4,71	1,70	0,31	0,32	0,29	-	-	-	-	-	-	2,30	2,08	-	-	4,37	4,37	-	-	-
Pomba e Muriaé	1,04	5,05	5,67	0,92	1,07	0,89	-	-	-	-	-	-	4,10	9,50	-	-	5,13	5,13	-	-	-
Médio Paraíba do Sul	7,86	0,49	-	-	-	-	0,07	0,20	0,00	0,04	-	-	6,14	-	22,08	-	10,74	-	10,74	-	-
Piabanha	0,07	1,62	-	-	-	-	0,42	0,07	0,01	0,02	-	-	3,67	-	12,95	-	2,41	-	2,41	-	-
Rio Dois Rios	0,26	0,39	-	-	-	-	0,16	0,02	0,01	0,07	-	-	2,18	-	4,69	-	2,00	-	2,00	-	-
Baixo Paraíba do Sul	3,03	0,95	-	-	-	-	0,58	0,25	0,07	0,24	-	-	4,23	-	24,88	-	11,48	-	11,48	-	-
Sub-bacia do Rio Pirai	0,21	0,00	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,40	-	44,71	-	0,40	-	0,12	-	-
Total - Paraíba do Sul	21,35	41,64	7,37	1,23	1,39	1,19	1,22	0,54	0,09	0,38	9,01	13,25	35,18	11,58	109,30	24,19	50,79	9,50	26,75	24,93	3,97

Fonte: Elaborado pelo Consórcio.

Notas: Para os dados do PERH-MG e do estudo Água na Indústria: Uso (Demanda) e Coeficientes Técnicos, não foram considerados os municípios com sede fora da bacia.

Para os dados do PERH-Guandu (Plano Estratégico de Recursos Hídricos das bacias hidrográficas dos rios Guandu, Guarda e Guandu-Mirim), foram considerados os dados apenas a montante do reservatório Santana.

O total de demandas para a bacia e por diferentes fontes de dados é apresentado no Quadro 4-8, com os resultados mostrando importantes diferenças nos cálculos e estimativas:

- Na bacia paulista, tem-se mais de 30m³/s de outorgas (8,08m³/s de águas de domínio da União e 22,25m³/s de águas estaduais); 12,16m³/s de estimativas de usos consuntivos; 24,19m³/s de demandas no PERH; 14,26m³/s no PIRH; e quase 29m³/s no plano de bacia;
- Somando-se as duas bacias mineiras, tem-se 13,0m³/s de outorgas e cadastros de usos insignificantes (1,83m³/s de águas de domínio da União e 11,17m³/s de águas estaduais) e apenas 6,4m³/s de estimativas de usos consuntivos da ANA. O total apresentado no PERH é de 11,6m³/s; 9,5m³/s no PIRH; e nos planos de bacia hidrográfica;
- Também na porção fluminense são identificadas importantes diferenças nos valores apresentados em cada fonte, com 13,7m³/s de outorgas; 16,6m³/s de estimativas de usos consuntivos; 109m³/s no PERH; 27m³/s no PIRH; e 26,7m³/s nos planos de bacia hidrográfica.

Os resultados em questão mostram como são verificadas diferenças sensíveis entre cada fonte de dados, justificando, inclusive, a importância do presente estudo e das análises, discussões e consolidação que será desenvolvida nas etapas seguintes do trabalho. Mais uma vez, vale destacar que as diferenças não necessariamente tratam-se de incorreções, mas, principalmente, de diferenças de metodologias e bases de dados utilizadas em cada estudo, além da atualização das informações.

5. PROPOSIÇÃO, DISCUSSÃO E VALIDAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE CÁLCULO

Na sequência dos estudos, a partir dos resultados obtidos na etapa anterior, foram realizados eventos setoriais para discussão das informações e propostas de metodologia de cálculo. Dessa forma, foi possível validar as informações e dados básicos a serem utilizados, bem como as metodologias para cada setor usuário.

Nesse sentido, foram desenvolvidas propostas de metodologias de cálculo para os seguintes consumos de água:

- Abastecimento humano urbano;
- Abastecimento humano rural;
- Dessedentação animal;
- Irrigação;
- Indústria;
- Mineração;
- Termoeletricidade;
- Evaporação de reservatórios.

Para a discussão, revisão e validação das metodologias propostas, foram realizadas quatro oficinas com diferentes representações, como exposto na sequência:

- Oficina 1 – Órgãos gestores de recursos hídricos;
- Oficina 2 – Setor de Saneamento: abastecimento humano urbano; humano rural e esgotamento sanitário;
- Oficina 3 – Setor Industrial e de Mineração: indústria, mineração, termoeletricidade e evaporação de reservatórios;
- Oficina 4 – Setor Agropecuário: dessedentação animal e irrigação.

Além das representações do Grupo de Trabalho dos Estudos Estratégicos (GTEE), todas as oficinas tiveram a participação dos órgãos gestores da bacia a nível estadual e federal. As oficinas foram realizadas nos meses de setembro e outubro de 2024. A oficina 1, com os OGRHs teve um total de 21 participantes. Na sequência, as oficinas 2 a 4 tiveram 26, 37 e 32 participantes. Com isso, no total observa-se que as quatro oficinas tiveram mais de 100 participantes, o que se mostra bastante relevante para a bacia, com discussões e contribuições relevantes sobre a temática, incluindo bases de dados e metodologias de estimativas de demandas.

Os detalhes das contribuições são apresentados no produto específico. De toda forma, as metodologias e bases de dados propostas e consolidadas para serem utilizadas para cada consumo

de água são apresentadas na sequência, por setor de consumo de água.

5.1. ABASTECIMENTO HUMANO URBANO

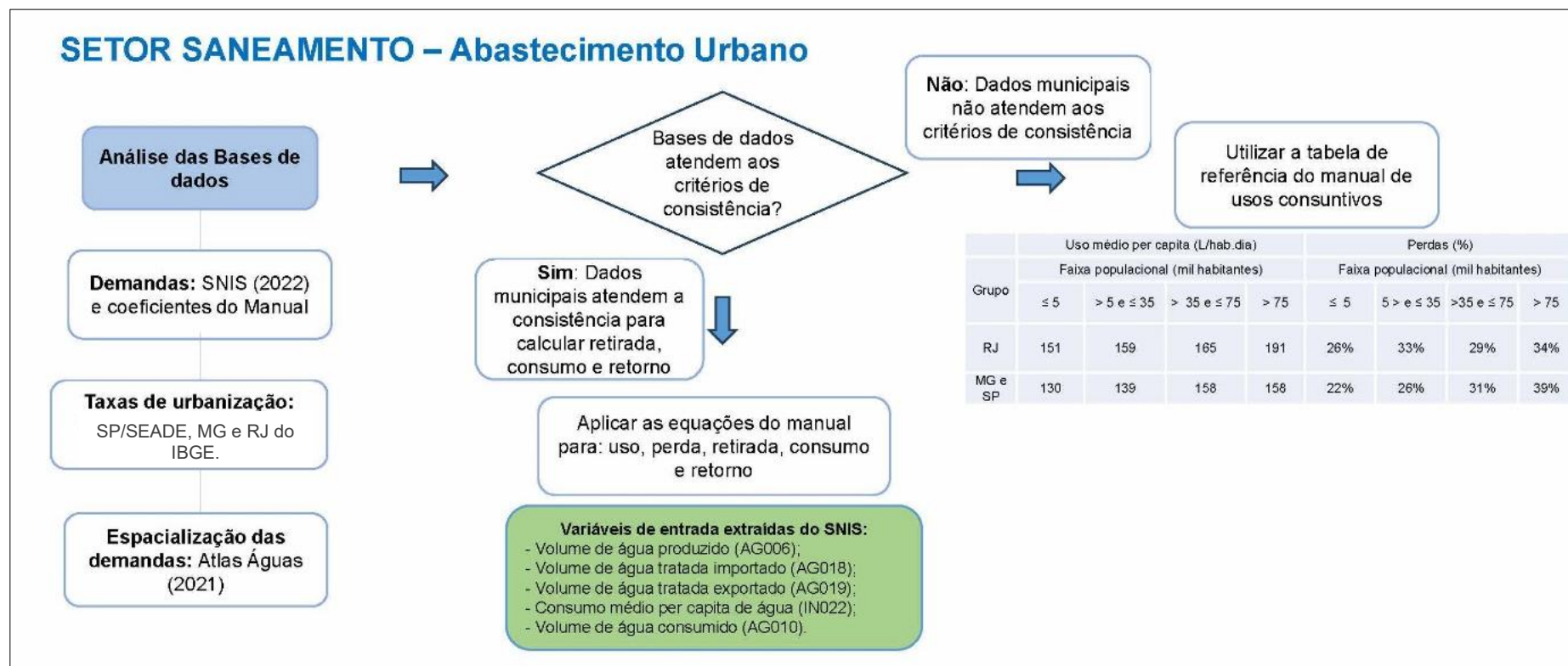
O Manual de usos Consuntivos da Água no Brasil apresenta um método de estimativa de uso, perda, retirada, consumo e retorno, pautado no contingente populacional e nos coeficientes de uso per capita para calcular as estimativas. Nesse método, a principal fonte de dados é o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), alimentado anualmente com os dados municipais, além dos dados populacionais obtidos nos censos demográficos e estimativas populacionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

A metodologia considera os coeficientes técnicos municipais apresentados no SNIS e as contagens e estimativas populacionais urbanas do IBGE. O uso dessas bases confere uma maior precisão à situação atual das demandas de abastecimento humano urbano dos municípios, uma vez que emprega dados mais atualizados e representativos.

Serão apresentados ao longo deste subitem a sistematização, consistências e fórmulas que serão adotadas para as estimativas do

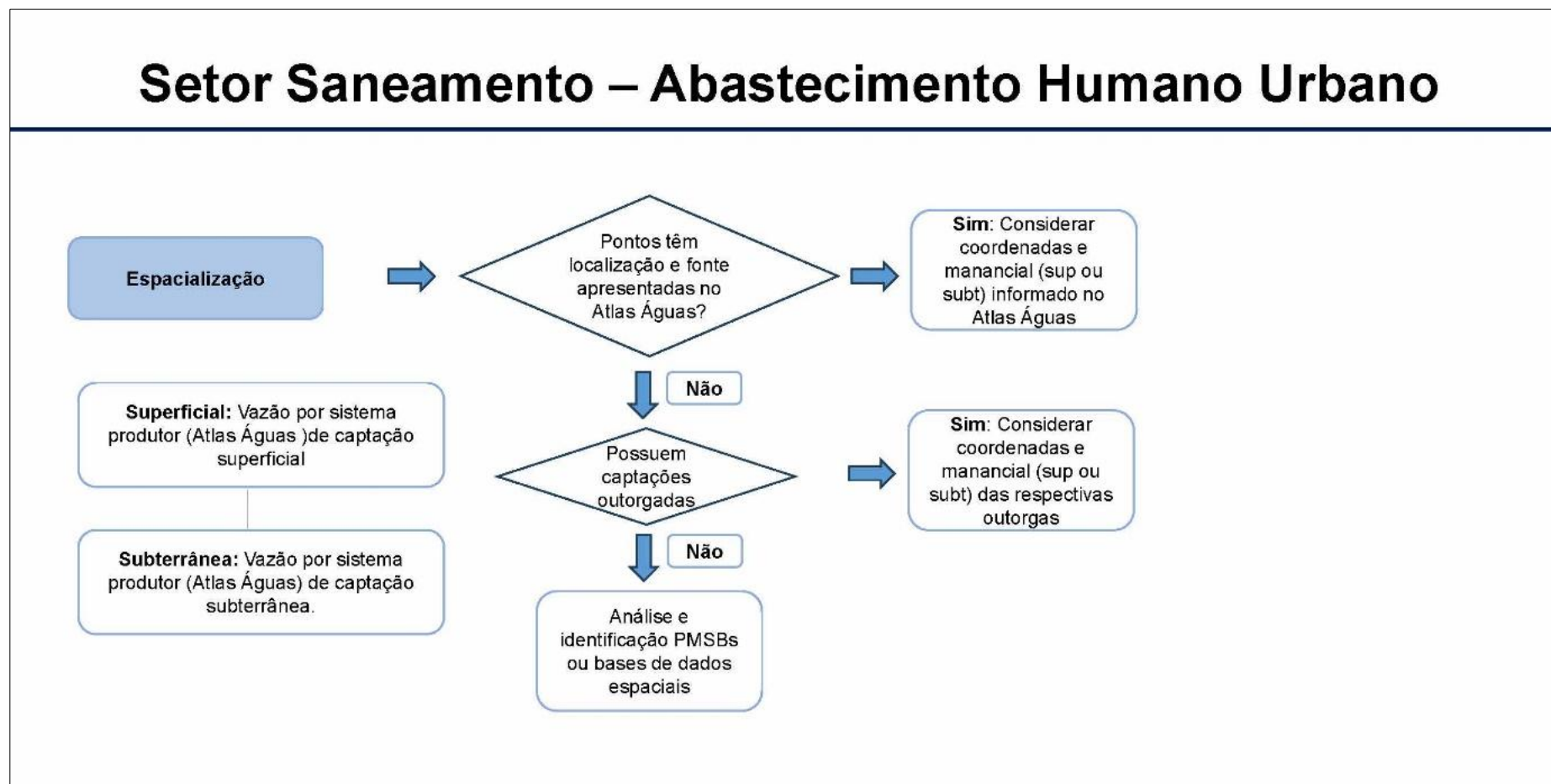
setor, sendo a síntese do fluxo de processo apresentada na Figura 5-1 e na Figura 5-2.

Figura 5-1 – Fluxo e sistematização para a estimativa de demanda do abastecimento humano urbano



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

Figura 5-2 – Fluxo e sistematização para a espacialização da demanda do abastecimento humano urbano



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

A Figura 5-1 apresenta o fluxograma para aplicação da metodologia de cálculo da demanda para o abastecimento urbano, que deve atender aos critérios de consistência. A análise de consistência para os coeficientes urbanos requer, inicialmente, informações sobre o índice de hidrometração $\geq 50\%$, índice de atendimento urbano de água $\geq 80\%$ e economias residenciais $\geq 70\%$. Quando o município não atender à condição supracitada para os coeficientes do SNIS, serão utilizados os coeficientes técnicos por grupo e população (Quadro 5-1).

Quadro 5-1 – Coeficientes técnicos por Unidade da Federação – UF e população.

UF	Uso médio per capita (L/hab.dia)				Perdas (%)			
	Faixa populacional (mil habitantes)				Faixa populacional (mil habitantes)			
	≤ 5	$> 5 \text{ e } \leq 35$	$> 35 \text{ e } \leq 75$	> 75	≤ 5	$5 > \text{ e } \leq 35$	$> 35 \text{ e } \leq 75$	> 75
RJ	151	159	165	191	26%	33%	29%	34%
MG e SP	130	139	158	158	22%	26%	31%	39%

Fonte: Adaptado de Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, 2019.

Para os municípios que atendem aos critérios, os valores de uso e perdas são calculados de acordo com as equações 1 e 2, sendo verificado se os valores obtidos são consistentes com os limites mínimo e máximo (entre 70 L/Hab.dia e 250 L/Hab.dia).

Ao calcular o uso per capita por meio da equação 1, o valor deve estar entre 70 e 250 L/hab.dia. Caso o resultado seja verificado fora desse intervalo, é utilizado o índice IN022 do SNIS (consumo médio per capita apresentado diretamente pelo município).

$$Uso_{percapita} = \{AG_{008} \cdot [AG_{014} \cdot (AG_{001}/AG_{013})]\} \cdot 10^6 / 365 \quad (1)$$

$$Perda_{média} = [(AG_{006} + AG_{018} - AG_{019}) - AG_{010}] / (AG_{006} + AG_{018} - AG_{019}) \quad (2)$$

AG₀₀₁: população total atendida com abastecimento de água (habitantes);

AG₀₀₆: volume de água produzido (1.000 m³/ano);

AG₀₀₈: volume de água micro medido (1.000 m³/ano);

AG₀₁₀: volume de água consumido (1.000 m³/ano);

AG₀₁₃: quantidade de economias residenciais ativas de água (economias);

AG₀₁₄: quantidade de economias ativas de água micro medidas (economias);

AG₀₁₈: volume de água tratada importado (1.000 m³/ano);

AG₀₁₉: volume de água tratada exportado (1.000 m³/ano).

O valor obtido pela equação 2 deve estar entre 10% e 65% e, caso esteja fora desse intervalo, é adotado o limite mais próximo do valor

calculado. Com a definição dos índices de perdas, são, então, calculados a retirada, consumo e retorno per capita, conforme as equações 3, 4 e 5 respectivamente.

$$Retirada_{percapita} = Uso_{percapita} \cdot (1 - Perda_{média})^{-1} \quad (3)$$

$$Consumo_{percapita} = Uso_{percapita} (1 - C) + (Retirada_{percapita} - Uso_{percapita}) \cdot (1 - C) \quad (4)$$

$$Retorno_{percapita} = (Retirada_{percapita} - Uso_{percapita}) \cdot C + (Uso_{percapita} \cdot C) \quad (5)$$

C: Coeficiente de retorno, $C=0,8$.

A partir dos valores per capita calculados por município em L/hab.dia, é estimada a demanda urbana total do município. Além da utilização do AG₀₀₁, também é usada como critério de consistência, a taxa de urbanização municipal sobre o número total de habitantes do último censo demográfico (2022). Para os municípios paulistas são utilizadas as taxas de urbanização disponibilizadas pelo Sistema Estadual de Análise de Dados – SEADE/SP (2020) e para os demais municípios, a taxa de urbanização do IBGE (2010), considerando que tais taxas para o novo censo de 2022 ainda não estão disponíveis.

No que tange a espacialização (Figura 5-2), para local os pontos de captação dos sistemas produtores de água serão utilizadas as coordenadas do Atlas Águas para as captações de águas superficiais e subterrâneas. Caso o município não apresente essas informações no Atlas ou tenha alterado seu ponto de captação, são utilizados dados de outorga ou ainda, as informações do Plano Municipal de Saneamento Básico.

Já com relação ao esgotamento sanitário, são consideradas as informações que estão sendo desenvolvidas em outro estudo contratado pela AGEVAP no contexto do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), de enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Contrato nº 023/2023/AGEVAP). Tal estudo em curso, de forma paralela com o presente trabalho, teve que estimar as vazões e cargas lançadas na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul para possibilitar a realização de modelagem matemática de qualidade. Assim, para efeito de coerência entre os resultados dos dois estudos, são utilizados os mesmos valores de lançamentos.

De forma complementar, a base de dados é cotejada com os volumes outorgados de lançamentos e do Atlas de Saneamento do IBGE, assim como é verificada a espacialização conforme a base do

estudo de enquadramento em curso. Assim, a Figura 5-3 sintetiza a metodologia e bases utilizadas para essas estimativas de lançamentos de efluentes.

Figura 5-3 – Sistematização das bases para estimativa e especialização para os lançamentos de esgotamento sanitário.



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

5.2. ABASTECIMENTO HUMANO RURAL

O setor de abastecimento humano rural segue a mesma proposta metodológica do setor de abastecimento urbano. Neste caso, os dados de entrada para cálculo das estimativas de demanda hídrica utilizam coeficientes técnicos para a região conforme determina a literatura, sendo que o Quadro 5-2 apresenta os coeficientes rurais a serem utilizados.

O fluxograma com a sistematização de processo a ser utilizado para a estimativa de demanda do abastecimento humano rural é apresentado na Figura 5-4.

Quadro 5-2 – Coeficientes de uso, perda e retorno para o abastecimento humano rural.

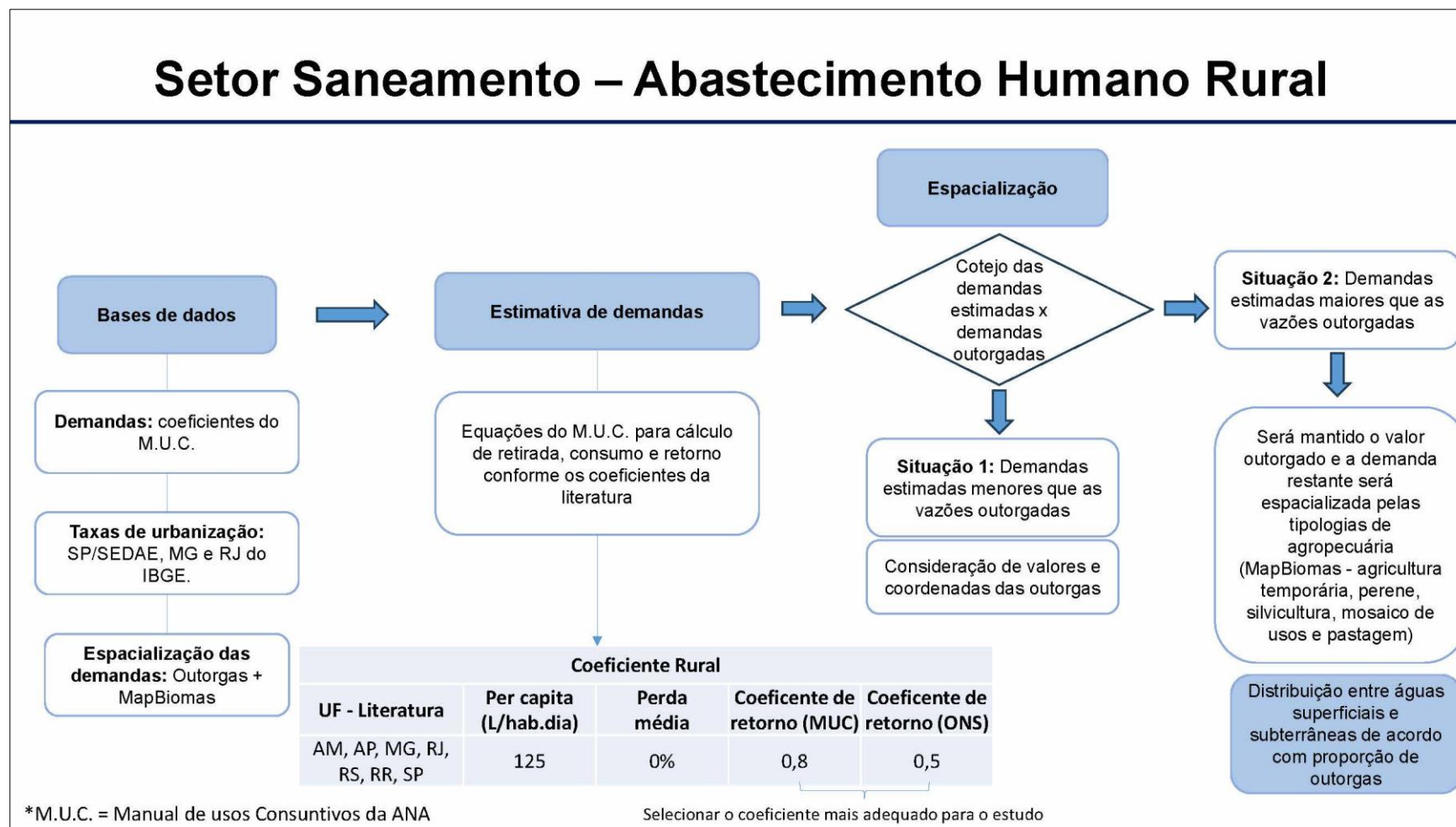
Coeficientes Rurais				
UF - Literatura	Uso percapita ¹ (L/hab.dia)	Perda média ²	Coeficiente de retorno ¹	Coeficiente de retorno ²
AM, AP, MG, RJ, RS, RR, SP	125	0%	0,8	0,5

Fonte: Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, 2019; e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2005).

Os três estados que compõem a bacia possuem o mesmo coeficiente de uso per capita, de 125 L/hab.dia. A perda média para o abastecimento humano rural é considerada zero, enquanto o

coeficiente de retorno adotado pelo ONS é de 0,5 e o considerado pelo manual de usos consuntivos é de 0,8. De forma a considerar uma abordagem mais conservadora, será utilizado o valor proposto pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) ($C = 0,5$), o que corresponde a um consumo de 50% do total captado, ao invés de 20%, caso fosse utilizado o coeficiente de 0,8.

Figura 5-4 – Fluxo e sistematização para a estimativa de demanda e espacialização do abastecimento humano rural



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

No que concerne à população rural, é admitido supor que seja representada pela população não atendida pela rede de abastecimento urbano. Portanto, o quantitativo populacional rural é obtido pela diferença entre a população total do município fornecida pelo IBGE e a população total atendida pelo abastecimento de água (AG_{001}).

Nessa estimativa populacional, as informações de cada município são consistidas, utilizando as taxas de urbanização da SEADE/SP nos municípios paulistas e as taxas de urbanização do IBGE para os demais. O objetivo dessa consistência é avaliar os municípios com sistemas produtores de água que abastecem municípios vizinhos e, assim, chegar em uma população rural mais acertada utilizando a taxa de urbanização.

A espacialização da demanda para uso humano rural subsidia o cotejo das demandas estimadas e as demandas outorgadas na bacia, considerando a finalidade de uso principal. Conforme mostrado na Figura 5-4, tal análise pode resultar em duas situações para determinar as vazões e a locação das captações:

- Situação 1: quando as demandas estimadas são menores que as vazões outorgadas, são considerados os valores outorgados e as coordenadas para espacialização;
- Situação 2: quando as demandas estimadas são maiores que as vazões outorgadas, é mantido o valor outorgado e a demanda restante é espacializada pelas tipologias de agropecuária do MapBiomias (agricultura temporária, perene, silvicultura, mosaico de usos e pastagem).

Ressalta-se que em todas as situações avaliadas, a distribuição entre águas superficiais subterrâneas ocorre de acordo com a proporção das outorgas em termos de vazões. Assim, considerando o percentual de usos da água outorgados de águas superficiais e subterrâneas em termos de vazões, é expandido a partir do restante das vazões estimadas.

5.3. DESSEDENTAÇÃO ANIMAL

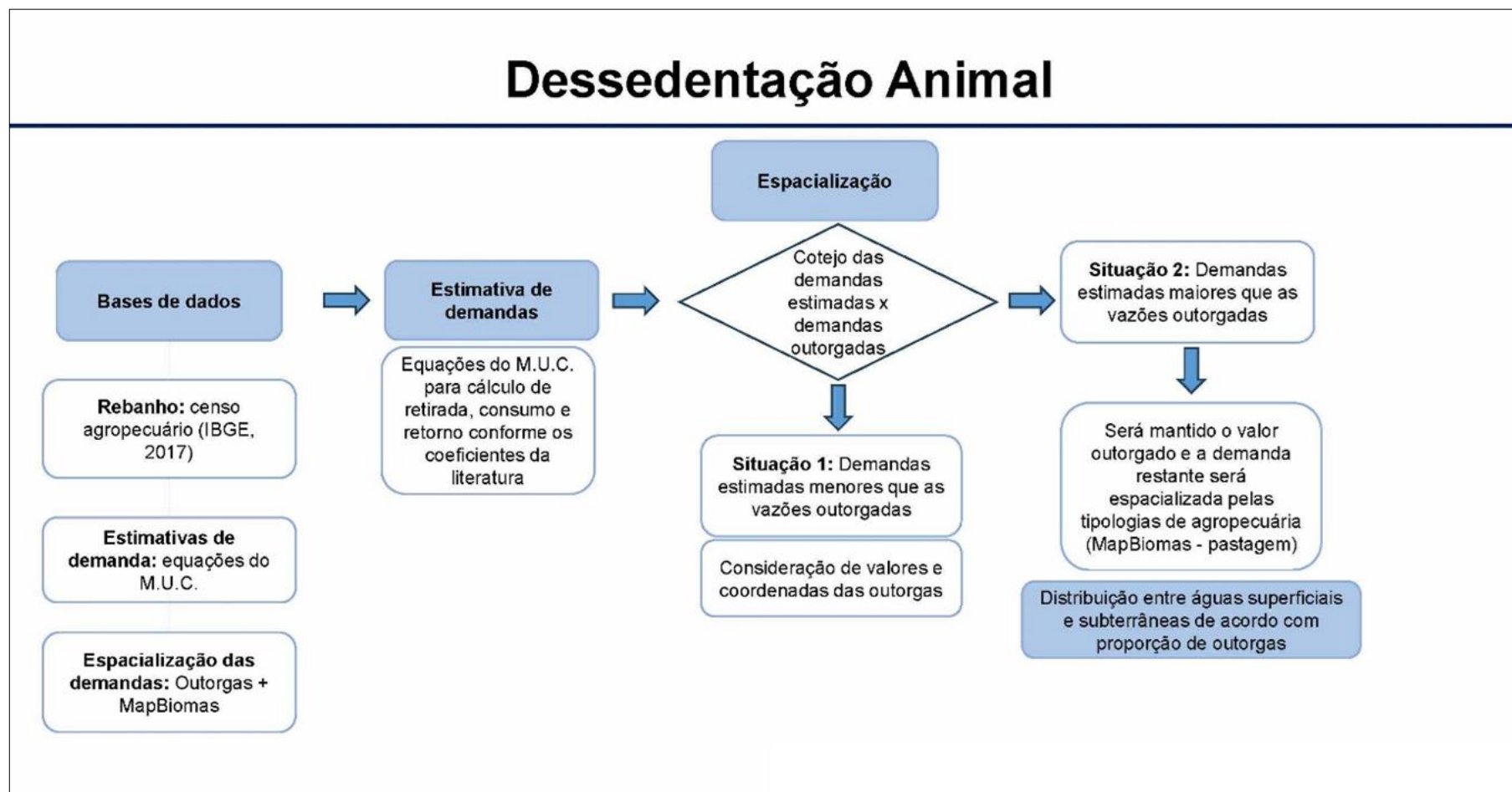
A metodologia aplicada na dessedentação animal considera as informações de contagem de rebanhos e os coeficientes per capita para estimativa das demandas hídricas (Figura 5-4). Segundo o manual de usos consuntivos, o detalhamento dos coeficientes é obtido por meio da disponibilidade das informações sobre os

rebanhos, tais como tipologia, espécie, tamanho, uso de confinamento e estágio de desenvolvimento.

Além da dessedentação, as demandas atuais consideram ainda outras formas de uso, a exemplo de operações lácteas, limpeza e higienização dos animais e das instalações ou outras necessidades oriundas da manutenção das estruturas rurais.

O Quadro 5-3 apresenta os coeficientes técnicos da dessedentação animal. Os coeficientes técnicos apresentados entre parênteses consideram a adoção de um percentual destinado a outras necessidade de criação animal.

Figura 5-5 – Fluxo e sistematização para a estimativa de demanda e espacialização para a dessedentação animal



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

Quadro 5-3 – Coeficientes técnicos da dessedentação animal e outros usos

Rebanhos: conceituação e coeficientes técnicos (mínimo, máximo e adotado)						
Espécie	Conceituação	Coeficiente Mínimo	Coeficiente Máximo	Coeficiente Adotado	Consumo (%)	Fontes Adotadas
		(litros(s) por cabeça por (dia))				
Bovino	Total de mamíferos das espécies Bos indicus (boi indiano) ou Bos taurus (boi europeu), independentemente de sexo, idade, raça ou finalidade (corte, leite ou trabalho).	20,00	80,00	50,00	0,80	ANA (2013)
Vacas Ordenhadas	Vacas mestiças ou de raça (de corte, de leite ou de dupla aptidão) existentes no município e que foram ordenhadas em algum período no ano de referência da pesquisa, quer seja para autoconsumo, transformação em queijos, manteiga etc. quer seja para venda.	20,00	150,00	85,00	0,60	ANA (2013) SUDERHSA (2006)
Suíno	Total de mamíferos da espécie Sus scrofa (porcos e porcas), independentemente de sexo, idade ou finalidade da produção.	5,00	30,00	12,50	0,60	ONS (2003; 2005) SUDERHSA (2006)
Bubalino	Total de mamíferos da espécie Buballus buballis, independentemente de sexo, idade ou finalidade (corte ou leite).	30,00	90,00	50,00	0,80	ONS (2003; 2005)
Equinos	Total de mamíferos da espécie Equus caballus (cavalos, éguas, potros e potrancas).	20,00	60,00	40,00	0,80	ANA (2013) / SUDENE (1980)
Ovino	Total de mamíferos da espécie Ovis aries (ovelhas, carneiros e borregos), independentemente de sexo, idade ou finalidade (lã, corte ou leite).	5,00	30,00	10,00	0,80	ONS (2003; 2005)
Caprino	Total de mamíferos da espécie Capra aegagrus hircus (bodes, cabras e cabritos), independentemente de sexo, idade ou finalidade (corte ou leite).	4,00	30,00	10,00	0,80	ONS (2003; 2005)
Galináceos	Total de aves da espécie Gallus gallus (galos, galinhas, frangas, frangos, pintos e pintainhas).	0,10	0,50	0,18	0,69	EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)

Rebanhos: conceituação e coeficientes técnicos (mínimo, máximo e adotado)						
Espécie	Conceituação	Coeficiente Mínimo	Coeficiente Máximo	Coeficiente Adotado	Consumo (%)	Fontes Adotadas
		(litros(s) por cabeça por (dia))				
Galináceos - galinhas	Total de aves fêmeas da espécie Gallus gallus destinadas à produção de ovos, independentemente do destino da produção (consumo, industrialização ou incubação). Inclui poedeiras e matrizes.	0,10	0,32	0,18	0,60	EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)
Codornas	Total de aves da espécie Coturnix coturnix destinadas à produção de ovos e abate, independentemente de sexo ou idade.	-	-	0,18	0,80	EMBRAPA (2005)

Fonte: Manual de usos consuntivos da água no Brasil

As equações para estimativa da retirada, retorno e consumo são descritas abaixo.

$$Q_{\text{retirada}} = \sum (Reb_{(\text{rebanho}, \text{animal})} \cdot q_{(\text{rebanho}, \text{animal})}) \quad (6)$$

$$Q_{\text{retorno}} = \sum (Q_{\text{retirada}(\text{rebanho}, \text{animal})} \cdot Cr_{(\text{rebanho}, \text{animal})}) \quad (7)$$

$$Q_{\text{consumo}} = Q_{\text{retirada}} - Q_{\text{retorno}} \quad (8)$$

q: coeficiente de retirada animal;

Cr: coeficiente de retorno animal.

A espacialização das vazões, assim como no caso do abastecimento humano rural, considera o cotejo das demandas estimadas e as demandas outorgadas. Nesse caso, são analisadas duas situações:

- Situação 1: demandas estimadas menores que as vazões outorgadas, são considerados os valores e coordenadas das outorgas (ANA, INEA, IGAM e DAEE).
- Situação 2: demandas estimadas maiores que as vazões outorgadas, é considerado o valor outorgado e a demanda restante será espacializada nas tipologias de agropecuária do MapBiomas (pastagem).

Assim como nos exemplos anteriores, a distribuição entre águas superficiais e águas subterrâneas ocorre de acordo com a proporção delas nos valores outorgados.

5.4. IRRIGAÇÃO

As demandas da irrigação serão estimadas por meio da integração da base de dados do Atlas Irrigação (2021) e do manual de usos consuntivos e, em complemento, é feita uma consistência com os valores outorgados por município.

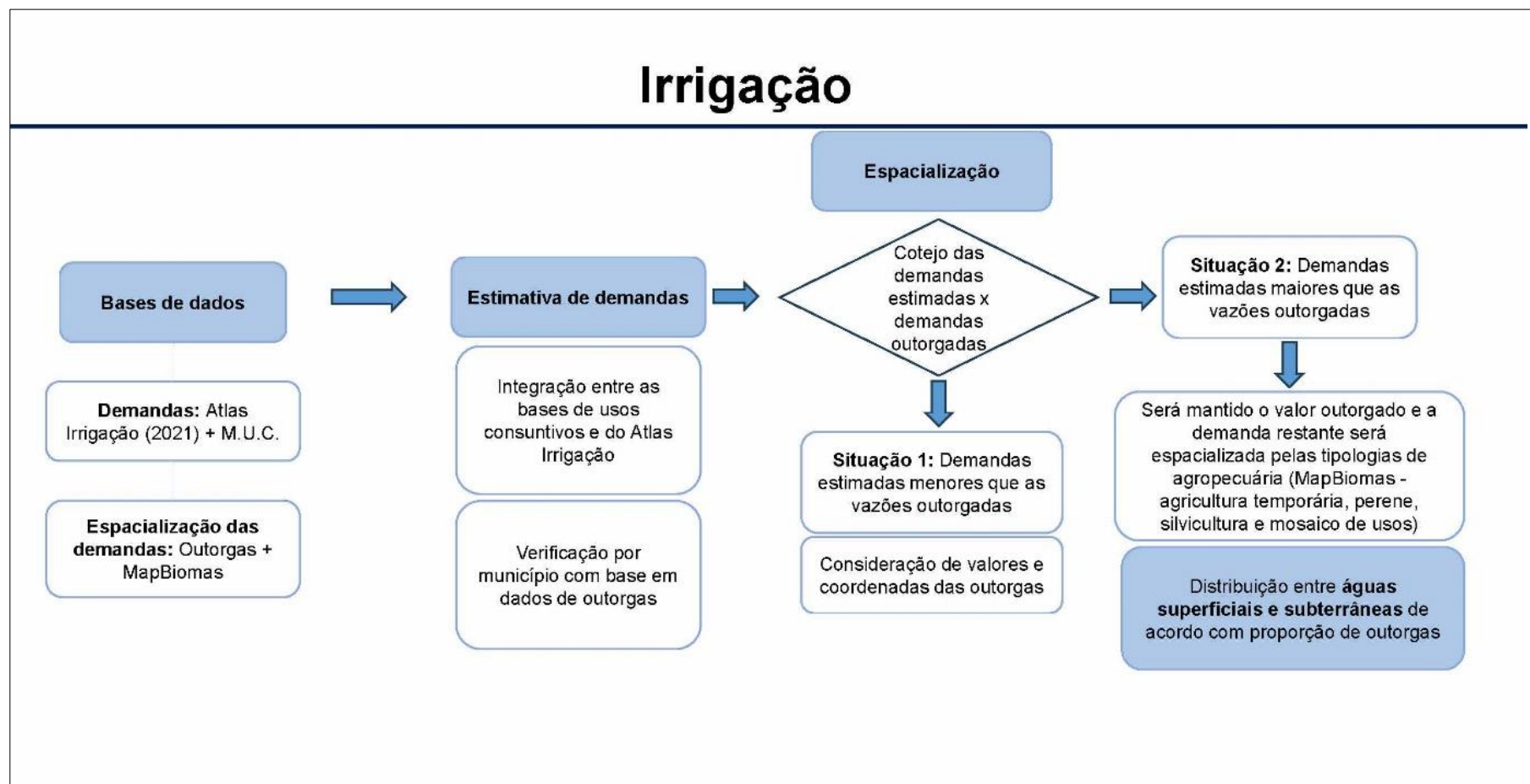
Com isso, o cotejo das demandas estimadas x demandas outorgadas pode resultar em duas situações no que tange a espacialização:

- Situação 1: quando a demanda estimada é menor que a vazão outorgada, são considerados os valores e coordenadas das outorgas;
- Situação 2: quando as demandas estimadas são maiores que as vazões outorgadas, é mantido o valor outorgado e a demanda restante é espacializada pelas tipologias de agropecuária (MapBiomas - agricultura temporária, perene, silvicultura e mosaico de usos).

A Figura 5-6 apresenta o fluxo de processo aplicado para essa estimativa.

O método de estimativa das vazões de demanda considera os aspectos de clima, das culturas, do sistema de irrigação e das especificidades das espécies. A vazão de retirada é dada pela diferença da evapotranspiração real e da precipitação efetiva, multiplicado pela área irrigada e dividido pela eficiência de aplicação. A vazão de retorno considera o valor da vazão de retirada, eficiência de aplicação e as perdas por evapotranspiração. Logo, a vazão de consumo é obtida pela diferença da retirada e do retorno.

Figura 5-6 – Fluxo e sistematização da estimativa de demanda e espacialização para a irrigação



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

5.5. INDÚSTRIA

De acordo com o manual de usos consuntivos da ANA, as estimativas do setor industrial podem ser realizadas de maneira indireta, uma vez que há escassez de inventários de medição desse setor. Desse modo, o manual apresenta uma matriz de coeficientes técnicos que representa as relações de usos das águas nas diferentes tipologias (vazão média por empregado, por tipologia industrial) aplicados ao número de trabalhadores de determinada tipologia em determinado município, utilizando como base de dados de número de trabalhadores o Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS).

O uso do método supracitado pode levar a variações significativas nas demandas, sub ou superestimando-as, em função da variância dos indicadores que consistem os coeficientes em cada região. No entanto, esses fatores não consideram, por exemplo, ganhos de escala em função do porte de empreendimentos ou de metodologias de reúso ou otimização de usos implementadas por cada empreendedor.

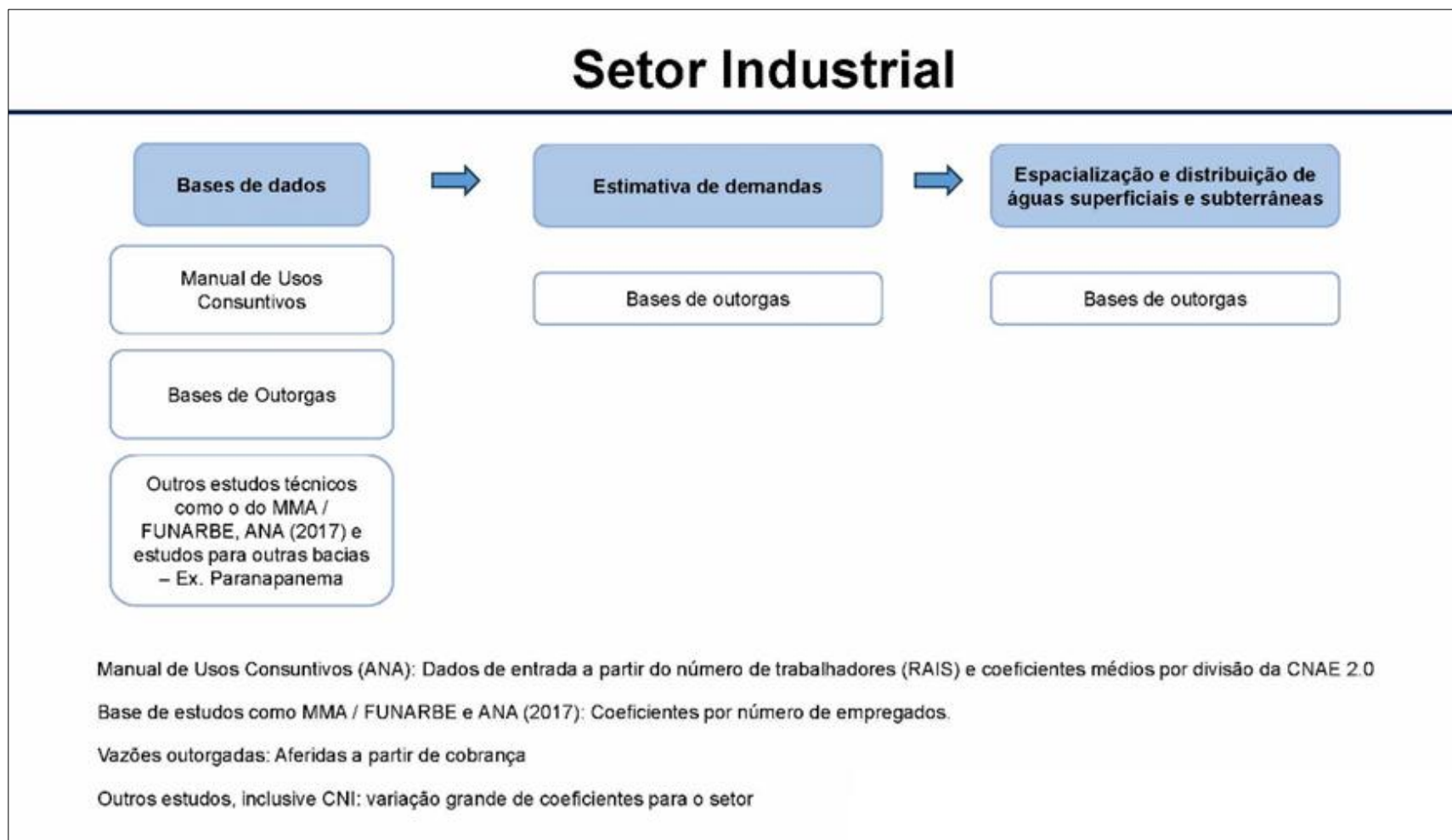
Utilizando como exemplo o subsetor da indústria sucroenergético na bacia do rio Paranapanema, em estudo desenvolvido pela ANA para a bacia, o indicador de uso de água varia de 0,44 m³/t a 2,60 m³/t de

cana moída para a mesma atividade, ou seja, o índice máximo de captação é 6 vezes maior que o mínimo.

O pioneirismo da bacia do rio Paraíba do Sul na implementação do instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos confere uma maior confiabilidade aos valores outorgados, uma vez que desde 2003 já se tem os usos outorgados e, com isso, ao longo do tempo, os usuários do setor industrial foram refinando suas outorgas, de forma a pagar exatamente pelos valores utilizados. Por isso, espera-se que estes valores sejam mais fidedignos às demandas industriais atuais da bacia em comparação as estimativas por coeficientes técnicos.

Sendo assim, para a estimativa de demanda propõe-se considerar as bases de outorgas estaduais e federal, assim como a espacialização e a distribuição de águas superficiais e subterrâneas, com uma síntese do fluxo de processo apresentado na Figura 5-7. No caso de retornos de indústrias, serão considerados a partir da base de lançamentos de efluentes do estudo em curso realizado pela AGEVAP para enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Contrato nº 023/2023/AGEVAP).

Figura 5-7 – Fluxo e sistematização para a estimativa de demanda e espacialização do setor industrial



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

5.6. MINERAÇÃO

O manual de usos consuntivos da ANA também apresenta uma metodologia de estimativas de demandas para o setor de mineração com base nos dados de produção mineral efetiva, por grupo ou tipo de substância, associados aos coeficientes técnicos específicos, que expressam o volume de água necessário para a produção de uma tonelada de acordo com a tipologia.

Contudo, a base de dados de estudos do setor para os coeficientes está desatualizada, o estudo da Confederação Nacional da Indústria (CNI) data de 2013 e apresenta variações sensíveis para determinados tipos de atividade, como a extração de minério de ferro e a extração de minério de metais preciosos, com faixa de variação muito elevada de consumo dentro de um mesmo grupo de exploração mineral.

Outra dificuldade pertinente à aplicação do método se refere à obtenção de dados atualizados de produção mineral, uma vez que esses dados precisam estar segmentados por substância e por município.

Desse modo, assim como para o setor industrial, a utilização dos valores outorgados aferidos a partir da cobrança se mostra mais

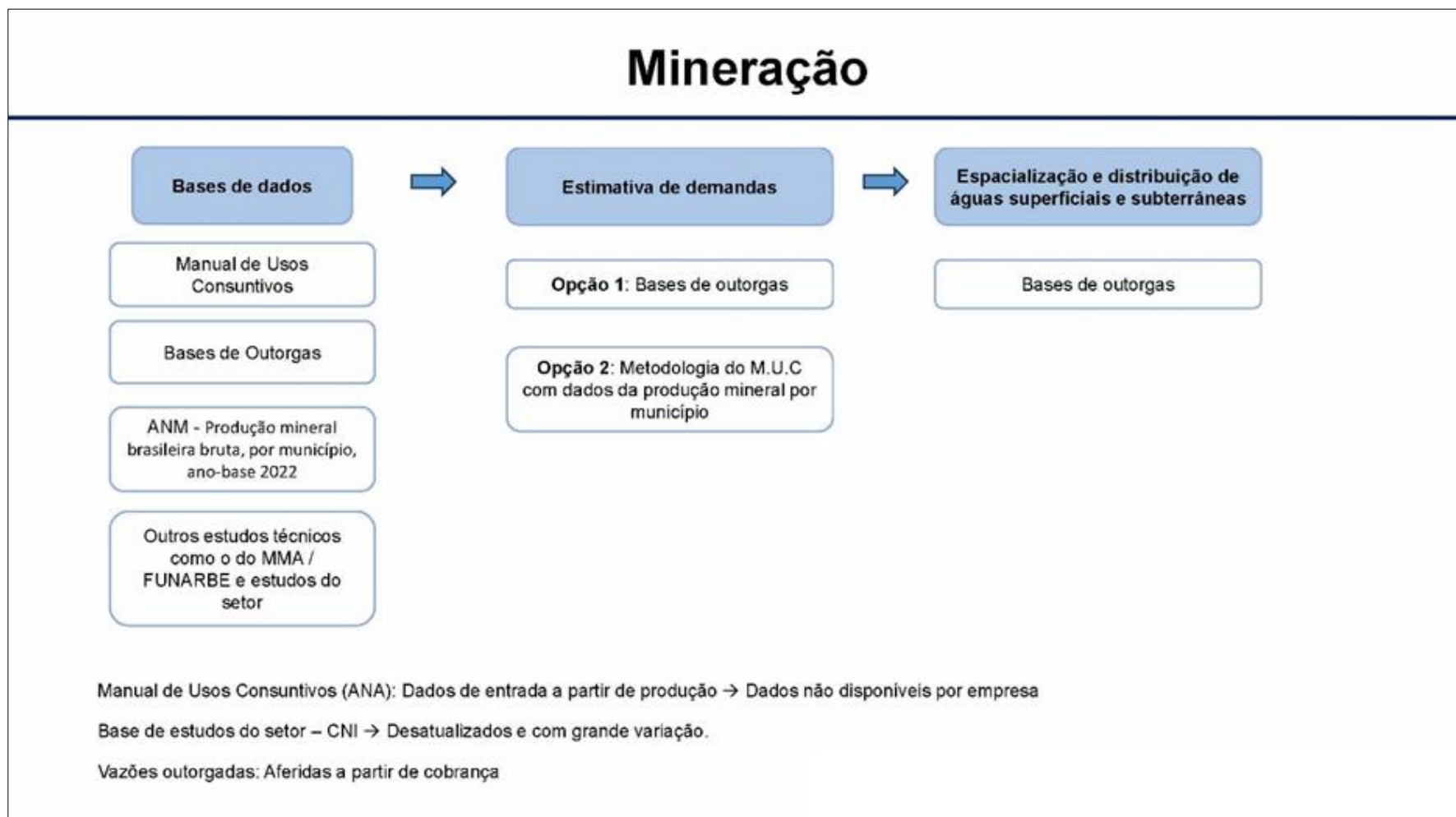
adequada, visto que os valores podem ser revisados e consistidos com a utilização da base de dados das Declarações Anuais de Uso de Recursos Hídricos (DAURHs).

A utilização da base de outorgas também propicia uma espacialização exata dos pontos de captação desse setor usuário, bem como da distribuição entre a demanda superficial e subterrânea.

Portanto, a proposta tem como primeira opção utilizar as outorgas para estimar as demandas. Além disso, é verificada na base de informações da Agência Nacional de Mineração (ANM) a produção mineral por município. Caso o município apresente volume produzido e não seja constatada a existência outorga na área do município, será aplicada a segunda opção, que consiste no cálculo de estimativas segundo os coeficientes técnicos. O fluxo de processo é apresentado na Figura 5-8.

No caso de retornos das empresas de mineração, são considerados a partir da base de lançamentos de efluentes do estudo em curso realizado pela AGEVAP para enquadramento das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (Contrato nº 023/2023/AGEVAP).

Figura 5-8 – Fluxo e sistematização da estimativa de demanda e espacialização do setor de mineração



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

5.7. TERMOELETRICIDADE

As termoeletricas operam com a finalidade de geração de energia por meio de uma central com o calor gerado pela queima de combustível líquido, sólido ou gasoso. O incremento na implementação de empreendimentos para geração de energia elétrica por meio desse processo resulta em uma maior demanda associada de água, o que levou a ANA a desenvolver coeficientes e estimativas para o setor.

O método de estimativa das vazões associadas à geração termoeletrica adota coeficientes técnicos de acordo com o ciclo termodinâmico e o sistema de resfriamento dos empreendimentos (Quadro 5-4).

Quadro 5-4 – Coeficientes de captação e consumo (L/KWh) do setor de termoeletricas

Ciclo Termodinâmico e Sistema de Resfriamento	Captação - L/KWh	Consumo - L/KWh
Rankine e Circulação Aberta	130	1,5 (1,15%)
Rankine e Torres Úmidas	2,85	2,5 (77,8%)
Ciclo Combinado e Circulação Aberta	52	0,4 (0,77%)
Ciclo Combinado e Torres Úmidas	0,9	0,7 (77,8%)

Fonte: Manual de usos consuntivos da água no Brasil

A base de dados das usinas termoeletricas ativas é buscada no Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) da ANEEL e, também, pelo portal energético, sendo necessárias informações como a potência outorgada de geração de energia elétrica, o combustível utilizado no processo de geração e o tipo de resfriamento associado a cada unidade geradora. De forma complementar, são utilizadas informações de outorgas para os usuários do setor, considerando que deverão ter suas demandas regularizadas e incluídas nas bases de dados dos órgãos gestores de recursos hídricos.

A síntese do fluxo adotado é apresentada na Figura 5-9.

Com a base de dados pronta, são utilizadas as equações abaixo para estimar as vazões de retirada, consumo e retorno.

$$Q_{UTE} = (E_{el} \cdot C_r) / 3600000 \quad (9)$$

$$Q_{UTE,c} = Q_{UTE} \cdot Cc \quad (10)$$

$$Q_{UTE,r} = Q_{UTE} - Q_{UTE,c} \quad (11)$$

Q_{UTE} : vazão de retirada da UTE ($m^3.s^{-1}$);

E_{el} : energia elétrica gerada ou potência outorgada (kW);

C_r : coeficiente de retirada ($l.kWh^{-1}$);

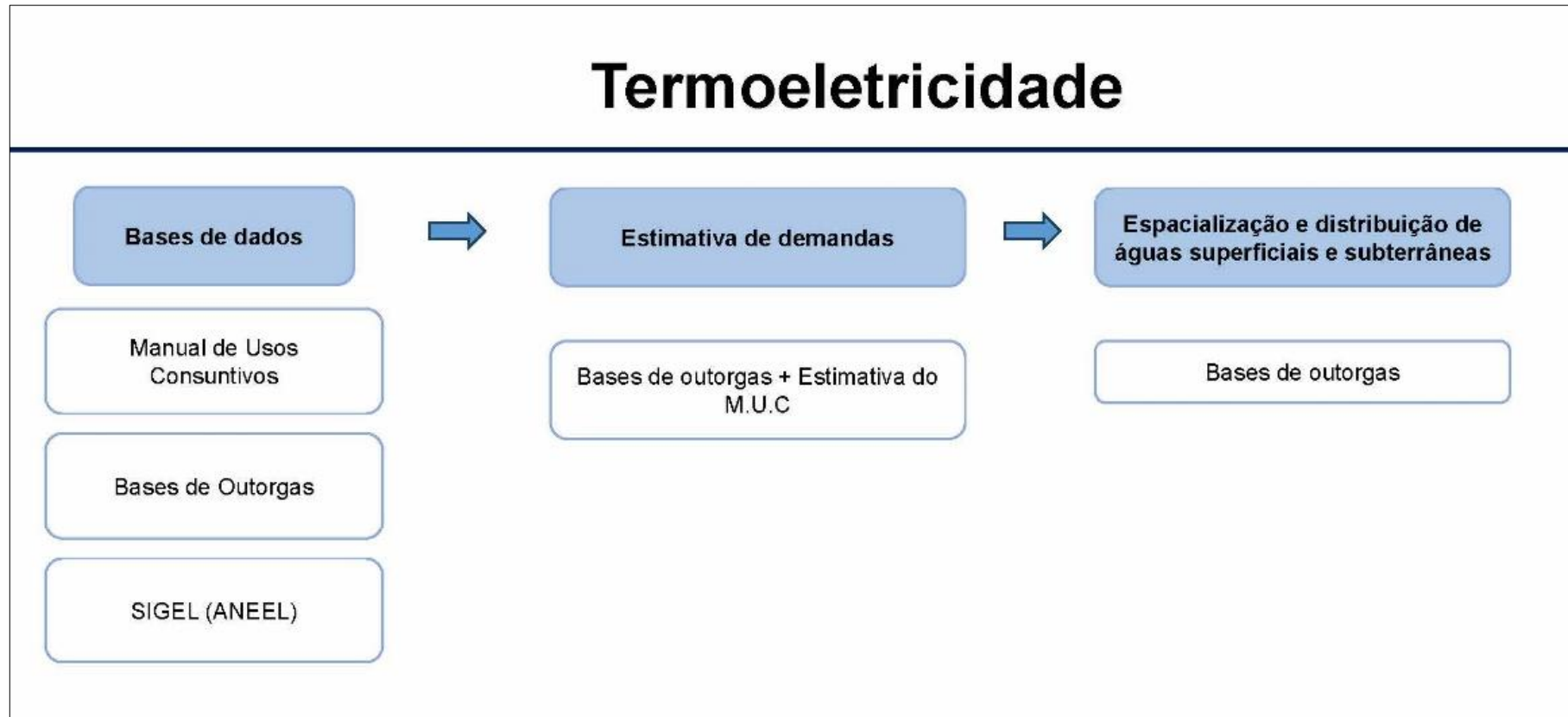
$Q_{UTE,c}$: vazão de consumo da UTE ($m^3.s^{-1}$);

C_c : coeficiente de consumo (%);

$Q_{UTE,r}$: vazão de retirada da UTE ($m^3.s^{-1}$).

A base de outorgas é utilizada para a verificação dos usos da água para o setor, considerando que os empreendimentos deverão estar regularizados. A espacialização e a distribuição de águas superficiais e subterrâneas utiliza a base de outorgas.

Figura 5-9 – Fluxo e sistematização da estimativa de demanda e espacialização das termoeletricas



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

5.8. EVAPORAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

As perdas de água para evaporação em massas de água também podem se mostrar como demandas importantes ao uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul, tratando de reservatórios com diversas finalidades como aproveitamento hidrelétrico, irrigação, abastecimento público, industrial etc. Dentre esses usos, podem ser também considerados os tanques escavados com a finalidade de aquicultura, também presentes em parte importante da bacia.

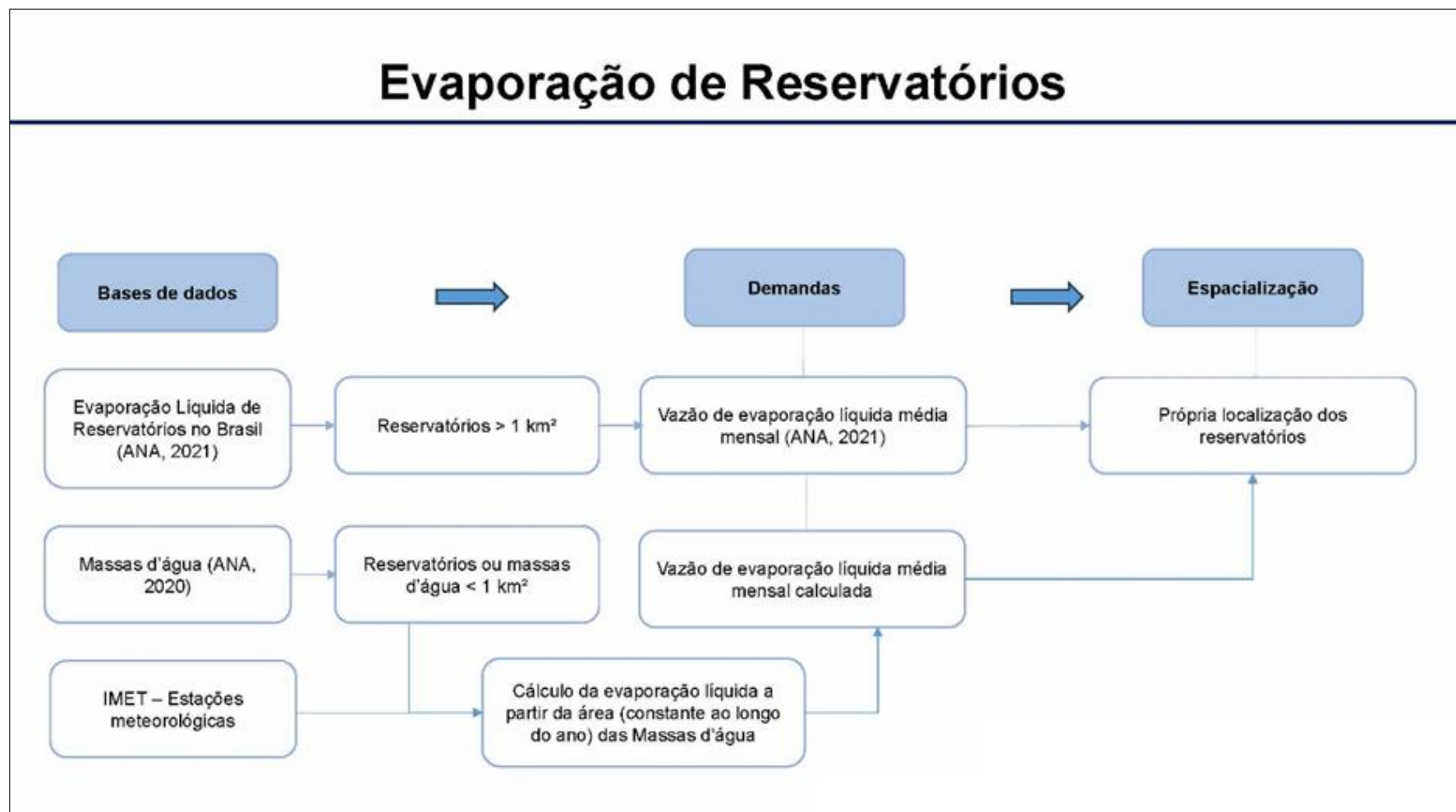
A Figura 5-10 apresenta o fluxo e a sistematização da proposta metodológica para a estimativa das demandas por evaporação e mostra, detalhadamente, a composição da base de dados a ser utilizada que, em síntese, é constituída de três bases de dados:

- O estudo de evaporação líquida de reservatórios no Brasil (ANA, 2021) para os reservatórios maiores que 1 km²
- O estudo de massas d'água (ANA, 2020) para os reservatórios ou massas d'águas menores que 1 km²; e
- Dados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para subsidiar o cálculo da evaporação líquida a partir da área das massas d'águas.

É então obtida a evaporação líquida média mensal por meio do cruzamento espacial do arquivo de massas de água com a tabela de vazão para associar a informação ao polígono. Para reservatórios menores que 1 km², isolinhas de taxa de evaporação e cálculo da evaporação líquida a partir da área (constante ao longo do ano) das massas de água. A espacialização das demandas é feita pela própria localização dos reservatórios.

Vale destacar que a aquicultura está representada neste método, uma vez que suas principais perdas de água são consideradas pela evaporação em reservatórios ou tanques escavados.

Figura 5-10 – Fluxo e sistematização da estimativa de demanda e espacialização para a evaporação dos reservatórios



Fonte: Elaborado pelo Consórcio

6. QUADRO DAS DEMANDAS ATUAIS E FUTURAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

Seguindo o desenvolvimento dos estudos, passou-se à estimativa propriamente dita das demandas na bacia, com os objetivos principais de:

- Revisar o quadro atual de demandas hídricas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, considerando os cenários definidos no Plano de Trabalho e Mobilização Consolidado;
- Apresentar em projeção, de curto, médio e longo prazo (5, 10, 15 e 20 anos), o quadro futuro de demandas hídricas da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul.

Na sequência, são apresentados os resultados das estimativas atuais de demandas, bem como os cenários e cenas futuras.

6.1. CENA ATUAL DAS DEMANDAS

6.1.1. Abastecimento humano urbano

Os cálculos para estimativas de demanda do abastecimento humano urbano foram concebidos a partir da metodologia do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2024), que utiliza como base de dados os índices e coeficientes (per capita) municipais dos

sistemas produtores de água no ano de 2022. Ademais, utilizou-se as estimativas de população urbana atendida pelos sistemas para chegar no montante demandado por cada município da bacia.

Com o intuito de selecionar quais municípios têm suas captações na área da bacia, bem como o percentual de atendimento por município que essas captações representam na demanda retirada, foram consultadas as informações de proporcionalidade de atendimento e o número de municípios atendidos pelas 577 captações na área da bacia do rio Paraíba do Sul constantes no Atlas Águas (2021). A partir disso, foi realizada a consistência dos montantes de retirada municipal para cada ponto.

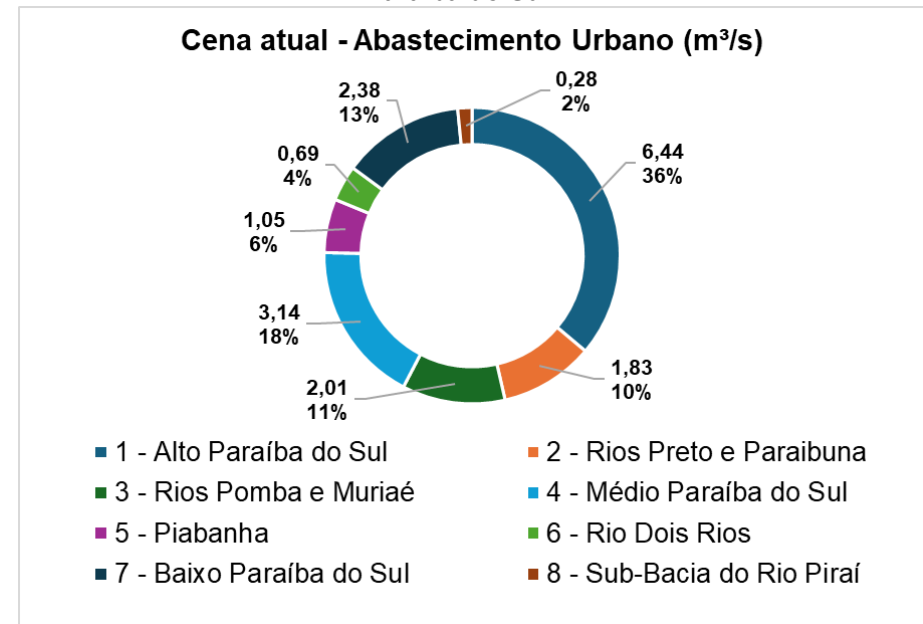
O Quadro 6-1 apresenta os resultados das vazões calculadas conforme a metodologia aplicada, espacializada segundo as captações do Atlas e segregadas segundo a origem (superficial e subterrânea) na cena atual.

O resultado da consistência de demanda para cada sistema produtor, atrelado ao(s) exato(s) ponto(s) de captação, expressou um total de 17,81 m³/s para o setor. Destaca-se que a unidade de planejamento Alto Paraíba do Sul tem a retirada mais expressiva da bacia, de 6,44 m³/s, representando um percentual de 36% do total, o

que é justificado por ser a Unidade de Planejamento (UP) com maior população urbana da bacia (cerca de 2 milhões de habitantes). Por outro lado, as UPs Piabanha, Rio Dois Rios e Sub-bacia do Rio Pirai, que são regiões com menos concentrações urbanas, apresentam as menores demandas, 1,05 m³/s, 0,69 m³/s e 0,28 m³/s.

A maior dependência de água subterrânea no cenário atual ocorre nas UPs Alto Paraíba do Sul (12,5%) e Rios Pomba e Muriaé (12,4%). Apesar do percentual de uso de águas subterrâneas no Alto Paraíba do Sul ser relativamente baixo (em comparação com seus usos superficiais), nota-se que em termos absolutos (0,81 m³/s) seu valor supera os usos totais nas UPs Rio Dois Rios e Sub-bacia do Rio Pirai. Nas demais UPs predomina o uso de água superficial (em geral acima de 90%).

Figura 6-1 – Vazão de retirada destinada à demanda abastecimento humano urbano por unidade de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 6-1 – Distribuição da demanda de abastecimento humano da Cena Atual em águas subterrâneas e superficiais por unidade de planejamento.¹

UP	Subterrânea (m³/s)	Subterrânea (%)	Superficial (m³/s)	Superficial (%)	Total (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	0,81	12,5	5,63	87,5	6,44
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,09	5,2	1,74	94,8	1,83
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,25	12,4	1,76	87,6	2,01
4 - Médio Paraíba do Sul	0,02	0,6	3,12	99,4	3,14
5 - Piabanha	0,05	5,2	0,99	94,8	1,04
6 - Rio Dois Rios	0,01	1,1	0,69	98,9	0,7
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,17	7,2	2,20	92,8	2,37
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0,01	3,3	0,27	96,7	0,28
Total Geral	1,41	7,9	16,40	92,1	17,81

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

¹ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

6.1.2. Abastecimento humano rural

O abastecimento humano rural compreende a população não atendida pelo sistema produtor de água (rede de abastecimento) e a população residente da zona rural propriamente dita. O cálculo de estimativa de demanda para este uso foi feito por município e considera a população rural em função do índice de consumo per capita de 125 L/hab.dia.

A partir dos resultados de cada município foram aplicadas as condições de espacialização da demanda para se chegar no valor final de vazão de retirada dentro da bacia. Para isso, foi utilizada a seguinte metodologia:

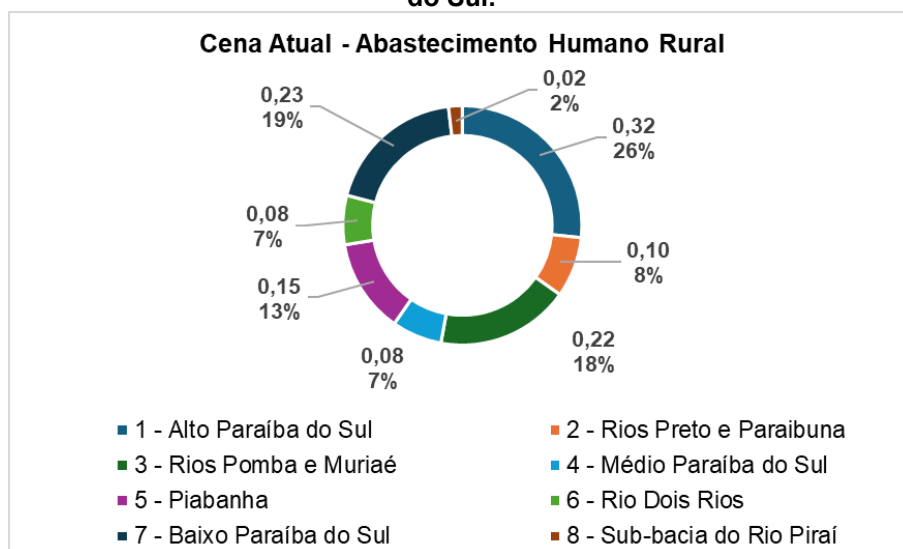
- Se a demanda calculada (por meio das expressões considerando população e índices per capita) for inferior ao total outorgado (total de vazões outorgadas para essa finalidade) → utiliza-se o valor outorgado;
- Se a demanda calculada for superior ao total outorgado → considera-se o valor outorgado e soma-se o excedente calculado (demanda calculada menos a demanda outorgada) espacializado pelas áreas rurais de cada município dentro da bacia.

Para refinamento dos valores, foi feita também uma segunda análise sobre os municípios que se enquadram na condição de demanda calculada menor que a demanda outorgada. Essa consistência dos valores outorgados considerou que, se o valor outorgado (por município) fosse duas vezes maior que a demanda calculada (por município), seria aplicado um fator de corte na outorga, limitando o valor a no máximo duas vezes a vazão calculada. Esse procedimento se justifica uma vez que as outorgas de consumo humano rural frequentemente englobam pequenos usos de outros setores, especialmente dessedentação e irrigação. Além disso, usualmente ocorrem situações em que os usos para consumo humano rural têm solicitações de autorização por meio de uso insignificante, obtendo permissões de valores bastante superiores ao efetivamente utilizado. Desse modo, o fator de corte serve como um limitador, para que apenas o uso humano rural esteja refletido nos valores finais de demanda na bacia e limitado a valores adequados e que devem ser expressamente utilizados.

A consecução dos métodos supracitados gerou a real demanda de retirada para consumo humano rural na cena atual (apresentada no Quadro 6-2), com valor total de 1,20 m³/s. Destaca-se que as UPs Alto Paraíba do Sul, Baixo Paraíba do Sul e rios Pomba e Muriaé têm

a retirada mais expressiva da bacia para abastecimento rural, o que é justificado por serem as UPs com maior população rural da bacia conforme apresentado no Quadro 6-3.

Figura 6-2 – Vazão de retirada destinada à demanda abastecimento humano rural por unidade de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 6-2 – Distribuição da demanda de abastecimento humano rural da Cena Atual em águas subterrâneas e superficiais por unidade de planejamento²

UP	Subterrânea (m³/s)	Subterrânea (%)	Superficial (m³/s)	Superficial (%)	Total (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	0,23	71,07	0,09	28,93	0,32
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,06	62,65	0,04	37,35	0,10
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,21	99,32	0,00	0,68	0,22
4 - Médio Paraíba do Sul	0,04	52,01	0,04	47,99	0,08
5 - Piabanha	0,09	61,56	0,06	38,44	0,15
6 - Rio Dois Rios	0,03	36,21	0,05	63,79	0,08
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,09	39,82	0,14	60,18	0,23
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0,00	1,15	0,02	98,85	0,02
Total Geral	0,76	63,4	0,44	36,6	1,20

Fonte: elaborado pelo Consórcio

² Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

Quadro 6-3 – Distribuição da demanda de abastecimento rural da Cena Atual e população rural por unidade de planejamento

UP	Demanda Hídrica para Abastecimento Rural (m³/s)	% da demanda em cada UP	População Rural (Habitantes)	% da população rural em cada UP
1 - Alto Paraíba do Sul	0,32	26,6	134.064	19,0
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,10	8,2	35.215	5,0
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,22	18,1	101.702	14,4
4 - Médio Paraíba do Sul	0,08	6,8	65.631	9,3
5 - Piabanha	0,15	12,7	120.248	17,0
6 - Rio Dois Rios	0,08	6,7	71.354	10,1
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,23	19,1	168.277	23,8
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0,02	1,9	10.628	1,5
Total	1,20	100,0	707.119	100,0

Fonte: elaborado pelo Consórcio

6.1.3. Dessedentação Animal

As demandas hídricas para dessedentação animal são conformadas pela aplicação de coeficientes de retirada por unidade animal para os quantitativos dos rebanhos. Os coeficientes unitários consideram, além das necessidades fisiológicas dos animais, as operações de limpeza e higienização (dos animais e das instalações) ou outras necessidades oriundas da manutenção das estruturas rurais vinculadas à criação.

Os rebanhos animais - em sua quantidade e perfil, em cada município - são os elementos determinantes para a geração das demandas hídricas e devem, portanto, ser projetados. Para tanto, capturou-se junto ao banco de dados do IBGE (dados da PPM - Pesquisa Pecuária Municipal), a quantidade histórica dos rebanhos nos últimos dez anos (de 2014 a 2023). Os dados de nº de cabeças de cada rebanho utilizados na cena atual de demandas hídricas estão apresentados no Quadro 6-4 por unidade de planejamento.

Dessa forma, os cálculos para estimativas de demandas provenientes da dessedentação animal consideraram como base de dados as informações de contagem de rebanhos por município e os coeficientes per capita para estimativa das demandas hídricas,

provenientes do Manual de Usos Consuntivos (ANA, 2024). Os cálculos foram realizados a nível municipal, porém os resultados estão agrupados para apresentação, no Quadro 6-5, por unidade de planejamento.

Quadro 6-4 – Distribuição do número de cabeças por rebanho (Cena Atual) por unidade de planejamento

UP	Rebanhos (nº de cabeças)								
	Avícola de corte	Avícola de postura	Bovino de corte	Bovino de leite	Suíno	Caprino e ovino	Equino	Bubalino	Codornas
1 - Alto Paraíba do Sul	567.273	818.748	715.524	129.975	58.792	14.455	27.791	7.952	430
2 - Rios Preto e Paraibuna	220.145	39.905	250.887	51.947	64.407	2.191	11.085	831	0
3 - Rios Pomba e Muriaé	2.437.957	328.258	737.096	157.608	90.229	11.427	25.518	627	0
4 - Médio Paraíba do Sul	1.594.785	256.980	406.126	66.699	7.116	3.571	15.660	1.233	50.000
5 - Piabanha	6.778.979	286.029	101.956	14.205	2.289	2.962	7.777	154	15.539
6 - Rio Dois Rios	709.808	43.439	334.548	61.709	14.658	3.767	8.499	589	1.395
7 - Baixo Paraíba do Sul	125.384	137.743	948.235	131.863	16.854	17.409	37.712	3.976	100
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1.318.903	11.715	64.406	11.285	1.820	1.410	2.586	756	0
Municípios sem sede na bacia	5.786.980	355.838	99.646	36.922	24.799	5.695	7.517	1.197	398.000
Total	19.540.214	2.278.655	3.658.424	662.213	280.964	62.887	144.145	17.315	465.464

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Quadro 6-5 – Distribuição da demanda hídrica por rebanho (Cena Atual) por unidade de planejamento

UP	Demanda Hídrica (m³/s) por rebanho									
	Avícola de corte	Avícola de postura	Bovino de corte	Bovino de leite	Suíno	Caprino e ovino	Equino	Bubalino	Codornas	Total
1 - Alto Paraíba do Sul	0,00144	0,00256	0,41408	0,19180	0,01272	0,00167	0,01287	0,00460	0,00000	0,642
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,00056	0,00012	0,14519	0,07666	0,01394	0,00025	0,00513	0,00048	0,00000	0,242
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,00621	0,00103	0,42656	0,23258	0,01953	0,00132	0,01181	0,00036	0,00000	0,699
4 - Médio Paraíba do Sul	0,00406	0,00080	0,23503	0,09843	0,00154	0,00041	0,00725	0,00071	0,00010	0,348
5 - Piabanha	0,01726	0,00089	0,05900	0,02096	0,00050	0,00034	0,00360	0,00009	0,00003	0,103
6 - Rio Dois Rios	0,00181	0,00014	0,19360	0,09106	0,00317	0,00044	0,00393	0,00034	0,00000	0,294
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,00032	0,00043	0,54875	0,19459	0,00365	0,00201	0,01746	0,00230	0,00000	0,770
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0,00336	0,00004	0,03727	0,01665	0,00039	0,00016	0,00120	0,00044	0,00000	0,060
Municípios sem sede na bacia	0,01474	0,00111	0,05767	0,05449	0,00537	0,00066	0,00348	0,00069	0,00083	0,139
Total	0,04976	0,00712	2,11714	0,97722	0,06081	0,00728	0,06673	0,01002	0,00097	3,297

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

A partir dos resultados calculados para cada município foram aplicadas as condições de espacialização da demanda para se chegar no valor final de vazão de retirada dentro da bacia. A espacialização das demandas considerou metodologia semelhante à já apresentada para o abastecimento rural:

- Se a demanda calculada (por meio das expressões considerando rebanho animal e índices por cabeça) for inferior ao total outorgado (total de vazões outorgadas para essa finalidade) → utiliza-se o valor outorgado;
- Se a demanda calculada for superior ao total outorgado → considera-se o valor outorgado e soma-se o excedente calculado (demanda calculada menos a demanda outorgada) pelas áreas rurais de cada município dentro da bacia.

O resultado dessa consistência e espacialização da demanda de dessedentação animal está apresentado no Quadro 6-6 e Figura 6-3. A demanda total do setor, para a cena atual, é de 3,2 m³/s. A unidade de planejamento Baixo Paraíba do Sul tem a retirada mais expressiva da bacia, de 0,81 m³/s, enquanto Piabanha e Sub-bacia do Rio Pirai demandam 0,11 m³/s e 0,05 m³/s, respectivamente, sendo as menores retiradas.

A análise por unidade de planejamento revela variações significativas na contribuição relativa de águas subterrâneas e superficiais. No Médio Paraíba do Sul, Rio Dois Rios e Sub-bacia do Rio Pirai, toda a demanda é proveniente de fontes superficiais. Nas demais unidades, o padrão é uma porcentagem significativamente maior no uso de águas superficiais, com exceção das UPs dos Rios Preto e Paraibuna e Piabanha. Na unidade de planejamento Piabanha, há praticamente um equilíbrio entre uso superficial (47,5%) e subterrâneo (52,5%), enquanto nos Rios Preto e Paraibuna o uso é predominantemente subterrâneo, atingindo uma parcela de 84,3%.

Quadro 6-6 – Distribuição da demanda de dessedentação animal da Cena Atual em águas subterrâneas e superficiais por unidade de planejamento.³

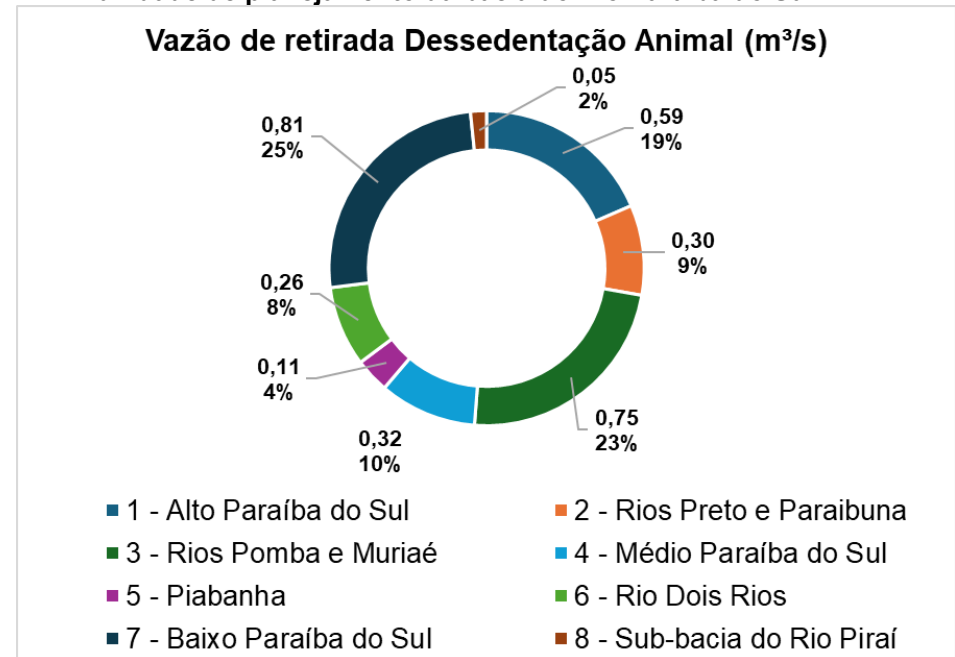
UP	Subterrânea (m³/s)	Subterrânea (%)	Superficial (m³/s)	Superficial (%)	Total (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	0,166	27,91	0,428	72,09	0,593
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,250	84,26	0,047	15,74	0,296
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,265	35,19	0,487	64,81	0,752
4 - Médio Paraíba do Sul	0,000	0,00	0,321	100,00	0,321
5 - Piabanha	0,060	52,47	0,054	47,53	0,114
6 - Rio Dois Rios	0,000	0,00	0,264	100,00	0,264
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,208	25,62	0,604	74,38	0,811
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0,000	0,00	0,053	100,00	0,053
Total Geral	0,947	29,57	2,256	70,43	3,204

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

³ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

A Figura 6-3 ilustra a distribuição das demandas hídricas para dessedentação animal na bacia do Rio Paraíba do Sul, indicando uma concentração expressiva no Baixo Paraíba do Sul (25%), Rios Pomba e Muriaé (23%) e Alto Paraíba do Sul (19%). Essas áreas se destacam como os principais polos de criação animal da bacia, respondendo juntas por 67% da demanda total. Em contrapartida, as regiões do Médio Paraíba do Sul, Rios Preto e Paraibuna e Rio Dois Rios apresentam valores intermediários, enquanto as unidades de planejamento Piabanha e Sub-bacia do Rio Pirai possuem demandas significativamente mais baixas, somando apenas 6%.

Figura 6-3 – Vazão de retirada destinada à dessedentação animal por unidade de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

6.1.4. Irrigação

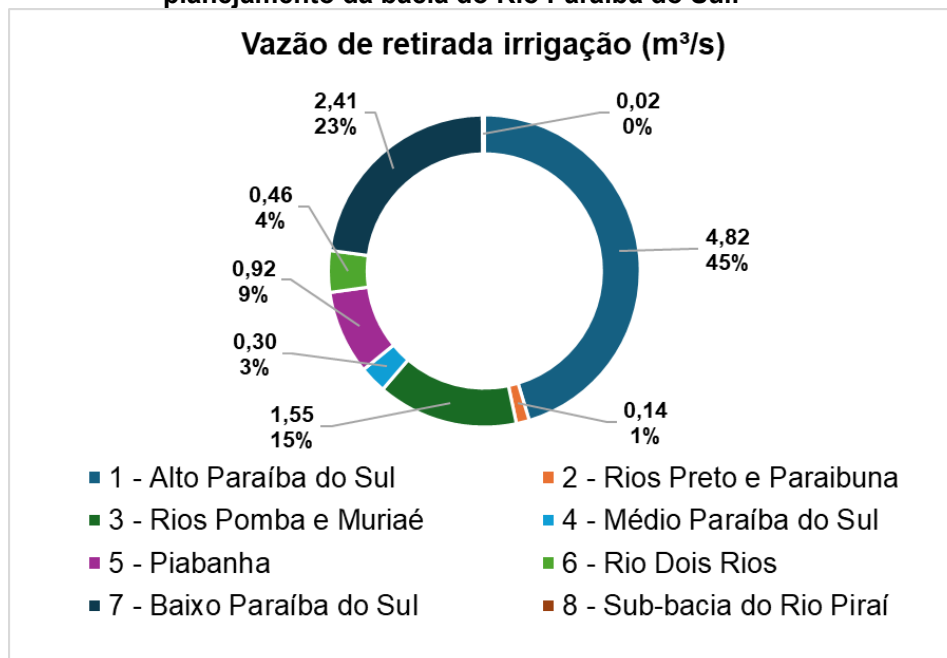
As estimativas da demanda hídrica de irrigação na bacia foram realizadas a partir dos dados de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2021) para o setor de irrigação e comparação com os valores outorgados. A espacialização da demanda para irrigação foi realizada pelo cotejo das demandas da ANA (2021) e as demandas outorgadas por município. Esta análise resulta em duas diferentes situações para determinar as vazões e a locação das captações. Quando as demandas da ANA (2021) por município são menores que as vazões outorgadas, considerou-se os valores outorgados e as suas coordenadas para espacialização. Por outro lado, quando as demandas da ANA (2021) por município são maiores que as vazões outorgadas, foi mantido o valor outorgado e a demanda restante foi somada de forma espacializada pelas áreas de uso do solo de agricultura temporária, perene, silvicultura e mosaico de usos do Mapbiomas.

O resultado dessa consistência de demanda está apresentado no Quadro 6-7 e na Figura 6-4. A demanda total do setor, para a cena atual, é de 10,63 m³/s. A unidade de planejamento Alto Paraíba do Sul tem a retirada mais expressiva da bacia, de 4,82 m³/s (que corresponde a 45% da retirada total de irrigação), seguida da

unidade de planejamento Baixo Paraíba do sul, com 2,41 m³/s (23% da retirada total de irrigação) e da unidade de planejamento Rios Pomba e Muriaé, que apresenta 1,55 m³/s de retirada (15% da retirada total de irrigação).

Verifica-se que em todas as unidades de planejamento o setor de irrigação é altamente dependente de água superficial, que atende acima de 90% das demandas. Isso decorre das altas demandas volumétricas do setor, frequentemente superiores à capacidade de exploração sustentável de aquíferos.

Figura 6-4 – Vazão de retirada destinada à irrigação por unidade de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Quadro 6-7 – Distribuição da demanda de irrigação da Cena Atual em águas subterrâneas e superficiais por unidade de planejamento.⁴

UP	Subterrânea (m³/s)	Subterrânea (%)	Superficial (m³/s)	Superficial (%)	Total (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	0,05	0,93	4,78	99,07	4,83
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,00	3,42	0,14	96,58	0,14
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,08	4,84	1,48	95,16	1,56
4 - Médio Paraíba do Sul	0,00	0,00	0,30	100,0	0,30
5 - Piabanha	0,00	0,00	0,92	100,0	0,92
6 - Rio Dois Rios	0,03	6,56	0,43	93,44	0,46
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,03	1,43	2,38	98,57	2,41
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,00	0,02	100,0	0,02
Total Geral	0,19	1,8	10,44	98,2	10,63

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

⁴ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

6.1.5. Indústria

A bacia do Rio Paraíba do Sul desempenha um papel estratégico no desenvolvimento econômico do Brasil, especialmente devido à sua relevância para a indústria. Localizada em uma região que abrange importantes estados como Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo, a bacia é um dos principais polos industriais do país, concentrando setores como siderurgia, papel e celulose, química, petroquímica e alimentos.

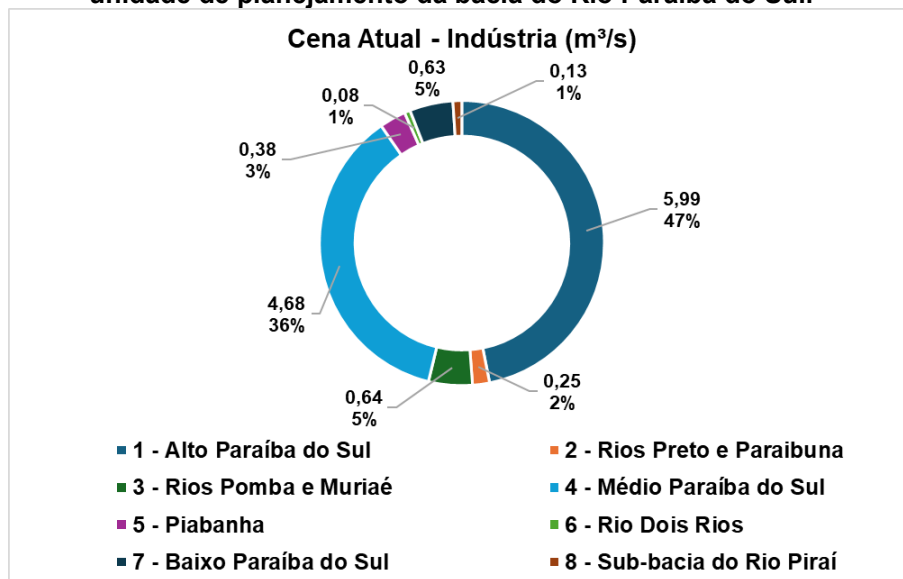
O pioneirismo da bacia do rio Paraíba do Sul na implementação do instrumento de cobrança pelo uso dos recursos hídricos confere uma maior confiabilidade aos valores outorgados. Dessa forma, uma vez que desde 2003 já se tem os usos com cobrança implementada, ao longo do tempo os usuários do setor industrial foram refinando suas outorgas, de forma a pagar exatamente pelos valores utilizados. Por isso, considera-se que esses valores sejam mais fidedignos as demandas industriais atuais da bacia em comparação com as estimativas por coeficientes técnicos.

Sendo assim, para a estimativa de demanda do setor industrial foram utilizadas as bases de outorgas estaduais (DAEE, INEA e IGAM) e federal (ANA), assim como a espacialização e a distribuição de

águas superficiais e subterrâneas foi adotada a partir das outorgas. A maior dependência de água subterrânea ocorre na UP Alto Paraíba do Sul (50%) e UP Piabanha (46%). Nas demais UPs predomina altamente o uso de água superficial para as demandas industriais.

A Figura 6-5 apresenta a distribuição das demandas hídricas industriais na bacia do Rio Paraíba do Sul, evidenciando uma expressiva concentração no Alto Paraíba do Sul (47%) e no Médio Paraíba do Sul (36%), destacando essas áreas como os principais polos industriais da bacia. Em contraste, as regiões Rios Pomba e Muriaé e Baixo Paraíba do Sul apresentam demandas menores, com 5% cada, enquanto as unidades de planejamento Piabanha, Rio Dois Rios e Sub-bacia do Rio Pirai registram demandas industriais significativamente menores, somando juntas apenas 12%.

Figura 6-5 – Vazão de retirada destinada à demanda industrial por unidade de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Quadro 6-8 – Distribuição da demanda industrial da Cena Atual em águas subterrâneas e superficiais por unidade de planejamento.⁵

UP	Subterrânea (m³/s)	Subterrânea (%)	Superficial (m³/s)	Superficial (%)	Total (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	2,997	50,00	2,997	50,00	5,994
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,034	13,93	0,212	86,07	0,246
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,177	27,75	0,460	72,25	0,637
4 - Médio Paraíba do Sul	0,108	2,31	4,573	97,69	4,681
5 - Piabanha	0,178	46,44	0,205	53,56	0,383
6 - Rio Dois Rios	0,026	30,68	0,058	69,32	0,084
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,064	10,19	0,567	89,81	0,631
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0,000	0,00	0,129	100,00	0,129
Total Geral	3,584	28,04	9,201	71,96	12,785

Fonte: elaborado pelo Consórcio

⁵ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

6.1.6. Mineração

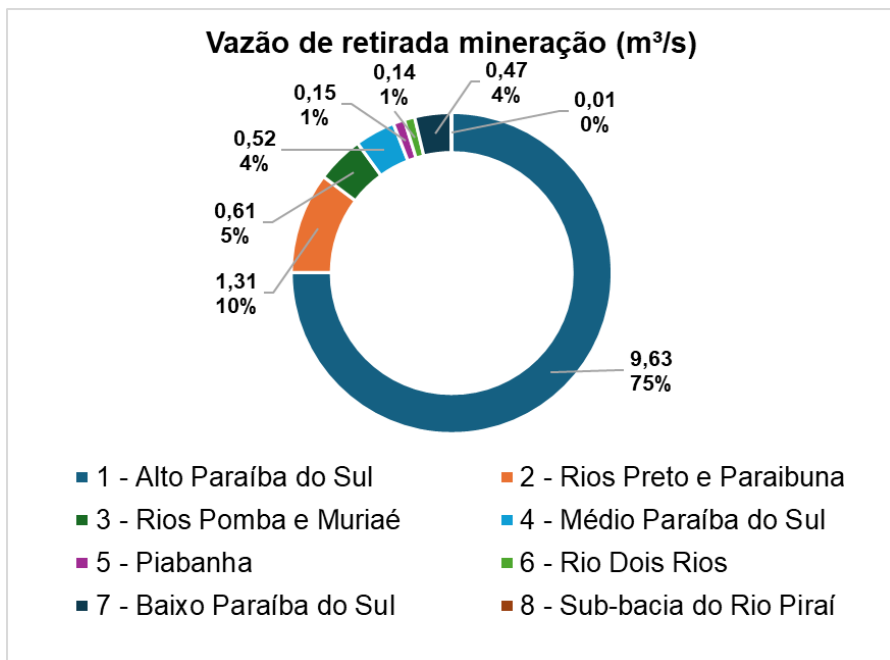
A bacia do rio Paraíba do Sul apresenta considerável demanda no que tange aos usos da água para mineração. Assim como para o setor industrial, a utilização dos valores outorgados aferidos a partir da cobrança se mostram mais adequados para utilização no presente estudo. A utilização da base de outorgas também propicia uma espacialização exata dos pontos de captação deste setor usuário, bem como da distribuição entre a demanda superficial e subterrânea. Sendo assim, para a estimativa de demanda do setor de Mineração foram utilizadas as bases de outorgas estaduais (DAEE, INEA e IGAM) e federal (ANA).

O resultado dos cálculos de demandas para o setor (apresentado no Quadro 6-9), expressou uma demanda total de 12,89 m³/s. Em termos gerais da bacia, há uma divisão próxima entre a porcentagem de uso superficial (52,3%) e subterrâneo (47,7%). Porém, tais valores são extremamente influenciados pela unidade de planejamento Alto Paraíba do Sul, que representa cerca de 75% de toda a demanda da bacia. Tal unidade de planejamento apresenta um comportamento destoante das demais, com 63,5% das demandas sendo provenientes de usos subterrâneos, enquanto 36,5% são de fontes superficiais. Por outro lado, as demais unidades

apresentam predominantemente a utilização de fontes superficiais, as quais somadas possuem apenas cerca de 25% da demanda total da bacia. Logo, a proporcionalidade entre usos subterrâneos e superficiais observada em âmbitos gerais na bacia não se reflete em todas as unidades de planejamento.

A Figura 6-6 apresenta a distribuição das demandas hídricas para a mineração na bacia do rio Paraíba do Sul, revelando uma concentração expressiva no Alto Paraíba do Sul (75%), destacando essa área como o principal polo da atividade mineradora na bacia. As regiões que possuem porcentagens significantes são os Rios Preto e Paraibuna (10%), Rios Pomba e Muriaé (5%), Médio Paraíba do Sul (4%) e Baixo Paraíba do Sul (4%), somando 23%. As UPs Rio Dois Rios, Piabanha e Sub-bacia do Rio Pirai possuem reduzidas demandas em relação ao todo, somando apenas 2%.

Figura 6-6 – Vazão de retirada destinada à mineração por unidade de planejamento da bacia do rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 6-9 – Distribuição da demanda de mineração da Cena Atual em águas subterrâneas e superficiais por unidade de planejamento.⁶

UP	Subterrânea (m³/s)	Subterrânea (%)	Superficial (m³/s)	Superficial (%)	Total (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	6,112	63,49	3,515	36,51	9,627
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,002	0,18	1,306	99,82	1,308
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,000	0,00	0,611	100,00	0,611
4 - Médio Paraíba do Sul	0,000	0,00	0,521	100,00	0,521
5 - Piabanha	0,005	3,15	0,141	96,85	0,146
6 - Rio Dois Rios	0,000	0,00	0,136	100,00	0,136
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,000	0,00	0,471	100,00	0,471
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,000	0,00	0,007	100,00	0,007
Total Geral	6,119	47,70	6,709	52,30	12,828

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

⁶ Os valores de vazão estão dispostos até três casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

6.1.7. Termoeletricidade

As termoeletricas operam com a finalidade de geração de energia por meio de uma central com o calor gerado pela queima de combustível líquido, sólido ou gasoso. O incremento na implementação de empreendimentos para geração de energia elétrica por meio desse processo resulta em uma maior demanda associada de água, o que levou a ANA a desenvolver coeficientes e estimativas para o setor.

O método de estimativa das vazões associadas à geração termoeletrica para a bacia do rio Paraíba do Sul foi o estabelecido pelo Manual de Usos Consuntivos da ANA (2024), que adota coeficientes técnicos de acordo com o ciclo termodinâmico e o sistema de resfriamento dos empreendimentos.

Para identificar as usinas termelétricas que estão em operação na bacia, foram consultadas as bases de dados do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) e do Relatório de Acompanhamento da Expansão da Oferta de Geração de Energia Elétrica (RALIE), ambos pertencentes a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Foi constatado que na área de contribuição da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul existem 106 usinas em operação, com diferentes combustíveis e potências. Com usinas em operação desde 1972, a ANEEL reuniu dados concisos de localização, tipologia da usina, consumo e configuração técnica de cada usina. O Quadro 6-10 apresenta a estratificação das usinas operantes em relação ao tipo de combustível utilizado e potência instalada, analisado por unidade de planejamento e a Figura 6-7 demonstra o mapa das usinas termelétricas da bacia do rio Paraíba do Sul em operação, classificadas de acordo com o tipo de combustível utilizado.

As usinas termelétricas possuem capacidades instaladas que variam de kilowatts (kW) a megawatts (MW), com destaque para as de grande porte, especialmente aquelas com mais de 100 MW de potência. Um exemplo são as usinas localizadas em São João da Barra (RJ), que possuem capacidades de 1.672.600 kW e 1.338.300 kW, respectivamente. Estas usinas utilizam gás natural como combustível e são responsáveis por elevadas taxas de retirada de água para o processo de resfriamento, com vazões de consumo que podem ultrapassar 0,3 m³/s.

Os resultados da estimativa das vazões associadas às usinas termoeletricas da cena atual foram obtidos por unidade de

planejamento da bacia do Paraíba do Sul, sendo apresentados no Quadro 6-11 e Figura 6-8. Destaca-se que este setor utiliza exclusivamente água superficial.

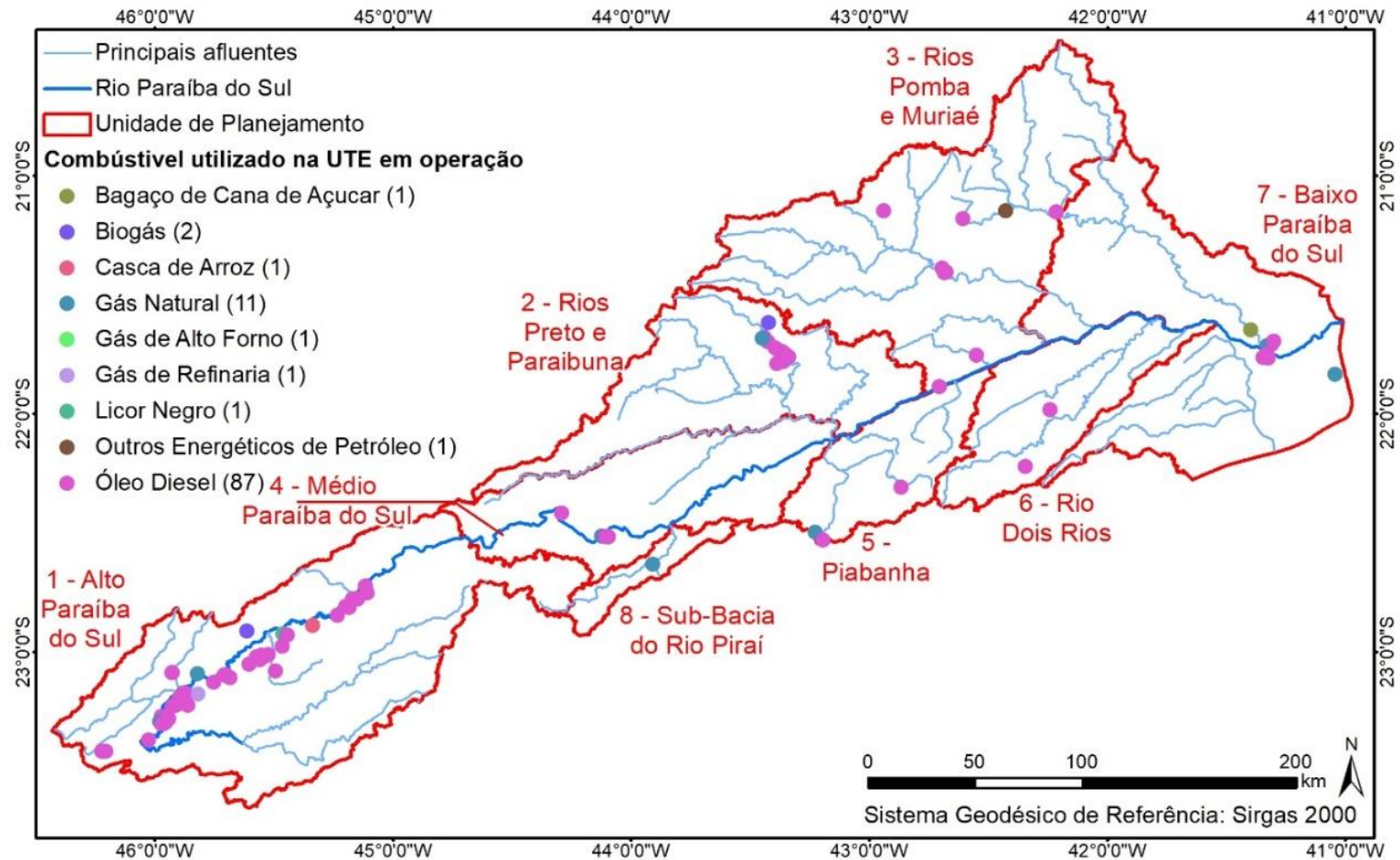
Quadro 6-10 – Usinas termelétricas operantes na bacia por tipo de combustível e potência instalada.

UP	Quantidade de unidades					Potência instalada (MW)
	Petróleo	Gás Natural	Resíduo Agroindustrial	Resíduo Sólido Urbano	Outros*	
1 - Alto Paraíba do Sul	53	3	1	1	1 (F)	117,4
2 - Preto Paraibuna	15	2	-	1	-	8
3 - Pomba e Muriaé	9	-	-	-	-	7
4 - Médio Paraíba do Sul	3	1	-	-	1 (C)	3,1
5 - Piabanha	2	1	-	-	-	4,5
6 - Rio Dois Rios	2	-	-	-	-	3,6
7- Baixo Paraíba do Sul	5	3	1	-	-	3
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	-	1	-	-	-	-
Total Geral	89	11	2	2	2	146,7

* F = Resíduos florestais; C = Carvão mineral.

Fonte: elaborado pelo Consórcio a partir de SIGEL

Figura 6-7 – Mapa das usinas termelétricas da Bacia do Paraíba do Sul em operação.



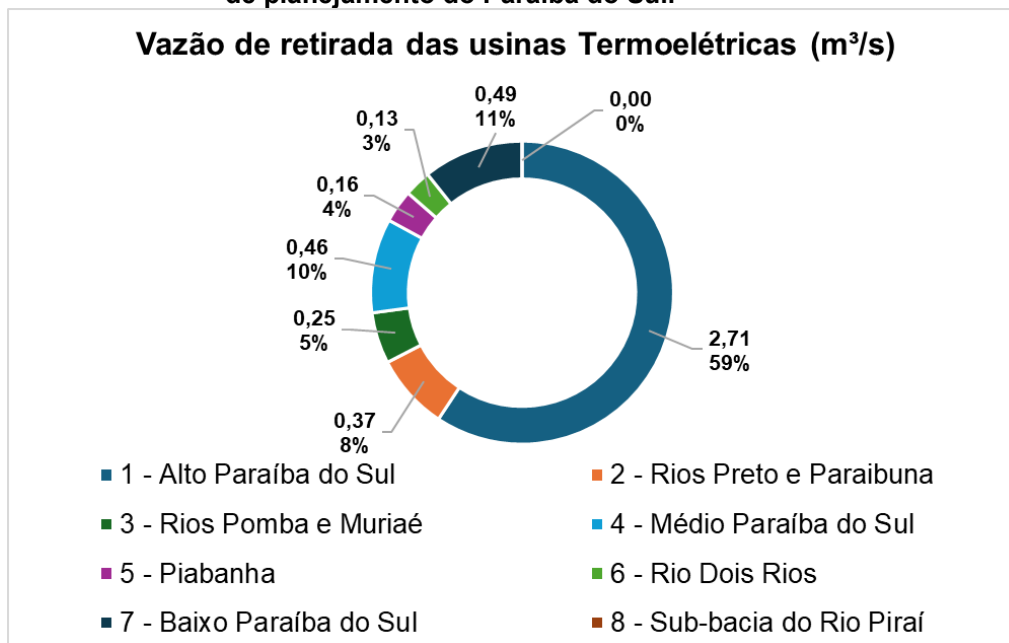
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 6-11 – Distribuição da demanda de termoeletricidade da Cena Atual por unidade de planejamento.⁷

UP	Demanda de termoeletricidade (m³/s)
1 – Alto Paraíba do Sul	2,71
2 – Rios Preto e Paraibuna	0,37
3 – Rios Pomba e Muriaé	0,25
4 – Médio Paraíba do Sul	0,46
5 – Piabanha	0,16
6 – Rio Dois Rios	0,13
7 – Baixo Paraíba do Sul	0,49
8 – Sub-bacia do Rio Pirai	0,00
Total Geral	4,57

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 6-8 – Vazão de retirada das usinas termoeletricas por unidade de planejamento do Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

⁷ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

6.1.8. Evaporação líquida

A evaporação de água de reservatórios não é considerada como um uso de recursos hídricos ou setor usuário. No entanto, a formação de um espelho d'água por meio da construção de um barramento pode levar ao incremento do consumo ou perdas de água em uma bacia hidrográfica. Nesse sentido, apesar de não se tratar de um setor usuário, é aqui considerado esse consumo de água como forma de identificar a totalidade das águas demandadas na bacia.

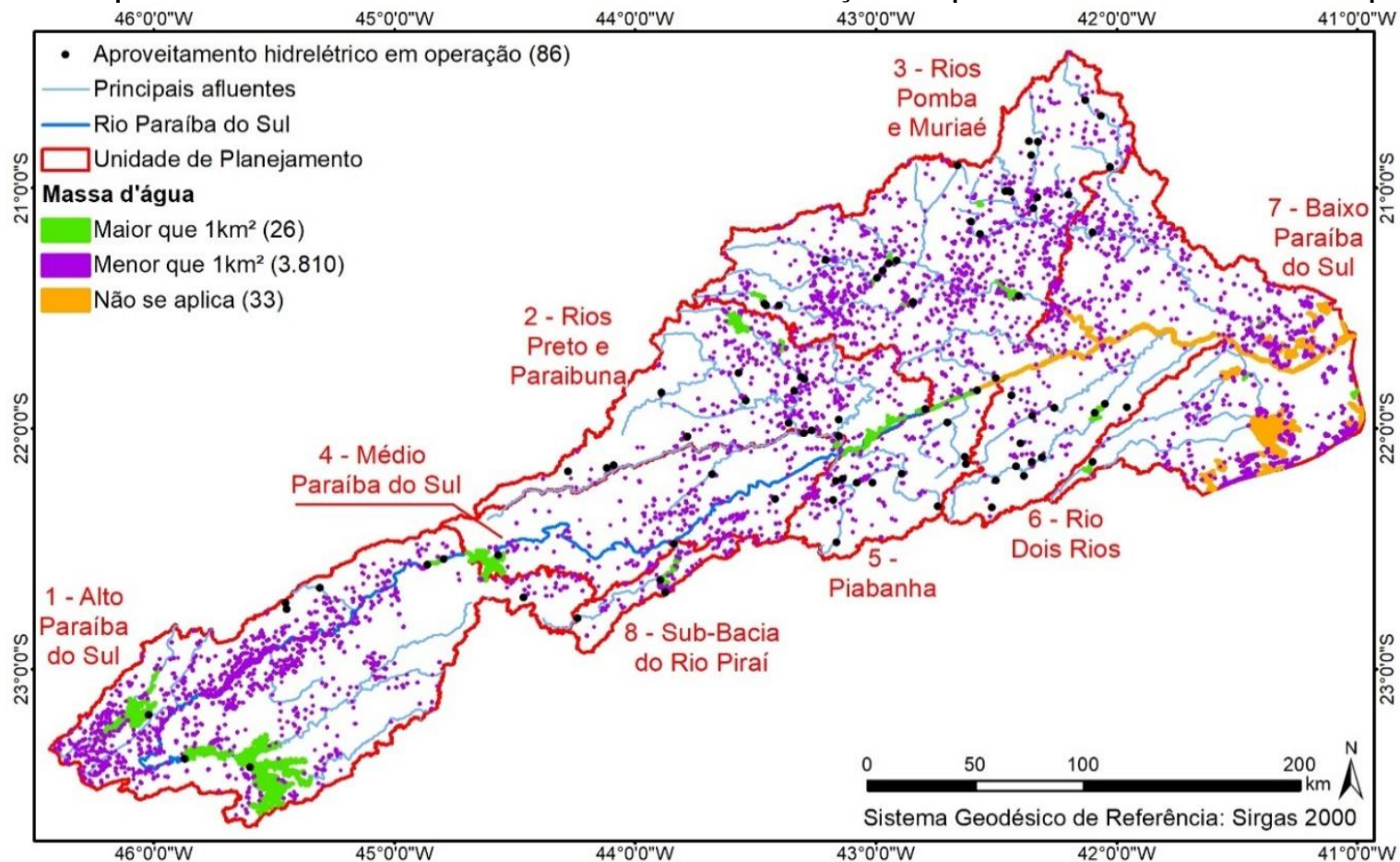
Para a estimativa da demanda hídrica da bacia relacionada à evaporação líquida foram utilizados duas metodologias e fontes de dados. A primeira consistiu em adotar diretamente os valores do estudo de evaporação líquida de reservatórios no Brasil (ANA, 2021). No entanto, este estudo apresenta valores apenas para os reservatórios maiores que 1 km². Para reservatórios ou massas d'águas menores que 1 km² foram usados dados das Normais Climatológicas do Brasil (1991-2020, 1981-2010) das estações meteorológicas do INMET, para subsidiar o cálculo da evaporação líquida a partir da área das massas d'águas da ANA.

No banco de dados da ANA (2021), dentro dos limites da bacia do Paraíba do Sul, foram identificados 26 reservatórios com área

superior a 1 km² e 3.810 reservatórios ou massas d'água com área inferior a 1 km². Um dos setores mais impactados pela evaporação líquida dos reservatórios é o setor de geração de energia elétrica. Para a configuração da cena atual, foram identificados 86 aproveitamentos hidrelétricos em operação, com potencial para gerar cerca de 1.920 MW. A Figura 6-9 apresenta os aproveitamentos da bacia do rio Paraíba do sul, bem como os reservatórios e massas de águas considerados.

O Quadro 6-12 apresenta informações de cadastro do estudo de evaporação líquida de reservatórios no Brasil (ANA, 2021) e a vazão média mensal de evaporação líquida de cada reservatório com área superior a 1 km² proveniente deste estudo. No Quadro 6-13 são apresentadas as variações mensais (assim como a média anual) para este mesmo grupo de reservatórios, porém agrupados em suas respectivas unidades de planejamento.

Figura 6-9 – Mapa dos reservatórios da bacia do Rio Paraíba do Sul e localização dos aproveitamentos hidroelétricos em operação.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 6-12 – Vazão de evaporação média líquida mensal para os reservatórios com área superior a 1 km².

Nome	GID	Tipo	Area (km ²)	Jan (m ³ /s)	Fev (m ³ /s)	Mar (m ³ /s)	Abr (m ³ /s)	Mai (m ³ /s)	Jun (m ³ /s)	Jul (m ³ /s)	Ago (m ³ /s)	Set (m ³ /s)	Out (m ³ /s)	Nov (m ³ /s)	Dez (m ³ /s)
UHE Paraibuna	61838	UHE	99,90	1,85	1,93	1,27	1,35	2,03	2,27	2,71	3,03	3,13	2,34	1,68	1,59
UHE Jaguari	61660	UHE	47,64	0,24	0,18	0,16	0,27	0,51	0,55	0,67	0,65	0,63	0,41	0,30	0,19
UHE Paraibuna	241755	UHE	34,33	1,81	1,66	1,13	1,11	1,96	2,22	2,80	3,27	3,45	2,66	2,06	1,54
UHE Funil	61857	UHE	33,84	0,60	0,63	0,44	0,44	0,51	0,62	0,78	0,99	0,95	0,77	0,55	0,55
UHE Santa Branca	13716	UHE	17,41	0,28	0,30	0,18	0,22	0,31	0,41	0,51	0,60	0,58	0,44	0,36	0,30
UHE Anta	62528	UHE	12,26	0,16	0,15	-0,01	0,01	0,07	0,14	0,25	0,35	0,47	0,43	0,22	0,12
Represa Chapéu d'Uvas	178	Represa	8,10	0,12	0,12	0,07	0,05	0,08	0,13	0,21	0,30	0,33	0,24	0,13	0,11
UHE Barra do Braúna	241450	UHE	7,91	0,20	0,21	0,08	0,04	0,03	0,08	0,16	0,26	0,34	0,32	0,19	0,14
UHE Ilha dos Pombos	61456	UHE	5,68	0,07	0,09	0,04	0,05	0,05	0,07	0,10	0,16	0,19	0,17	0,10	0,06
UHE Simplício	62195	UHE	4,80	0,23	0,23	0,08	0,06	0,08	0,14	0,25	0,36	0,50	0,47	0,29	0,18
Represa João Penido	19549	Represa	2,92	0,06	0,05	0,03	0,01	0,03	0,04	0,07	0,10	0,12	0,10	0,06	0,05
Reservatório Santana	55621	Reservatório	2,84	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
UHE Nilo Peçanha - Terzaghi	61310	UHE	2,82	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01
PCH Santa Fé I	61109	PCH	2,47	0,03	0,03	0,00	-0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,09	0,07	0,04	0,02
PCH Anna Maria	29383	PCH	2,358	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,07	0,08	0,07	0,04	0,02
CGH Nova Maurício	47984	CGH	2,26	0,04	0,04	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,08	0,09	0,08	0,05	0,03
PCH Macabu	61396	PCH	2,25	0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,02	0,03	0,05	0,07	0,05	0,03	0,01
Córrego da Onça	58297	Córrego	2,23	0,06	0,07	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,09	0,08	0,06	0,05
PCH São Sebastião do Alto	62140	PCH	2,08	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,05	0,08	0,07	0,03	0,00

Nome	GID	Tipo	Area (km²)	Jan (m³/s)	Fev (m³/s)	Mar (m³/s)	Abr (m³/s)	Mai (m³/s)	Jun (m³/s)	Jul (m³/s)	Ago (m³/s)	Set (m³/s)	Out (m³/s)	Nov (m³/s)	Dez (m³/s)
PCH Ivan Botelho III	241576	PCH	1,96	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,07	0,04	0,02
-	118127	-	1,70	0,08	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	0,06	0,06
-	45698	-	1,28	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03
-	62095	PCH	1,21	0,02	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,05	0,04	0,03	0,02
-	43369	PCH	1,20	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	0,00
-	241658	PCH	1,11	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02

Fonte: ANA, 2021.

Quadro 6-13 – Vazão média de evaporação líquida mensal agrupada por unidade de planejamento da bacia do Paraíba do Sul, para os reservatórios com área superior a 1 km².

UP	Jan (m³/s)	Fev (m³/s)	Mar (m³/s)	Abr (m³/s)	Mai (m³/s)	Jun (m³/s)	Jul (m³/s)	Ago (m³/s)	Set (m³/s)	Out (m³/s)	Nov (m³/s)	Dez (m³/s)	Média anual (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	4,20	4,10	2,75	2,95	4,81	5,47	6,71	7,58	7,84	5,88	4,42	3,64	5,03
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,56	0,55	0,17	0,13	0,26	0,44	0,78	1,12	1,42	1,24	0,71	0,46	0,65
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,40	0,42	0,15	0,10	0,14	0,25	0,44	0,70	0,87	0,79	0,45	0,31	0,42
4 - Médio Paraíba do Sul	0,63	0,66	0,44	0,43	0,52	0,64	0,82	1,06	1,04	0,84	0,59	0,57	0,69
5 - Piabanha	0,23	0,23	0,04	0,06	0,12	0,21	0,36	0,51	0,65	0,60	0,32	0,19	0,22
6 - Rio Dois Rios	0,04	0,04	0,00	-0,01	0,01	0,03	0,06	0,09	0,12	0,11	0,05	0,01	0,05
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,19	0,20	0,11	0,07	0,07	0,11	0,16	0,21	0,28	0,25	0,18	0,14	0,16
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,06	0,06	0,05	0,03	0,02	0,03
Total Geral	6,27	6,21	3,66	3,75	5,93	7,16	9,36	11,34	12,27	9,75	6,75	5,34	-

Fonte: elaborado pelo Consórcio a partir de ANA (2021).

Conforme a metodologia aplicada, além dos reservatórios com área superior a 1 km² com dados de evaporação líquida do estudo de evaporação líquida de reservatórios no Brasil (ANA, 2021), também foram utilizados para os cálculos totais a evaporação líquida dos reservatórios com área inferior a 1 km². Os resultados da vazão média de evaporação líquida total dos reservatórios e massas d'água na bacia do rio Paraíba do Sul foram obtidos por Ottobacia e compilados para apresentação por unidade de planejamento. Dessa forma, o Quadro 6-14 e a Figura 6-10 apresentam os resultados por unidade de planejamento considerando as médias anuais. A variação mensal pode ser observada no Quadro 6-15 e da Figura 6-11 à Figura 6-13.

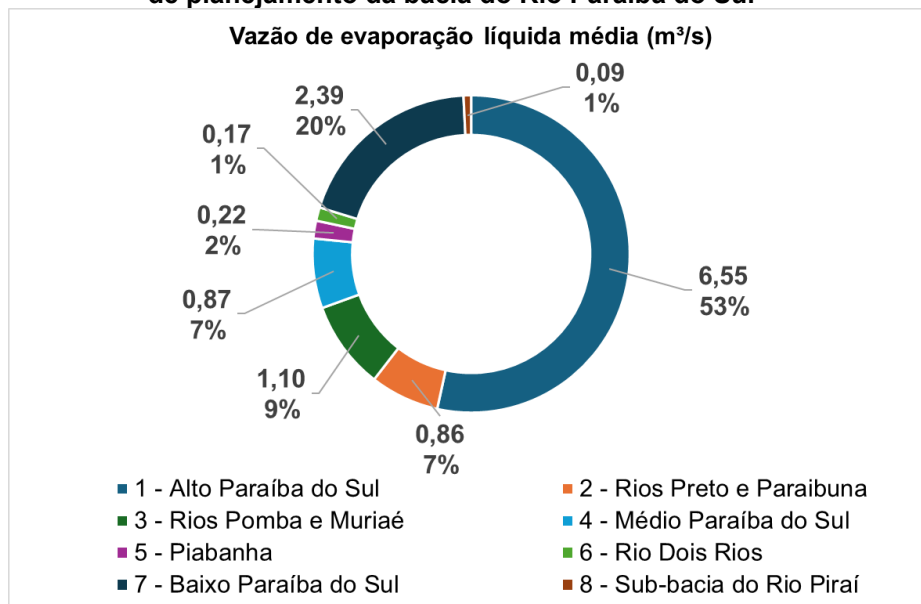
Quadro 6-14 – Distribuição da demanda de evaporação líquida média anual da Cena Atual por unidade de planejamento⁸

UP	Demanda de evaporação líquida calculada no presente estudo (m ³ /s)
1 – Alto Paraíba do Sul	6,55
2 – Rios Preto e Paraibuna	0,86
3 – Rios Pomba e Muriaé	1,10
4 – Médio Paraíba do Sul	0,87
5 – Piabanha	0,22
6 – Rio Dois Rios	0,17
7 – Baixo Paraíba do Sul	2,39
8 – Sub-bacia do Rio Pirai	0,09
Total Geral	12,25

Fonte: elaborado pelo Consórcio

⁸ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

Figura 6-10 – Vazão de evaporação líquida média anual por unidade de planejamento da bacia do Rio Paraíba do Sul



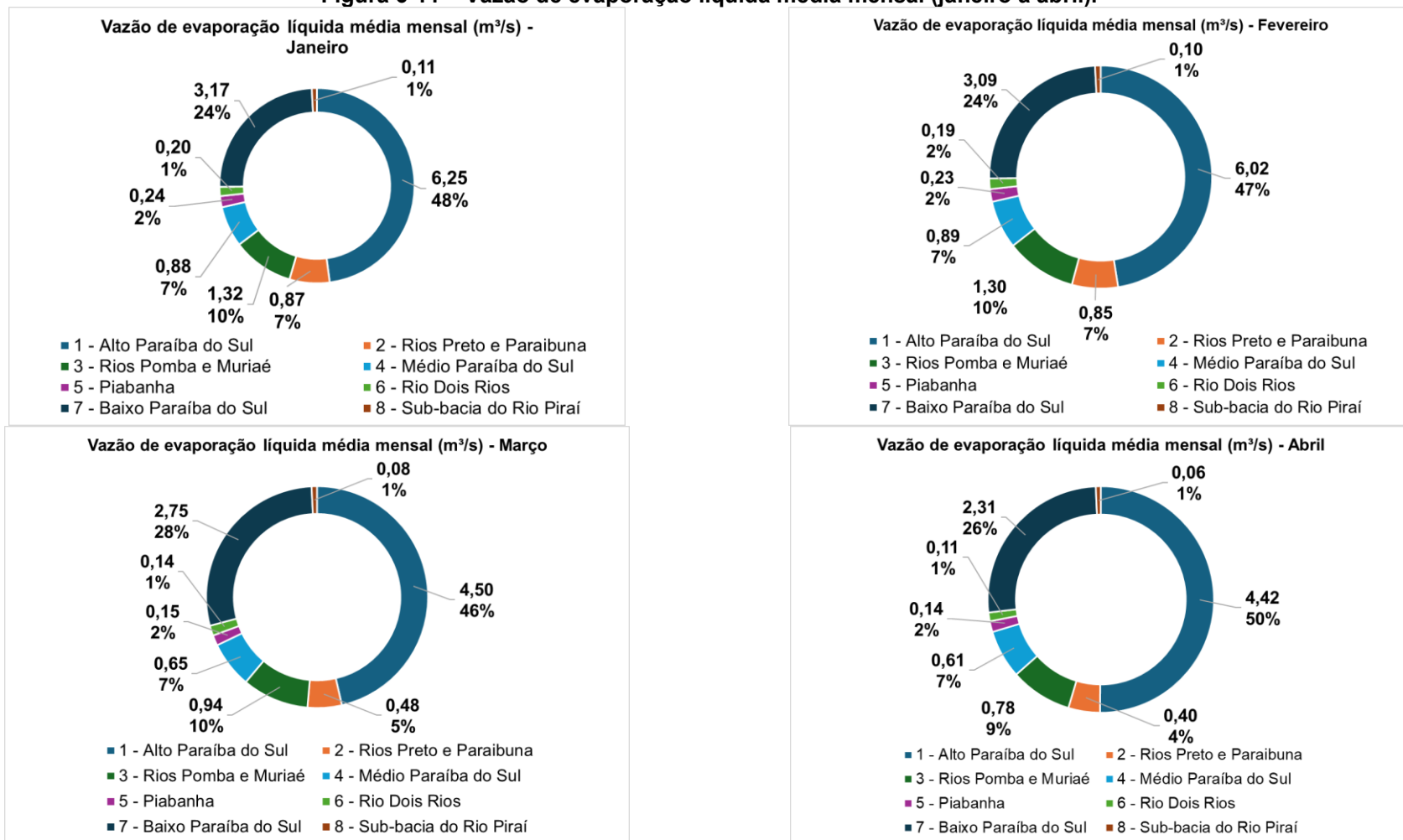
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 6-15 – Vazão média de evaporação líquida mensal por unidade de planejamento da bacia do Paraíba do Sul.

UP	Janeiro (m³/s)	Fevereiro (m³/s)	Março (m³/s)	Abril (m³/s)	Maió (m³/s)	Junho (m³/s)	Julho (m³/s)	Agosto (m³/s)	Setembro (m³/s)	Outubro (m³/s)	Novembro (m³/s)	Dezembro (m³/s)	Média anual (m³/s)
1 - Alto Paraíba do Sul	6,25	6,02	4,50	4,42	5,93	6,39	7,65	8,74	9,31	7,60	6,30	5,65	6,55
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,87	0,85	0,48	0,40	0,44	0,57	0,87	1,21	1,52	1,41	0,96	0,77	0,86
3 - Rios Pomba e Muriaé	1,32	1,30	0,94	0,78	0,65	0,66	0,83	1,18	1,48	1,56	1,29	1,20	1,10
4 - Médio Paraíba do Sul	0,88	0,89	0,65	0,61	0,64	0,72	0,88	1,13	1,16	1,02	0,81	0,82	0,87
5 - Piabanha	0,24	0,23	0,15	0,14	0,13	0,15	0,20	0,27	0,34	0,35	0,26	0,22	0,22
6 - Rio Dois Rios	0,20	0,19	0,14	0,11	0,10	0,10	0,13	0,18	0,24	0,25	0,21	0,17	0,17
7 - Baixo Paraíba do Sul	3,17	3,09	2,75	2,31	1,76	1,49	1,50	1,78	2,21	2,67	2,88	3,06	2,39
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,11	0,10	0,08	0,06	0,06	0,07	0,08	0,11	0,13	0,12	0,11	0,11	0,09
Total Geral	13,05	12,68	9,70	8,83	9,71	10,13	12,15	14,60	16,39	14,98	12,82	12,00	12,25

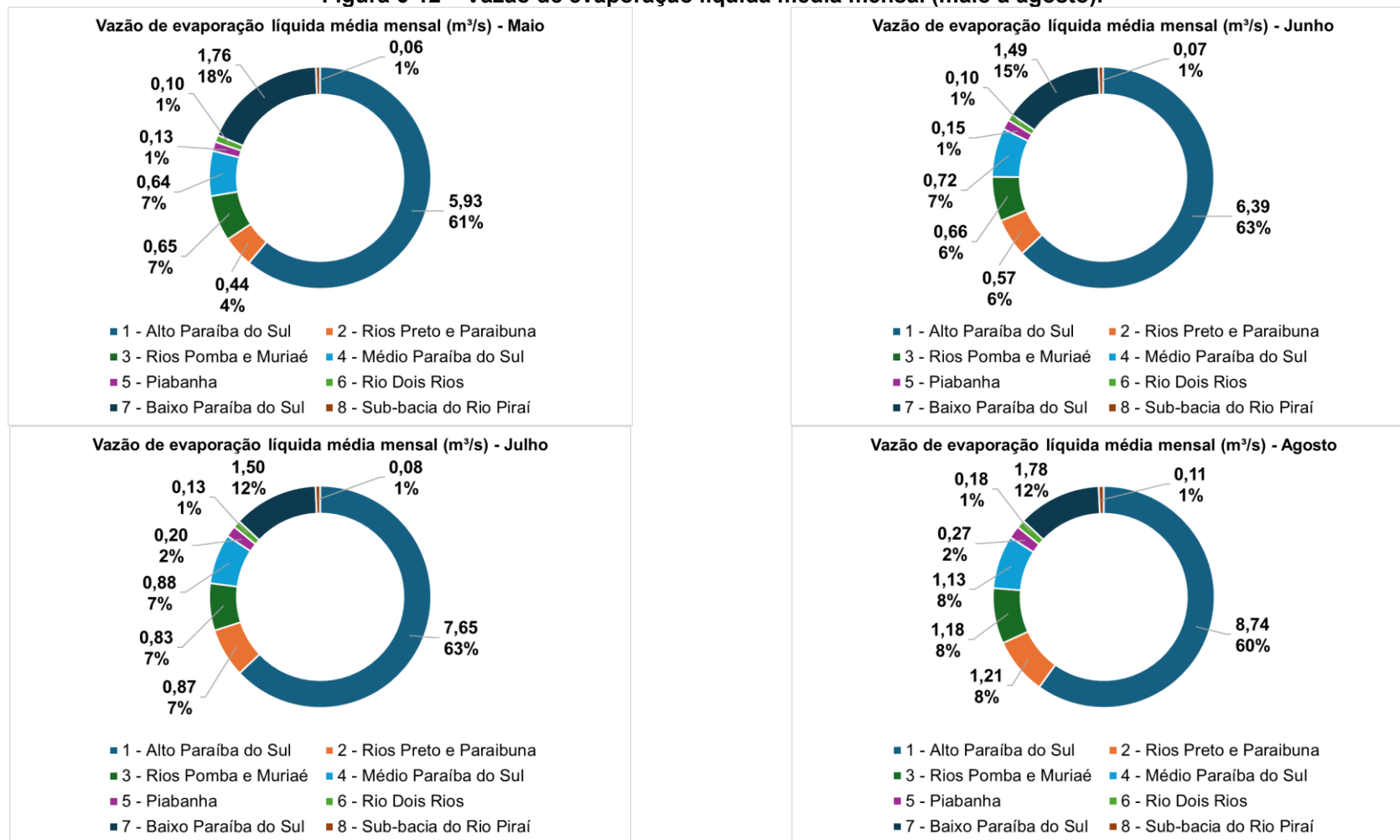
Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Figura 6-11 – Vazão de evaporação líquida média mensal (janeiro a abril).



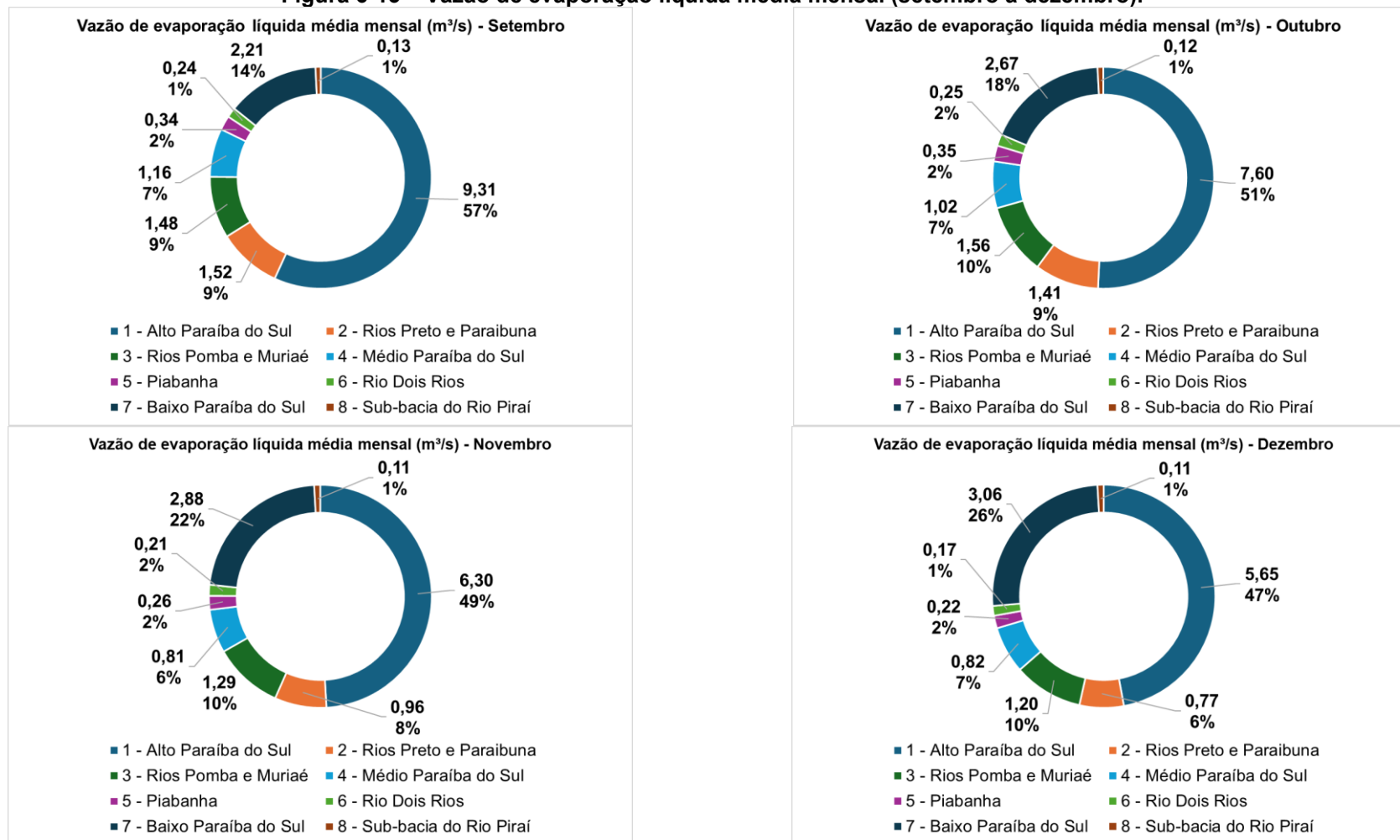
Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Figura 6-12 – Vazão de evaporação líquida média mensal (maio a agosto).



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Figura 6-13 – Vazão de evaporação líquida média mensal (setembro a dezembro).



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

6.1.9. Transposições

As transposições não devem ser consideradas de forma específica como usos de água, uma vez que o uso se dá por meio da finalidade estabelecida para o consumo de água. Nesse sentido, o uso de água se dá para irrigação, abastecimento humano, industrial etc. A transposição propriamente dita se trata de uma forma de captação de água e adução para um ponto em outra bacia hidrográfica para uso para alguma finalidade específica. De toda forma, apesar de não serem consideradas como uso propriamente ditos, são aqui apresentadas, uma vez que poderão influenciar de forma sensível nos balanços hídricos a serem realizados da bacia

No sistema de reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul, destacam-se 17 aproveitamentos em operação, cujas informações estão apresentadas no Quadro 6-16. Embora alguns estejam localizados fora dos limites da bacia, devido à transposição e ao manejo integrado dos recursos hídricos, todos os reservatórios são considerados como integrantes do sistema do Paraíba do Sul.

No contexto de vazão transferida, considera-se a vazão recebida ou cedida entre reservatórios por meio de canais, túneis, estações de bombeamento ou outras estruturas. Em casos de transposição de

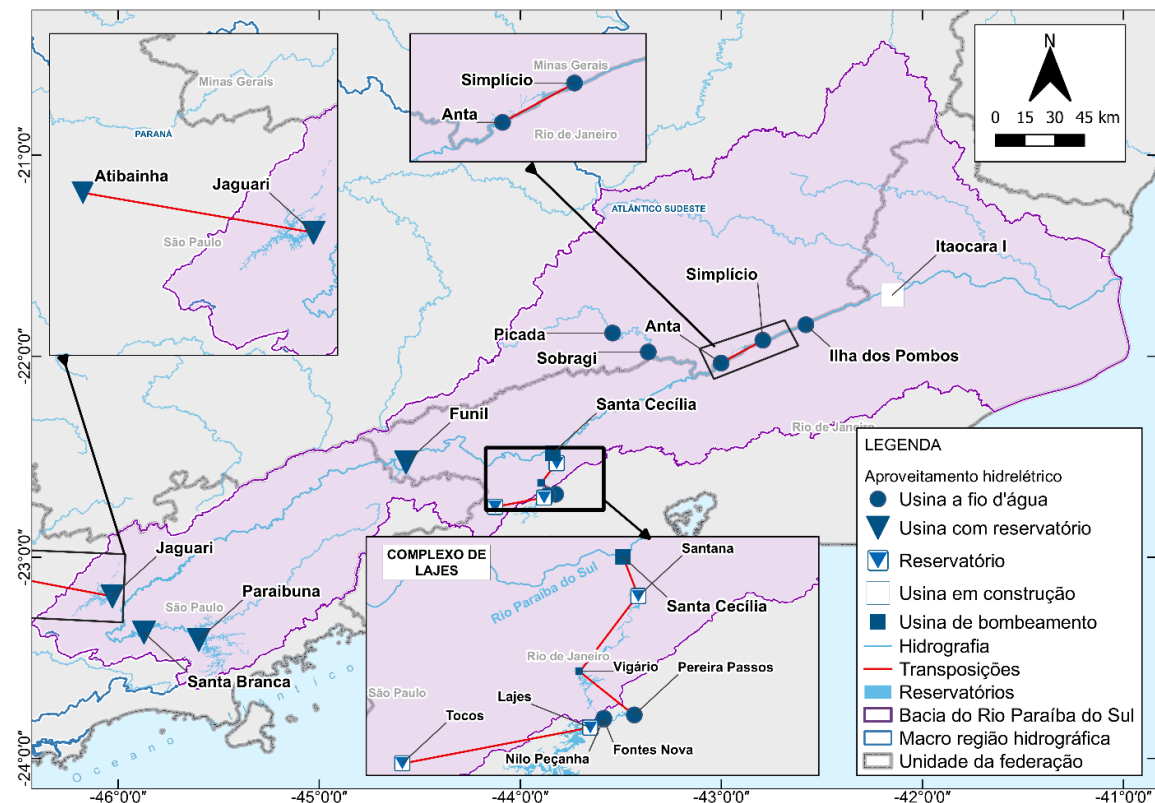
vazões, usualmente estão envolvidas duas usinas/reservatórios: a cedente e a receptora. Em algumas situações, ambas podem desempenhar os dois papéis. A Figura 6-14 apresenta a localização dos principais aproveitamentos e as transposições de vazões realizadas na bacia do rio Paraíba do Sul. Vale ressaltar que os caminhos das transposições indicadas no mapa representam apenas uma ilustração visual dos locais onde há troca de água na bacia.

Quadro 6-16 – Principais aproveitamentos localizados na bacia do rio Paraíba do Sul.

Aproveitamento	Corpo Hídrico	Área de Drenagem (km²)	Latitude	Longitude	Agente
UHE Paraibuna	Rio Paraibuna	4.086	23°24'35,541"S	45°36'2,234"W	AUREN
UHE Santa Branca	Rio Paraíba do Sul	4.912	23°22'26,97"S	45°52'17,79"W	LIGHT
UHE Jaguari	Rio Jaguari	1.310	23°11'42,73"S	46°01'42,68"W	FURNAS
UHE Funil	Rio Paraíba do Sul	13.499	22°31'43,72"S	44°34'04,55"W	FURNAS
UEL Santa Cecília	Rio Paraíba do Sul	16.630	22°28'52,98"S	43°50'19,40"W	LIGHT
RES Lajes	Rio Ribeirão das Lajes	304	22°41'26,84"S	43°51'49,11"W	LIGHT
UHE Fontes	Rio Ribeirão das Lajes	-	22°41'30,62"S	43°51'49,81"W	LIGHT
UHE Pereira Passos	Rio Ribeirão das Lajes	317	22°41'11,21"S	43°49'27,06"W	LIGHT
UHE Nilo Peçanha	Rio Guandu	-	22°40'59,871"S	43°52'23,705"W	LIGHT
RES Vigário	Rio Pirai	-	22°37'46,60"S	43°53'44,64"W	LIGHT
RES Tocos	Rio Pirai	382	22°44'57,20"S	44°07'31,46"W	LIGHT
RES Santana	Rio Pirai	882	22°31'55,38"S	43°49'08,23"W	LIGHT
UHE Picada	Rio do Peixe	1.721	21°53'04,73"S	43°32'26,69"W	AUREN
UHE Sobragi	Rio Paraibuna	3.721	21°58'43,98"S	43°21'48,22"W	CBA
RES Anta	Rio Paraíba do Sul	30.593	22°02'02,81"S	43°00'03,53"W	FURNAS
UHE Simplício	Rio Paraíba do Sul	30.593	21°55'14,12"S	42°47'36,56"W	FURNAS
UHE Ilha dos Pombos	Rio Paraíba do Sul	32.233	21°50'36,68"S	42°34'46,22"W	LIGHT

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

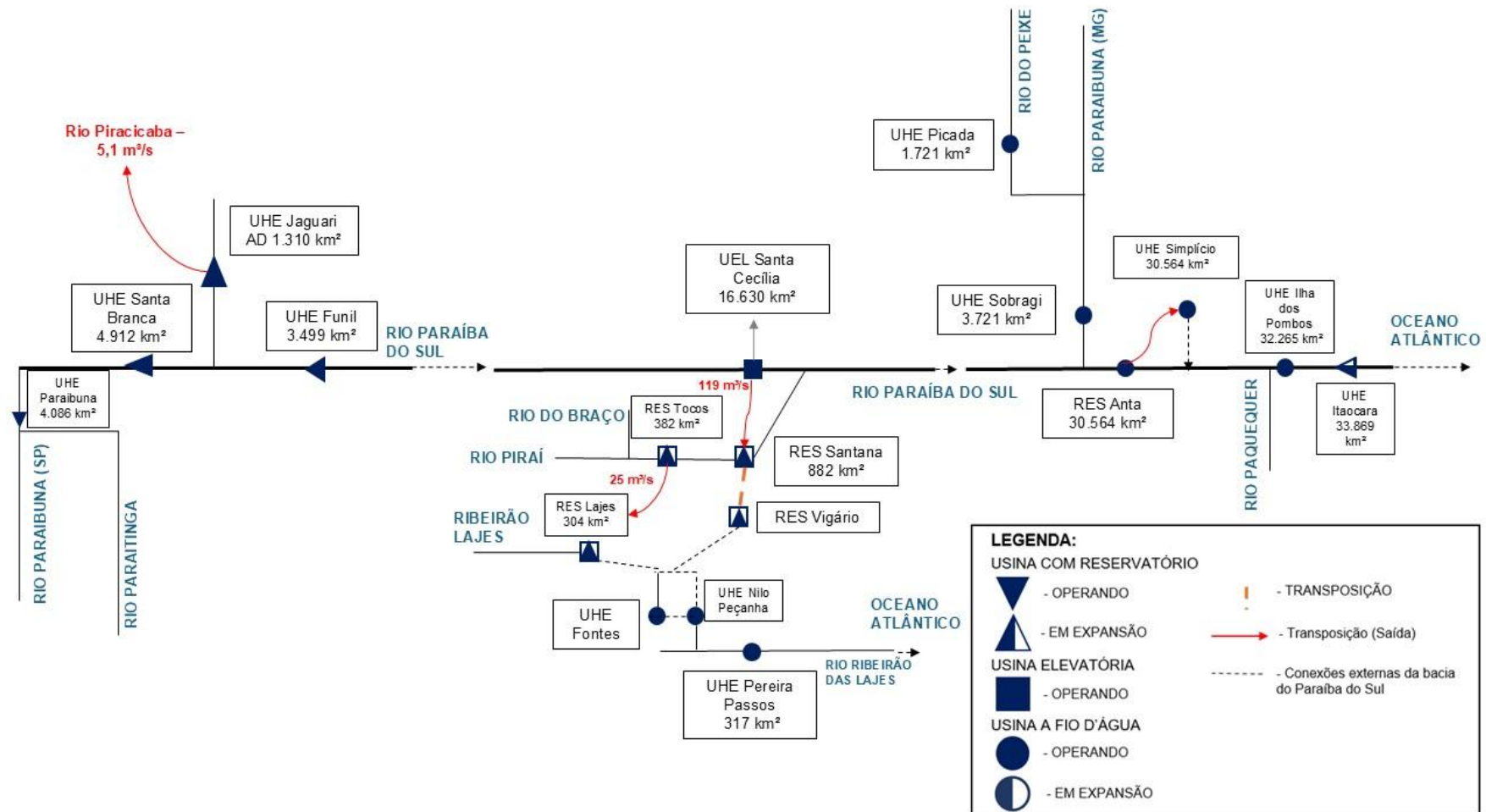
Figura 6-14 – Localização dos principais aproveitamentos hidrelétricos e transposições da bacia do rio Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio

As principais transposições de água na bacia do rio Paraíba do Sul estão relacionadas aos sistemas da bacia do rio Guandu, no Rio de Janeiro, e às bacias PCJ (Piracicaba, Capivari e Jundiaí), em São Paulo. Ambas são importantes para o abastecimento dos centros urbanos e das capitais dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. No sistema Guandu, destaca-se também o abastecimento do polo industrial. A Figura 6-15 apresenta um esquema geral do percurso dos principais rios da bacia do Paraíba do Sul, incluindo os aproveitamentos e as transposições realizadas.

Figura 6-15 – Esquema geral do percurso dos principais rios e reservatórios da bacia do Paraíba do Sul.



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Para o caso das bacias PCJ/SP, a transposição é realizada através de um túnel que interliga o reservatório da UHE Jaguari com a represa Atibainha, em Nazaré Paulista, que compõe o Sistema Cantareira. A UHE Jaguari contribui com vazões transferidas para o sistema Cantareira com vazão média de 5,1 m³/s (CEIVAP, 2021).

A transposição das águas do rio Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu é realizada pelo Complexo de Lajes, principal fonte de abastecimento público da região metropolitana do Rio de Janeiro (CEIVAP, 2021). O sistema é composto por quatro reservatórios e estações elevatórias. O reservatório de Tocos transfere vazões para o reservatório de Lajes, localizado no ribeirão Lajes, por gravidade, através de um túnel com capacidade máxima de 25 m³/s (AGEVAP, 2014). Essa transposição contribui para aumentar a capacidade de geração da UHE Fontes. A usina elevatória (UEL) Santa Cecília, localizada no rio Paraíba do Sul, transfere vazões para o reservatório Santana, localizado no Piraí, com capacidade média de bombeamento de 119 m³/s (CEIVAP, 2021). Após receber a vazão transferida, o reservatório Santana contribui com as vazões transferidas para o reservatório Vigário, que por sua vez transfere vazões para as UHEs Fontes e Nilo Peçanha. A funcionalidade dos

aproveitamentos do complexo das Lajes está esquematizada na Figura 6-16.

Figura 6-16 – Esquema Geral dos Aproveitamentos Hidrelétricos dos rios Paraíba do Sul, Piraí e Ribeirão das Lajes.



Fonte: LIGHT, 2016.

Existem mais dois sistemas de transferência de vazões dentro dos limites da bacia do Paraíba do Sul. O reservatório Anta transfere vazão para a UHE Simplício, sendo as únicas vazões afluentes da

UHE, desta forma, a vazão transferida é mantida dentro da bacia do Paraíba do Sul. Ainda, há também a transposição do rio Macabu para o rio Macaé, voltado para a produção de energia elétrica, com um valor médio transferido de 5,4 m³/s (CEIVAP, 2021) no local da transposição. Porém, tendo em vista que o rio Macabu não é parte da bacia do Paraíba do Sul e não existem dados de defluência no local da transposição, assim como no estudo de disponibilidade hídrica (EDH-PS) não foi avaliado o impacto dessa transposição.

O Quadro 6-17 apresenta as transposições consideradas na bacia do Paraíba do Sul para a cena atual, indicando a origem e o destino das vazões transferidas. Vale ressaltar que os documentos EDH-PS de 2024 e o PIRH-PS de 2021 não consideraram todas as transposições descritas nesse capítulo. Desta forma, para complementar as informações sobre as transposições realizadas na bacia do Paraíba do Sul, foram inseridas na tabela informações de localização das transposições que não haviam sido apresentadas nos estudos anteriores. No entanto, não está disponível publicamente série de dados de vazões transferidas para identificar as vazões destas transposições. Para a consolidação da cena atual, foi considerada a vazão média de transferência entre os aproveitamentos hidrelétricos.

Quadro 6-17 – Quadro resumo das transposições da cena atual da bacia do Paraíba do Sul.

Transposição	Sistema	Bacia de Origem	Bacia de Destino	Latitude (S)	Longitude (W)	Cena Atual (m³/s)	Fonte
Jaguari - Atibainha	Paraíba do Sul - PCJ	Paraíba do Sul	Rio Piracicaba	-23,20	-46,03	5,1	PIRH-PS, 2021
RES Tocos - RES Lajes	Complexo de Lajes	Rio Pirai	Rio Guandu	-22,75	-44,13	25,0 ⁹	Nota Técnica 30/2014/SAG-ANA (AGEVAP, 2014)
UEL Santa Cecília - RES Santana		Paraíba do Sul	Rio Guandu	-22,48	-43,84	119,0	PIRH-PS, 2021
RES Santana - RES Vigário		Paraíba do Sul e Pirai	Rio Guandu	-22,53	-43,82	-	-
RES Vigário - UHE Nilo Peçanha		Paraíba do Sul e Pirai	Rio Guandu	-22,63	-43,90	-	-
RES Vigário -UHE Fontes							
RES Anta - UHE Simplício	-	Paraíba do Sul	Paraíba do sul	-22,03	-43,00	-	-

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

⁹ Estes 25 m³/s estão considerados nos 119 m³/s da UEL Santa Cecília – Reservatório Santana.

6.1.10. Consolidação das Demandas – Cena Atual

Tratando da soma global de todos os setores usuários de recursos hídricos na bacia do rio Paraíba do Sul (sem considerar as transposições e evaporação líquida), observa-se uma demanda total de 63,02 m³/s, conforme observado na Figura 6-17. Vale destacar que para o estabelecimento desse valor, não são expostos dados de evaporação de reservatório, o que não é considerado como um uso de recursos hídricos.

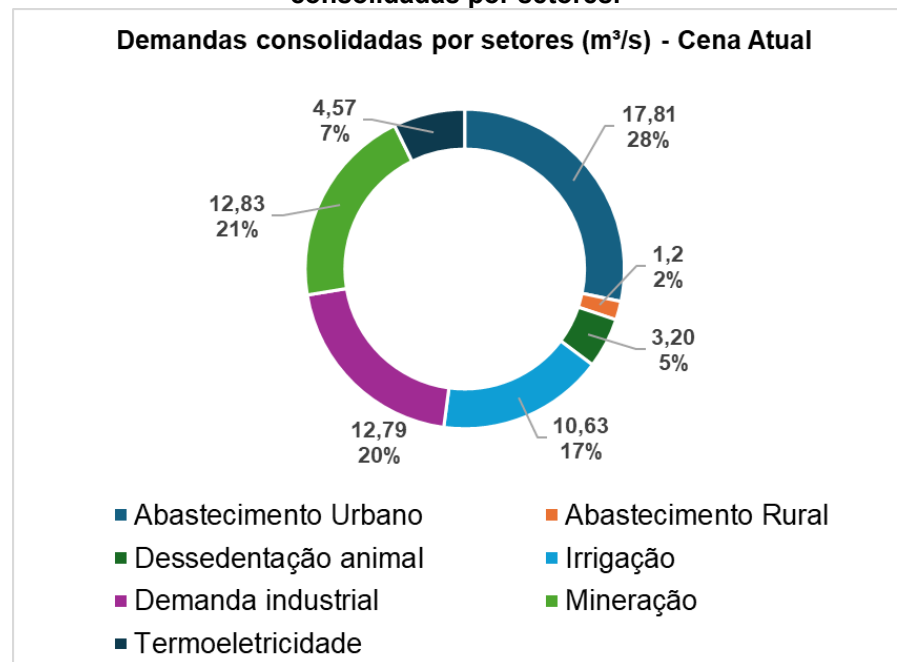
O setor com maior retirada de vazão é o de abastecimento urbano, representando a demanda de 28% do total, indicando que a maior demanda da bacia é diretamente interligada com a dinâmica populacional existente nos municípios que a constituem. Logo, as políticas públicas que envolvem os serviços de abastecimento urbano devem ser observadas de forma ativa, tendo em vista que tais serviços implicam na maior pressão sobre os recursos hídricos da bacia. Os setores de mineração e uso industrial representam aproximadamente 20% das demandas. Tais setores possuem conexão direta com as atividades econômicas desenvolvidas na região de estudo, tendo em vista que a área da bacia do rio Paraíba do Sul abrange os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São

Paulo, considerados polos econômicos no Brasil. Outro setor que possui considerável influência é a irrigação, constituindo aproximadamente 17% da demanda total. Já os setores de dessedentação animal, abastecimento rural e termoeletricidade apresentam demandas inferiores a 10% do total, sendo os que menos exercem pressão direta nos usos consuntivos de recursos hídricos, com destaque para o abastecimento rural, com apenas 2% das demandas da bacia.

Destaca-se que neste total, não foram consideradas as demandas provenientes das transposições existentes na bacia, que sozinhas somam mais de 120 m³/s. Logo, observa-se que a maior parte das demandas da bacia possuem como fonte as transposições, que visam deslocar o montante hídrico para outras bacias (tendo seu principal destino a bacia hidrográfica do rio Guandu, responsável pelo abastecimento do município do Rio de Janeiro). Além disso, como exposto anteriormente, também não foram considerados os 12,25 m³/s provenientes da evaporação líquida de reservatórios, pois tal valor já está embutido nas disponibilidades hídricas do EDH-PS e não são considerados como usos de recursos hídricos propriamente ditos.

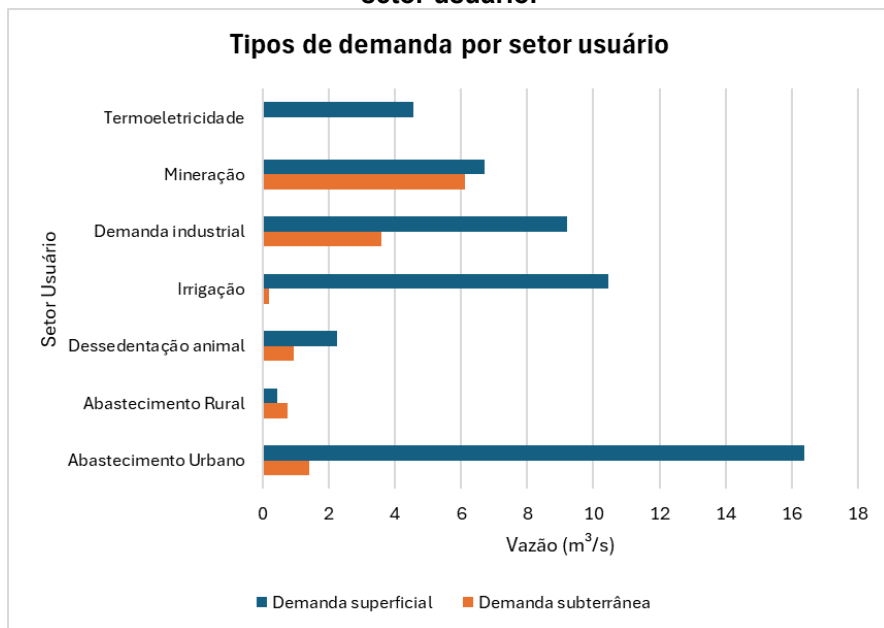
A Figura 6-18 apresenta os tipos de demanda (subterrânea ou superficial) para cada setor usuário. Em termos totais, as demandas de águas superficiais atingem 50,01 m³/s e as demandas de águas subterrâneas 13,01 m³/s, representando uma alta predominância das demandas superficiais (79%). A principal disparidade é observada no setor de irrigação, no qual o uso subterrâneo é extremamente baixo (2% do total) quando comparado com o uso superficial (98% do total). Outros setores com altas diferenças entre as demandas são o setor de abastecimento urbano (1,41 m³/s de usos subterrâneos e 16,40 m³/s superficiais), e o industrial (3,58 m³/s de usos subterrâneos e 9,20 m³/s de usos superficiais). Dentre os setores com maior uso absoluto de recursos hídricos, nota-se um equilíbrio nos usos apenas no setor de mineração, com 6,12 m³/s de demanda subterrânea e 6,71 m³/s superficial.

Figura 6-17 – Demandas hídricas da bacia do rio Paraíba do sul consolidadas por setores.



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Figura 6-18 – Tipos de demanda (subterrânea ou superficial) por setor usuário.



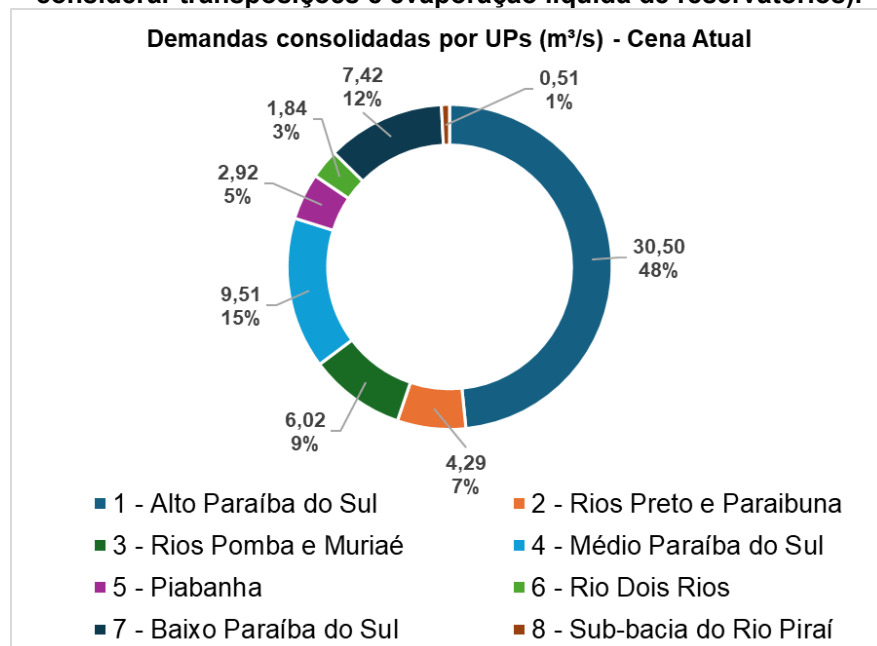
Fonte: elaborado pelo Consórcio.

A Figura 6-19 apresenta a distribuição das demandas hídricas consolidadas por Unidade de Planejamento. Observa-se que a maior predominância nos usos se encontra na UP do Alto Paraíba do Sul, atingindo um percentual de 48% do total da bacia, praticamente metade de toda demanda. Tal UP representa a porção paulista da bacia, logo, tendo em vista que o estado de São Paulo é o mais

populoso do país (além do principal centro econômico), nota-se a correlação direta entre o desenvolvimento econômico com o aumento das demandas por recursos hídricos. Em relação às demais UPs, as UPs Médio e Baixo Paraíba do Sul, assim como a UP Rios Pomba e Muriaé possuem demandas intermediárias entre 10% e 20% (15%, 12% e 10% respectivamente), enquanto as demais possuem valores percentuais abaixo de 10%.

Citam-se como polos regionais no setor de dessedentação animal, rios Pomba e Muriaé (23% do total) e Baixo Paraíba do Sul (25% do total); setor de irrigação, rios Pomba e Muriaé (15% do total) e Baixo Paraíba do Sul (23% do total); setor industrial, Médio Paraíba do Sul (37% do total). Ressalta-se que em todos os setores citados acima a UP do Alto Paraíba do Sul também possui altas parcelas das demandas.

Figura 6-19 – Demandas consolidadas da Cena Atual por UPs (sem considerar transposições e evaporação líquida de reservatórios).



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Para resumir os resultados da cena atual, o Quadro 6-18 apresenta os valores consolidados das demandas hídricas da bacia do rio Paraíba do Sul (sem considerar transposições e sem evaporação líquida), tanto por unidade de planejamento como por setor usuário.

Quadro 6-18 – Valores consolidados das demandas hídricas da bacia do rio Paraíba do Sul na Cena Atual (sem considerar transposições e evaporação líquida de reservatórios).¹⁰

UP	Demandas Hídricas (m³/s) – Cena atual																			
	Abastecimento Urbano			Abastecimento Rural			Dessedentação Animal			Irrigação			Indústria			Mineração			Termelétricas	Total
	Sub.	Sup.	Tot	Sub.	Sup.	Tot	Sub.	Sup.	Tot	Sub.	Sup.	Tot	Sub.	Sup.	Tot	Sub.	Sup.	Tot	Sup.	
1 - Alto Paraíba do Sul	0,81	5,63	6,44	0,23	0,09	0,32	0,17	0,43	0,59	0,05	4,78	4,82	2,997	2,997	5,99	6,11	3,52	9,63	2,71	30,50
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,09	1,74	1,83	0,06	0,04	0,10	0,25	0,05	0,30	0,00	0,14	0,14	0,03	0,21	0,25	0,00	1,31	1,31	0,37	4,29
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,25	1,76	2,01	0,21	0,00	0,22	0,26	0,49	0,75	0,08	1,48	1,55	0,18	0,46	0,64	0,00	0,61	0,61	0,25	6,02
4 - Médio Paraíba do Sul	0,02	3,12	3,14	0,04	0,04	0,08	0,00	0,32	0,32	0,00	0,30	0,30	0,11	4,57	4,68	0,00	0,52	0,52	0,46	9,51
5 - Piabanha	0,05	0,99	1,05	0,09	0,06	0,15	0,06	0,05	0,11	0,00	0,92	0,92	0,18	0,21	0,38	0,00	0,14	0,15	0,16	2,92
6 - Rio Dois Rios	0,01	0,69	0,69	0,03	0,05	0,08	0,00	0,26	0,26	0,03	0,43	0,46	0,03	0,06	0,08	0,00	0,14	0,14	0,13	1,84
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,17	2,20	2,38	0,09	0,14	0,23	0,21	0,60	0,81	0,03	2,38	2,41	0,06	0,57	0,63	0,00	0,47	0,47	0,49	7,42
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,01	0,27	0,28	0,00	0,02	0,02	0,00	0,05	0,05	0,00	0,02	0,02	0,00	0,13	0,13	0,00	0,01	0,01	0,00	0,51
Total	1,41	16,40	17,81	0,76	0,44	1,20	0,95	2,26	3,20	0,19	10,44	10,63	3,58	9,20	12,79	6,12	6,71	12,83	4,57	63,02

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

¹⁰ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

6.2. CENARIOS DE DEMANDAS HÍDRICAS

Para a estimativa de demandas hídricas futuras, foi desenvolvido prognóstico avaliando informações de planejamentos referenciais em recursos hídricos na bacia. Para isso, inicialmente foram avaliados instrumentos de planejamento de recursos hídricos existentes, podendo ser citados:

- Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – PIRH Paraíba do Sul;
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – PERH SP;
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais – PERH MG;
- Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro – PERH RJ; e
- Planos integrados das bacias afluentes estaduais
 - Plano Diretor de Recursos Hídricos – Rios Preto e Paraibuna;
 - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Pomba e Muriaé;

- Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana;
- Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Médio Paraíba do Sul;
- Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Rio Piabanha e Sub-Bacias Hidrográficas dos Rios Paquequer e Preto (RH-IV) ;
- Plano de Bacia da Região Hidrográfica do Rio Dois Rios;
- Plano Estratégico de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim.

Na sequência, foram avaliadas perspectivas de crescimento econômico e demográfico, considerando cenários de crescimento para o país, para os estados e para os municípios da bacia. O resultado dessas análises gerou três cenários prospectivos considerados de acordo com o Quadro 6-19.

Quadro 6-19 – Cenários prospectivos adotados para a cenarização

Cenários	Descrição
Cenário de Menor Pressão sobre os recursos hídricos	O crescimento do PIB é muito baixo, refletindo uma economia estagnada por choques climáticos e problemas fiscais. A demanda interna não cresce, e o setor agropecuário depende exclusivamente das exportações de commodities. A desindustrialização persiste sem investimentos ou inovações. A pobreza aumenta, levando à deterioração da qualidade de vida. O setor público enfrenta sérias restrições orçamentárias, dificultando o controle da inflação.
Cenário Tendencial	O PIB cresce de forma moderada. A economia se recupera lentamente, utilizando capacidade ociosa, mas eventos climáticos extremos limitam os ganhos. O setor primário foca na exportação, com alguma inovação no mercado interno. A indústria começa a reverter, paulatinamente, a desindustrialização, mas enfrenta dificuldades em inovação. O setor terciário vê uma recuperação da demanda interna. No entanto, a falta de reformas estruturais impede a manutenção de juros baixos e limita o crescimento no longo prazo. Nos pequenos municípios, o setor público continua a ser o principal motor econômico.
Cenário de Maior Pressão sobre os recursos hídricos	O crescimento econômico é impulsionado por reformas que aumentam a produtividade e atraem novos investimentos; há investimentos massivos em medidas de adaptação climática, atenuando os impactos de eventos extremos. Tanto a demanda interna quanto a externa aumentam, especialmente no setor agropecuário, com mais inovação e agregação de valor. A indústria reverte a desindustrialização com novos investimentos e inovações. A renda das famílias aumenta, melhorando a qualidade de vida e acelerando o crescimento dos serviços. O setor público perde protagonismo nos pequenos municípios.

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Cada uma das demandas quantitativas é influenciada por desenrolares de atividades específicas dentro da bacia, cuja composição se reflete diretamente nas taxas de utilização do recurso hídrico. Estas perspectivas são identificadas de três formas, a primeira sendo pelo levantamento de séries históricas das condicionantes específicas aos municípios da bacia para identificar as tendências futuras (por exemplo: os rebanhos bovinos vêm apresentando crescimento nos últimos dez anos?). A segunda forma é pela repercussão dos planos e investimentos previstos, conforme item precedente. Estes planos podem balizar os graus de influência nos cenários alternativos. Por fim, realiza-se a consulta a estudos e outras informações setoriais como forma de balizar os seus graus de influência nos cenários. Todas essas formas são refletidas, naturalmente, em alterações de aspectos de uso e ocupação do solo e da eficiência dos usos da água, com utilização de tecnologias que levem à otimização do uso, com recirculação ou reúso de água, por exemplo.

Como metodologia de cenarização, identifica-se nas séries históricas das variáveis de interesse, os municípios que se destacam como polos de suas regiões intermediárias em suas respectivas atividades (exemplo: criação de bovinos ou plantio de cana-de-açúcar). Para

isso, adota-se a combinação de dois critérios que permitem qualificar as projeções de macro para micro com base nos diferenciais de micro para macro.

O primeiro desses critérios é a consideração do porte da atividade ao longo dos últimos dez anos em relação ao valor adicionado bruto agregado dos setores econômicos. Exemplifica-se com o setor de serviços privados (valor agregado da atividade privada do comércio e de serviços excluídos aqueles relativos ao setor público): em um determinado município, tem-se 50% de representatividade deste setor em relação aos demais setores econômicos combinados (valor agregado dos setores agropecuário, industrial e de serviços). Pela média e desvio padrão dessa série, dentro da região intermediária, tem-se resultados respectivos de 35% e 11%. O município exemplificado, com 50% de participação, pode ser considerado como um polo de serviços na região, haja vista que seu resultado está além de um desvio padrão positivo na série que compara este resultado com o de seus pares (resultado este que seria de 46%). Trata-se de um critério relativo, adotado visto o potencial local.

Esse primeiro critério é, então, combinado ao segundo critério, que traz o porte absoluto da atividade em relação ao total gerado na

região intermediária: calcula-se a participação do valor adicionado da atividade de cada município em relação aos demais da região. No exemplo dado, tem-se que a participação do setor de serviços privados representa, na média dos últimos cinco anos, 79% do total do valor agregado dos serviços privados de sua região intermediária. A média dessa participação por entre os demais municípios da região é, por exemplo, de 15%, sendo que o desvio padrão é de 18%. Novamente, assim, tem-se a identificação de um município-polo.

Com essa mesma mecânica, identificam-se os municípios que detêm valores superiores a um desvio padrão para cada um dos dois critérios, sendo um deles suficiente para sensibilizar as projeções a maior para o determinado município. Além disso, a presença simultânea de ambos os critérios identifica os polos de cada atividade.

Dada a existência de planos ou projetos de investimento que interfiram diretamente em um município, um terceiro critério é adicionado, perfazendo assim o reflexo das expectativas locais no conjunto de projeções ao nível da atividade. Assim, foram realizadas estimativas de crescimento de demandas de forma específica para cada setor usuário, considerando suas especificidades e a

metodologia de cenarização. O detalhe da metodologia consta do Produto 3 – Quadro das demandas hídricas da bacia do rio Paraíba do Sul atual e futuro, sendo focados os resultados no presente documento.

Para resumir os resultados das demandas hídricas dos cenários futuros nos diferentes horizontes temporais, são apresentados, na sequência, os valores consolidados das demandas hídricas da bacia do rio Paraíba do Sul (sem considerar transposições e a evaporação líquida de reservatórios), tanto por unidade de planejamento como por setor usuário.

O Quadro 6-20 apresenta os resultados consolidados para cada setor usuário no cenário de menor pressão, divididos por Unidade de Planejamento. Dentre os anos projetados, observa-se um incremento praticamente constante ao longo do tempo, exceto nas UPs Médio e Baixo Paraíba do Sul entre os anos de 2030 e 2035. Na primeira, tal diminuição é observada até o horizonte de 2040, e é causada pela manutenção das demandas em grande parte dos setores e a leve diminuição nos setores de abastecimento urbano e mineração. Já no Baixo Paraíba do Sul, a diminuição é causa primariamente pelos setores de abastecimento urbano e indústria.

Porém, no ano de 2040 o setor de termoeletricidade possui um aumento expressivo, causado pelo início da operação das usinas projetadas para aquela UP. Tendo em vista a manutenção de uma baixa pressão nos recursos hídricos no cenário de menor pressão, no fim do horizonte temporal há um aumento das demandas totais da bacia em relação à cena atual ($63,02 \text{ m}^3/\text{s}$) de cerca de $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$, representando um aumento de apenas 8,7%.

Quadro 6-20 – Valores consolidados no cenário de menor pressão, por unidade de planejamento.¹¹

Ano	Setor	1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total
2030	Abastecimento Urbano	6,43	1,88	2,04	3,14	0,87	0,73	2,14	0,46	17,69
	Abastecimento Rural	0,32	0,10	0,22	0,08	0,15	0,08	0,23	0,02	1,20
	Dessedentação	0,71	0,34	0,86	0,37	0,13	0,29	0,85	0,06	3,61
	Irrigação	5,24	0,16	1,78	0,33	1,12	0,49	2,50	0,02	11,65
	Indústria	6,04	0,25	0,65	4,74	0,40	0,09	0,60	0,14	12,90
	Mineração	9,75	1,34	0,61	0,51	0,14	0,13	0,46	0,01	12,94
	Termoeletricidade	2,71	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	0,49	0,00	4,57
	Total 2030	31,20	4,44	6,40	9,63	2,98	1,94	7,28	0,71	64,57
2035	Abastecimento Urbano	6,49	1,90	2,05	3,12	0,87	0,73	2,13	0,45	17,75
	Abastecimento Rural	0,32	0,10	0,22	0,08	0,15	0,08	0,23	0,02	1,21
	Dessedentação	0,73	0,37	0,93	0,38	0,13	0,30	0,85	0,06	3,75
	Irrigação	5,37	0,18	1,92	0,33	1,15	0,51	2,52	0,02	11,99
	Indústria	6,02	0,25	0,64	4,75	0,41	0,09	0,57	0,14	12,87
	Mineração	9,79	1,35	0,60	0,50	0,14	0,12	0,46	0,01	12,96
	Termoeletricidade	2,71	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	0,49	0,00	4,57
	Total 2035	31,42	4,53	6,62	9,62	3,00	1,96	7,25	0,71	65,10
2040	Abastecimento Urbano	6,48	1,91	2,05	3,09	0,86	0,73	2,12	0,45	17,68
	Abastecimento Rural	0,32	0,10	0,22	0,08	0,15	0,08	0,23	0,02	1,20
	Dessedentação	0,75	0,39	0,97	0,39	0,14	0,31	0,85	0,06	3,86
	Irrigação	5,54	0,19	2,08	0,33	1,16	0,52	2,59	0,02	12,43

¹¹ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

Ano	Setor	1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total
	Indústria	5,99	0,26	0,64	4,74	0,41	0,09	0,57	0,15	12,85
	Mineração	10,04	1,38	0,62	0,51	0,14	0,13	0,46	0,01	13,29
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2040	31,94	4,60	6,83	9,60	3,02	1,98	8,66	0,71	67,33
2045	Abastecimento Urbano	6,43	1,90	2,04	3,04	0,84	0,72	2,09	0,44	17,50
	Abastecimento Rural	0,32	0,10	0,22	0,08	0,15	0,08	0,22	0,02	1,19
	Dessedentação	0,78	0,43	1,00	0,41	0,13	0,33	0,88	0,06	4,02
	Irrigação	5,81	0,21	2,24	0,35	1,25	0,56	2,76	0,03	13,21
	Indústria	6,07	0,26	0,65	4,81	0,42	0,09	0,57	0,15	13,03
	Mineração	10,23	1,40	0,63	0,52	0,15	0,13	0,47	0,01	13,53
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2045	32,46	4,67	7,03	9,67	3,10	2,03	8,85	0,70	68,52

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

O Quadro 6-21 apresenta os resultados consolidados para cada setor usuário no cenário tendencial, divididos por Unidade de Planejamento. Dentre os anos projetados, observa-se um incremento variado ao longo do tempo, com diferentes setores apresentando comportamentos díspares, exceto na UP do Médio Paraíba do Sul, que sofre uma diminuição constante após seu aumento no ano de 2030 (9,63 m³/s em 2030 e 9,60 em 2040). Essa diminuição é causada principalmente pela redução das demandas de abastecimento urbano, indicadas pelas tendências da região. Em relação ao cenário de menor pressão, observa-se que o presente cenário possui um aumento mais intenso até o ano de 2035, sustentando um aumento moderado até os anos 2040 e 2045. Tendo em vista a manutenção de uma pressão intermediária nos recursos hídricos no cenário tendencial, no fim do horizonte temporal há um aumento em relação à cena atual (63,02 m³/s) de cerca de 8,9 m³/s, representando um aumento de 14%.

Quadro 6-21 – Valores consolidados no cenário tendencial, por unidade de planejamento.¹²

Ano	Setor	1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total
2030	Abastecimento Urbano	6,38	1,85	2,03	3,08	0,88	0,72	2,10	0,44	17,49
	Abastecimento Rural	0,34	0,11	0,23	0,09	0,16	0,09	0,25	0,02	1,29
	Dessedentação	0,73	0,36	0,89	0,38	0,13	0,30	0,87	0,06	3,72
	Irrigação	6,04	0,19	2,07	0,38	1,34	0,57	2,94	0,03	13,56
	Indústria	6,16	0,26	0,65	4,81	0,40	0,09	0,63	0,14	13,14
	Mineração	10,09	1,36	0,64	0,54	0,15	0,14	0,48	0,01	13,41
	Termoeletricidade	2,71	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	0,49	0,00	4,57
	Total 2030	32,45	4,50	6,77	9,74	3,22	2,04	7,76	0,70	67,18
2035	Abastecimento Urbano	6,23	1,83	2,08	2,91	0,87	0,71	2,02	0,44	17,08
	Abastecimento Rural	0,35	0,11	0,18	0,08	0,17	0,09	0,24	0,02	1,23
	Dessedentação	0,79	0,39	0,99	0,42	0,15	0,33	0,93	0,07	4,07
	Irrigação	5,91	0,22	2,44	0,35	1,31	0,57	3,36	0,03	14,19
	Indústria	6,22	0,26	0,66	4,86	0,42	0,09	0,62	0,15	13,28
	Mineração	10,46	1,41	0,66	0,55	0,15	0,14	0,48	0,01	13,86
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2035	32,78	4,59	7,26	9,63	3,23	2,06	9,50	0,71	69,76
2040	Abastecimento Urbano	5,99	1,78	2,07	2,68	0,85	0,68	1,88	0,39	16,31
	Abastecimento Rural	0,36	0,11	0,16	0,08	0,18	0,09	0,24	0,02	1,24
	Dessedentação	0,85	0,43	1,08	0,44	0,15	0,35	0,97	0,07	4,34
	Irrigação	5,72	0,26	2,87	0,33	1,26	0,56	3,73	0,02	14,74
	Indústria	6,29	0,27	0,67	4,91	0,43	0,09	0,63	0,15	13,44

¹² Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

Ano	Setor	1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total
	Mineração	10,80	1,45	0,68	0,57	0,16	0,14	0,49	0,01	14,30
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2040	32,83	4,66	7,78	9,46	3,18	2,05	9,79	0,66	70,42
2045	Abastecimento Urbano	5,58	1,70	2,02	2,33	0,82	0,63	1,65	0,31	15,04
	Abastecimento Rural	0,34	0,05	0,14	0,07	0,17	0,09	0,23	0,02	1,12
	Dessedentação	0,90	0,46	1,17	0,48	0,17	0,37	1,04	0,07	4,66
	Irrigação	6,30	0,31	3,35	0,37	1,46	0,64	4,25	0,03	16,72
	Indústria	6,40	0,27	0,69	4,95	0,44	0,09	0,63	0,16	13,65
	Mineração	11,14	1,49	0,70	0,59	0,16	0,15	0,50	0,01	14,73
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2045	33,49	4,66	8,32	9,25	3,38	2,10	10,16	0,59	71,95

O Quadro 6-22 apresenta os resultados consolidados para cada setor usuário no cenário de Maior Pressão, divididos por Unidade de Planejamento. Dentre os anos projetados, observa-se um incremento mais acentuado ao longo do tempo, exceto na UP Sub-bacia do Rio Pirai. Em relação ao último horizonte temporal do cenário de menor pressão, observa-se que o presente cenário atinge já no ano de 2035 uma demanda superior aos finais de plano dos demais cenários, de 72,45 m³/s, mostrando a alta pressão sobre os recursos hídricos. Tendo em vista a manutenção de uma pressão elevada nos recursos hídricos no presente cenário, no ano de 2045 há um aumento em relação à cena atual (63,02 m³/s) de cerca de 16 m³/s, representando um incremento de 26%.

Quadro 6-22 – Valores consolidados no cenário de Maior Pressão, por unidade de planejamento.¹³

Ano	Setor	1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total
2030	Abastecimento Urbano	6,50	1,90	2,07	3,07	0,90	0,74	2,11	0,43	17,72
	Abastecimento Rural	0,39	0,12	0,26	0,10	0,19	0,10	0,28	0,03	1,46
	Dessedentação	0,75	0,36	0,96	0,39	0,13	0,31	0,90	0,06	3,86
	Irrigação	6,37	0,20	2,24	0,33	1,11	0,53	3,40	0,02	14,19
	Indústria	6,30	0,26	0,66	4,88	0,41	0,09	0,66	0,14	13,39
	Mineração	10,19	1,38	0,64	0,55	0,15	0,14	0,48	0,01	13,54
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2030	33,31	4,59	7,08	9,76	3,05	2,03	9,69	0,69	70,20
2035	Abastecimento Urbano	6,32	1,89	2,15	2,80	0,90	0,72	1,99	0,41	17,18
	Abastecimento Rural	0,39	0,06	0,16	0,08	0,19	0,10	0,26	0,02	1,26
	Dessedentação	0,85	0,42	1,11	0,44	0,15	0,35	0,98	0,07	4,37
	Irrigação	6,36	0,24	2,72	0,34	1,24	0,56	3,86	0,02	15,35
	Indústria	6,58	0,27	0,69	5,05	0,44	0,09	0,67	0,15	13,94
	Mineração	10,79	1,45	0,68	0,57	0,16	0,14	0,50	0,01	14,31
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2035	34,10	4,71	7,76	9,74	3,24	2,10	10,12	0,68	72,45
2040	Abastecimento Urbano	6,03	1,81	2,12	2,51	0,87	0,68	1,81	0,34	16,17
	Abastecimento Rural	0,42	0,07	0,17	0,09	0,20	0,11	0,28	0,02	1,35
	Dessedentação	0,94	0,48	1,30	0,49	0,17	0,39	1,08	0,08	4,93
	Irrigação	6,52	0,30	3,39	0,37	1,43	0,63	4,43	0,03	17,11

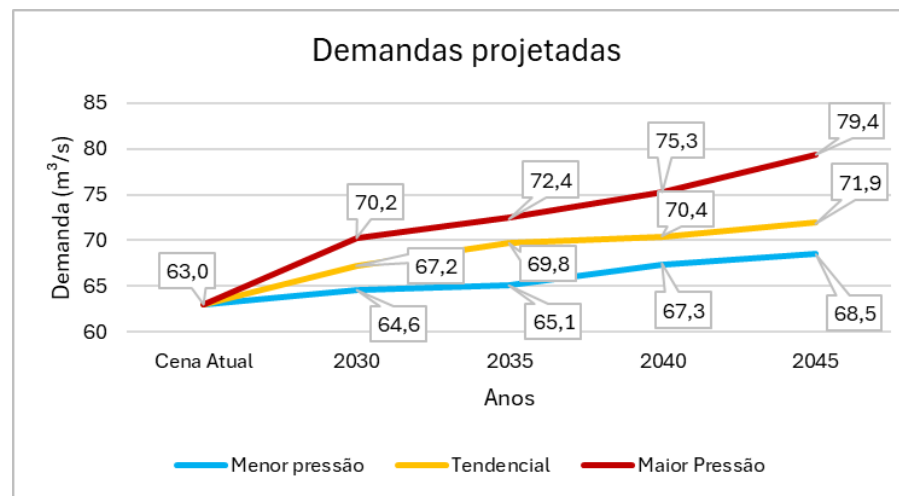
¹³ Os valores de vazão estão dispostos até duas casas decimais. Para não haver perda de informações, os totais foram somados utilizando os números completos.

Ano	Setor	1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total
	Indústria	6,88	0,29	0,73	5,24	0,46	0,10	0,68	0,17	14,56
	Mineração	11,44	1,53	0,72	0,60	0,17	0,15	0,52	0,01	15,13
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2040	35,05	4,85	8,67	9,77	3,47	2,19	10,65	0,64	75,29
2045	Abastecimento Urbano	5,58	1,65	2,04	2,15	0,83	0,61	1,55	0,27	14,68
	Abastecimento Rural	0,42	0,07	0,17	0,09	0,21	0,11	0,28	0,02	1,36
	Dessedentação	1,07	0,55	1,54	0,56	0,19	0,44	1,21	0,09	5,65
	Irrigação	7,75	0,39	4,32	0,42	1,67	0,73	5,25	0,03	20,55
	Indústria	7,18	0,31	0,78	5,44	0,49	0,10	0,69	0,17	15,17
	Mineração	12,07	1,61	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	15,94
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total 2045	36,89	4,93	9,85	9,76	3,72	2,29	11,37	0,59	79,40

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

A Figura 6-20 apresenta a evolução ao longo do tempo para cada um dos cenários estudados. As inclinações das retas entendem-se como as taxas pelas quais as demandas pelo uso dos recursos hídricos aumentam. Tal taxa é diretamente afetada pelas premissas empregadas em cada cenário (e nos diferentes setores), sendo variadas e com características próprias. No cenário de menor pressão, há um incremento vertiginoso no primeiro intervalo de tempo, após o qual as taxas estabilizam-se em níveis mais moderados. Já no cenário tendencial, o incremento elevado é observado até o ano de 2035, reduzindo seu ritmo de aumento até o final das projeções. Já no cenário de Maior Pressão, há um alto crescimento em todos os intervalos temporais, sendo especialmente marcante entre a cena atual e o ano de 2030 e entre 2040 e 2045.

Figura 6-20 – Demandas projetadas (sem considerar transposições e evaporação líquida de reservatórios) para os horizontes de tempo nos cenários de demandas hídricas avaliados



Fonte: elaborado pelo Consórcio

7. BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

7.1. METODOLOGIA

O desenvolvimento do balanço hídrico de uma bacia hidrográfica é fundamental para que possam ser identificadas áreas mais críticas de forma a indicar o foco das ações de gestão. O balanço hídrico pode ser obtido por meio do cotejo entre as ofertas hídricas e demandas existentes em cada bacia hidrográfica. Para isso, foi utilizado o conceito de Índice de Comprometimento Hídrico (ICH) em que é estimado o percentual comprometido da disponibilidade existente em cada bacia pela relação entre as demandas e a disponibilidade de cada vazão de referência, conforme a seguinte expressão.

$$I_{CH}^{Superficial} = \frac{Demandas\ Superficial}{Disponibilidade\ hídrica\ Superficial}$$

Equação 1

A partir da análise dos critérios em termos de vazões de referência e percentuais adotados usualmente, bem como da experiência técnica utilizada em avaliações semelhantes, foram utilizados diferentes percentuais relacionados aos níveis de comprometimento

hídrico e que refletem boas condições hídricas, níveis de preocupação ou altos índices de criticidade. Tais índices são relevantes para dar suporte a proposições de ações de gerenciamento de recursos hídricos necessárias a dar maior segurança hídrica aos usuários existentes e potenciais em cada bacia hidrográfica.

Assim, apresenta-se o Quadro 7-1 com os índices adotados para a análise do ICH, considerando faixas intermediárias e que deram subsídio ao indicativo de áreas que precisam de ações de gestão para a melhoria da segurança hídrica e para o atendimento aos usos da bacia. Nesse sentido, podem ser consideradas em condição de escassez as faixas “crítica” e “muito crítica” em que o percentual comprometido de demandas é superior a 75% das ofertas hídricas existentes.

Quadro 7-1 – Índices utilizados para a análise de balanço hídrico superficial

ICH – Índice de Comprometimento Hídrico	Condição da bacia e ações de gestão indicadas
< 25%	Boa condição de disponibilidade; pouca atividade de gerenciamento é necessária, visando apenas a manutenção dos fatores contribuintes.

ICH – Índice de Comprometimento Hídrico	Condição da bacia e ações de gestão indicadas
25 a 50%	Situação potencialmente preocupante, devendo ser desenvolvidas ações de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento.
50 a 75%	Situação preocupante; a atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios.
75% a 100%	Situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos.
> 100%	Situação muito crítica, em que atividades de gerenciamento e de investimentos e realocação de demandas são necessárias de forma urgente.

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Os resultados dos balanços hídricos realizados com diferentes vazões de referência e diferentes cenas foram comparados, de forma a verificar efeitos de possíveis alterações de critérios de outorga ou do crescimento futuro das demandas. Por fim, como resultado do apontamento das regiões de fragilidade hídrica, sob o ponto de vista do balanço hídrico, podem ser indicadas possíveis ações a serem desenvolvidas na bacia para a melhoria da criticidade hídrica, envolvendo recirculação de água ou reúso, por exemplo.

O balanço hídrico superficial considerou as vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{95} e Q_{90} anuais, mensais, bimestrais e trimestrais, tendo como resultado o comprometimento hídrico das bacias afluentes ao mesmo nível de detalhamento dos resultados das informações de disponibilidade hídrica disponibilizadas pelo Estudo das Disponibilidades Hídricas na Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (EDH-PS). Todos esses resultados podem ser consultados no banco de dados do presente estudo, no entanto, em termos de relatório, é focada apenas a apresentação dos balanços hídricos anuais e mensais.

Em termos de demandas hídricas consideradas, para facilitar a sensibilidade e interpretação dos resultados, foram rodados apenas cenários considerando a cena atual de demandas hídricas e o cenário de Maior Pressão (cena futura com horizonte de 20 anos – 2045). Porém, os dados apresentados no banco de dados possibilitam a execução dos demais cenários e horizontes.

Adicionalmente, foram considerados cenários de critérios de outorga. Em Minas Gerais, de acordo com a Portaria IGAM no 48, de 04 de outubro de 2019, “a vazão de referência a ser utilizada para o cálculo das disponibilidades hídricas superficiais no Estado de Minas

Gerais é a vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência – $Q_{7,10}$ ”. O mesmo ocorre com o estado de São Paulo, onde a Agência de Águas do Estado de São Paulo (SP Águas), que substituiu o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) emprega a $Q_{7,10}$ como base para concessão de outorgas (DAEE, 2017). Já para o estado do Rio de Janeiro, a vazão de referência utilizada é Q_{95} . Em rios de domínio da União, a vazão de referência estabelecida pela ANA é a Q_{95} . Ao aplicar um critério de outorga no balanço hídrico, trata-se de um cenário hipotético, dado que o valor outorgável limitará a retirada nas ottobacias para atendimento do limite outorgável, mantendo a jusante o fluxo residual mínimo. O Quadro 7-2 resume os critérios de outorga de cada estado e dos rios federais.

No Quadro 7-3 é apresentado um resumo dos cenários considerados no balanço hídrico superficial. Constan no banco de dados um total de 188 resultados de balanço hídrico, considerando as diferentes vazões de referência, suas sazonalidades e variações das demandas hídricas. Destaca-se que se for de interesse rodar mais algum cenário de variação de demanda hídrica, ou algum outro critério de outorga, é possível utilizar o código disponibilizado em

Python e o manual “Manual do Código de Balanço Hídrico” disponibilizado em conjunto a este documento.

Quadro 7-2 – Regras de outorga consideradas em cada estado e em rios de domínio da união.

Ato Legal	Órgão Gestor	Vazão de Referência	Vazão máxima outorgável
Portaria IGAM Nº 48, 09/2019	IGAM/MG	Q _{7,10}	50% da Q _{7,10}
Resolução INEA Nº 162, 12/2018	INEA/RJ	Q ₉₅	40% da Q ₉₅
Instrução Técnica DPO nº 12, 05/2017	SP Águas (Antigo DAEE)	Q _{7,10}	50% da Q _{7,10}
Nota Técnica Nº 75/2020/SPR	ANA – Águas de domínio da União	Q ₉₅	70% da Q ₉₅

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-3 – Resumo dos cenários considerados no balanço hídrico superficial.

Vazão de referência	Cenário de disponibilidade	Sazonalidade	Cenário de Demanda e Horizonte	Quantidade de Cenários
Q ₉₀	Período Histórico (1977-2021)	Anual, Mensal, Bimestral e Trimestral	Atual e Maior Pressão (20 anos)	46
Q ₉₅				46
Q _{7,10}				46
Q ₉₅ - Critério Outorga 40%			Atual	23
Q _{7,10} - Critério Outorga 50%				23
Q ₉₅	Condição de escassez hídrica	Anual	Atual	1
Q _{7,10}				1
Q ₉₅	Condição de escassez hídrica	Anual	Atual, priorização de usos	1
Q _{7,10}				1

Fonte: elaborado pelo Consórcio

De forma complementar, foi realizado, também, o balanço hídrico de águas subterrâneas. Nesse caso, para fins de análise do balanço entre oferta e demanda (Equação 2) foram aplicadas as faixas de comprometimento hídrico apresentadas no Quadro 7-4, que está de acordo com o estabelecido por Conselho de Recursos Hídricos (CRH) de São Paulo (CRH, 2020). São consideradas em condição de escassez as faixas “crítica” e “muito crítica” em que o percentual comprometido de demandas é superior a 50% das ofertas hídricas existentes. A discretização dos resultados é feita por Sub-bacia.

$$\text{Balanço} = \frac{\text{Demandas Subterrânea}}{Q_{95} - Q_{7,10}} \quad \text{Equação 2}$$

Quadro 7-4 – Índices utilizados para a análise de balanço hídrico subterrâneo

Demanda subterrânea em relação às reservas explotáveis	Classificação
< 5%	Boa condição de disponibilidade; pouca atividade de gerenciamento é necessária.
5 a 30%	Situação potencialmente preocupante, devendo ser desenvolvidas ações de gerenciamento para solução de problemas locais.
30 a 50%	Situação preocupante; a atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios.

Demanda subterrânea em relação às reservas explotáveis	Classificação
50 a 100%	Situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos.
> 100%	Situação muito crítica, em que atividades de gerenciamento e de investimentos e realocação de demandas são necessárias de forma urgente.

Fonte: elaborado pelo Consórcio

7.2. BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA A CENA ATUAL NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

A seguir, a Figura 7-1, Figura 7-2 e Figura 7-3 apresentam os resultados espacializados de balanço hídrico anual para as vazões Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente. Nota-se que as regiões com altos índices de comprometimento possuem pouca variação entre as diferentes vazões de referência, alterando basicamente sua intensidade e extensão.

Figura 7-1 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₀, Cena Atual – Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul

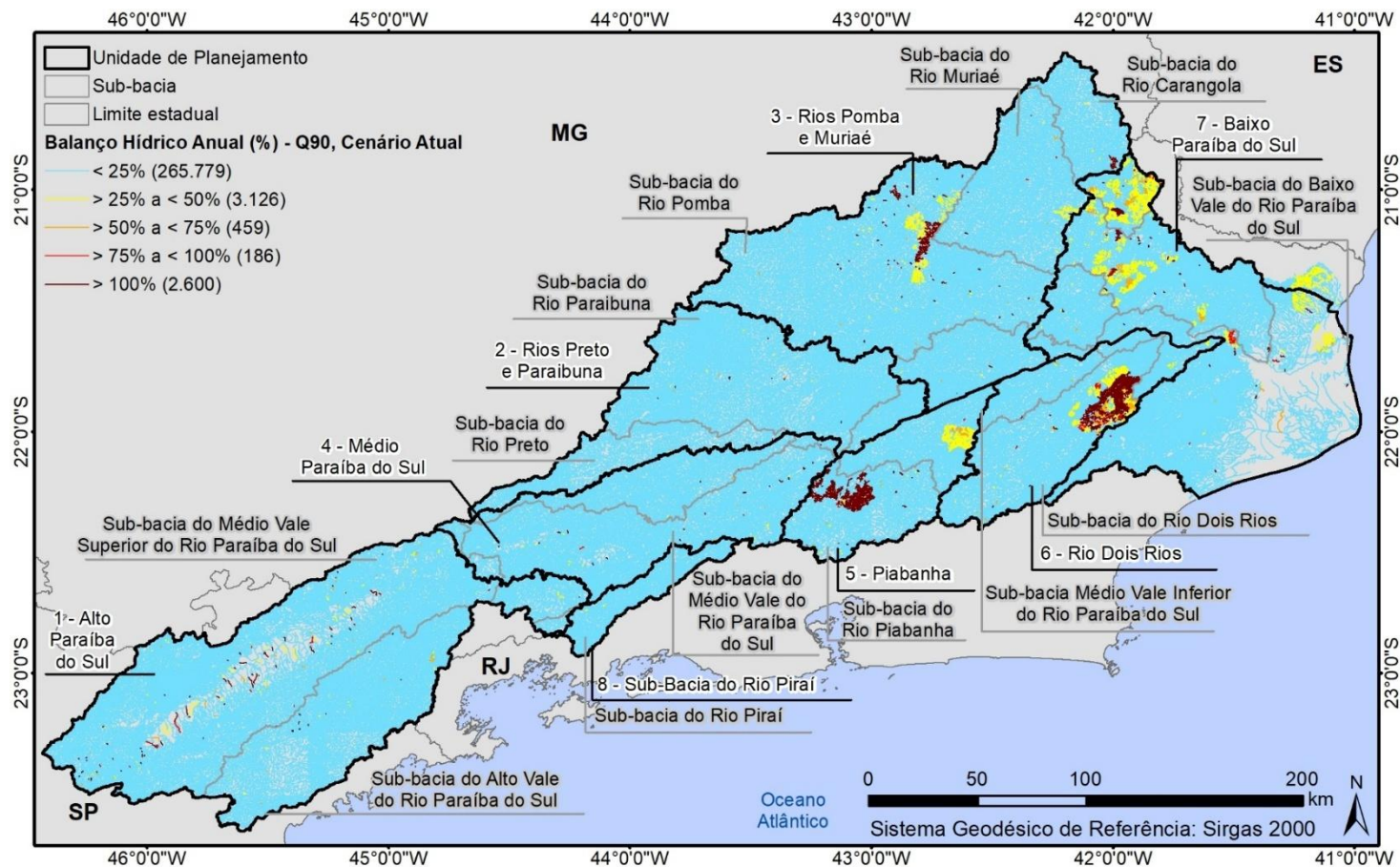


Figura 7-2 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul

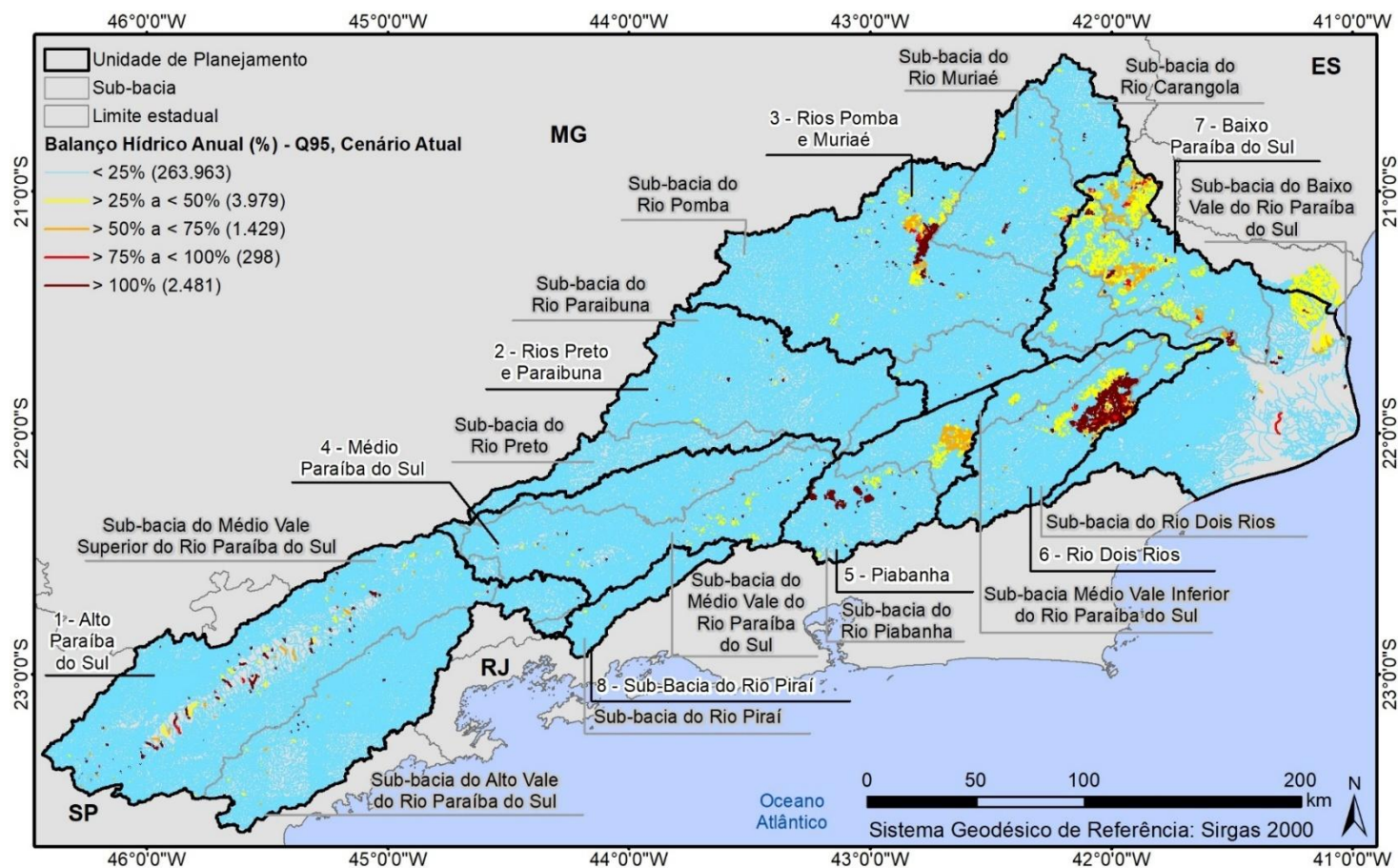
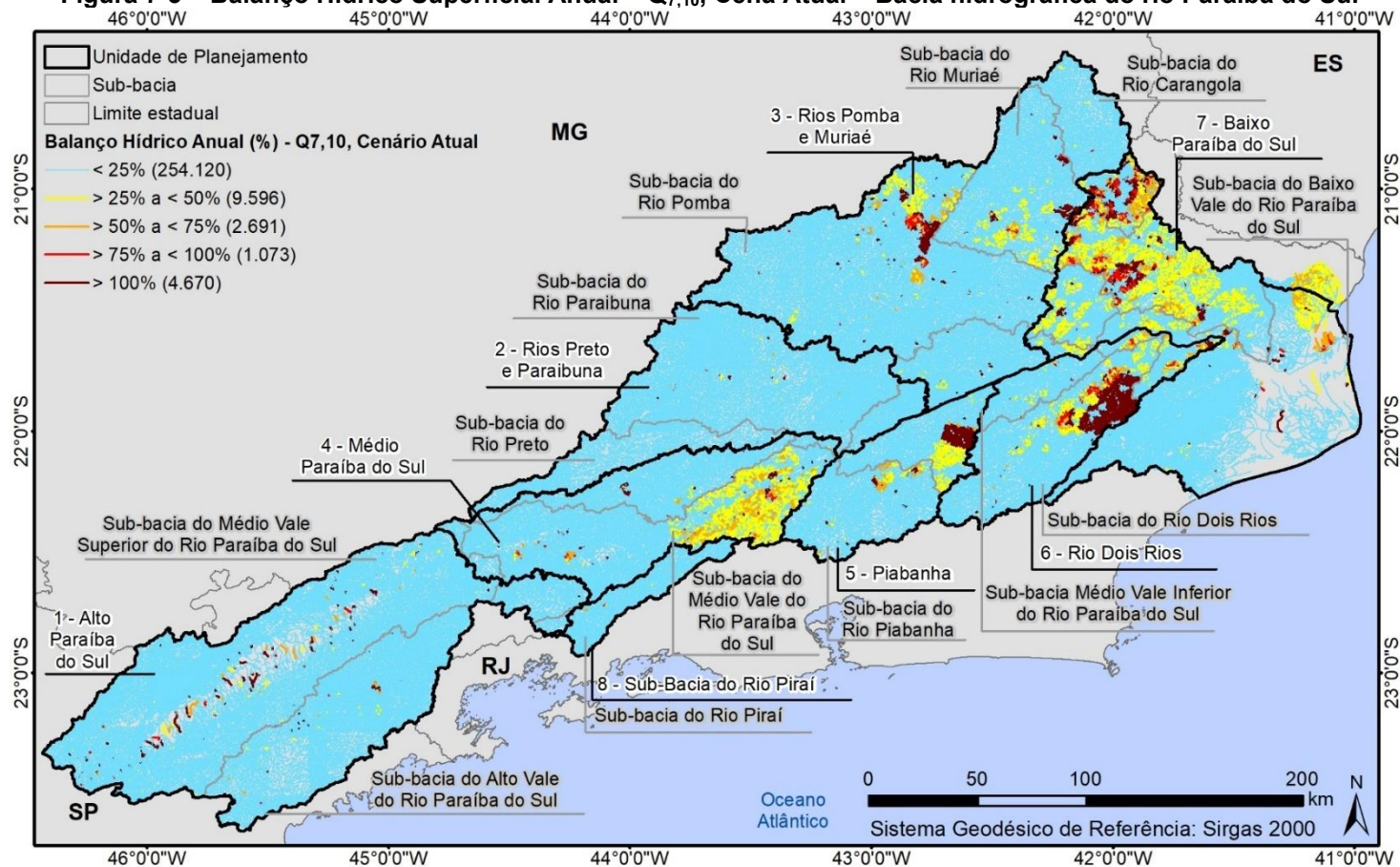


Figura 7-3 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Cena Atual – Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul



7.3. BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA A CENA ATUAL POR UNIDADE DE PLANEJAMENTO

A desagregação dos resultados do balanço hídrico anual por Unidade de Planejamento (UP) permite identificar padrões espaciais relevantes, essenciais para o direcionamento de ações específicas de gestão. O Quadro 7-5, Quadro 7-6 e Quadro 7-7 apresentam a distribuição percentual das ottobacias por classes de comprometimento hídrico, com base nas vazões de referência Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente, para cada Unidade de Planejamento.

De forma geral, para as vazões Q_{90} e Q_{95} a maioria das UPs apresenta acima de 90% de ottobacias com demandas inferiores a 25% das disponibilidades, indicando uma cena geral de baixa pressão hídrica. Já para a $Q_{7,10}$ há um aumento considerável na criticidade das ottobacias, o que é esperado, já que se trata de uma vazão indicativa de um cenário de maior escassez hídrica.

Observa-se que os percentuais de comprometimento hídrico das ottobacias apresentam certa estabilidade entre as Unidades de Planejamento (UPs) nas diferentes vazões de referência, com variações geralmente discretas nos níveis de criticidade. No entanto, algumas UPs se destacam por oscilações mais expressivas: no

Médio Paraíba do Sul, por exemplo, a proporção de ottobacias com comprometimento inferior a 25% — indicativo de baixa pressão hídrica — cai de aproximadamente 99% nos cenários de Q_{90} e Q_{95} para 90,93% na $Q_{7,10}$, revelando um avanço das faixas intermediárias de criticidade; na UP do Piabanha, observa-se um comportamento flutuante nas ottobacias em déficit hídrico (>100% de comprometimento): o valor é de 1,65% com base na Q_{95} , mas salta para 5,13% na Q_{90} , e recua para 4,11% na $Q_{7,10}$; a UP do Rio Dois Rios exibe altos níveis de comprometimento em todas as vazões analisadas, com destaque para a $Q_{7,10}$, na qual apenas 82,66% das ottobacias permanecem em condição confortável (<25% de comprometimento), enquanto 9,43% já operam em déficit; por fim, a UP do Baixo Paraíba do Sul também apresenta variações significativas, com presença constante de ottobacias nas faixas intermediárias em todos os cenários. Já na $Q_{7,10}$, os valores mais elevados ocorrem na faixa entre 25% e 50% de comprometimento (11,05% das ottobacias), além de 2,80% das ottobacias em déficit hídrico, configurando um aumento relevante da pressão sobre os recursos hídricos nessa condição de vazão crítica.

Quadro 7-5 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, na cena atual, por Unidade de Planejamento, Q₉₀

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento							
	Alto Paraíba do Sul	Rios Preto e Paraibuna	Rios Pomba e Muriaé	Médio Paraíba do Sul	Piabanha	Rio Dois Rios	Baixo Paraíba do Sul	Sub-bacia do Rio Pirai
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,72%	99,92%	98,71%	99,74%	92,19%	90,52%	95,00%	99,96%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,10%	0,03%	0,59%	0,08%	2,40%	2,66%	2,70%	0,04%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,05%	0,01%	0,04%	0,02%	0,22%	0,79%	0,28%	0,00%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,06%	0,41%	0,10%	0,00%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,11%	0,03%	0,64%	0,15%	5,13%	5,63%	0,29%	0,00%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-6 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, na cena atual, por Unidade de Planejamento, Q₉₅

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento							
	Alto Paraíba do Sul	Rios Preto e Paraibuna	Rios Pomba e Muriaé	Médio Paraíba do Sul	Piabanha	Rio Dois Rios	Baixo Paraíba do Sul	Sub-bacia do Rio Pirai
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,74%	99,90%	98,40%	99,51%	93,45%	88,02%	92,30%	99,94%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,07%	0,05%	0,65%	0,35%	2,45%	3,17%	3,65%	0,04%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,05%	0,02%	0,25%	0,02%	2,40%	0,78%	1,11%	0,02%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,02%	0,003%	0,08%	0,01%	0,04%	0,51%	0,18%	0,00%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,13%	0,03%	0,62%	0,11%	1,65%	7,52%	0,25%	0,00%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-7 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, na cena atual, por Unidade de Planejamento, Q_{7,10}

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento							
	Alto Paraíba do Sul	Rios Preto e Paraibuna	Rios Pomba e Muriaé	Médio Paraíba do Sul	Piabanha	Rio Dois Rios	Baixo Paraíba do Sul	Sub-bacia do Rio Pirai
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,64%	99,90%	96,92%	90,93%	89,08%	82,66%	81,84%	99,90%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,10%	0,03%	1,49%	6,35%	5,98%	4,90%	11,05%	0,06%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,06%	0,02%	0,36%	2,06%	0,76%	1,92%	2,92%	0,02%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,03%	0,01%	0,20%	0,25%	0,07%	1,08%	1,40%	0,02%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,18%	0,04%	1,02%	0,41%	4,11%	9,43%	2,80%	0,00%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

A partir das informações apresentadas do Quadro 7-5 ao Quadro 7-7, é possível identificar as bacias hidrográficas que apresentam maior potencial hídrico em termos de ottobacias com disponibilidade para novas captações. Nesse sentido, para essa análise, parte-se do Quadro 7-6 que apresenta os resultados do balanço hídrico para a vazão de referência Q_{95} e pode ser construído o Quadro 7-8, sintetizando o percentual de ottobacias com comprometimento inferior ou superior a 50%, em função da disponibilidade hídrica para a vazão de referência Q_{95} .

Assim, observa-se que, de acordo com o quadro em questão, percentualmente, tem-se que as bacias dos rios Piabanha, Dois Rios e Baixo Paraíba do Sul são as que têm o menor potencial de áreas com disponibilidade hídrica para novas captações. Por outro lado, as UPs Alto e Médio Paraíba do Sul, Preto e Paraibuna, Pomba e Muriaé e Piraí apresentam mais de 99% das ottobacias com comprometimento inferior a 50% da Q_{95} , indicando potencial de disponibilidade para novos usos.

Quadro 7-8 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, na cena atual, por Unidade de Planejamento

Faixas de Balanço Hídrico / UP	Ottobacias com Demandas < 50%	Ottobacias com Demandas >50% das Disponibilidades
Alto Paraíba do Sul	99,81%	0,20%
Rios Preto e Paraibuna	99,95%	0,05%
Rios Pomba e Muriaé	99,05%	0,95%
Médio Paraíba do Sul	99,86%	0,14%
Piabanha	95,90%	4,09%
Rio Dois Rios	91,19%	8,81%
Baixo Paraíba do Sul	95,95%	1,54%
Sub-bacia do Rio Piraí	99,98%	0,02%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

A seguir, será apresentada a espacialização dos resultados em cada uma das Unidades de Planejamento analisadas. Os resultados serão analisados em todas as UPs para a vazão de referência Q_{95} , pois trata-se da vazão de referência utilizada pela ANA. Além disso, nas UPs que possuem como vazão de referência a $Q_{7,10}$ (Alto Paraíba do Sul, Preto e Paraibuna e Pomba e Muriaé), também serão apresentados tais resultados.

Em relação ao Alto Paraíba do Sul (Figura 7-4 Q_{95} e Figura 7-5 $Q_{7,10}$), nota-se que os trechos nos quais existe alguma criticidade no balanço hídrico estão de forma geral localizados em afluentes do rio Paraíba do Sul. Para a $Q_{7,10}$ especificamente, nota-se uma pequena

concentração de trechos críticos entre os municípios de Cunha e Lagoinha. Além disso, essa é a região mais a montante da bacia hidrográfica, e possui um papel fundamental ao regularizar (a partir de diferentes reservatórios) as vazões que são propagadas para jusante, impactando diretamente no restante do trecho principal do Paraíba do Sul.

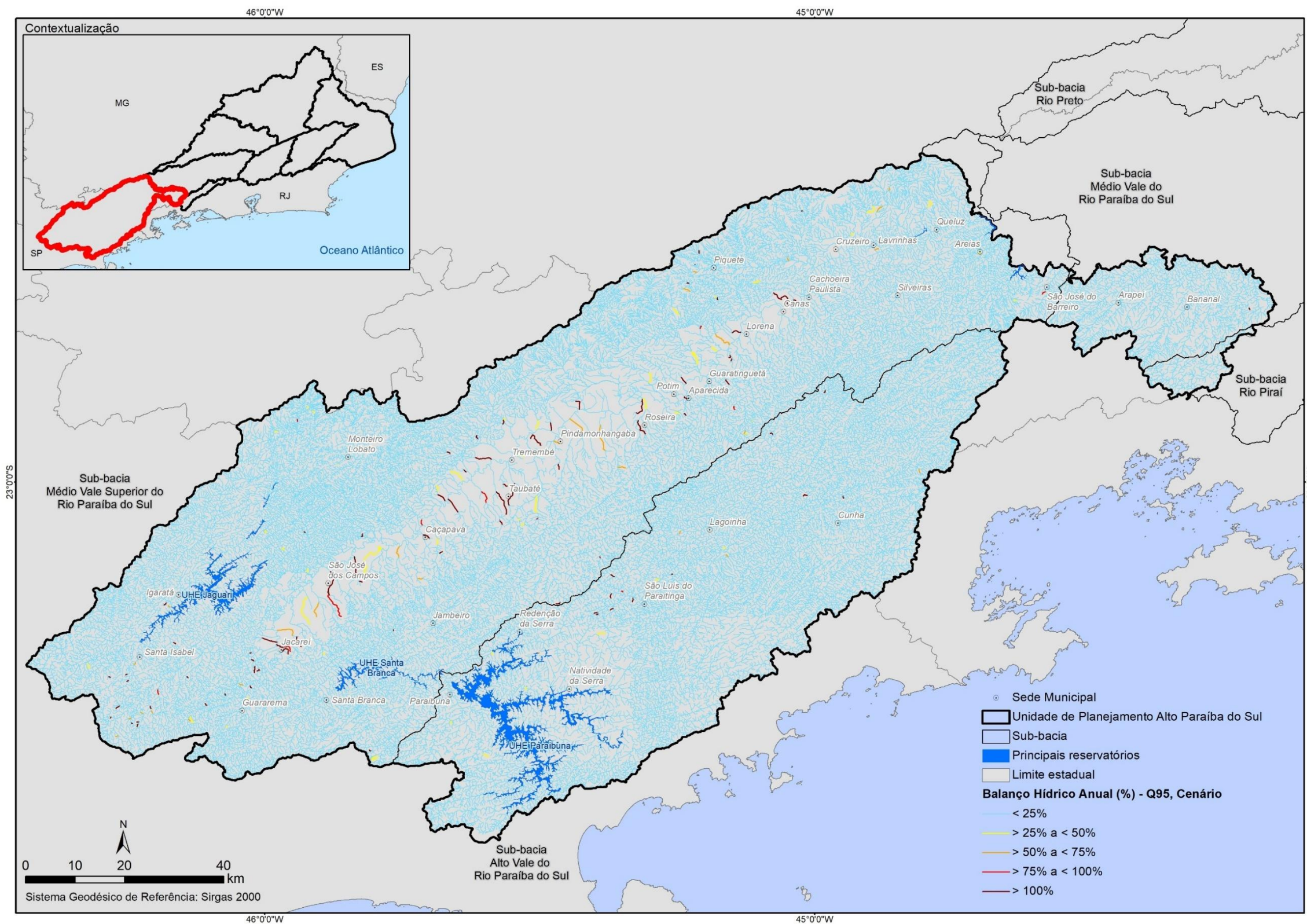
A UP dos Rios Preto e Paraibuna (Figura 7-6 Q_{95} e Figura 7-7 $Q_{7,10}$) apresenta o menor índice de comprometimento: 99,9% de suas ottobacias estão na faixa de menos de 25% de comprometimento em todas as vazões de referência. Tal região possui grande destaque na produção hídrica da bacia, já que após suas demandas entrega na junção do rio Paraibuna com o Paraíba do Sul uma vazão de aproximadamente 66 m³/s na Q_{95} e 52 m³/s na $Q_{7,10}$, com forte superávit hídrico.

Por outro lado, ainda tratando das UPs que possuem vazão de referência de outorgas $Q_{7,10}$, a UP Rios Pomba e Muriaé (Figura 7-8 Q_{95} e Figura 7-9 $Q_{7,10}$) apresenta maiores índices de ottobacias em situações críticas. Foram identificadas para a $Q_{7,10}$ 1,02% das ottobacias em déficit e 2,05% em faixas intermediárias (25%–100%), o que indica uma tendência de agravamento caso não sejam

implementadas medidas de gestão preventiva. Tais tendências podem ser observadas nos afluentes do rio Xopotó e do rio Muriaé. Este, apesar de nascer na UP dos Rios Pomba e Muriaé, tem a maior parte de sua extensão na UP do Baixo Paraíba do Sul, e nela possui maior grau de criticidade em seus afluentes.

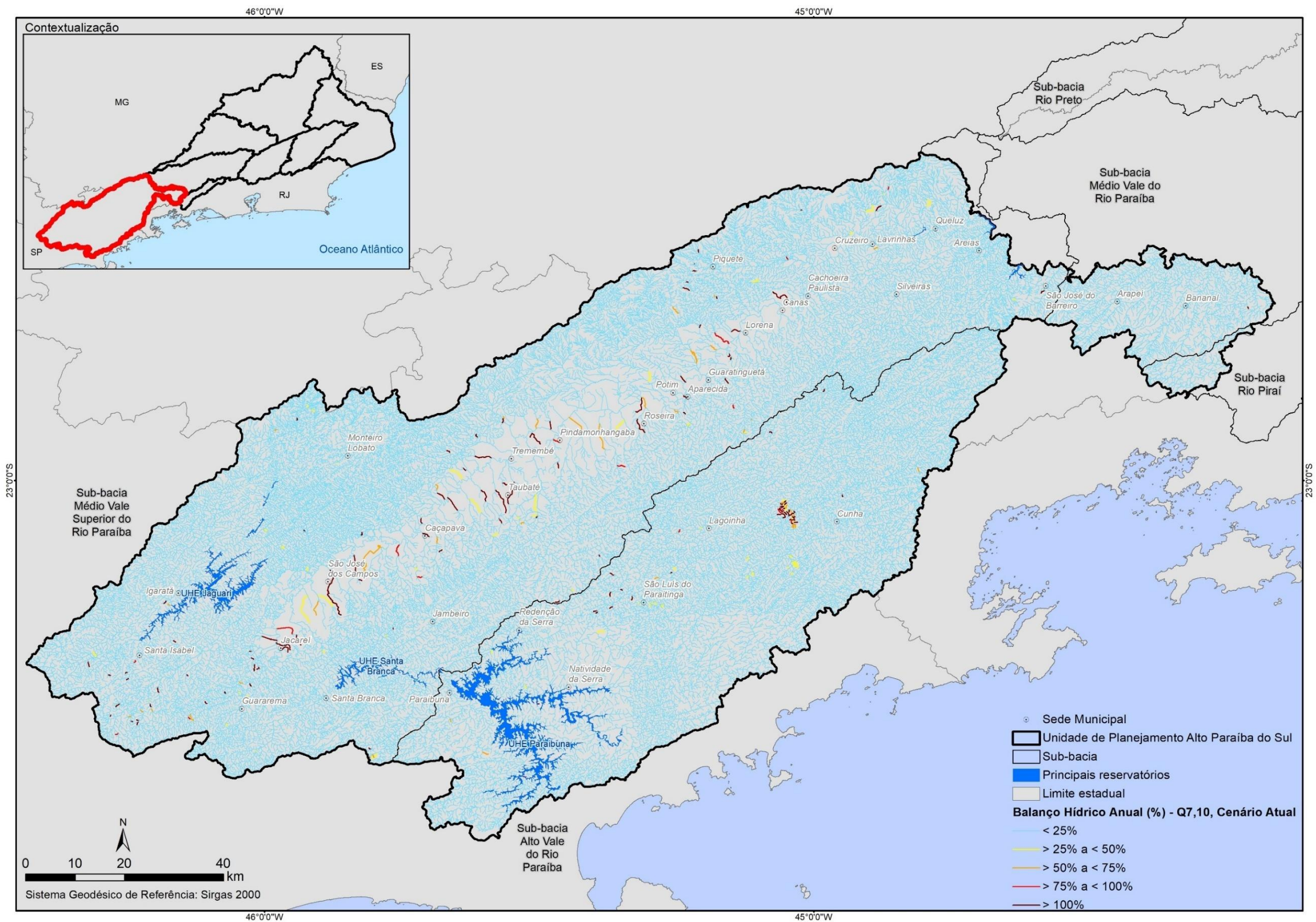
Assim, nos mapas da Figura 7-4 até a Figura 7-14 são apresentados os resultados espacializados do balanço hídrico, indicando os trechos que ainda possuem potencial de disponibilidade hídrica para atendimento a novos usos, podendo ser destacados aqueles nas faixas 1 (abaixo de 25% de comprometimento) e 2 (entre 25% e 50% de comprometimento). Como já exposto anteriormente do Quadro 7-5 ao Quadro 7-7 e a síntese mostrada no Quadro 7-8, bacias como o Alto e Médio Paraíba do Sul, Pomba e Muriaé e Preto e Paraibuna são as que apresentam maior potencial em termos de ottobacias com disponibilidade para novas captações.

Figura 7-4 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Alto Paraíba do Sul



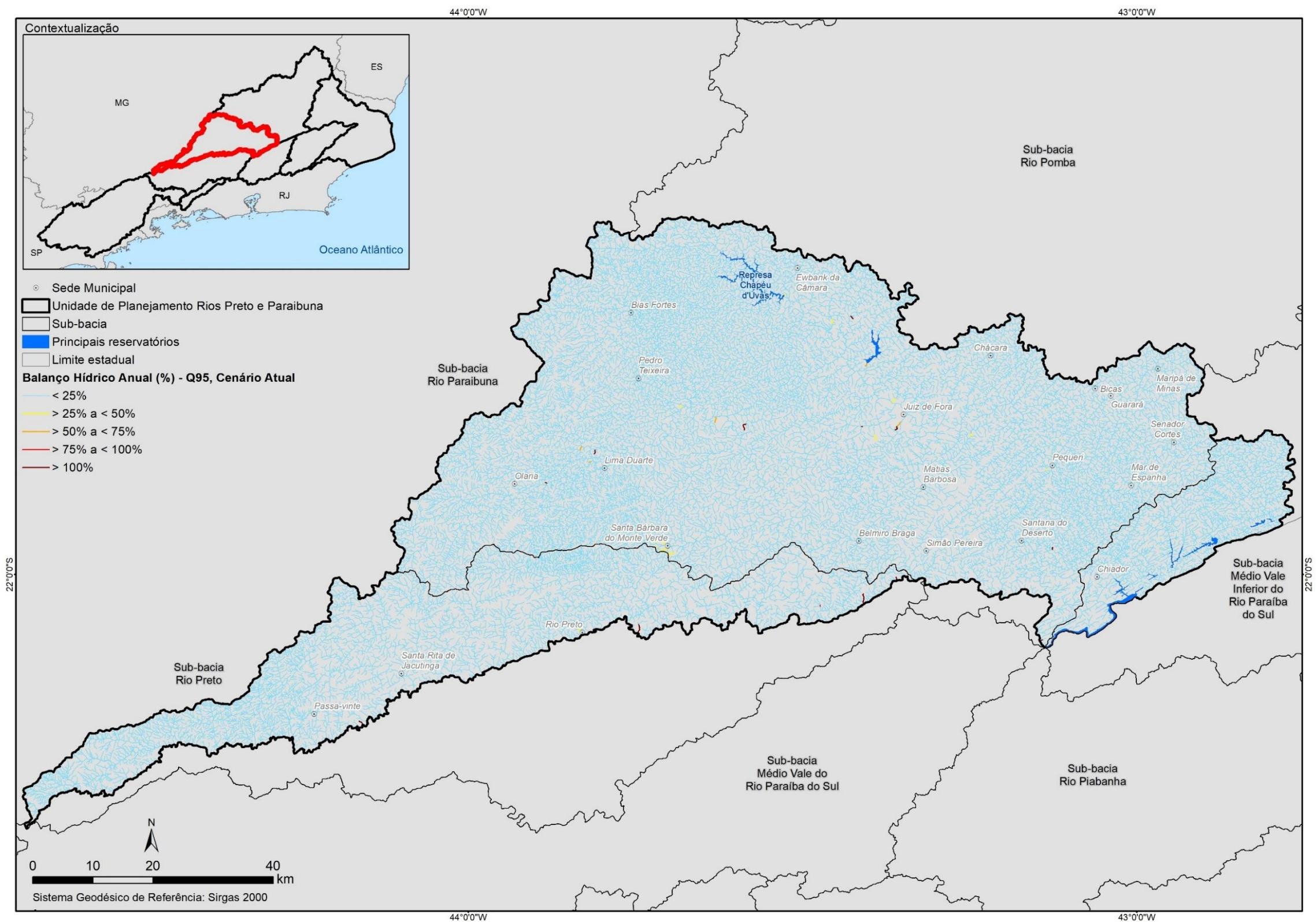
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-5 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Cena Atual – UP Alto Paraíba do Sul



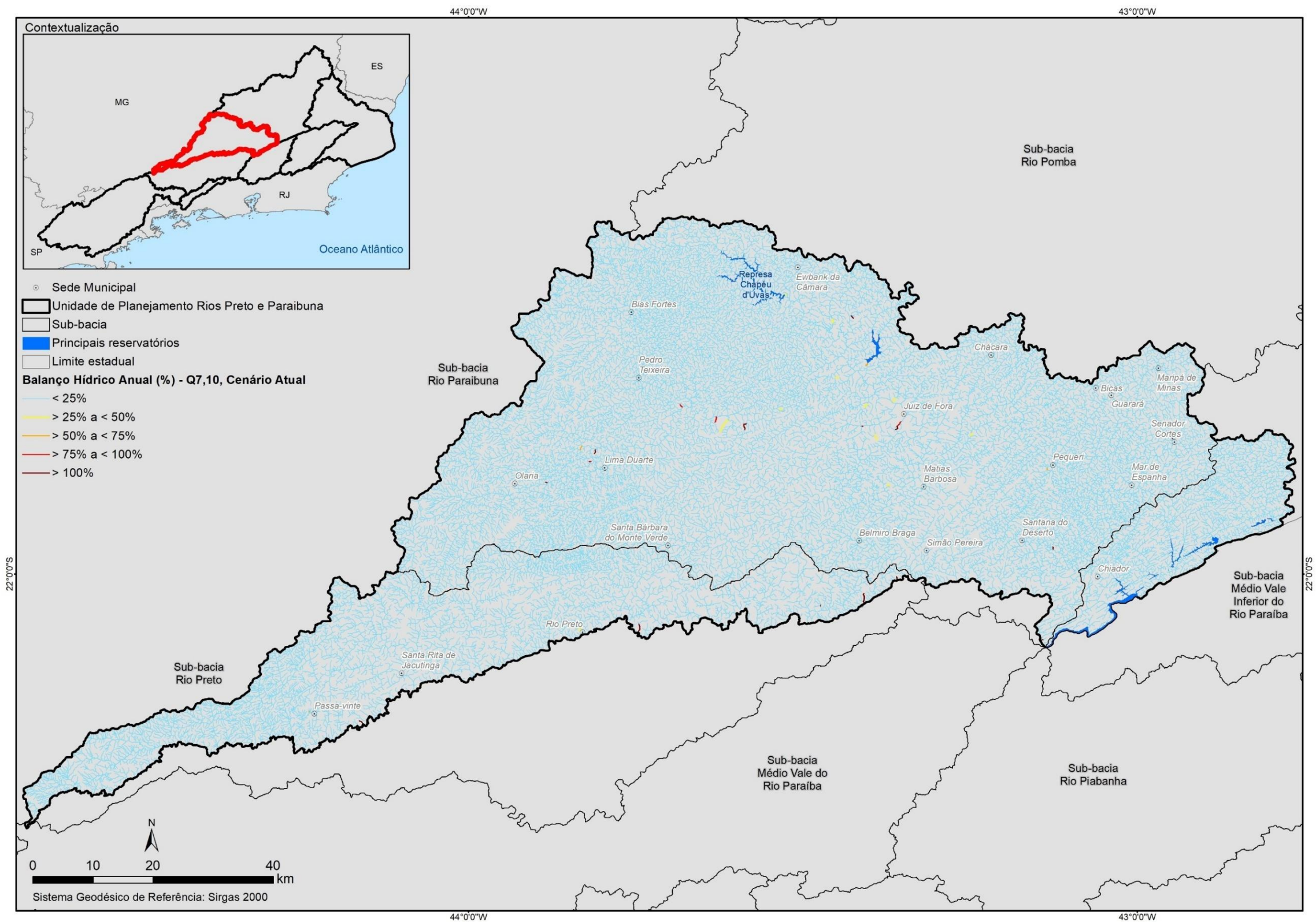
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-6 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Preto e Paraibuna



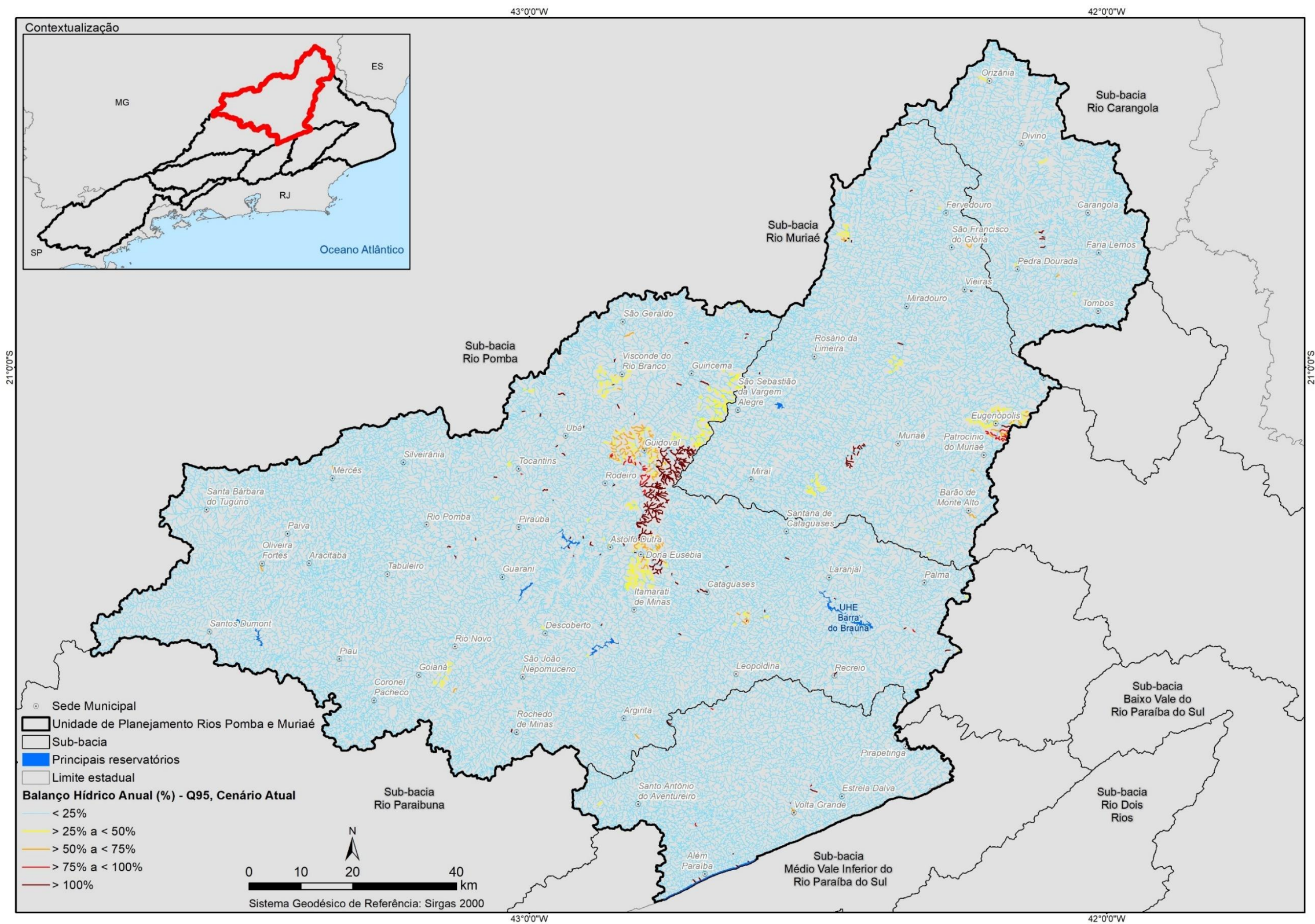
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-7 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Cena Atual – UP Preto e Paraíba



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-8 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Pomba e Muriaé



Fonte: elaborado pelo Consórcio

A UP do Médio Paraíba do Sul (Figura 7-10), apesar de ter alta concentração industrial (indústrias automobilísticas, principalmente), apresenta um baixo índice de comprometimento, com trechos críticos espalhados em pontos específicos. Observam-se trechos com comprometimento intermediário entre os municípios de Barra do Piraí e Paraíba do Sul. Destaca-se a presença da Companhia Siderúrgica Nacional, que apresenta uma demanda superficial de 3,8 m³/s. Além disso, em termos de disponibilidade hídrica, esta região depende diretamente da regularização dos reservatórios citados anteriormente.

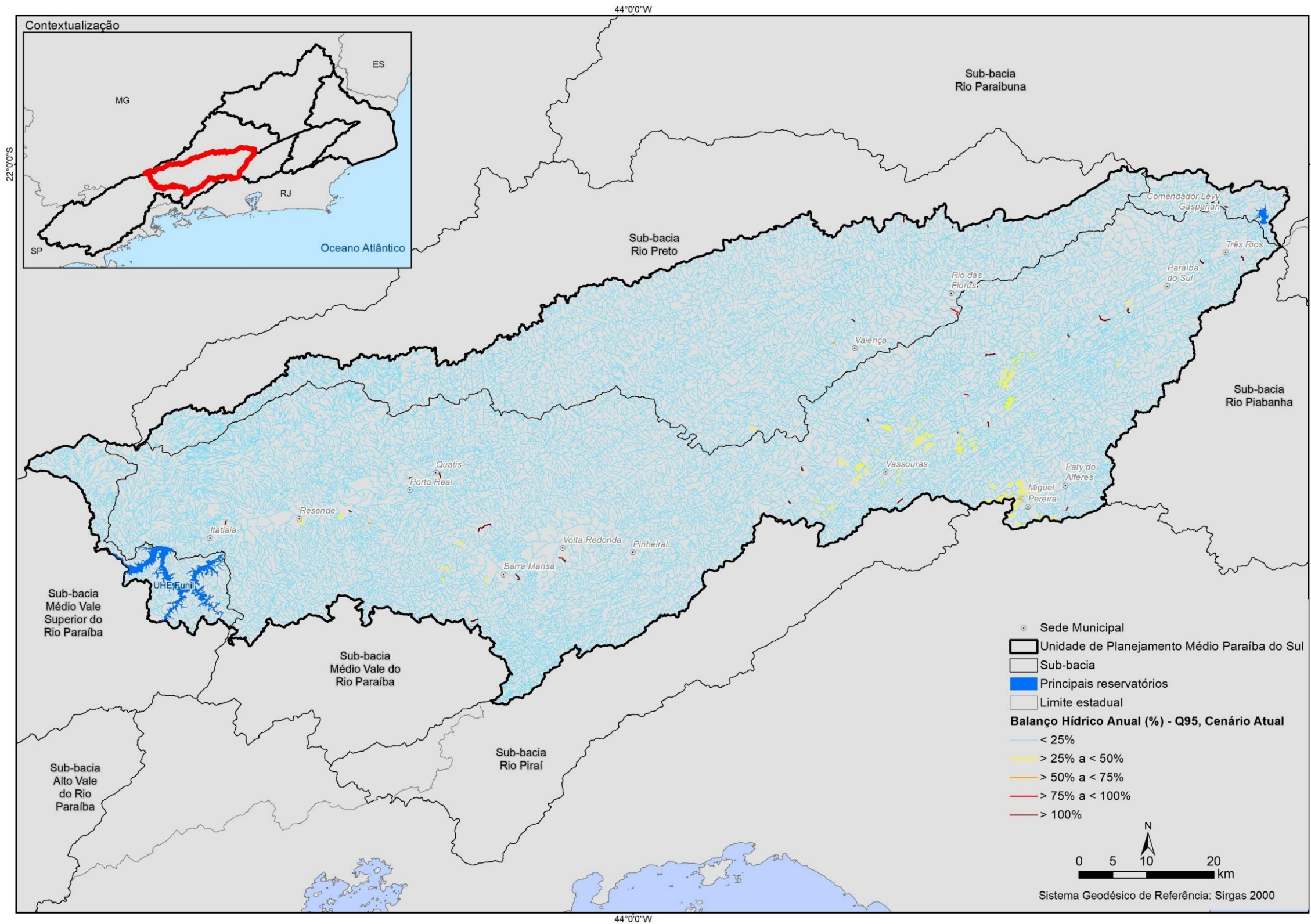
Já a UP Piabanha (Figura 7-11) demanda atenção especial, possuindo na Q₉₅ 4,85% de suas bacias na faixa entre 25% e 75% de comprometimento, assim como 1,65% já em déficit hídrico. A região do rio Preto e seus afluentes apresenta a maior concentração de déficits hídricos. Já para os índices de comprometimento entre 25% e 75%, nota-se que sua distribuição está especialmente localizada no rio Paquequer e em seus afluentes, indicando a necessidade de ações para que tais índices não atinjam patamares mais críticos no futuro.

A UP Rio Dois Rios (Figura 7-12) concentra a situação mais crítica da bacia, com 88,02% de suas ottobacias na faixa de menor pressão e 7,52% em situação de déficit hídrico para a Q₉₅, o maior valor observado. Observa-se que esta criticidade se concentra principalmente nos afluentes do rio Grande. Tendo em vista o baixo índice de demandas superficiais na UP (1,77 m³/s no total, com destaques para abastecimento urbano, 0,96 m³/s, e irrigação, 0,43 m³/s), observa-se que tais balanços em altas faixas de criticidade advêm das baixas disponibilidades hídricas, especialmente nos ottotuchos de primeira ordem (que somam aproximadamente 50% dos trechos nesta UP). Em termos regionais, a vazão do rio principal da região crítica (afluentes do rio Grande), é de cerca de 9 m³/s na sua junção com o rio Negro, frente a uma demanda acumulada de apenas 0,8 m³/s. Esse dado evidencia que grande parte dos trechos críticos se encontram nos afluentes do rio Grande, principalmente nos trechos entre os municípios de Santa Maria Madalena e São Sebastião do Alto.

No Baixo Paraíba do Sul (Figura 7-13), por outro lado, há o segundo menor percentual de ottobacias na primeira faixa, 92,3% do total na Q₉₅. As demais estão distribuídas nas faixas intermediárias de criticidade, entre 25% a 75% de comprometimento hídrico, indicando

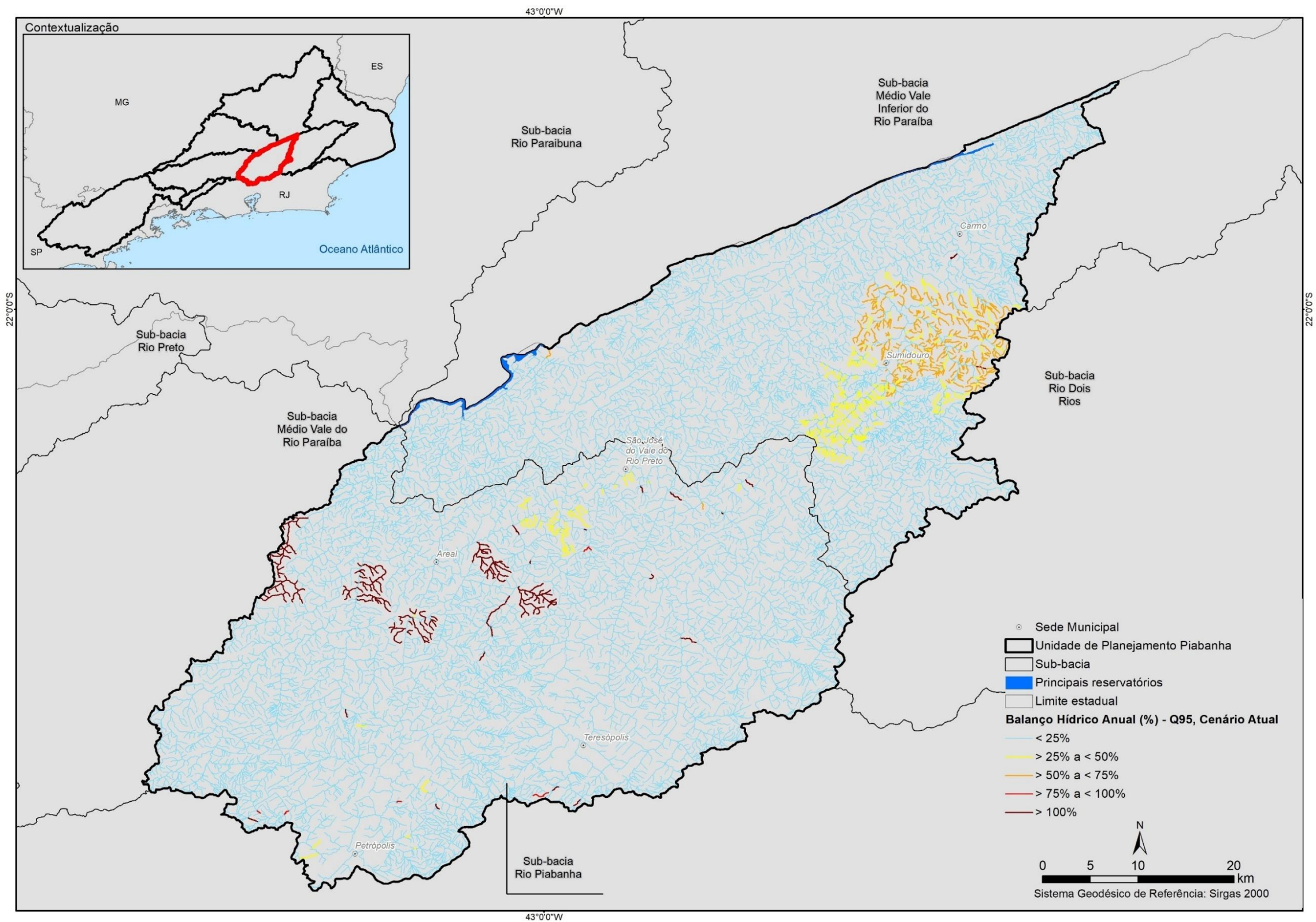
que se medidas de gestão de usos e ocupação não forem tomadas, tais áreas podem sofrer algum tipo de déficit hídrico no futuro. Tais regiões envolvem principalmente o rio Muriaé em sua porção na UP do Baixo Paraíba do Sul, com demandas significativas nos setores de irrigação, abastecimento urbano e dessedentação animal.

Figura 7-10 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Médio Paraíba do Sul



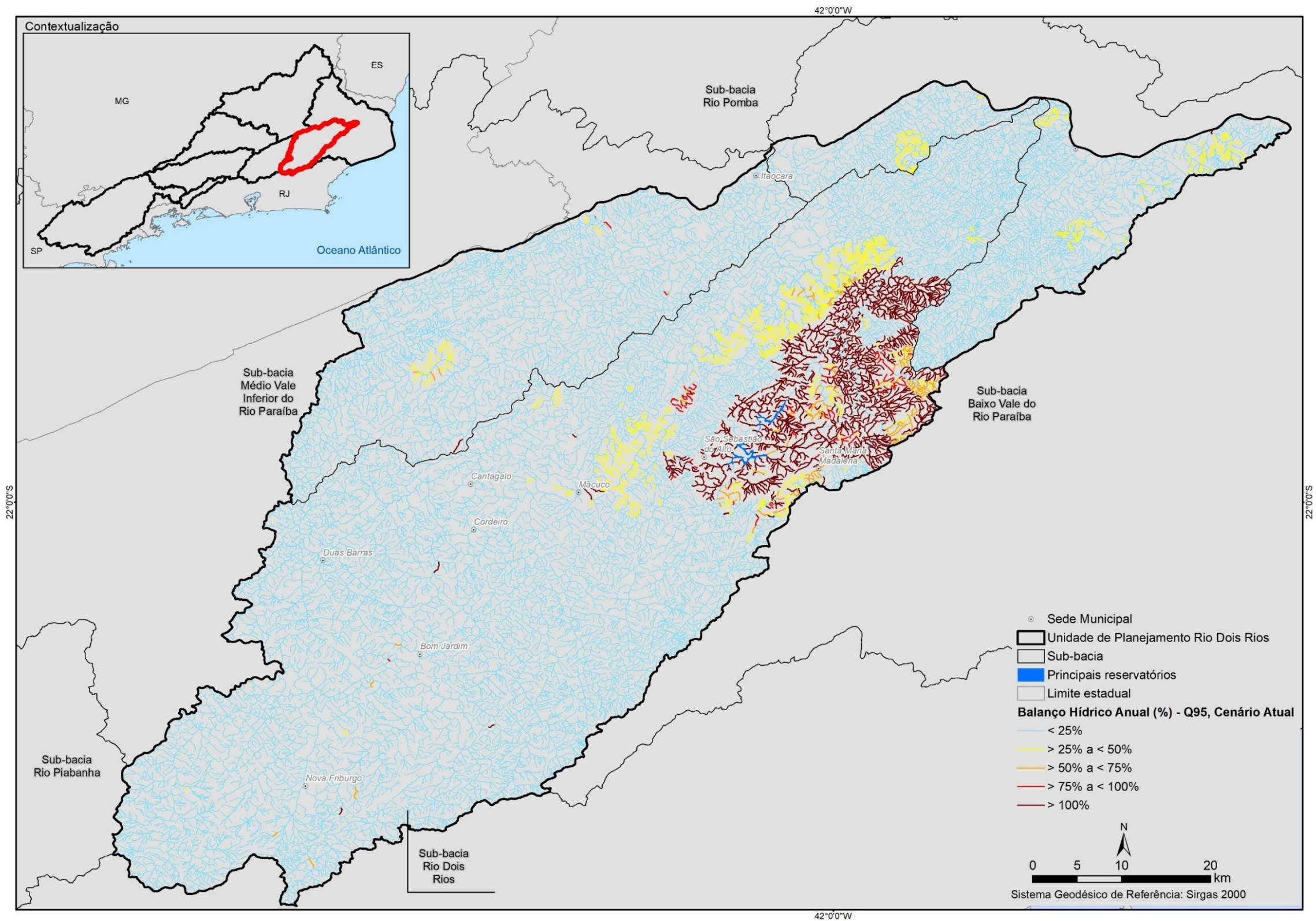
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-11 – Balanço Hídrico Superficial Anual, Cena Atual – Q₉₅– UP Piabanha



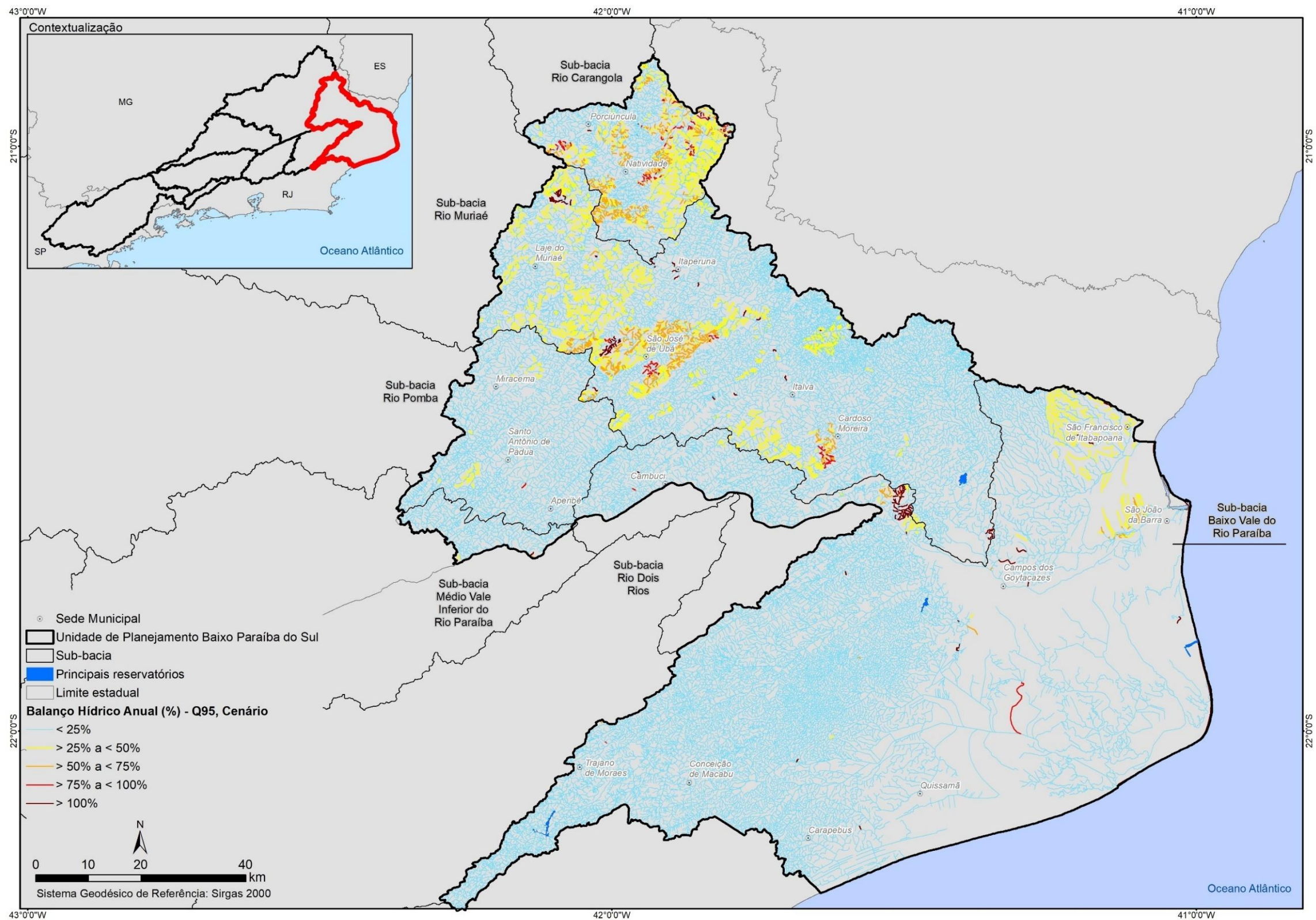
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-12 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Rio dois Rios



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-13 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Baixo Paraíba do Sul

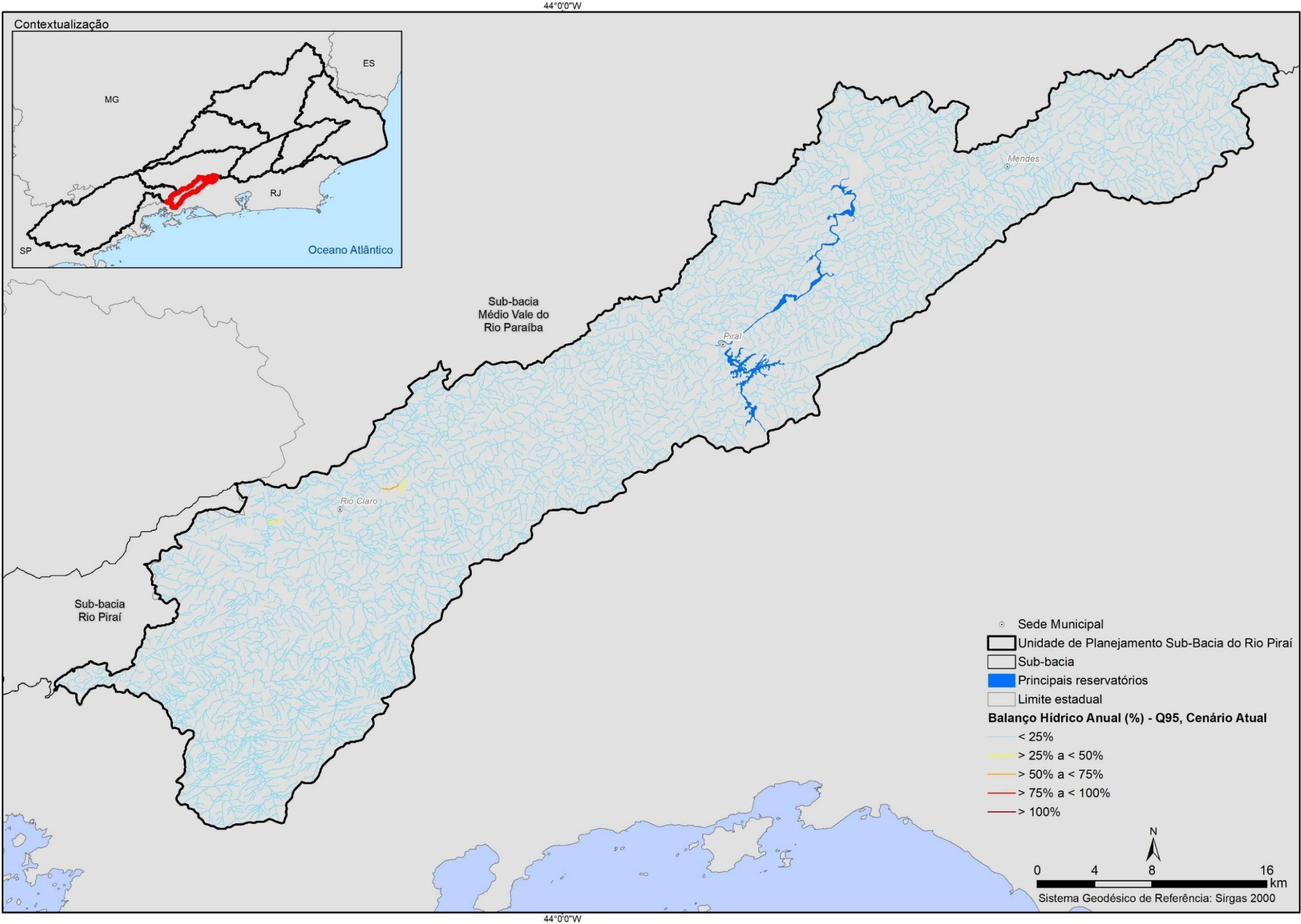


Fonte: elaborado pelo Consórcio

A região da Sub-bacia do Rio Pirai (Figura 7-14) também apresenta baixo nível de comprometimento, com praticamente todas suas sub-bacias no menor nível de criticidade. Tal região exerce papel fundamental na segurança hídrica e atendimento das necessidades da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: uma parte significativa de seu abastecimento é proveniente da transposição de águas da bacia do rio Paraíba do Sul para a bacia do rio Guandu, a partir da estação elevatória de Santa Cecília.

Com base nos resultados do Balanço Hídrico Quantitativo, descritos por UP, são apresentadas, no Quadro 7-9 (Q_{95} para todas as UPs) e Quadro 7-10 ($Q_{7,10}$, nas UPs que a possuem como vazão de referência) a seguir, as peculiaridades das regiões ao longo da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, procurando desta forma sintetizar as informações obtidas.

Figura 7-14 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cena Atual – UP Rio Pirai



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-9 – Análise de resultados do balanço hídrico superficial da cena atual integrada à disponibilidade hídrica (vazão de referência Q_{95})

Unidades de planejamento	Demandas Superficiais ¹		Trechos principais				Observações
	Total (m³/s)	Preponderantes	Ponto analisado	Área de drenagem do ponto (km²)	Disponibilidade hídrica no trecho para a vazão de referência (m³/s) ²	Vazões remanescentes no trecho (m³/s)	
Alto Paraíba do Sul	20,16	Ab. Urbano: 5,63 m³/s; Irrigação: 4,78 m³/s; Mineração: 3,52 m³/s	Rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Paraibuna	4.279	26,79	26,69	Transposição de 5,13 m³/s para fora da BHPS (bacia do rio Piracicaba); depende de regularização dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari
			Rio Paraíba do Sul próximo à entrada do reservatório Funil	13.023	119,1	108,35	
Rios Preto e Paraibuna	3,88	Ab. Urbano: 1,74 m³/s; Mineração: 1,34 m³/s	Rio Preto na confluência com o rio Paraibuna	3.435	26,91	26,41	
			Rio Paraibuna na entrega ao Paraíba do Sul	8.602	67,05	66,48	
Rios Pomba e Muriaé	5,06	Ab. Urbano: 1,76 m³/s; Irrigação: 1,48 m³/s	Rio Pomba na entrega ao Paraíba do Sul	8.569	35,27	34,86	
			Rio Muriaé na entrega ao Paraíba do Sul	8.152	21,83	19,88	
Médio Paraíba do Sul	9,31	Indústria: 4,57 m³/s; Ab. Urbano: 3,12 m³/s	Rio Paraíba do Sul, no barramento de Santa Cecília	16.601	166,4	159,9	Transposição de 119 m³/s para a sub-bacia do rio Pirai
			Rio Paraíba do Sul, previamente ao encontro com os rios Paraibuna e Piabanha	19.487	71,03	70,21	

Unidades de planejamento	Demandas Superficiais ¹		Trechos principais				Observações
	Total (m³/s)	Preponderantes	Ponto analisado	Área de drenagem do ponto (km²)	Disponibilidade hídrica no trecho para a vazão de referência (m³/s) ²	Vazões remanescentes no trecho (m³/s)	
Piabanha	2,55	Ab. Urbano: 0,99 m³/s; Irrigação: 0,92 m³/s	Rio Piabanha na entrega ao Paraíba do Sul	2.067	12,57	12,50	
			Rio Paquequer na entrega ao Paraíba do Sul	757	4,72	3,88	
Rio Dois Rios	1,77	Ab. Urbano: 0,69 m³/s; Irrigação: 0,43 m³/s; Dessedentação animal: 0,26 m³/s	Rio Dois Rios na entrega ao Paraíba do Sul	3.163	13,8	13,33	
Baixo Paraíba do Sul	6,84	Irrigação: 2,41 m³/s; Ab. Urbano: 2,20 m³/s; Dessedentação: 0,60 m³/s	Rio Paraíba do Sul próximo à divisa dos municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco de Itabapoana	55.535	240,74	235,02	
Sub-bacia do Rio Pirai	0,5	Ab. Urbano: 0,27 m³/s; Indústria: 0,13 m³/s	Rio Pirai na entrega ao Paraíba do Sul	1.116	10,79	10,75	Recebe 119 m³/s por transposição, que são enviados para fora da BHPS, para a bacia do rio Guandu

¹ Demandas superficiais sem considerar transposições e evaporação líquida

² Disponibilidades hídricas obtidas do EDH-PS

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-10 – Análise de resultados do balanço hídrico superficial da cena atual integrada à disponibilidade hídrica (UPs com vazão de referência Q_{7,10})

Unidades de planejamento	Demandas Superficiais ¹		Trechos principais				Observações
	Total (m³/s)	Preponderantes	Ponto analisado	Área de drenagem do ponto (km²)	Disponibilidade hídrica no trecho para a vazão de referência (m³/s) ²	Vazões remanescentes no trecho (m³/s)	
Alto Paraíba do Sul	20,16	Ab. Urbano: 5,63 m³/s; Irrigação: 4,78 m³/s; Mineração: 3,52 m³/s	Rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Paraibuna	4.279	21,12	21,02	Transposição de 5,13 m³/s para fora da BHPS (bacia do rio Piracicaba); depende de regularização dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari
			Rio Paraíba do Sul próximo à entrada do reservatório Funil	13.023	81,46	71,00	
Rios Preto e Paraibuna	3,88	Ab. Urbano: 1,74 m³/s; Mineração: 1,34 m³/s	Rio Preto na confluência com o rio Paraibuna	3.435	20,87	20,42	
			Rio Paraibuna na entrega ao Paraíba do Sul	8.602	52,52	52,01	
Rios Pomba e Muriaé	5,06	Ab. Urbano: 1,76 m³/s; Irrigação: 1,48 m³/s	Rio Pomba na entrega ao Paraíba do Sul	8.569	25,42	25,02	
			Rio Muriaé na entrega ao Paraíba do Sul	8.152	13,31	11,43	

¹ Demandas superficiais sem considerar transposições e evaporação líquida

² Disponibilidades hídricas obtidas do EDH-PS

Fonte: elaborado pelo Consórcio

7.4. BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS PARA A CENA FUTURA DE MAIOR PRESSÃO

A seguir, a Figura 7-15, Figura 7-16 e a Figura 7-17 apresentam uma comparação do balanço hídrico na bacia (vazões anuais) entre a cena atual e a cena futura, considerando o cenário mais crítico estudado no Produto 03 – cenário de Maior Pressão no ano de 2045, nas vazões Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$, respectivamente. Destaca-se que as demandas para o cenário de Maior Pressão são maiores quando comparadas à cena atual, tanto pelo aumento no consumo de água na bacia pelos diferentes setores usuários, quanto pela previsão de novos reservatórios (que geram demanda de evaporação líquida). Tendo em vista que na cena atual as dinâmicas de reservatórios já foram consideradas no EDH-PS, são aplicados como novas demandas de evaporação líquida apenas os valores que excedem aqueles da cena atual, ou seja, os que são correspondentes aos novos reservatórios. Em relação à principal transposição da bacia, localizada no barramento de Santa Cecília, foi considerada a manutenção do valor atual de $119 \text{ m}^3/\text{s}$ para as cenas futuras. O valor máximo possível da transposição (de $160 \text{ m}^3/\text{s}$) é indicado para situação de condições hidrológicas favoráveis na bacia, o que não é o caso das vazões mínimas de referência. Já em relação à

transposição do Jaquari, foi considerado um aumento da vazão de transposição, a qual que passa de $5,15 \text{ m}^3/\text{s}$ para $8,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

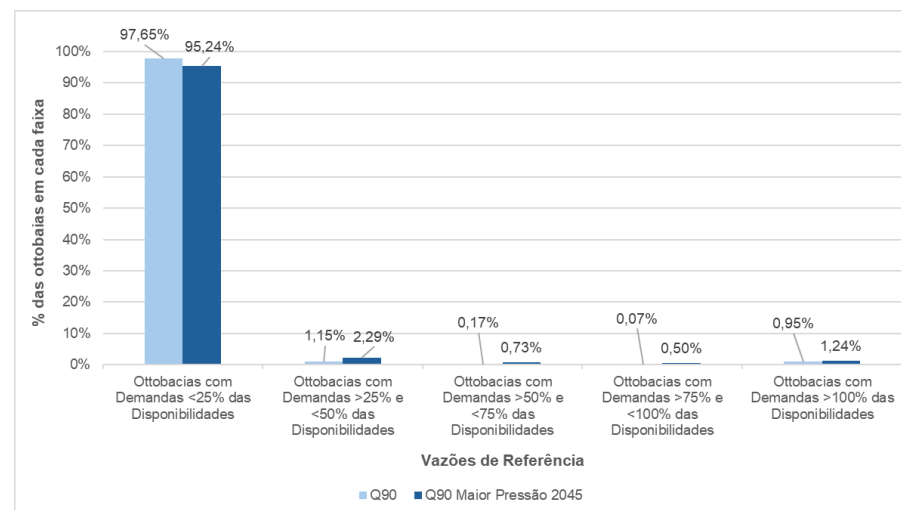
Os resultados evidenciam uma tendência de aumento na criticidade do balanço hídrico da bacia. Nota-se para as vazões Q_{90} e Q_{95} uma queda do percentual de ottobacias na faixa com menos de 25% de comprometimento, porém mantendo-se acima dos 90% na cena futura projetada, indicando a manutenção do relativo conforto hídrico na maior parte da bacia. Para a $Q_{7,10}$, a redução denota uma situação na qual mais de 10% da bacia encontra-se em faixas maiores que os 25% de comprometimento. Essa queda indica um deslocamento progressivo de parte das ottobacias para faixas com maior pressão sobre os recursos hídricos. Ao mesmo tempo, há um crescimento constante da pressão hídrica para as faixas intermediárias, denotando ottobacias que na cena atual não possuíam comprometimento, e que passam a ter suas vazões afetadas.

Em todas as vazões de referência analisadas, observa-se um aumento nas faixas críticas de comprometimento, variando a intensidade do aumento conforme a escassez denotada por cada vazão de referência. A porcentagem de ottobacias em déficit hídrico – demandas maiores que disponibilidades – possui um leve aumento

para a Q_{90} , enquanto mais que dobra nos cenários restantes: na Q_{95} , passa de 0,91% para 1,95%, e na $Q_{7,10}$, de 1,71% para 3,55%. Esses valores revelam um potencial crescimento de áreas com risco de escassez e de conflitos pelo uso da água, sobretudo sob condições hidrológicas mais restritivas representadas pelas vazões de referência.

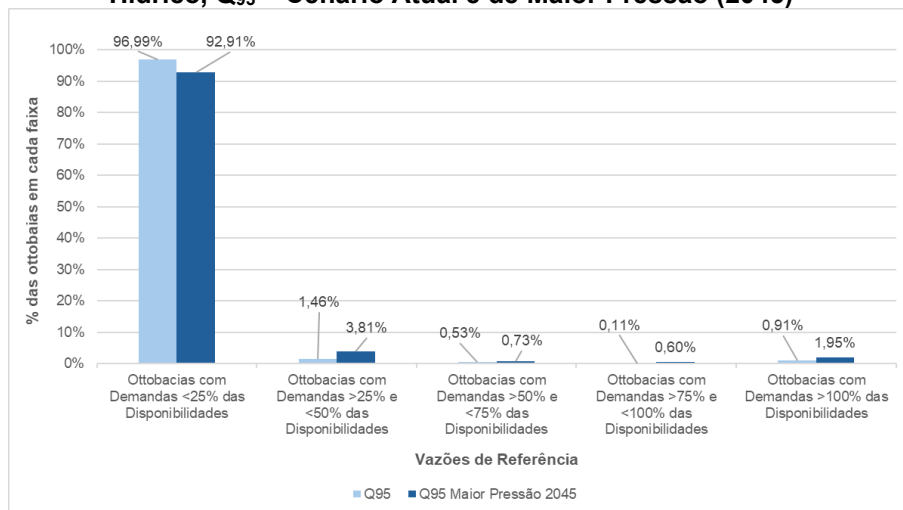
Esses resultados reforçam a necessidade de fortalecimento dos instrumentos de planejamento e regulação, como os critérios de outorga, o enquadramento dos corpos d'água e os planos diretores de recursos hídricos. A adoção de políticas de uso racional da água, incremento na eficiência hídrica setorial e estratégias de conservação de mananciais serão fundamentais para garantir a sustentabilidade hídrica da bacia frente aos desafios projetados para as próximas décadas.

Figura 7-15 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{90} – Cenário Atual e de Maior Pressão (2045)



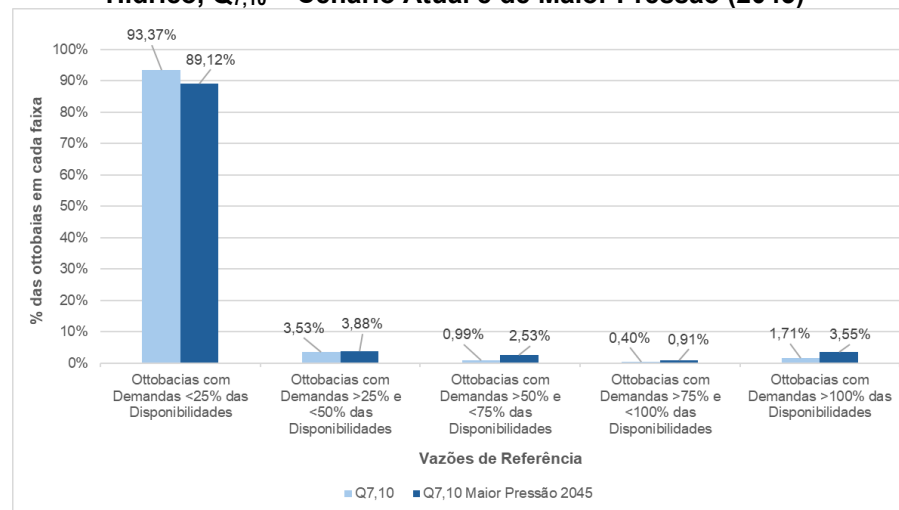
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-16 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q₉₅ – Cenário Atual e de Maior Pressão (2045)



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-17 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{7,10} – Cenário Atual e de Maior Pressão (2045)



Fonte: elaborado pelo Consórcio

O Quadro 7-11 e o Quadro 7-12 apresentam a comparação do balanço hídrico entre o cenário atual e o cenário de Maior Pressão no ano de 2045 para a Q₉₅ e Q_{7,10}, respectivamente, em cada uma das Unidades de Planejamento, permitindo uma análise regional dos resultados.

As Unidades de Planejamento do Alto Paraíba do Sul, Rios Preto e Paraibuna e Sub-bacia do Rio Pirai mantiveram estabilidade nas faixas superiores de comprometimento hídrico mesmo sob o cenário

de Maior Pressão. As mudanças e aumentos percentuais foram extremamente baixos, indicando uma resiliência relativa dessas regiões frente ao crescimento projetado da demanda. Apesar de variações nas faixas intermediárias, esses resultados sugerem que as pressões futuras tendem a ser melhor absorvidas nessas regiões, ao menos sob os parâmetros atuais de disponibilidade.

A Unidade de Planejamento do Médio Paraíba do Sul não apresenta uma variação significativa para a Q_{95} nas faixas mais críticas, de 50%-100% de comprometimento. Sua principal alteração ocorre nas faixas iniciais, com aumento expressivo de 0,35% para 3,79% na faixa de comprometimento entre 25% e 50%. Ao analisar a $Q_{7,10}$, nota-se um aumento mais significativo, principalmente nas faixas entre 50% e 100% de criticidade, com apenas uma leve diminuição na faixa inicial. Tais aumentos indicam que as demandas atuais possuem pouca pressão sob os recursos hídricos (estão concentradas na faixa menos crítica), e tendem a subir, porém de forma estável e linear.

As Unidades de Planejamento Baixo Paraíba do Sul, Piabanha, Rio Dois Rios e Rios Pomba e Muriaé destacam-se no cenário de Maior Pressão para 2045, apresentando um agravamento significativo nas

faixas de maior comprometimento hídrico. O Baixo Paraíba do Sul foi a UP com maior redução no conforto hídrico, com queda de aproximadamente 12% das ottobacias com demandas inferiores a 25% das disponibilidades, além de um salto expressivo na faixa de déficit ($>100\%$), aumento aproximado de 3,6%. Já ao observar os resultados da $Q_{7,10}$, o aumento da criticidade é mais vertiginoso, passando a ter o segundo maior índice de ottobacias em déficit em toda a bacia do Paraíba do Sul. Tais resultados expressivos, principalmente para uma vazão mais restritiva como a $Q_{7,10}$ indicam que tal UP apresenta tendências de suscetibilidade à cenários de aumento de demandas e/ou diminuição das disponibilidades. De modo semelhante, a UP Piabanha apresentou crescimento nas faixas mais críticas, com aumentos de 3,9% (Q_{95}) e 1,22% ($Q_{7,10}$) na condição de déficit e crescimento expressivo nas faixas intermediárias. No caso do Rio Dois Rios, já anteriormente em condição crítica, apresentou um aumento distribuído em suas classes, o que, embora menos acentuado, reflete uma pressão estrutural persistente que indica a intensificação dos efeitos já observados na cena atual. Por fim, a UP Rios Pomba e Muriaé experimentaram um crescimento expressivo e proporcional em todas as faixas superiores, com destaque para o déficit hídrico, que quase

triplica para a $Q_{7,10}$ (de 1,02% para 2,97%). Esses resultados indicam que essas quatro UPs devem ser prioritárias em ações de gestão, revisão de outorgas e investimentos em infraestrutura hídrica e conservação, de forma a mitigar os efeitos esperados do crescimento das demandas hídricas nos cenários futuros.

Quadro 7-11 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q₉₅ - Cenário Atual e de Maior Pressão (2045) – por unidade de planejamento

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento															
	Alto Paraíba do Sul		Rios Preto e Paraibuna		Rios Pomba e Muriaé		Médio Paraíba do Sul		Piabanha		Rio Dois Rios		Baixo Paraíba do Sul		Sub-bacia do Rio Pirai	
	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,74%	99,68%	99,90%	99,87%	98,40%	93,93%	99,51%	96,05%	93,45%	85,70%	88,02%	83,73%	92,30%	79,83%	99,94%	99,94%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,07%	0,10%	0,05%	0,04%	0,65%	3,18%	0,35%	3,79%	2,45%	8,23%	3,17%	5,34%	3,65%	11,43%	0,04%	0,02%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,05%	0,06%	0,02%	0,02%	0,25%	0,65%	0,02%	0,04%	2,40%	0,41%	0,78%	1,84%	1,11%	2,46%	0,02%	0,04%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,02%	0,03%	0,00%	0,02%	0,08%	0,70%	0,01%	0,02%	0,04%	0,08%	0,51%	0,49%	0,18%	2,45%	0,00%	0,00%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,13%	0,14%	0,03%	0,04%	0,62%	1,53%	0,11%	0,11%	1,65%	5,58%	7,52%	8,59%	0,25%	3,83%	0,00%	0,00%

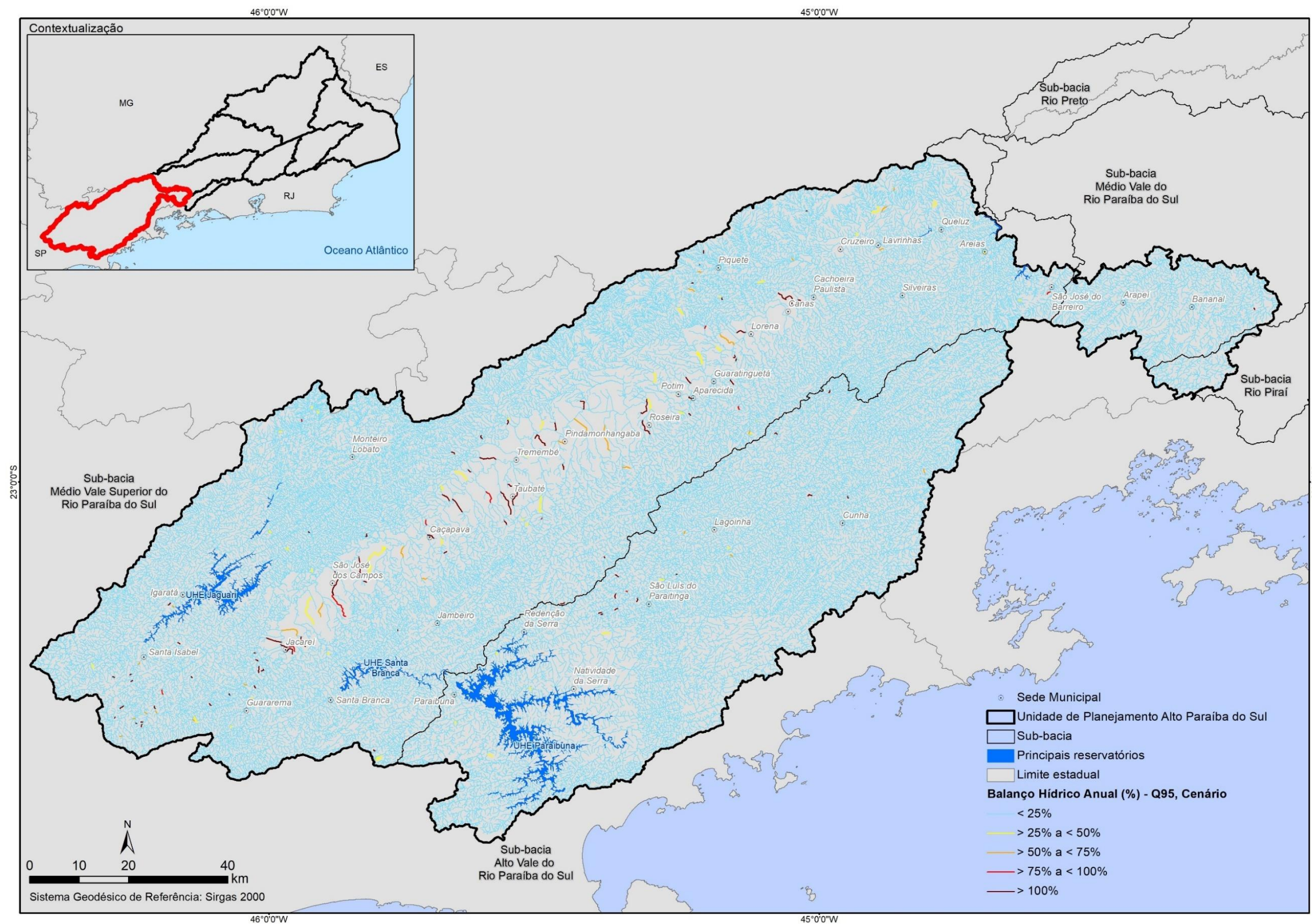
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-12 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{7,10} - Cenário Atual e de Maior Pressão (2045) – por unidade de planejamento

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento															
	Alto Paraíba do Sul		Rios Preto e Paraibuna		Rios Pomba e Muriaé		Médio Paraíba do Sul		Piabanha		Rio Dois Rios		Baixo Paraíba do Sul		Sub-bacia do Rio Pirai	
	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045	Cena atual	Maior Pressão - 2045
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,64%	99,43%	99,90%	99,37%	96,92%	89,90%	90,93%	88,53%	89,08%	84,16%	82,66%	76,28%	81,84%	71,62%	99,90%	99,48%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,10%	0,24%	0,03%	0,56%	1,49%	4,42%	6,35%	4,34%	5,98%	5,43%	4,90%	7,55%	11,05%	9,15%	0,06%	0,46%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,06%	0,06%	0,02%	0,01%	0,36%	1,82%	2,06%	4,49%	0,76%	4,57%	1,92%	2,68%	2,92%	7,34%	0,02%	0,02%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,03%	0,04%	0,01%	0,01%	0,20%	0,89%	0,25%	1,60%	0,07%	0,51%	1,08%	1,69%	1,40%	2,35%	0,02%	0,04%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,18%	0,23%	0,04%	0,05%	1,02%	2,97%	0,41%	1,04%	4,11%	5,33%	9,43%	11,81%	2,80%	9,53%	0,00%	0,00%

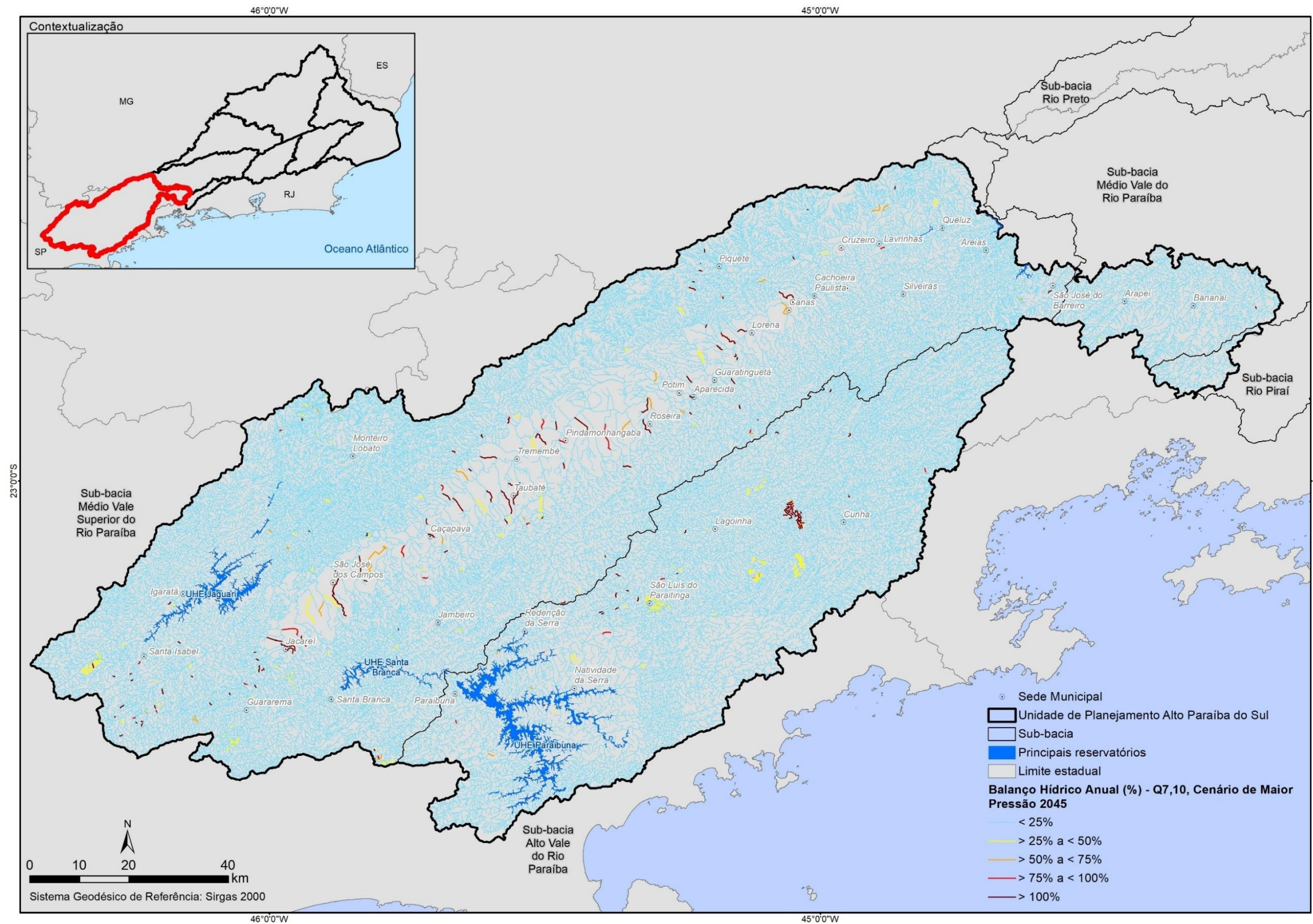
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-18 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Alto Paraíba do Sul



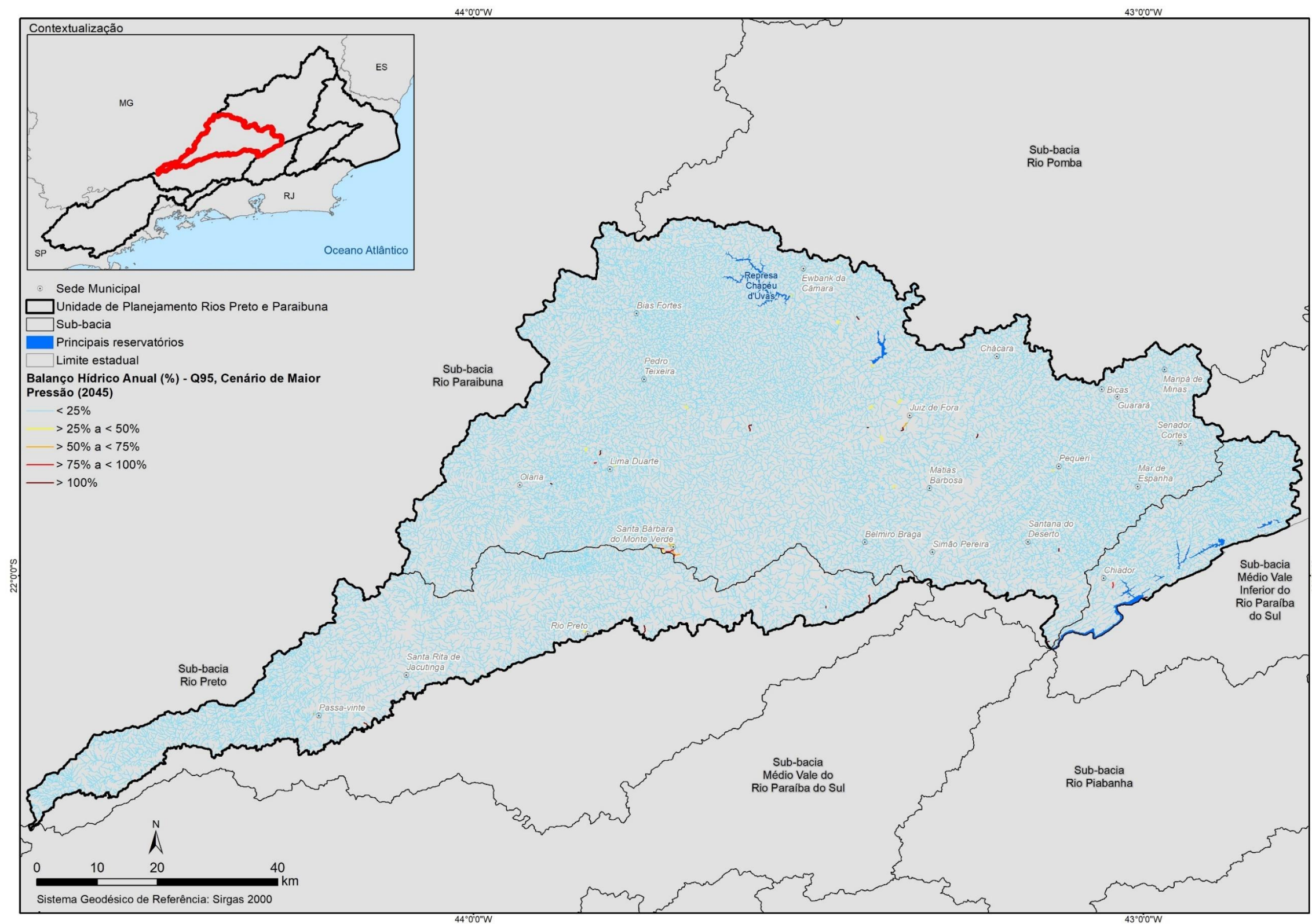
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-19 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Alto Paraíba do Sul



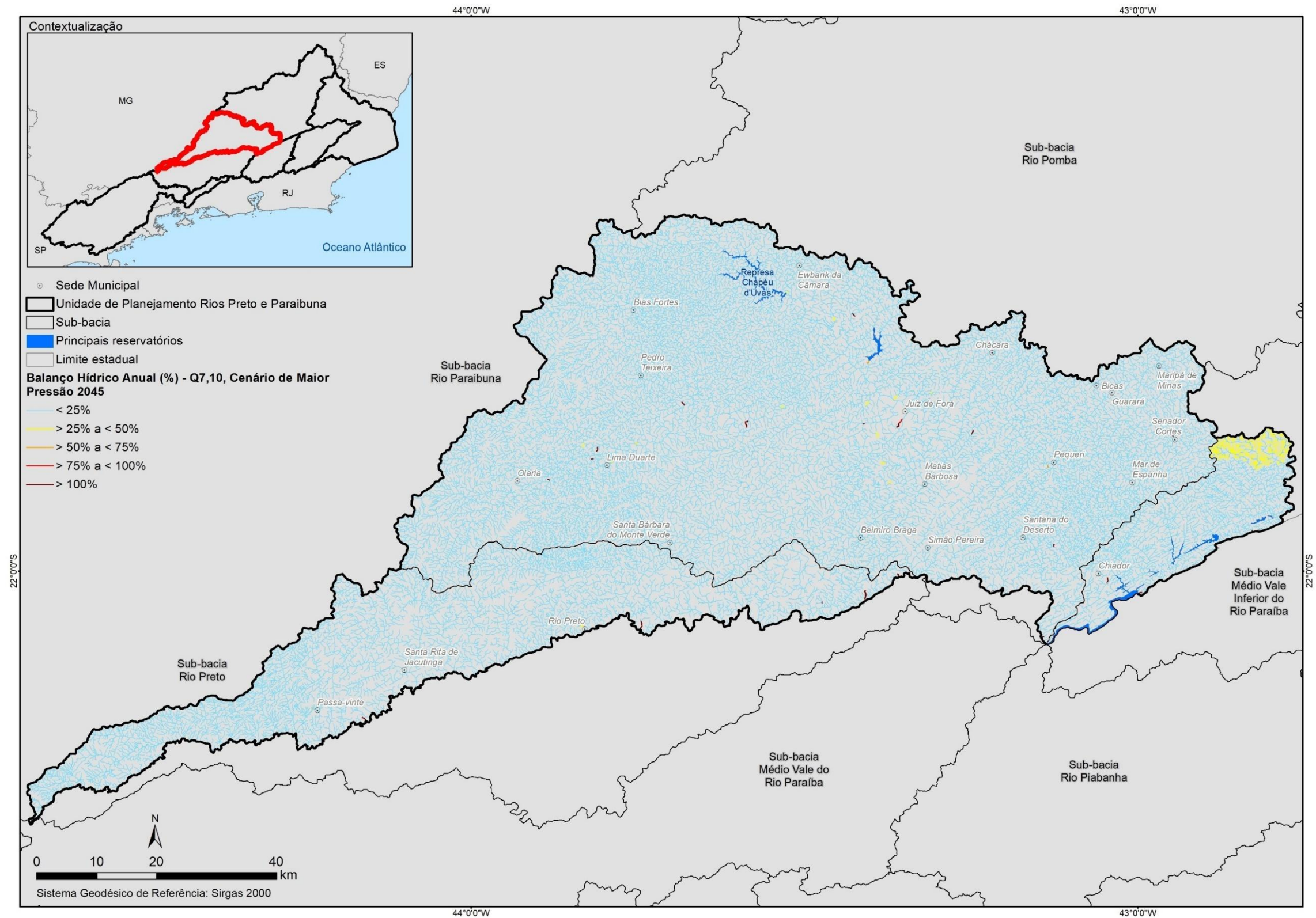
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-20 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Preto e Paraibuna



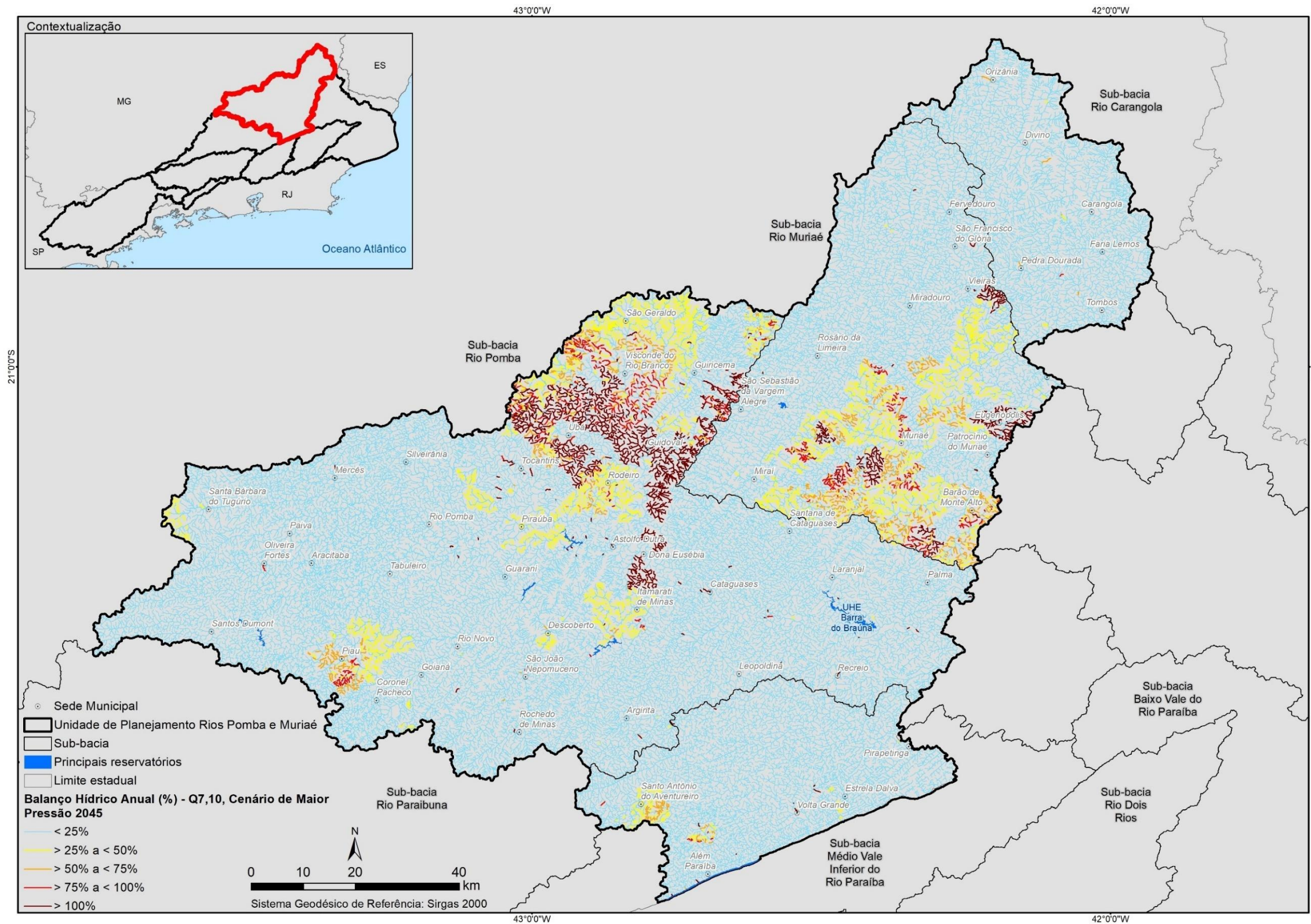
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-21 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Preto e Paraibuna



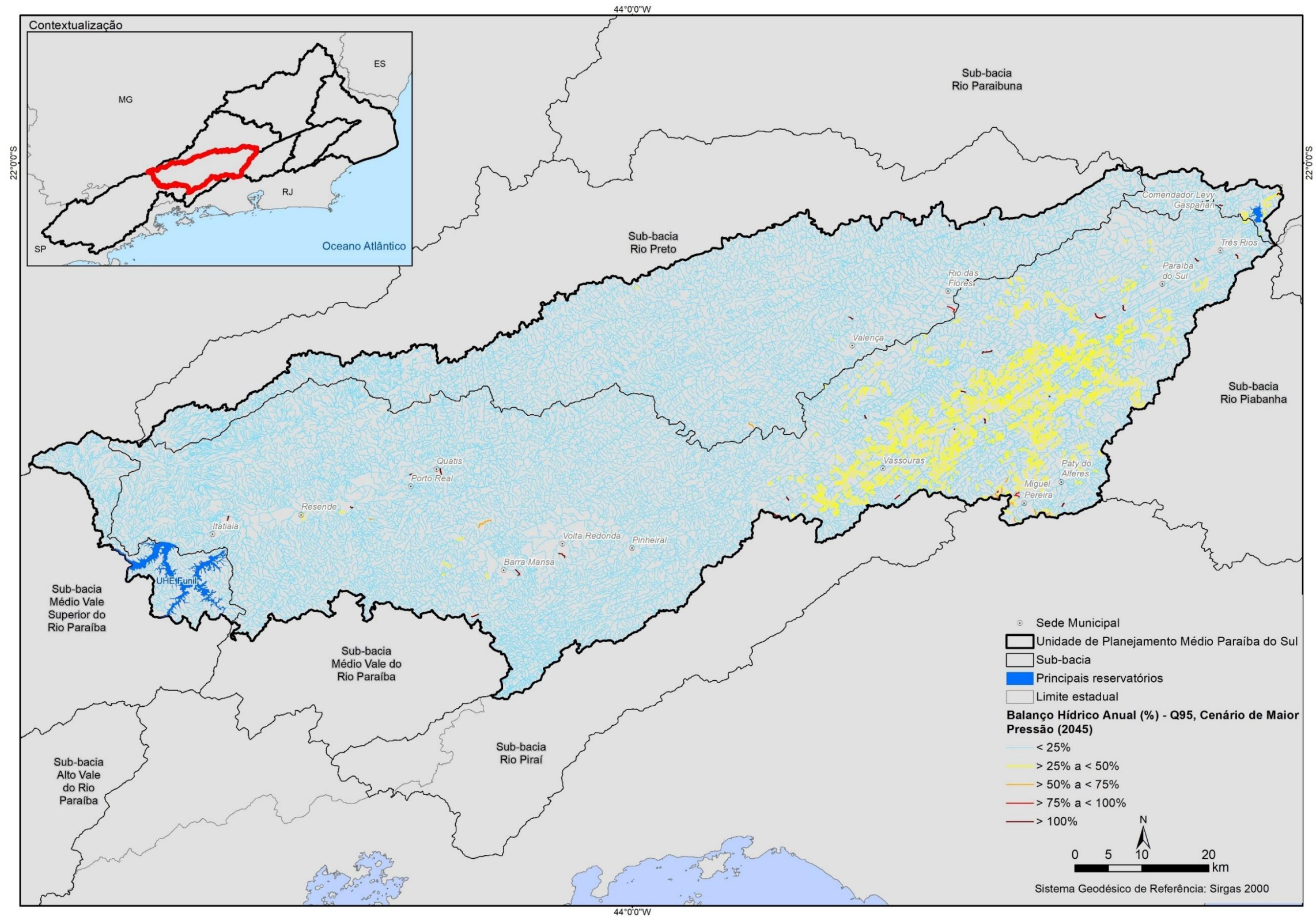
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-23 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Pomba e Muriaé



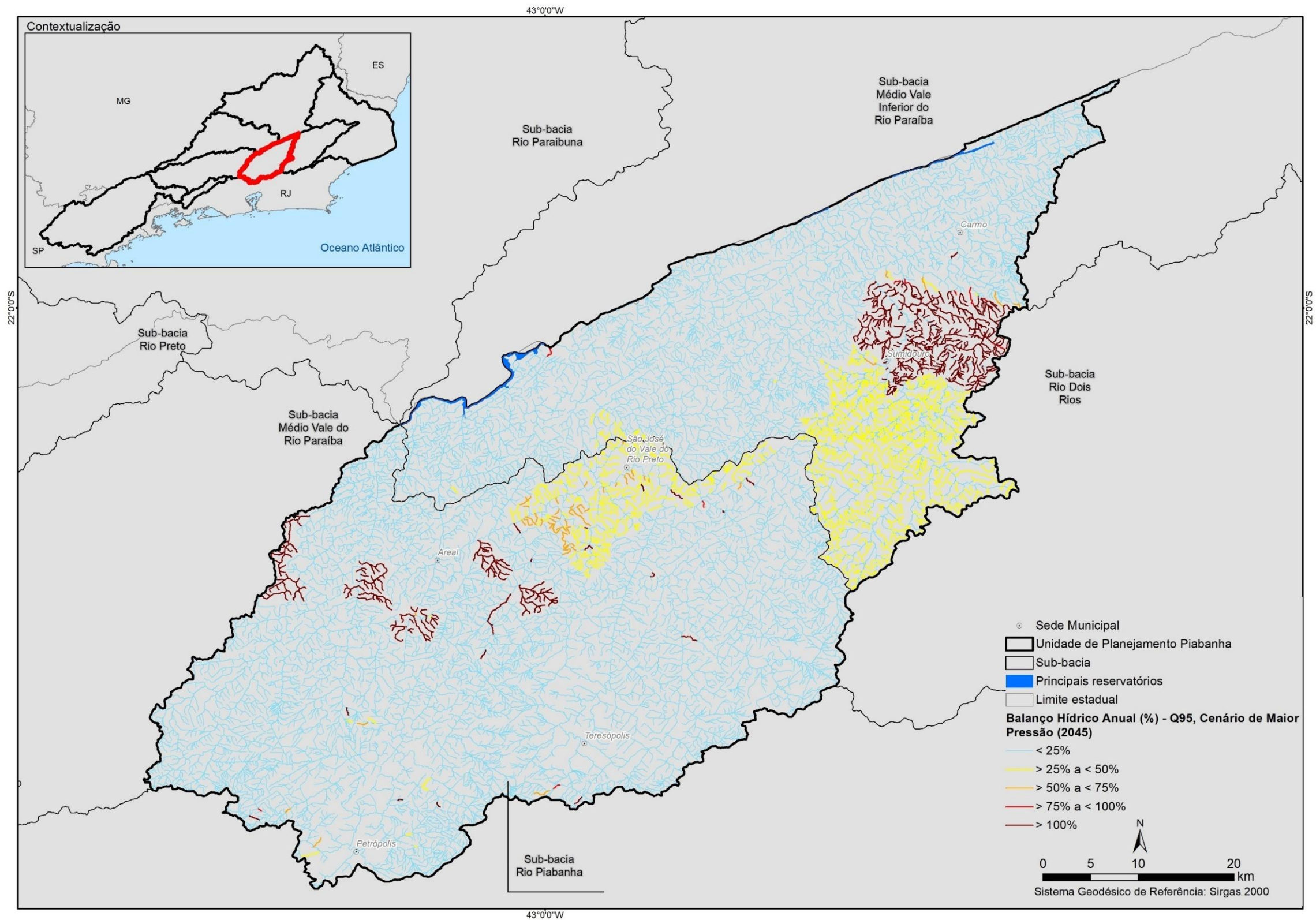
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-24 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q95, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Médio Paraíba do Sul



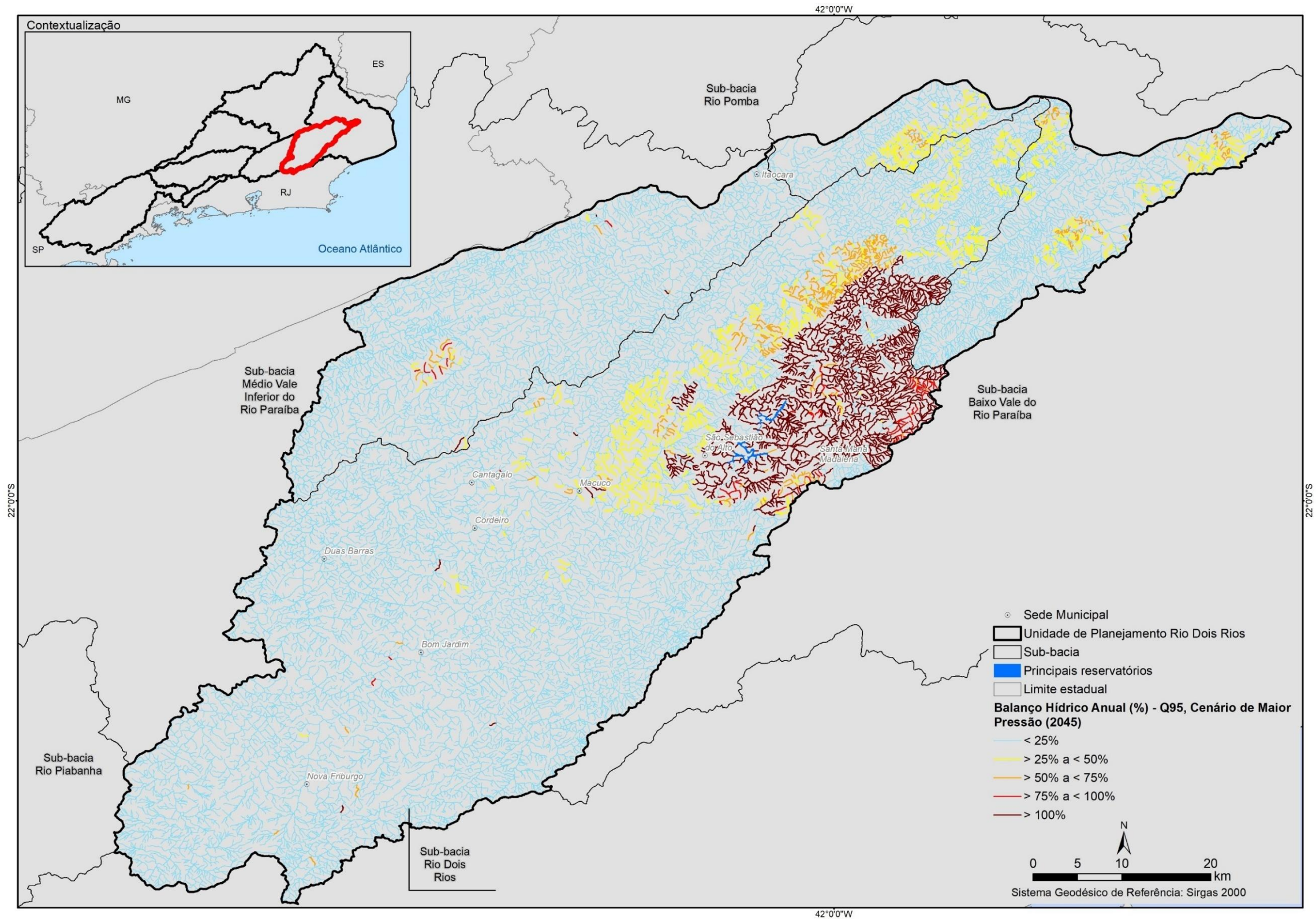
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-25 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q95, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Piabanha



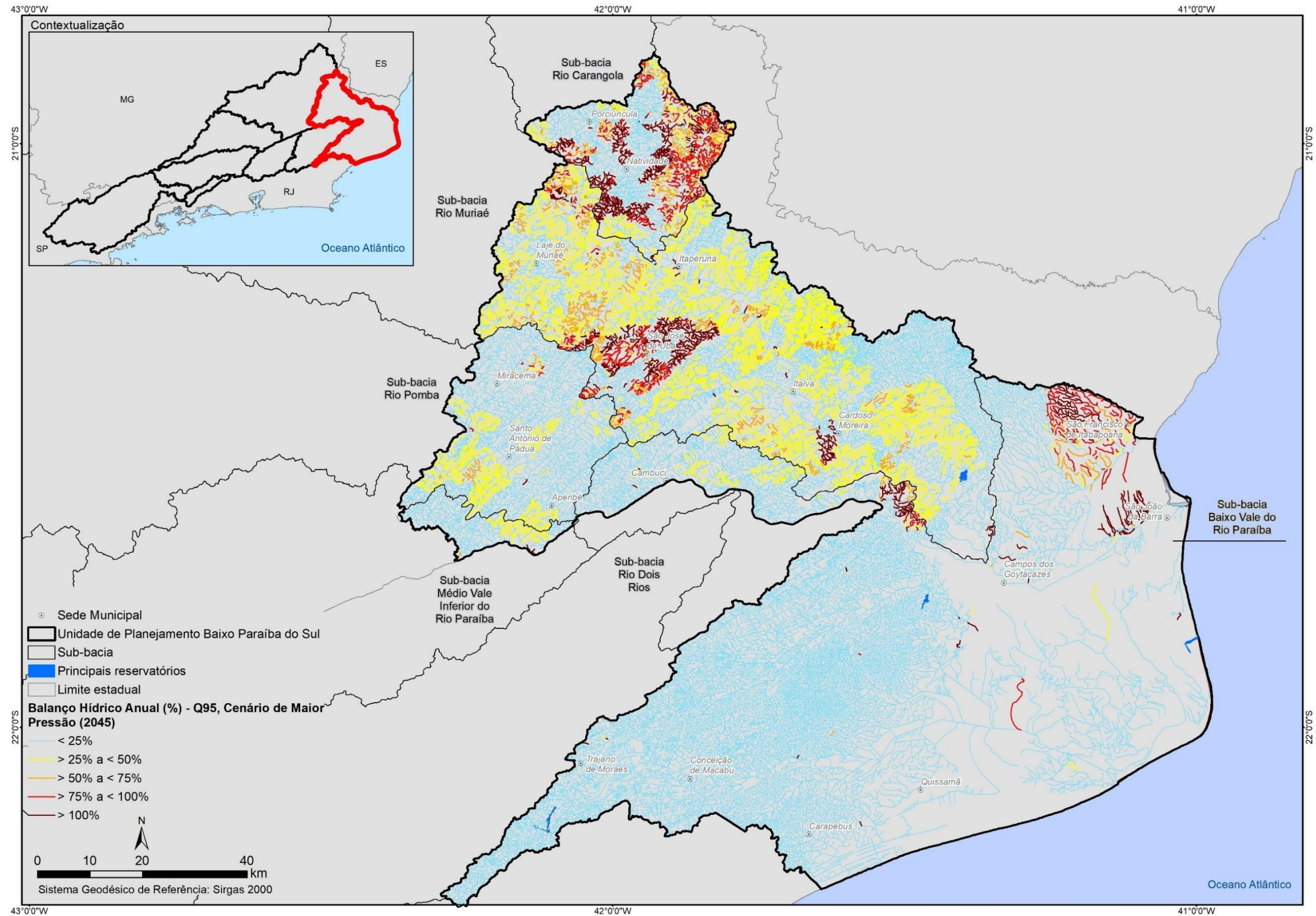
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-26 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q95, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Rio dois Rios



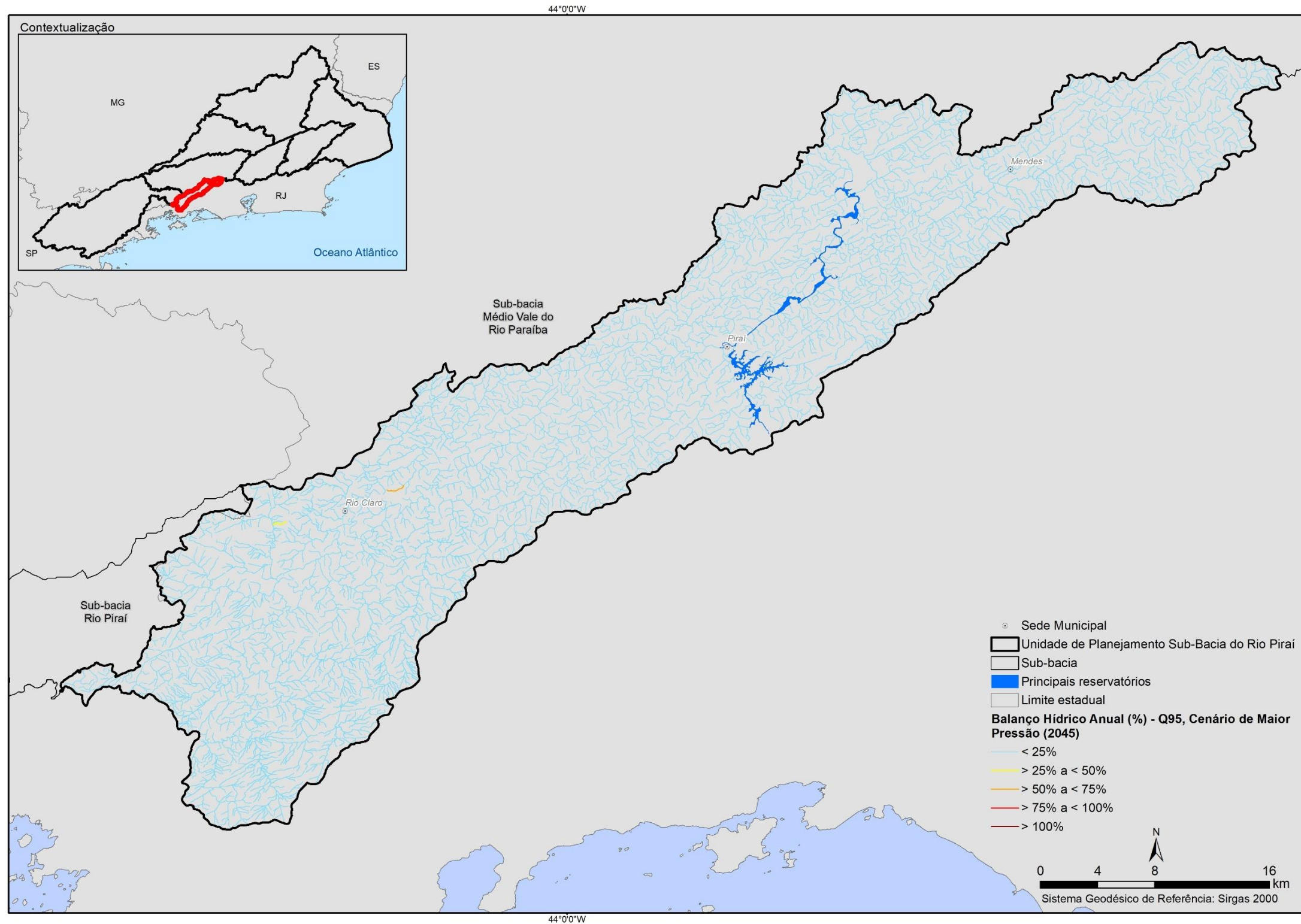
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-27 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q95, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Baixo Paraíba do Sul



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-28 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q95, Cenário de Maior Pressão (2045) – UP Rio Pirai



Fonte: elaborado pelo Consórcio

O Quadro 7-13 (Q₉₅, para todas as UPs) e o Quadro 7-14 (Q_{7,10}, para as UPs que a possuem como vazão de referência) apresentam uma síntese dos resultados de balanço hídrico no cenário de Maior Pressão (2045) por Unidades de Planejamento, apresentados em pontos chave da bacia e contrastados com as demandas superficiais.

Em relação às demandas, nota-se uma redução geral dos valores de abastecimento urbano humano, em função das dinâmicas projetadas para as décadas futuras na bacia, tanto populacionais quanto de índices de perdas. Por outro lado, os demais setores apresentam aumentos significativos de demandas, principalmente nos setores de irrigação e mineração. Além disso, são adicionadas demandas hídricas provenientes de novos reservatórios projetados na bacia, assim como aumentos nos volumes transpostos.

No Alto Paraíba do Sul, há um incremento de aproximadamente 7 m³/s nas demandas, com destaque para o setor de irrigação, que passa a ser o maior contribuinte, assim como o aumento projetado da vazão de transposição Jaguari – Atibainha que passa de 5,15 m³/s para 8,5 m³/s). Apesar de tais aumentos, há uma manutenção dos balanços em relação ao cenário atual, indicando que grande parte

dos pontos em que há aumento das demandas possuem disponibilidade para supri-las.

O Médio Paraíba do Sul possui notáveis demandas de cunho industrial, que sofrem incremento no cenário de Maior Pressão. As maiores mudanças podem ser observadas em alguns trechos afluentes do Paraíba do Sul após o local da transposição de Santa Cecília (entre os municípios de Barra do Piraí e Paraíba do Sul), que passam para a classe de 25%-50% de comprometimento hídrico.

A UP dos Rios Preto e Paraibuna mantém o padrão do cenário atual, com pouco comprometimento de suas disponibilidades e alta produção hídrica, que é distribuída no rio Paraíba do Sul. A UP da Sub-bacia do rio Piraí também mantém o comportamento do cenário atual, tendo como destaque a vazão recebida pela transposição, que é direcionada para o abastecimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

A UP Piabanha possui um dos maiores aumentos nas faixas críticas de balanço hídrico, porém concentrados próximos das regiões já com algum percentual de déficit no cenário atual. As otobacias em faixas intermediárias passam a ocupar as faixas mais críticas, assim como há o surgimento de áreas com algum percentual de

comprometimento. Tais aumentos são ocasionados, principalmente, pelo aumento da demanda no setor de irrigação. O aumento nas demandas de irrigação pode ser observado com clareza também na UP dos Rios Pomba e Muriaé (demandas mais do que o dobro das observadas no cenário atual): na região do rio Xopotó e seus afluentes, há um incremento brusco nas faixas mais críticas de balanço hídrico. Além disso, cita-se também a criação de novos reservatórios nesta UP.

A UP Rio Dois Rios concentra uma das situações mais críticas da bacia, porém a diferença mais acentuada em relação ao cenário atual está nas faixas intermediárias de balanço hídrico, indicando que ottobacias anteriormente sem comprometimento no cenário de Maior Pressão acabam sendo afetadas. Tal UP destaca-se nos cenários futuros pela criação de novos reservatórios para geração de energia (conforme apresentado no Produto 3) chegando a representar cerca de 30% de toda a demanda.

No Baixo Paraíba do Sul, em seu cenário atual há uma grande concentração nas faixas intermediárias de criticidade, entre 25% a 75% de comprometimento hídrico. No cenário futuro, há um aumento expressivo nessas ottobacias, indicando demandas incipientes que

não existiam no cenário atual. Isso pode ser observado na alteração das principais demandas na UP: irrigação aproximadamente dobra suas pressões, enquanto a evaporação de reservatórios ($2,7 \text{ m}^3/\text{s}$) e a demanda de usinas termoeletricas ($1,8 \text{ m}^3/\text{s}$) passam a ter alta relevância. Além disso, observa-se também o agravamento das regiões intermediárias no cenário atual, passando para índices críticos de balanço hídrico, e em alguns casos, déficit (principalmente na porção do rio Muriaé localizada na UP, assim como no rio Carangola e seus afluentes).

Quadro 7-13 – Análise de resultados do balanço hídrico superficial integrada à disponibilidade hídrica, para o cenário de Maior Pressão 2045 (vazão de referência Q_{95}).

Unidades de planejamento	Demandas Superficiais		Trechos principais				Observações
	Total (m³/s)	Preponderantes	Ponto analisado	Área de drenagem do ponto (km²)	Disponibilidade hídrica no trecho para a vazão de referência (m³/s) ¹	Vazões remanescentes no trecho (m³/s)	
Alto Paraíba do Sul	27,53	Transposição 8,5 m³/s; Irrigação: 7,7 m³/s; Ab. Urbano: 4,8 m³/s; Mineração: 4,4 m³/s Indústria: 3,61 m³/s	Rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Paraibuna	4.279	26,79	26,33	Transposição de 8,5 m³/s para fora da BHPS (bacia do rio Piracicaba); Depende de regularização dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari
			Rio Paraíba do Sul próximo à entrada do reservatório Funil	13.023	119,1	107,28	
Rios Preto e Paraibuna	5,00	Mineração: 1,6 m³/s Ab. Urbano: 1,5 m³/s; Evaporação de reservatórios: 0,8 m³/s	Rio Preto na confluência com o rio Paraibuna	3.435	26,91	26,27	
			Rio Paraibuna na entrega ao Paraíba do Sul	8.602	67,05	66,23	
Rios Pomba e Muriaé	9,35	Irrigação: 4,1 m³/s; Ab, Urbano: 1,78 m³/s; Evaporação de reservatórios: 0,9 m³/s	Rio Pomba na entrega ao Paraíba do Sul	8.569	35,27	34,67	
			Rio Muriaé na entrega ao Paraíba do Sul	8.152	21,83	17,52	
Médio Paraíba do Sul	9,72	Indústria: 5,3 m³/s; Ab. Urbano: 2,1 m³/s	Rio Paraíba do Sul, no barramento de Santa Cecília	16.601	166,4	159,89	Transposição de 119 m³/s para a sub-bacia do rio Pirai
			Rio Paraíba do Sul, previamente ao encontro com os rios Paraibuna e Piabanha	19.487	71,03	70,13	

Unidades de planejamento	Demandas Superficiais		Trechos principais				Observações
	Total (m³/s)	Preponderantes	Ponto analisado	Área de drenagem do ponto (km²)	Disponibilidade hídrica no trecho para a vazão de referência (m³/s) ¹	Vazões remanescentes no trecho (m³/s)	
Piabanha	3,42	Irrigação: 1,7 m³/s; Ab Urbano: 0,8 m³/s;	Rio Piabanha na entrega ao Paraíba do Sul	2.067	12,57	12,39	
			Rio Paquerer na entrega ao Paraíba do Sul	757	4,72	3,34	
Rio Dois Rios	3,11	Evaporação de reservatórios: 1,1 m³/s; Ab, Urbano: 0,6 m³/s; Irrigação: 0,7 m³/s;	Rio Dois Rios na entrega ao Paraíba do Sul	3.163	13,8	13,02	
Baixo Paraíba do Sul	13,59	Irrigação: 5,2 m³/s; Evaporação de reservatórios 2,7 m³/s Termoeletricidade: 1,8 m³/s;	Rio Paraíba do Sul próximo à divisa dos municípios de Campos dos Goytacazes, São João da Barra e São Francisco de Itabapoana	55.535	240,74	230,34	
Sub-bacia do Rio Pirai	0,48	Ab, Urbano: 0,26 m³/s; Indústria: 0,17 m³/s;	Rio Pirai na entrega ao Paraíba do Sul	1.116	10,79	10,76	Recebe 119 m³/s por transposição, que são enviados para fora da BHPS, para a bacia do rio Guandu

¹ Disponibilidades hídricas obtidas do EDH-PS

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-14 – Análise de resultados do balanço hídrico superficial integrada à disponibilidade hídrica, para o cenário de Maior Pressão 2045 (UPs com vazão de referência Q_{7,10}).

Unidades de planejamento	Demandas Superficiais		Trechos principais				Observações
	Total (m³/s)	Preponderantes	Ponto analisado	Área de drenagem do ponto (km²)	Disponibilidade hídrica no trecho para a vazão de referência (m³/s) ¹	Vazões remanescentes no trecho (m³/s)	
Alto Paraíba do Sul	27,53	Aumento da transposição em 3,37 m³/s; Irrigação: 7,7 m³/s; Ab. Urbano: 4,8 m³/s; Mineração: 4,4 m³/s Indústria: 3,61 m³/s	Rio Paraíba do Sul, a jusante da UHE Paraibuna	4.279	21,12	21	Transposição de 8,5 m³/s para fora da BHPS (bacia do rio Piracicaba); Depende de regularização dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari
			Rio Paraíba do Sul próximo à entrada do reservatório Funil	13.023	81,46	67,23	
Rios Preto e Paraibuna	5,00	Mineração: 1,6 m³/s Ab. Urbano: 1,5 m³/s; Evaporação de reservatórios: 0,8 m³/s	Rio Preto na confluência com o rio Paraibuna	3.435	20,87	20,24	
			Rio Paraibuna na entrega ao Paraíba do Sul	8.602	52,52	51,73	
Rios Pomba e Muriaé	9,35	Irrigação: 4,1 m³/s; Ab, Urbano: 1,78 m³/s; Evaporação de reservatórios: 0,9 m³/s	Rio Pomba na entrega ao Paraíba do Sul	8.569	25,42	24,85	
			Rio Muriaé na entrega ao Paraíba do Sul	8.152	13,31	9,21	

¹ Disponibilidades hídricas obtidas do EDH-PS

Fonte: elaborado pelo Consórcio

7.5. BALANÇO HÍDRICO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O Quadro 7-15 apresenta um resumo das demandas hídricas de águas subterrâneas estimadas na bacia por unidade de planejamento e por setor usuário.

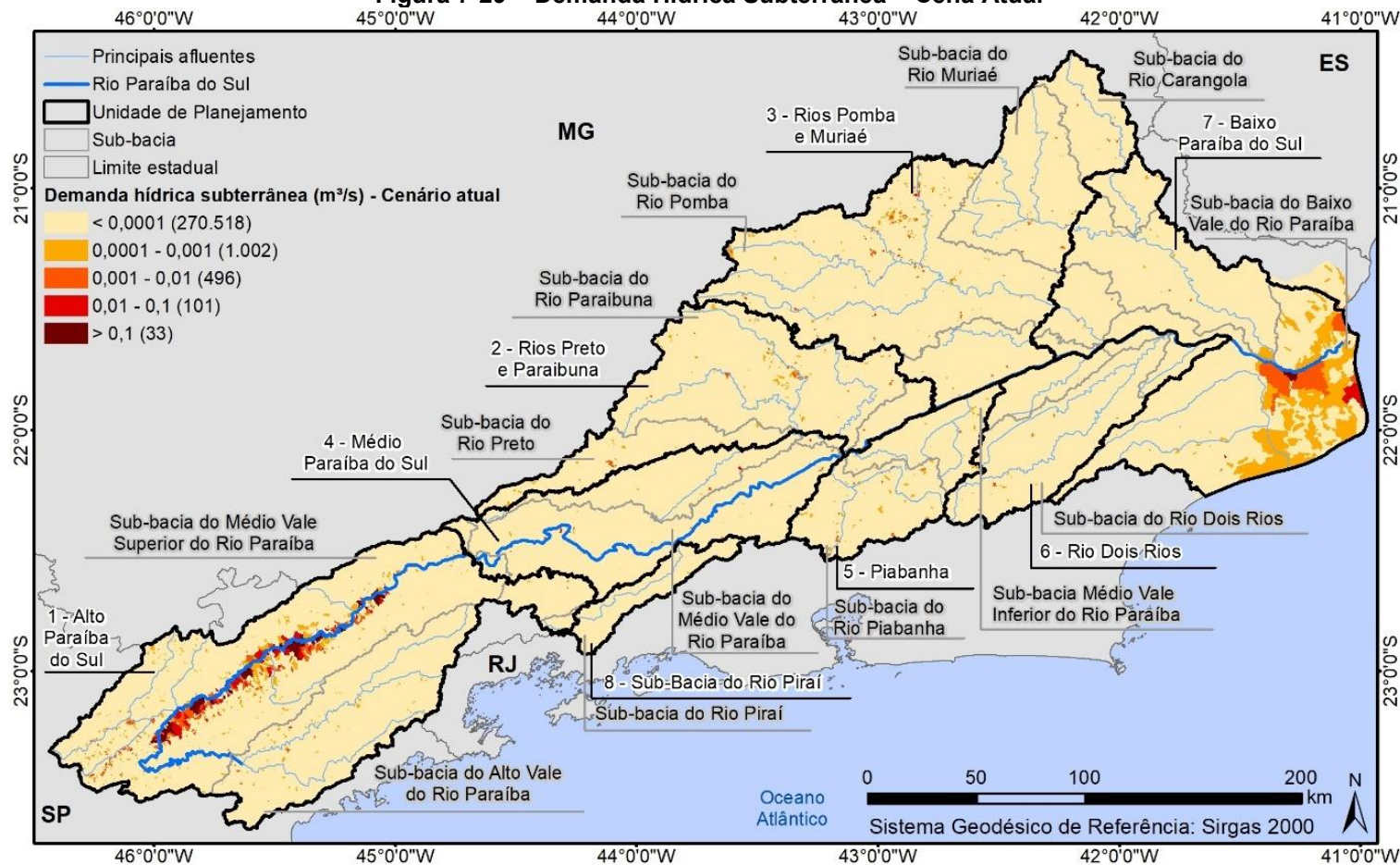
A análise das demandas hídricas subterrâneas revela um aumento expressivo no consumo projetado até o cenário de Maior Pressão em 2045, comparado à cena atual. O uso total passa de 13,01 m³/s para 16,31 m³/s, representando um acréscimo de aproximadamente 25%. A UP Alto Paraíba do Sul é a mais demandante, com elevação de 10,35 m³/s para 12,70 m³/s, impulsionada, principalmente, pelos setores de mineração (de 6,11 m³/s para 7,67 m³/s) e indústria (de 3,00 m³/s para 3,57 m³/s). Observa-se, também, crescimento relevante nas demandas para dessedentação animal, que praticamente dobram no total (de 0,95 m³/s para 1,71 m³/s). A Figura 7-29 e Figura 7-30 apresentam, respectivamente, a espacialização das demandas totais subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHPS) para a cena atual e cenário futuro de Maior Pressão (2045).

Quadro 7-15 – Resumo das demandas hídricas subterrâneas, por unidade de planejamento, na bacia do rio Paraíba do Sul considerando a cena atual e o cenário de Maior Pressão (2045).

UP	Demandas Hídricas Subterrâneas (m³/s) – Cena atual						
	Abastecimento Urbano	Abastecimento Rural	Dessedentação Animal	Irrigação	Indústria	Mineração	Total
1 - Alto Paraíba do Sul	0,81	0,23	0,17	0,05	3,00	6,11	10,35
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,09	0,06	0,25	0,00	0,03	0,00	0,45
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,25	0,21	0,26	0,08	0,18	0,00	0,98
4 - Médio Paraíba do Sul	0,02	0,04	0,00	0,00	0,11	0,00	0,17
5 - Piabanha	0,05	0,09	0,06	0,00	0,18	0,00	0,39
6 - Rio Dois Rios	0,01	0,03	0,00	0,03	0,03	0,00	0,09
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,17	0,09	0,21	0,03	0,06	0,00	0,57
8 - Sub-bacia do Rio Piraí	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Total	1,41	0,76	0,95	0,19	3,58	6,12	13,01
UP	Demandas Hídricas Subterrâneas (m³/s) – Cenário Maior Pressão, 2045						
	Abastecimento Urbano	Abastecimento Rural	Dessedentação Animal	Irrigação	Indústria	Mineração	Total
1 - Alto Paraíba do Sul	0,79	0,30	0,3	0,07	3,57	7,67	12,70
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,10	0,04	0,46	0,01	0,04	0,00	0,65
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,27	0,17	0,54	0,21	0,22	0,00	1,41
4 - Médio Paraíba do Sul	0,02	0,04	0,00	0,00	0,16	0,00	0,22
5 - Piabanha	0,04	0,13	0,10	0,00	0,23	0,01	0,51
6 - Rio Dois Rios	0,01	0,04	0,00	0,05	0,03	0,00	0,13
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,12	0,11	0,31	0,07	0,07	0,00	0,68
8 - Sub-bacia do Rio Piraí	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Total	1,36	0,83	1,71	0,42	4,32	7,68	16,31

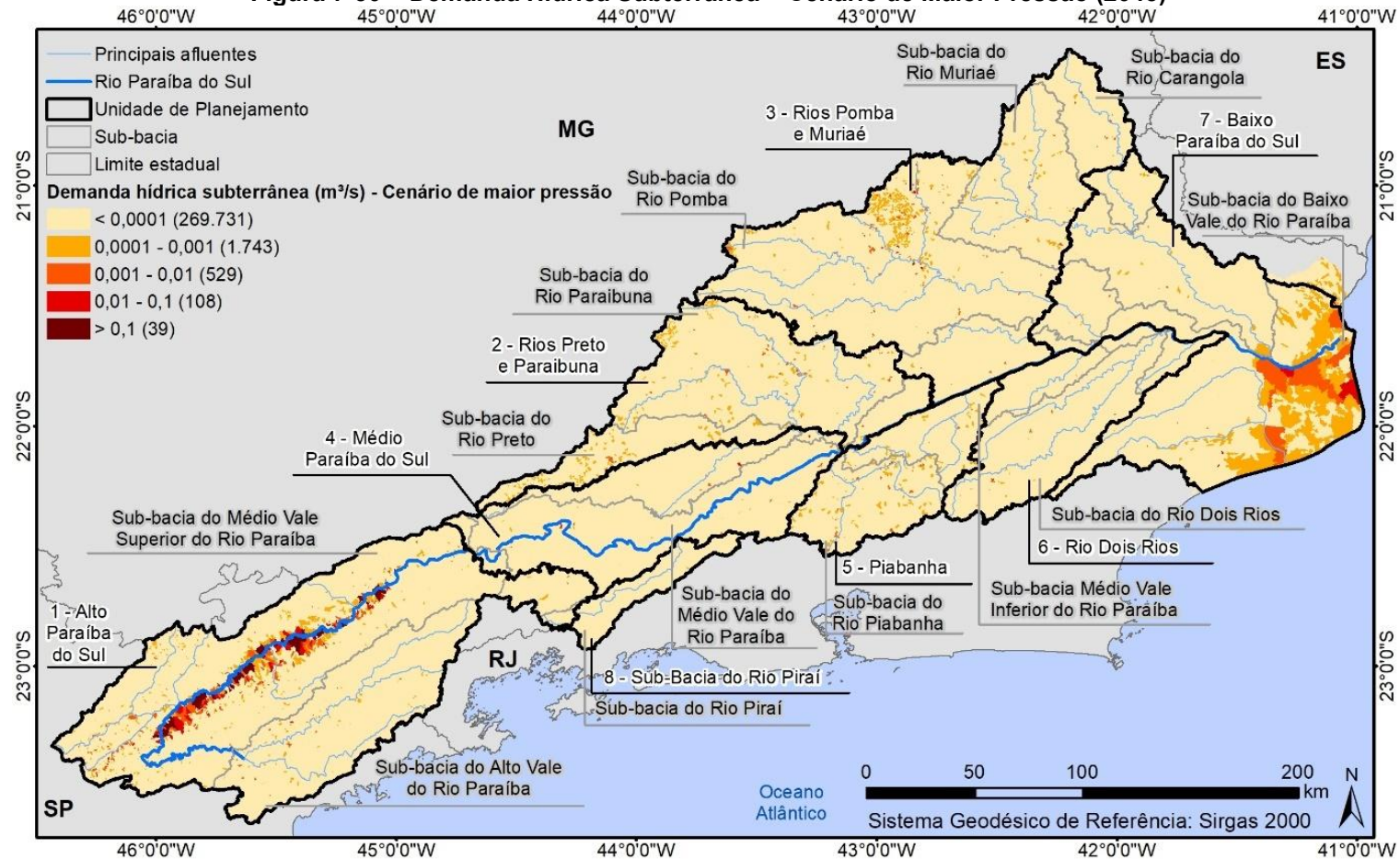
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-29 – Demanda Hídrica Subterrânea – Cena Atual



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 7-30 – Demanda Hídrica Subterrânea – Cenário de Maior Pressão (2045)



Fonte: elaborado pelo Consórcio

As reservas exploráveis da bacia foram comparadas às demandas subterrâneas para determinar o grau de comprometimento. O Quadro 7-16 apresenta uma síntese dos resultados de balanço hídrico subterrâneo na cena atual e o Quadro 7-17 no cenário de Maior Pressão (2045), em pontos chave da bacia (foram considerados os exutórios de cada sub-bacia) e contrastados com as demandas de águas subterrâneas.

Quadro 7-16 – Demandas subterrâneas em relação às reservas explotáveis – Cena Atual

Sub-bacia*	Demandas subterrâneas		Reserva Explotável (m³/s)	Balanço Hídrico (%)
	Total (m³/s)	Preponderantes		
Alto Vale do Rio Paraíba do Sul	0,12	Ab. Rural: 0,04 m³/s; Dessedentação: 0,06 m³/s	5,7	2,2%
Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul	10,2	Ab. Urbano: 0,81 m³/s; Indústria: 3,0 m³/s; Mineração: 6,11 m³/s	37,6	27,2%
Rio Preto	0,11	Ab. Urbano: 0,03 m³/s; Ab. Rural: 0,02 m³/s; Dessedentação: 0,05 m³/s	6,0	1,8%
Rio Paraibuna	0,36	Ab. Urbano: 0,07 m³/s; Dessedentação: 0,18 m³/s	14,5	2,5%
Rio Pomba	0,74	Ab. Urbano: 0,19 m³/s; Dessedentação: 0,18 m³/s	9,9	7,4%
Rio Carangola	0,08	Ab. Rural: 0,03 m³/s; Dessedentação: 0,04 m³/s	1,5	5,6%
Rio Muriaé	0,26	Ab. Rural: 0,06 m³/s; Dessedentação: 0,13 m³/s	8,5	3,1%
Médio Vale do Rio Paraíba do Sul*	0,16	Ab. Rural: 0,04 m³/s; Indústria: 0,1 m³/s	16,7	1,0%
Médio Vale Inferior do Rio Paraíba do Sul	0,17	Ab. Urbano: 0,03 m³/s; Ab. Rural: 0,03 m³/s; Dessedentação: 0,09 m³/s	32,3	0,5%
Rio Piabanha	0,33	Ab. Rural: 0,08 m³/s; Indústria: 0,18 m³/s	3,1	10,5%
Rio Dois Rios	0,09	Ab. Rural: 0,03 m³/s; Indústria: 0,03 m³/s	3,8	2,3%
Baixo Vale do Rio Paraíba do Sul	0,42	Ab. Urbano: 0,17 m³/s; Dessedentação: 0,09 m³/s	54,9	0,8%
Rio Pirai	0,01	-	3,3	0,3%
Total	13,01	-	-	-

*Todos os resultados foram gerados no exutório de cada sub-bacia, com exceção da sub-bacia Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, onde a disponibilidade hídrica subterrânea apresentada é a montante da transposição do barramento de Santa Cecília devido à influência da transposição nos resultados a jusante.

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 7-17 – Demandas subterrâneas em relação às reservas exploráveis – Cenário futuro de Maior Pressão (2025)

Sub-bacia	Demandas subterrâneas		Reserva Explorável (m³/s)	Balanço Hídrico (%)
	Total (m³/s)	Preponderantes		
Alto Vale do Rio Paraíba do Sul	0,19	Ab. Rural: 0,06 m³/s; Dessedentação: 0,1 m³/s	5,7	3,4%
Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul	12,5	Ab. Urbano: 0,79 m³/s; Indústria: 3,5 m³/s; Mineração: 7,67 m³/s	37,6	33,2%
Rio Preto	0,16	Ab. Urbano: 0,03 m³/s; Ab. Rural: 0,02 m³/s; Dessedentação: 0,1 m³/s	6,0	2,6%
Rio Paraíbauna	0,53	Ab. Urbano: 0,08 m³/s; Dessedentação: 0,34 m³/s	14,5	3,6%
Rio Pomba	1,08	Ab. Urbano: 0,21 m³/s; Dessedentação: 0,4 m³/s	9,9	10,9%
Rio Carangola	0,12	Ab. Rural: 0,04 m³/s; Dessedentação: 0,06 m³/s	1,5	8,0%
Rio Muriaé	0,38	Ab. Rural: 0,08 m³/s; Dessedentação: 0,22 m³/s	8,5	4,4%
Médio Vale do Rio Paraíba do Sul*	0,21	Ab. Rural: 0,04 m³/s; Indústria: 0,14 m³/s	16,7	1,3%
Médio Vale Inferior do Rio Paraíba do Sul	0,24	Ab. Urbano: 0,03 m³/s; Ab. Rural: 0,03 m³/s; Dessedentação: 0,15 m³/s	32,3	0,8%
Rio Piabanha	0,41	Ab. Rural: 0,11 m³/s; Indústria: 0,22 m³/s	3,1	13,1%
Rio Dois Rios	0,11	Ab. Rural: 0,04 m³/s; Indústria: 0,03 m³/s	3,8	3,0%
Baixo Vale do Rio Paraíba do Sul	0,47	Ab. Urbano: 0,12 m³/s; Dessedentação: 0,13 m³/s	54,9	0,8%
Rio Pirai	0,01	-	3,3	0,2%
Total	16,31	-	-	-

*Todos os resultados foram gerados no exutório de cada sub-bacia, com exceção da sub-bacia Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, onde a disponibilidade hídrica subterrânea apresentada é a montante da transposição do barramento de Santa Cecília devido à influência da transposição nos resultados a jusante.

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Os resultados do balanço hídrico subterrâneo (apresentados no Quadro 7-16 e no Quadro 7-17), mostram que, apesar do crescimento projetado da demanda até 2045, nenhuma das sub-bacias avaliadas atinge condição de escassez crítica ou muito crítica, conforme os critérios da Deliberação CRH nº 146/2012 (CRH, 2020). Mesmo no cenário de Maior Pressão os valores de comprometimento se mantêm abaixo de 50% da reserva explotável em todas as sub-bacias. Contudo, algumas áreas já apresentam percentuais de comprometimento relevantes e merecem atenção, destacando-se:

- **Sub-bacia Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul (UP Alto Paraíba do Sul):** apresenta o maior grau de comprometimento nos dois cenários – 27,1% na cena atual (situação potencialmente preocupante) e 33,2% em 2045 (situação preocupante) –, refletindo a forte concentração de demandas industriais, do setor minerário e de abastecimento urbano;
- **Sub-bacias dos rios Pomba, Muriaé e Carangola:** estão na faixa considerada como situação potencialmente preocupante (comprometimento de 5 a 30%) nos dois

cenários avaliados. Juntas possuem uma demanda subterrânea no cenário de Maior Pressão (2045) de 1,57 m³/s frente a uma reserva explorável de 19,8 m³/s. Esse comprometimento também pode ser relacionado à hidrogeologia da região. Estas bacias ficam situadas em uma unidade hidrogeológica fraturada de produtividade muito baixa;

- **Sub-bacia do rio Piabanha (UP Piabanha):** salta de 10,5% para 13,1% no cenário de Maior Pressão (2045), tornando-se uma sub-bacia que merece acompanhamento por apresentar crescimento proporcional expressivo em relação a sua disponibilidade. Apesar das demandas subterrâneas nesta sub-bacia não serem elevadas (0,41 m³/s no cenário de Maior Pressão), as reservas explotáveis são baixas (3,1 m³/s), o que justifica o comprometimento hídrico apresentado. Isso vem ao encontro do observado na hidrogeologia local. A UP Piabanha tem sua maior porção localizada em uma unidade aquífera fraturada com pouca produtividade.

Por outro lado, sub-bacias como o **Baixo Vale do Rio Paraíba do Sul, Rio Pirai, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul e Rio Dois Rios**

permanecem com baixos índices de comprometimento (<5%), o que sugere maior resiliência quanto ao uso dos recursos subterrâneos.

7.6. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS COM MAIOR ÍNDICE DE COMPROMETIMENTO HÍDRICO

7.6.1. Águas Superficiais

As Unidades de Planejamento da bacia do rio Paraíba do Sul podem ser agrupadas em dois perfis: aquelas que em algum momento irão apresentar alta criticidade hídrica (seja na cena atual ou por meio de um agravamento no cenário de Maior Pressão projetado para 2045) e as que apresentam baixa criticidade, porém ainda demandam atenção.

Nesse sentido, podem ser indicados, inicialmente, alguns gatilhos de possíveis situações de escassez hídrica, que pode ser relacionada ao balanço hídrico e à condição de criticidade hídrica:

- Percentual de comprometimento hídrico atual igual ou superior a 50% da vazão de referência: esse primeiro gatilho indica as bacias que já possuem alto comprometimento hídrico e que, com isso, apresentam maior tendência de escassez hídrica já na condição atual;
- Percentual de comprometimento hídrico igual ou superior a 50% para a vazão de referência de outorgas do estado no cenário tendencial para a cena futura de 2045: esse caso complementa a situação anterior considerando situações de bacias que atualmente podem ainda não estar com alto índice de comprometimento, mas podem estar no futuro;
- Ocorrência de índices pluviométricos inferiores à média histórica para o período chuvoso: esse pode ser um gatilho importante para a análise específica anual, considerando que, ao final do período chuvoso principal da bacia, que ocorre entre outubro e abril, deve ser estimado o total precipitado e comparado com a média histórica. No caso dos anos em que tais índices forem inferiores a essa média, tem-se uma maior tendência a escassez hídrica ao longo dos próximos meses do ano;
- Identificação de vazões escoadas nos rios da bacia em valores próximos à vazão de referência mínima adotada pelos OGRHs para outorga: a Rede Hidrológica Nacional apresenta estações fluviométricas com monitoramento diário de cotas e as respectivas curvas-chave que permitem a transformação cota-vazão. Assim, com base nesse

monitoramento, podem ser estabelecidos gatilhos de escassez hídrica em situações em que a vazão escoada em cada estação esteja próxima dos valores referentes à vazão de referência mínima no local, de acordo com os normativos do OGRH. Considerando o regime hidrológico da região com períodos chuvosos e secos claros, podem ser definidas curvas de recessão de vazões para cada trecho de rio monitorado. Dessa forma, como exemplo, em Minas Gerais, caso as vazões de determinado trecho de rio monitorado estejam reduzindo no período de estiagem de acordo com a curva de recessão e atingindo valores próximos à $Q_{7,10}$, pode ser considerado um gatilho de alerta para aquela bacia, indicando que está próxima de atingir condição de escassez hídrica.

As UPs do Alto e Médio Paraíba do Sul apesar de apresentarem um balanço hídrico menos comprometido, possuem suas particularidades que devem ser levadas em consideração. Ambas apresentam um aumento significativo das suas demandas características: mineração, irrigação e uso industrial no Alto Paraíba do Sul e uso industrial no Médio Paraíba do Sul. Além disso, ambas apresentam projeções de aumento nas vazões transpostas para

cenários futuros, ocasionando a diminuição de suas disponibilidades hídricas. Especificamente no Alto Paraíba do Sul, há uma concentração de trechos em situações críticas nos afluentes diretos do rio Paraíba do Sul.

O Alto Paraíba do Sul, apesar de ser detentor das maiores demandas da bacia, é um grande produtor de água, atendendo em termos gerais suas demandas. Porém, apresenta trechos com elevado comprometimento hídrico em locais específicos nos afluentes do rio Paraíba do Sul, ocasionados por demandas localizadas, demandando foco em tais otobacias. Além disso, a manutenção da disponibilidade hídrica nesta UP é essencial para o restante da bacia, tendo em vista que se trata da região mais a montante e realiza a regularização das vazões em seus reservatórios, afetando diretamente todo o trecho do Paraíba do Sul a jusante.

O Médio Paraíba do Sul é determinante não só para a gestão das águas na bacia do rio Paraíba do Sul, mas também na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, tendo em vista que fornece água a partir da transposição no barramento de Santa Cecília. Dessa forma, a manutenção da capacidade de produção nesta UP e na UP do Alto Paraíba do Sul (diretamente a montante) é essencial para a

segurança hídrica, tanto para as regiões à jusante quanto para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Nota-se que na região a montante da transposição, existem pontos de comprometimento hídrico localizados (já na cena atual) que demandam atenção específica, ocasionados principalmente pelo uso industrial, preponderante na UP. Na região a jusante da transposição, há um índice de comprometimento intermediário nos afluentes do Paraíba do Sul, entre os municípios de Barra do Piraí e Paraíba do Sul. Tal comprometimento é esparso na cena atual, porém concretiza-se no cenário futuro, indicando a possibilidade da tomada de medidas para evitá-lo.

Entre as UPs com elevada criticidade na cena atual, destacam-se Rio Dois Rios e Piabanha. A UP Rio Dois Rios concentra o maior percentual de ottobacias em déficit hídrico da bacia, sobretudo nos afluentes do rio Grande. O agravamento desse quadro em cenários futuros, somado ao avanço das faixas intermediárias, sinaliza as tendências futuras na UP. Já a UP Piabanha apresenta o maior incremento absoluto de ottobacias críticas, influenciado principalmente pela duplicação das demandas de irrigação. A elevada proporção de ottobacias em faixas intermediárias já na cena atual evidencia que, na ausência de intervenções, a pressão hídrica

se intensificará rapidamente. Especificamente para as UPs Piabanha e Dois Rios, cabe lembrar dos comentários apresentados no balanço hídrico realizado no Produto 4, que mostravam uma condição bastante crítica em determinados trechos. Nesses casos, foi feita análise específica, identificando que podem estar relacionados aos baixos valores de disponibilidade hídrica advinda do Estudo de Disponibilidade Hídrica (EDH). Assim, devido aos baixos rendimentos específicos identificados para as vazões de referência adotadas para a região, os balanços hídricos se mostram críticos, mesmo com valores reduzidos de demandas.

Por outro lado, as UPs Rios Pomba e Muriaé e Baixo Paraíba do Sul, atualmente em situação com certo conforto hídrico (apresentam, respectivamente, 1,02 % e 2,8 % de ottobacias em situação muito crítica), mostram forte tendência de agravamento no cenário futuro de Maior Pressão. Na primeira, as demandas aumentam de 5,06 m³/s para 9,35 m³/s, destacando-se os usos agrícolas e as perdas por evaporação, especialmente nas porções superiores da UP, como os afluentes Xopotó e Muriaé. No Baixo Paraíba do Sul, observa-se a maior mudança percentual da bacia, com redução de 92% para 80% das ottobacias em situação confortável. O salto da demanda de águas superficiais para 13,6 m³/s, impulsionado pela irrigação, novos

reservatórios e termoeletricas, afeta, não apenas áreas com histórico de pressão, como os rios Muriaé e Carangola, mas também regiões anteriormente estáveis.

Diante desse panorama, é essencial a implementação de um conjunto de ações estratégicas integradas, com foco nas seguintes diretrizes:

- **Gestão da demanda agrícola:** implantação de tecnologias de irrigação eficiente, reúso de água e zoneamento de áreas críticas para cultivo irrigado.
- **Gestão adaptativa de outorgas:** estabelecimento de limites condicionais para novas outorgas em áreas de risco e revisão periódica com base em balanços quali-quantitativos atualizados.
- **Proteção de áreas de recarga e manutenção de vazões ambientais:** ampliação de ações de restauração florestal e conservação do solo em UPs sensíveis.
- **Integração setorial e fortalecimento institucional:** articulação entre os setores agrícola, energético e urbano com os comitês de bacia, garantindo ações coordenadas frente ao crescimento da demanda.

O cenário futuro aponta para o incremento expressivo das demandas hídricas em todos os setores, com exceção do abastecimento urbano, que tende a se reduzir, em função da diminuição das perdas na rede e da tendência de redução demográfica. Nesse contexto, o sucesso na preservação das reservas hídricas da bacia dependerá da capacidade de alinhar o desenvolvimento econômico à gestão sustentável da água, por meio de planejamento preventivo, controle de pressões emergentes e investimentos direcionados nas UPs mais vulneráveis.

7.6.2. Águas Subterrâneas

A identificação de regiões críticas no balanço hídrico subterrâneo é fundamental para a priorização de ações de gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos. A partir da análise comparativa entre as demandas projetadas e as reservas exploráveis estimadas para cada sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BHPS), foi possível destacar áreas que já demonstram comprometimento relevante dos recursos subterrâneos, mesmo antes de atingirem os limiares de escassez definidos pela Deliberação CRH nº 146/2012.

- **Sub-bacia Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul (UP Alto Paraíba do Sul):** essa sub-bacia apresenta os maiores índices de comprometimento hídrico da BHPS, com valores de 27,1% na cena atual e 33,2% no cenário de Maior Pressão (2045). Esse grau de comprometimento, classificado como "preocupante", decorre da intensa concentração de atividades industriais, de mineração e de abastecimento urbano, que somam demandas superiores a 12 m³/s em 2045. Essa condição torna a UP Alto Paraíba do Sul uma região crítica prioritária para ações de controle e gestão da demanda;
- **Sub-bacias dos rios Pomba, Muriaé e Carangola:** estas sub-bacias se encontram na faixa de situação potencialmente preocupante, com comprometimentos variando entre 5% e 11% da reserva explotável. Juntas, suas demandas no cenário de Maior Pressão atingem 1,57 m³/s, frente a uma reserva disponível de 19,8 m³/s. Embora os volumes absolutos não sejam elevados, a hidrogeologia local – dominada por aquíferos fraturados de baixa produtividade – acentua a sensibilidade da região ao uso intensivo. A

conjugação de limitações naturais com o crescimento da demanda justifica a necessidade de monitoramento contínuo;

- **Sub-bacia do rio Piabanha (UP Piabanha):** apesar de representar uma das menores demandas da bacia (0,41 m³/s em 2045), a baixa reserva explotável da sub-bacia (3,1 m³/s) resulta em um índice de comprometimento de 13,1%, em ascensão em relação à cena atual (10,5%). Essa sub-bacia encontra-se integralmente inserida em um domínio hidrogeológico de muito baixa produtividade, conforme mapeamento geológico. O aumento proporcional da demanda representa uma pressão significativa sobre os aquíferos locais, justificando seu enquadramento como uma região crítica emergente.

8. HISTÓRICO DE REGRAS OPERATIVAS DAS UHES DO SISTEMA HIDRÁULICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL

8.1. DESCRIÇÃO GERAL

O início das intervenções na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul ocorreu nos primeiros anos do Século 20, quando foi concluído o reservatório de Lajes, no Ribeirão das Lajes, em 1908, um dos formadores do rio Guandu (ANA, 2015). Em 1913, ocorreu a primeira transposição das águas da bacia hidrográfica do Paraíba do Sul para a vertente Atlântica por meio do reservatório de Tocos, no rio Piraí, que deriva vazões para o reservatório de Lajes através de um túnel por gravidade. Na década de 1930 foi implantada uma adutora de 72 km, derivando as águas do ribeirão das Lajes até o Derby Club, atual Estádio do Maracanã, para abastecimento do então Distrito Federal, alcançando uma vazão superior a 5 m³/s, em 1949.

As principais barragens da bacia hidrográfica foram construídas entre as décadas de 1950 e 1970, com as funções principais de geração hidrelétrica e regularização de vazões. Em 1952, a Usina Elevatória (UEL) Santa Cecília entrou em operação, com capacidade de desviar no máximo 160 m³/s do rio Paraíba do Sul, o que seria

equivalente a aproximadamente 60% da vazão natural média deste rio no local, que corresponde a 267 m³/s (de 1993 a 2024).

Como a barragem de Santa Cecília praticamente não possui capacidade de regularização de vazões, em 1959 entrou em operação o reservatório de Santa Branca, situado a montante, no trecho paulista do rio Paraíba do Sul. Em 1962, foi concluído o último de uma série de aproveitamentos hidrelétricos no complexo de Lajes, a UHE Pereira Passos. A partir de então, intensificaram os investimentos em reservatórios de regularização do trecho de montante da UEL Santa Cecília (ANA, 2015), entrando em operação Funil (1969), Jaguari (1972), e Paraibuna/Paraitinga (1978).

Atualmente, o sistema de reservatórios e Usinas Hidroelétricas (UHES) da bacia do rio Paraíba do Sul possui 17 aproveitamentos em operação, cujas informações estão apresentadas no Quadro 8-1, junto aos principais dados operativos. Embora alguns estejam localizados fora dos limites da bacia, devido à transposição e ao manejo integrado dos recursos hídricos, todos os reservatórios são considerados como integrantes do sistema do Paraíba do Sul.

A Figura 8-1 apresenta a localização dos principais aproveitamentos e as transposições de vazões realizadas na bacia do rio Paraíba do

Sul. Vale ressaltar que os caminhos das transposições indicadas no mapa representam apenas uma ilustração visual dos locais onde há troca de água na bacia.

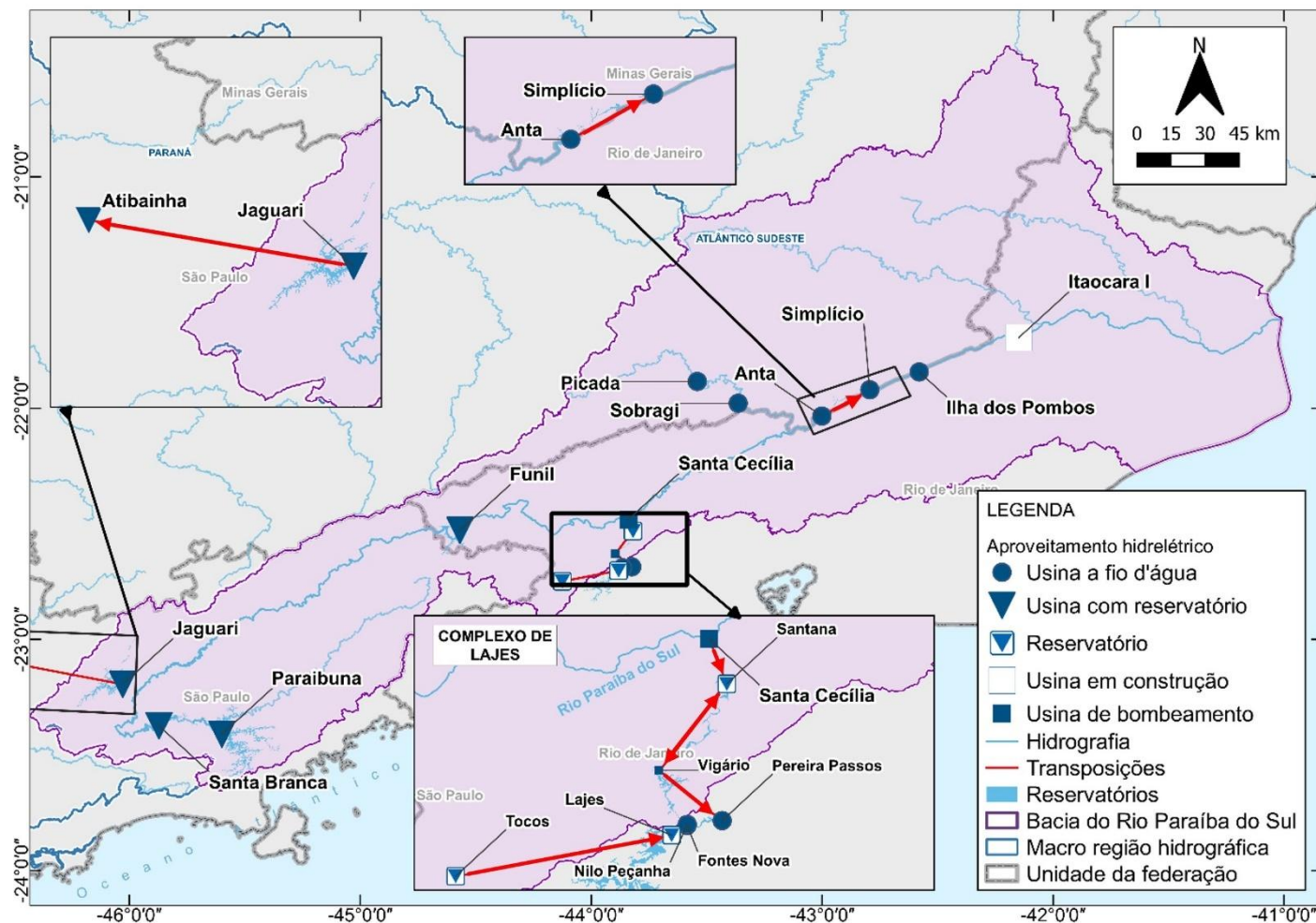
Quadro 8-1 – Principais aproveitamentos localizados na bacia do rio Paraíba do Sul e dados operativos

Aproveitamento	Corpo Hídrico	Área de Drenagem (km ²)	Latitude	Longitude	Agente	Início do Enchimento	Início da Operação	Potência Efetiva Total (MW)	Nível Mínimo Normal (m)	Nível Máximo Normal (m)	Nível Máximo <i>Maximorum</i> (m)	Engolimento Mínimo (m ³ /s)	Engolimento Máximo (m ³ /s)
UHE Paraibuna	Rio Paraibuna	4.086	23°24'35,541"S	45°36'2,234"W	AUREN	08/01/1974	20/04/1978	86	649,60	714,0	716,50	31,5	140,8
UHE Santa Branca	Rio Paraíba do Sul	4.912	23°22'26,97"S	45°52'17,79"W	LIGHT	09/12/1959	06/06/1999	56	605,0	622,0	623,4	35,5	156,2
UHE Jaguari	Rio Jaguari	1.310	23°11'42,73"S	46°01'42,68"W	FURNAS	05/12/1969	02/01/1972	27,6	603,2	623,0	625,8	16,0	70,4
UHE Funil	Rio Paraíba do Sul	13.499	22°31'43,72"S	44°34'04,55"W	FURNAS	30/10/1969	22/12/1969	222	444,0	466,50	466,87	61,50	405,90
UEL Santa Cecília	Rio Paraíba do Sul	16.630	22°28'52,98"S	43°50'19,40"W	LIGHT	03/1952	16/03/1952	-32	353,0	353,95	353,00	NA	NA
RES Lajes	Rio Ribeirão das Lajes	304	22°41'26,84"S	43°51'49,11"W	LIGHT	01/1905	NA	NA	386,5	415,0	416,5	NA	NA
UHE Fontes	Rio Ribeirão das Lajes	-	22°41'30,62"S	43°51'49,81"W	LIGHT	NA	01/01/1940	132	8,5	56,1	415,0	415,0	415,0
UHE Pereira Passos	Rio Ribeirão das Lajes	317	22°41'11,21"S	43°49'27,06"W	LIGHT	09/1962	23/10/1962	100	82,5	86,5	86,5	341,0	77,5
UHE Nilo Peçanha	Rio Guandu	-	22°40'59,871"S	43°52'23,705"W	LIGHT	NA	01/04/1953	380	399,0	399,0	399,0	9	154
RES Vigário	Rio Pirai	-	22°37'46,60"S	43°53'44,64"W	LIGHT	NA	NA	-88	396,0	399,0	399,2	NA	NA
RES Tocos	Rio Pirai	382	22°44'57,20"S	44°07'31,46"W	LIGHT	03/1913	NA	NA	440,0	448,0	452,0	NA	NA
RES Santana	Rio Pirai	882	22°31'55,38"S	43°49'08,23"W	LIGHT	03/1952	NA	NA	361,5	363,60	363,60	NA	NA
UHE Picada	Rio do Peixe	1.721	21°53'04,73"S	43°32'26,69"W	AUREN	27/05/2005	01/07/2006	50	658,7	659,2	660,3	11,0	48,40
UHE Sobragi	Rio Paraibuna	3.721	21°58'43,98"S	43°21'48,22"W	CBA	30/08/1998	15/09/1998	60	436,40	437,30	439,78	14,50	95,70
RES Anta	Rio Paraíba do Sul	30.593	22°02'02,81"S	43°00'03,53"W	FURNAS	23/02/2013	NA	NA	250,5	251,5	251,5	35,5	156,2
UHE Símplicio	Rio Paraíba do Sul	30.593	21°55'14,12"S	42°47'36,56"W	FURNAS	01/05/2013	05/06/2013	305,7	246,0	251,5	251,5	51,5	339,9
UHE Ilha dos Pombos	Rio Paraíba do Sul	32.233	21°50'36,68"S	42°34'46,22"W	LIGHT	03/1924	06/07/1924	187,1	137,4	140,0	140,0	48,5	728,2

Notas: UHE – Usina Hidroelétrica
UEL – Usina elevatória
RES - Reservatório

Fonte: elaborado pelo Consórcio a partir de dados do ONS.

Figura 8-1 – Localização dos principais aproveitamentos hidrelétricos e transposições da bacia do rio Paraíba do Sul



Fonte: elaborado pelo Consórcio.

8.2. TRANSPOSIÇÕES

No contexto de vazão transferida, considera-se a vazão recebida ou cedida entre reservatórios por meio de canais, túneis, estações de bombeamento ou outras estruturas. Em casos de transposição de vazões, usualmente estão envolvidas duas usinas/reservatórios: a cedente e a receptora. Em algumas situações, ambas podem desempenhar os dois papéis.

Existem duas transposições de água na bacia do rio Paraíba do sul (Figura 8-2). Uma que transpõe água da bacia do rio Paraíba do Sul para o rio Guandu, na porção média do rio Paraíba do Sul, construída na década de 1950. Outra que transpõe água, interligando o reservatório de Jaguari com o reservatório do rio Atibainha, que pertence ao Sistema Cantareira, na bacia do rio Piracicaba-SP, em operação desde 2018. Ambas são importantes para o abastecimento dos centros urbanos e das capitais dos estados do Rio de Janeiro e São Paulo. No sistema Guandu, destaca-se também o abastecimento do polo industrial. Além disso, existe também a transposição do rio Macabu, que não será aprofundada neste estudo.

Existe também um sistema de transferência de vazões dentro dos limites da bacia do rio Paraíba do Sul. O Reservatório Anta transfere vazão para a UHE Simplício, sendo as únicas vazões afluentes da UHE, desta forma, a vazão transferida é mantida dentro da bacia do Paraíba do Sul, então não será foco da avaliação deste relatório.

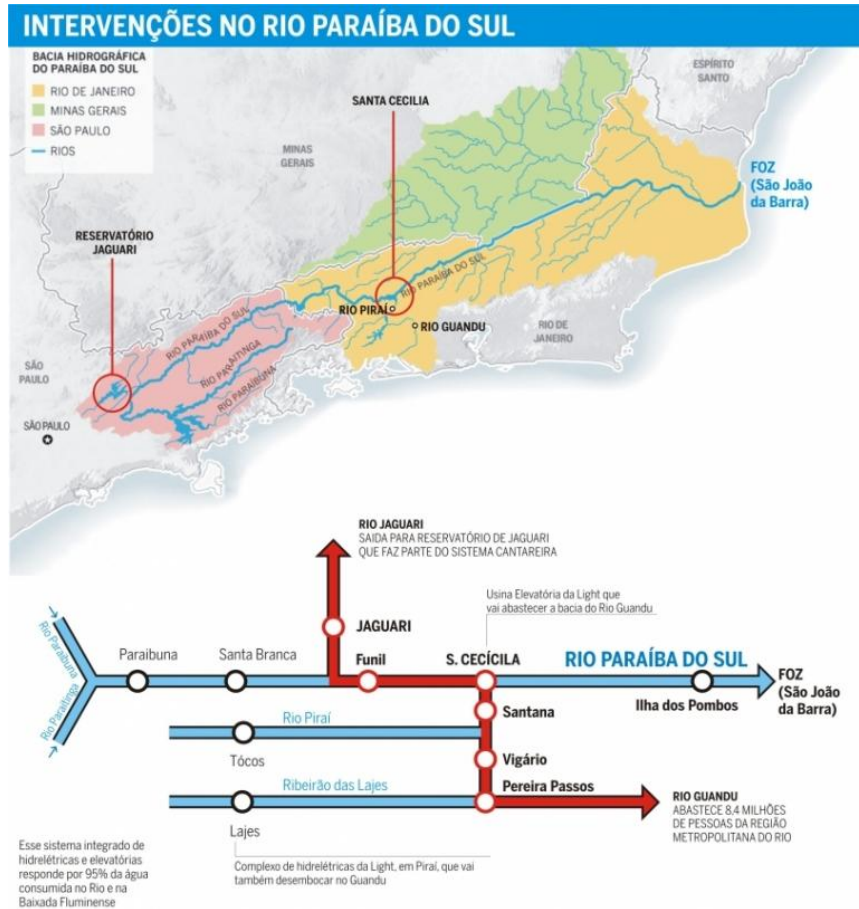
O Quadro 8-2 apresenta um resumo das transposições que retiram água da bacia do rio Paraíba do Sul, enquanto a Figura 8-3 apresenta um esquema geral do percurso dos principais rios da bacia do Paraíba do Sul, incluindo os aproveitamentos e as transposições realizadas.

Quadro 8-2 – Transposições externas na bacia do Paraíba do Sul

Transposição	Sistema	Bacia de Origem	Bacia de Destino	Vazão média (m³/s)
Jaguari - Atibainha	Paraíba do Sul - PCJ	Paraíba do Sul	Rio Piracicaba	5,1
UEL Santa Cecília - RES Santana	Complexo de Lajes	Paraíba do Sul	Rio Guandu	119,0

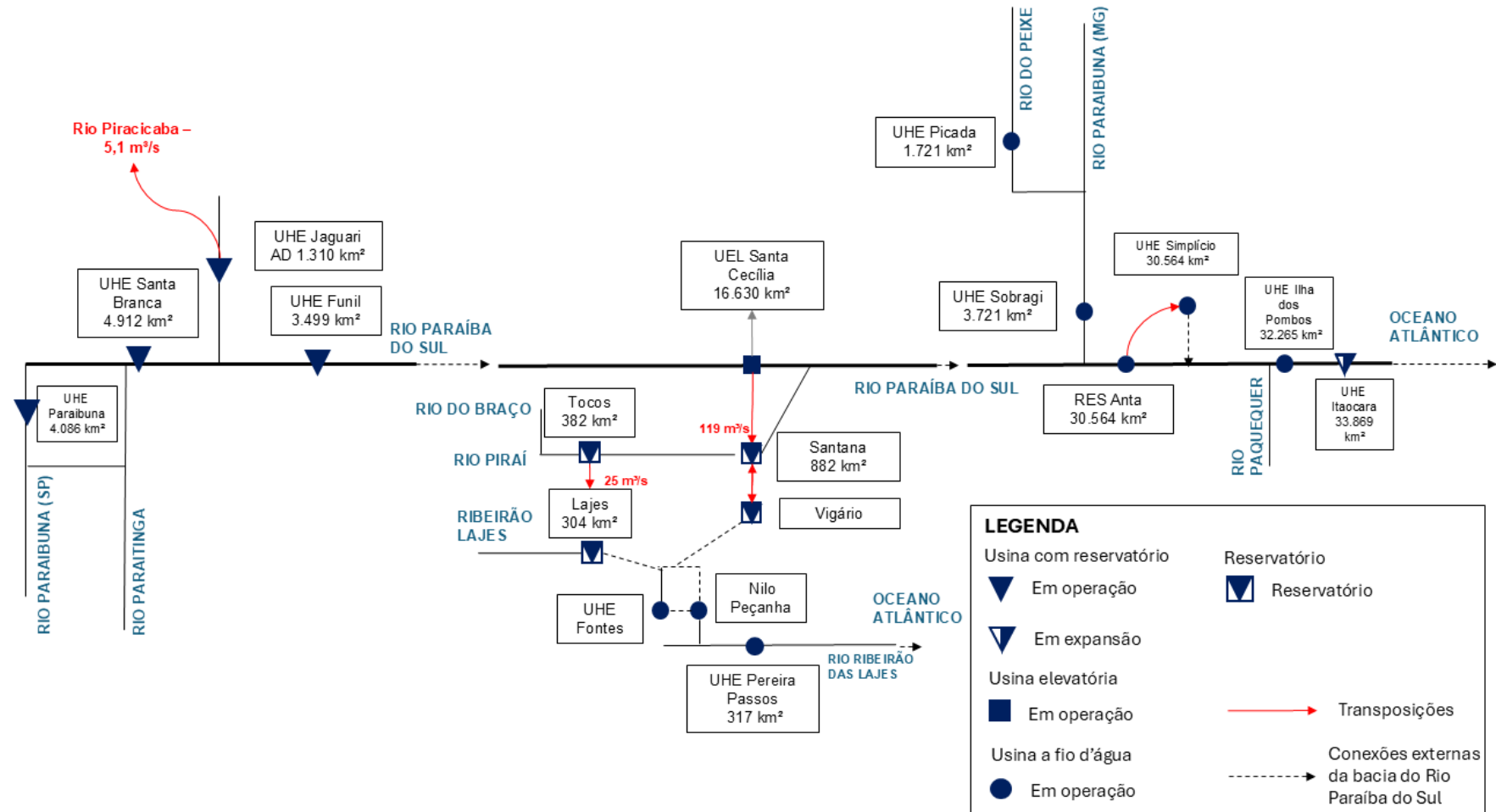
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 8-2 – Esquema geral das transposições da bacia do rio Paraíba do Sul



Fonte: CAMPOS MAGAZINE NEWS (2019)

Figura 8-3 – Esquema geral do percurso dos principais rios e reservatórios da bacia do Paraíba do Sul



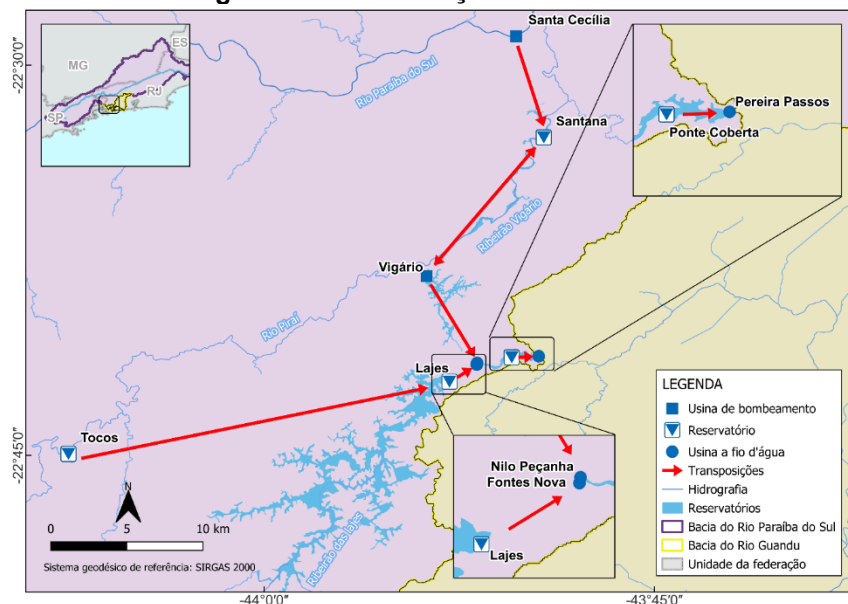
Fonte: elaborado pelo Consórcio

8.2.1. Transposição do Sistema Guandu

O sistema Guandu é composto por um conjunto de rios, canais, reservatórios, usinas hidrelétricas, estações elevatórias e demais estruturas hidráulicas (Figura 8-4). Ele é responsável por abastecer aproximadamente 9 milhões de pessoas, o que corresponde a cerca de 80% do abastecimento de água potável da região metropolitana do Rio de Janeiro.

O sistema inicia-se na usina elevatória (UEL) de Santa Cecília, que bombeia água do rio Paraíba do Sul para o reservatório de Santana (desnível de 15 m), no rio Piraí, invertendo o curso deste rio e elevando significativamente sua vazão. A UEL Santa Cecília tem uma capacidade média de bombeamento de 119 m³/s. Após receber a vazão transferida, do reservatório Santana são bombeadas vazões para o reservatório Vigário (desnível de 35 m), de onde, por sua vez, são transferidas vazões (por gravidade) para as UHEs Fontes Nova e Nilo Peçanha. O reservatório de Tocos transfere vazões para o reservatório de Lajes, localizado no ribeirão Lajes, por gravidade, através de um túnel com capacidade máxima de 25 m³/s (AGEVAP, 2014). Essa transposição contribui para aumentar a capacidade de geração da UHE Fontes Nova. Posteriormente as águas fluem para o reservatório de Ponte Coberta da Usina Hidrelétrica de Pereira Passos, desaguardo no rio Guandu. A funcionalidade dos aproveitamentos do complexo das Lajes está esquematizada na Figura 8-5 e Figura 8-6.

Figura 8-4 – Localização do sistema Guandu



Fonte: elaborado pelo Consórcio

s.d.), sendo uma das maiores estações de tratamento de água do mundo.

Segundo ANA (2015) a interligação das bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu une as bacias de forma praticamente irreversível e, por isso, não se recomenda a análise de seus recursos hídricos de forma isolada. Como mencionado, o sistema se localiza numa das áreas de maior concentração populacional e industrial do país o que, numa bacia com disponibilidade hídrica limitada pela sua pequena área de drenagem, gera problemas de conflitos devido ao alto comprometimento dos recursos hídricos. Ainda de acordo com ANA (2015), o ponto mais crítico do sistema em termos de escassez e de conflitos pelo uso dos recursos hídricos é justamente na EE Santa Cecília, onde é feita a divisão entre as águas que serão bombeadas e as que seguirão para jusante da bacia. Portanto, nota-se que tal região necessita de atenção especial no que tange à definição de sua operação, tendo em vista ser um ponto crítico para a gestão das águas na bacia.

O Complexo de Lajes é gerido pela Light Energia a partir de regras definidas pelo Governo Federal.

8.2.2. Transposição Jaguari Atibainha

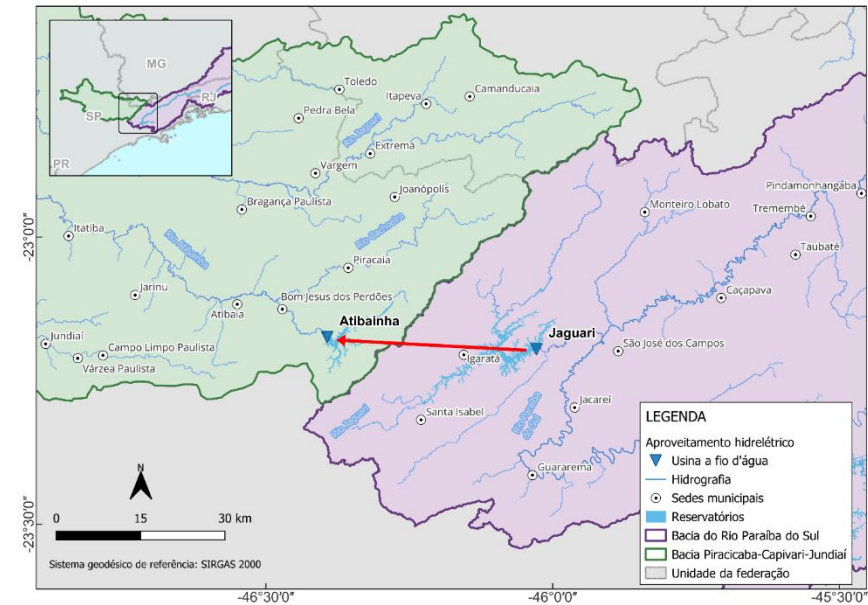
Como parte das medidas contingentes para a crise hídrica em 2014-2015, em fevereiro de 2018 entrou em operação a transposição de água da bacia do Paraíba do Sul para o reservatório Atibainha no Sistema Cantareira. Essa transposição beneficia diretamente 9,5 milhões de pessoas (dado da época em que iniciou sua operação) na região metropolitana de São Paulo (SABESP, 2018). O reservatório Jaguari também é utilizado para a geração de energia hidrelétrica (UHE Jaguari). A Portaria DAEE nº 4563/17 de 11/12/17 (Agência de Águas do Estado de São Paulo – SPAGUAS, s.d.), concede a outorga no prazo de 10 anos para esta transposição.

A Figura 8-7 ilustra a localização do reservatório Jaguari na Bacia do Paraíba do Sul e os reservatórios do Sistema Cantareira. A obra é composta pela Estação Elevatória de Água Bruta (EEAB) construída junto ao reservatório Jaguari (CESP), cerca de 13 km de adutora e 6 km de túnel escavado em rocha. Na Figura 8-8 é apresentada a interligação do sistema Jaguari-Atibainha.

As condicionantes operativas dessa transposição constam na Resolução ANA nº 1.931/2017 (ANA, 2017). No Sistema Cantareira, o seu uso é limitado a um volume anual total de até 162 hm³ para o

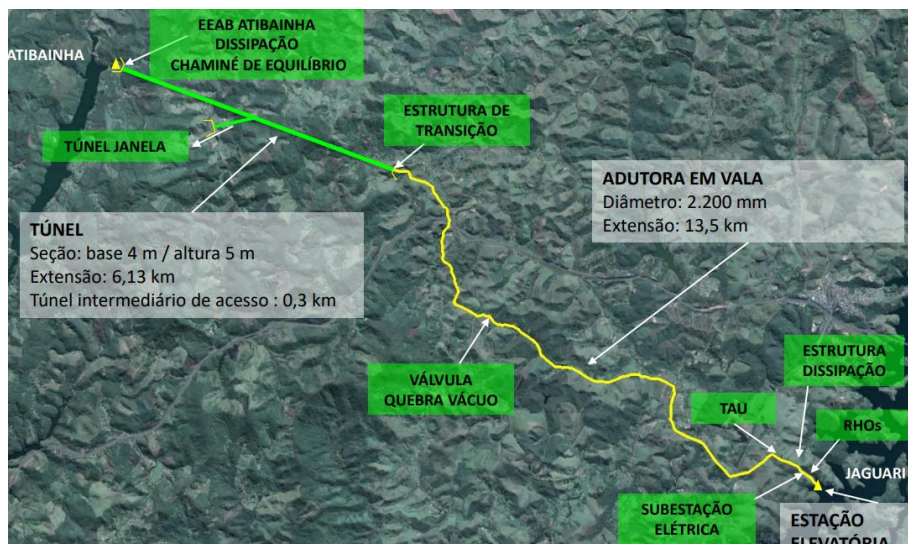
reservatório Atibainha, o que equivale à captação de uma vazão média anual de 5,13 m³/s (máxima de 8,5 m³/s). Destaca-se, no entanto, que se o Sistema Cantareira estiver operando na faixa especial, ou seja, com volume útil inferior à 20%, as vazões bombeadas são definidas pelos órgãos gestores para aumentar a segurança hídrica, conforme § 3º do Art. 4º da Resolução Conjunta ANA/DAEE Nº 925, de 29 de maio de 2017 (ANA, 2017). A interligação também possibilita o fluxo no sentido inverso, da represa Atibainha para a represa Jaguari, de até 12,2 m³/s, em situações específicas de cheia.

Figura 8-7 – Localização do sistema Jaguari - Atibainha



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 8-8 – Interligação do sistema Jaguari-Atibainha



Fonte: SABESP, 2018

8.3. HISTÓRICO DA OPERAÇÃO E CRISE HÍDRICA DE 2014-2015

8.3.1. Evolução dos Volumes Armazenados

O conjunto dos quatro reservatórios existentes nesta bacia formam o denominado reservatório equivalente (RE), que tem capacidade total de reservação de 7.294,70 milhões de metros cúbicos, dos

quais 4.341,90 milhões de metros cúbicos estão dentro da faixa normal de operação do setor elétrico (volume útil total). O reservatório de Paraibuna é o que possui maior capacidade de armazenamento (61% do volume útil total), seguido por Jaguari (18%), Funil (14%) e Santa Branca (7%). O Quadro 8-3 apresenta o detalhamento das informações sobre volume máximo e mínimo operacional e volume útil de cada reservatório.

Quadro 8-3 – Características de armazenamento dos reservatórios do Sistema Paraíba do Sul

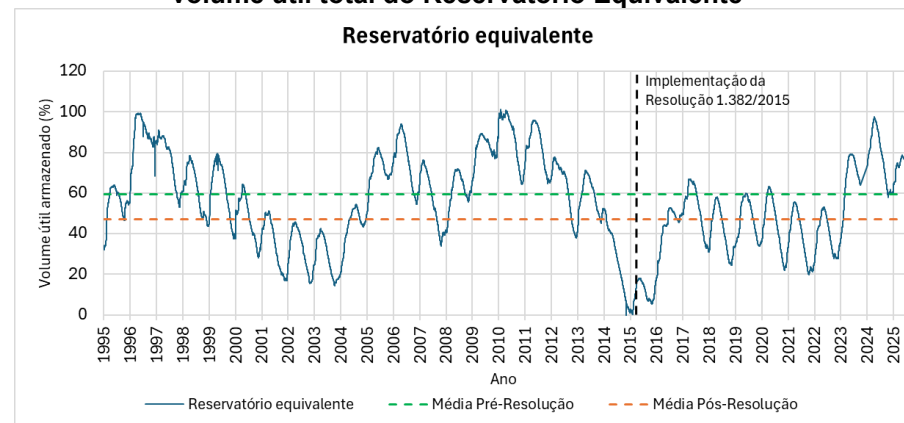
Reservatório	Volume Máximo (hm³)	Volume Mínimo (hm³)	Volume útil		Volume Morto utilizável sem bombeamento	
			hm³	% do volume equivalente	hm³	% do volume equivalente
Paraibuna	4.731,7	2.095,6	2.636,1	60,7	425	9,8
Santa Branca	439	131	308	7,1	84	1,9
Jaguari	1.235,6	443,1	792,5	18,3	-	-
Funil	888,3	283	605,3	13,9	60	1,4
Reservatório Equivalente	7.294,6	2.952,7	4.341,9	100	569	13,1

Fonte: elaborado pelo consórcio a partir de ONS.

As séries históricas de volume armazenado nos reservatórios mencionados foram obtidas do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR), permitindo verificar o histórico da operação durante o período de 1993 a junho de 2025. A abordagem por meio do reservatório equivalente, como mostrado na Figura 8-9, permite

visualizar, de forma conjunta, o regime de armazenamento dos quatro reservatórios analisados, proporcionando uma compreensão mais clara e integrada do comportamento do sistema ao longo do tempo. Durante as severas crises hídricas de 2001-2003 e 2014-2016, observou-se uma redução acentuada no volume útil de todos os reservatórios da região, sendo necessário, desta forma, implementar regras operativas mais restritivas. Nesses períodos, os volumes úteis reduziram-se a níveis historicamente críticos, alcançando 14 % em outubro de 2003 e chegando a 0% em novembro de 2014, valores não registrados em nenhum outro momento da série histórica. Observa-se que, em média, o período posterior à Resolução nº1.382/2015 apresentou médias de volumes armazenados menores do que o período anterior. Porém, tal diminuição não pode ser atribuída exclusivamente à Resolução, tendo em vista que foi um período com menor disponibilidade hídrica.

Figura 8-9 – Série temporal do volume útil armazenado, em relação ao volume útil total do Reservatório Equivalente



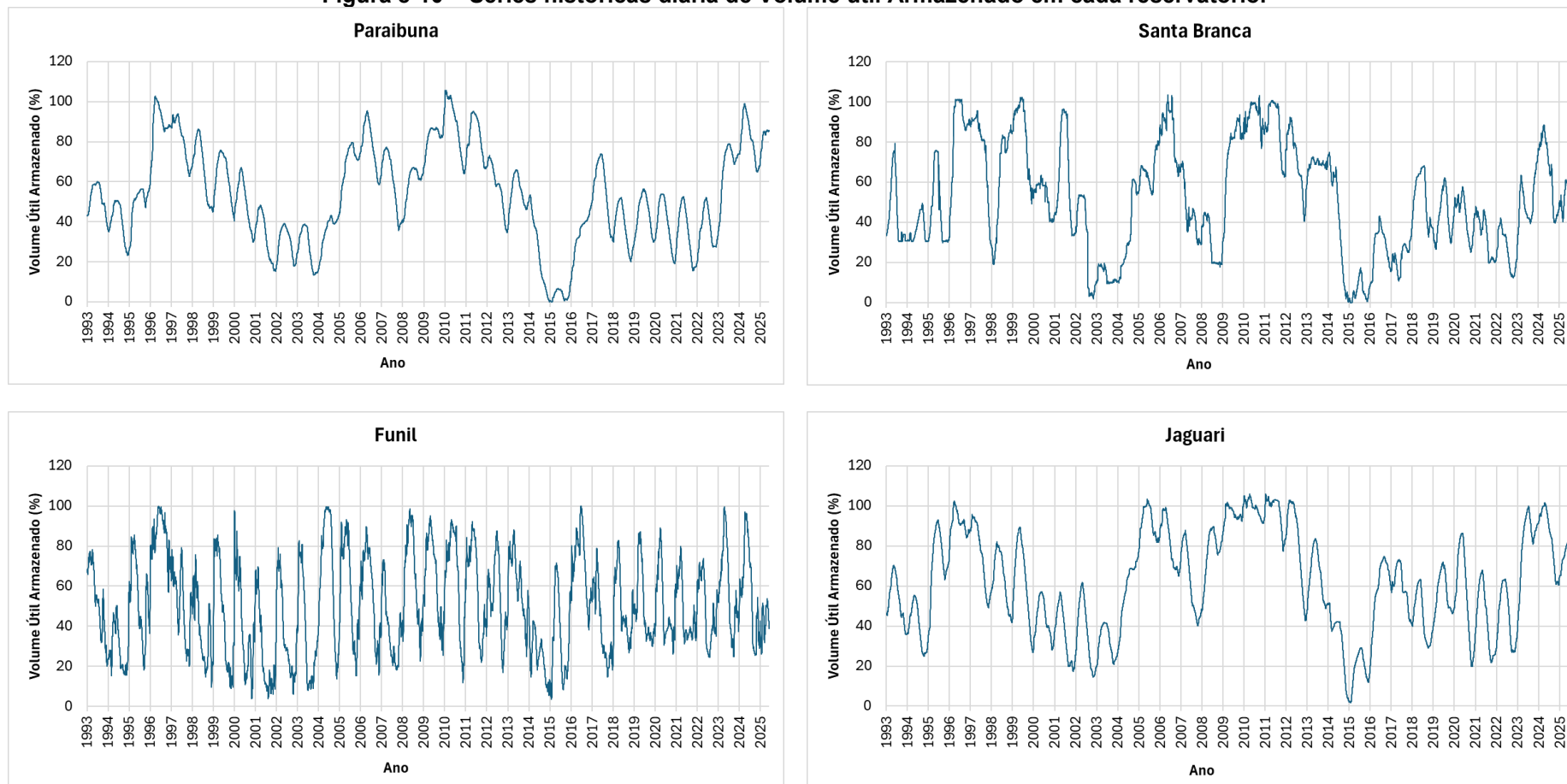
Fonte: elaborado pelo Consórcio a partir de dados do ONS.

As séries históricas dos volumes armazenados individualmente em cada reservatório são apresentadas na Figura 8-10. De maneira geral verifica-se comportamento similar entre as séries dos reservatórios dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari, todos apresentando de maneira bem pronunciada as crises hídricas de 2001-2003 e 2014-2016. O reservatório de Funil apresenta um comportamento diferente dos demais, onde os efeitos das crises hídricas não se apresentam de forma tão evidente. O comportamento da série histórica desse reservatório é marcado por elevada variabilidade nos volumes armazenados ao longo do

período analisado, o que provavelmente se deve ao fato de sua regra operativa específica.

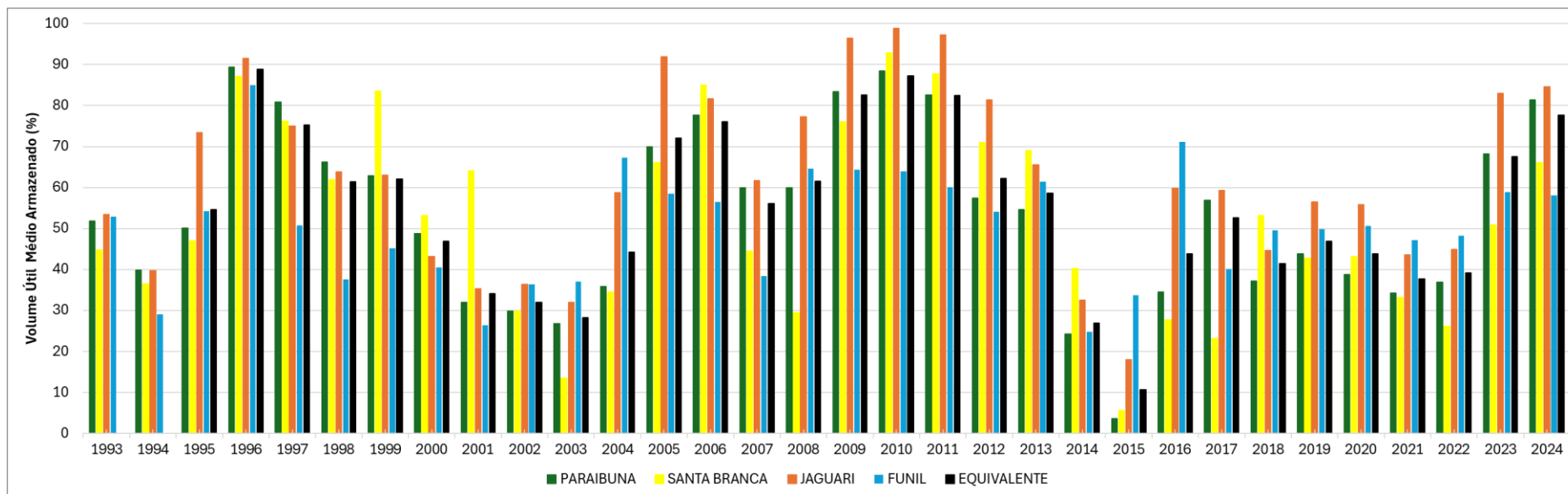
O gráfico da Figura 8-11 apresenta as médias anuais do percentual de volume útil para cada um dos quatro reservatórios e para o Reservatório Equivalente, permitindo visualizar de forma mais clara a relação entre os volumes individuais e o comportamento agregado do sistema.

Figura 8-10 – Séries históricas diárias de Volume útil Armazenado em cada reservatório.



Fonte: elaborado pelo Consórcio a partir de dados do ONS.

Figura 8-11 – Médias anuais dos volumes úteis para os quatro reservatórios analisados e o Reservatório Equivalente



Fonte: elaborado pelo Consórcio

8.3.2. Histórico das Condicionantes de Operação

A análise do histórico de operação foi dividida em 3 períodos: operação anterior à crise hídrica, 2001-2003; operação imposta pela crise hídrica de 2001-2003, focando especialmente nas regras operativas determinadas pela Resolução ANA nº 211/2003; e, por fim, operação imposta pela crise hídrica de 2014-2016, apresentando as normativas de redução temporária dos limites de vazão e focando nas regras operativas determinadas pela Resolução ANA/DAAEE/IGAM/INEA nº 1382/2015.

Operação anterior à crise hídrica de 2001-2003

Devido a sua complexidade, a sua importância e a diferentes configurações institucionais e legais, desde 1970, a operação do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul tem sido alvo de diversas regulamentações. Inicialmente, as regras operativas foram definidas por meio de decretos e normativas, dos quais destaca-se:

- Decreto nº 68.324 de 9 de março de 1971: aprovou o Plano de Regularização do Rio Paraíba do Sul, considerando os reservatórios de Santa Branca, Jaguari e Funil, e autorizou a construção do Reservatório de Paraibuna-Paraitinga. Esse Decreto manteve a autorização concedida anteriormente à

LIGHT para desvio das águas do rio Paraíba do Sul na Usina Elevatória Santa Cecília até o máximo de 160 m³/s. Condição, ainda, a operação dos reservatórios à manutenção da descarga mínima a jusante da Usina Elevatória Santa Cecília em 90 m³/s, a partir da conclusão do Reservatório de Paraibuna-Paraitinga, e concedeu prazo de 180 dias para que o então Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) propusesse as regras operativas a serem adotadas pelos reservatórios do Rio Paraíba do Sul.

- Decreto nº 73.619, de 12 de fevereiro de 1974: designou o DNAEE como responsável pelo estabelecimento das normas operativas dos reservatórios;
- Portaria DNAEE nº 022, de 14 de fevereiro de 1977: DNAEE publicou as regras para a operação dos reservatórios do rio Paraíba do Sul na sua configuração final, a qual passou efetivamente a vigorar a partir de 28 de fevereiro de 1980;
- Decreto nº 81.436, de 09 de março de 1978: incluiu nas regras operativas a redução, em condições hidrológicas adversas, da descarga mínima a jusante da Usina Elevatória Santa Cecília para 71 m³/s, a critério do DNAEE. Apesar de tal Decreto não citar explicitamente a redução na vazão

bombeada em Santa Cecília, infere-se tal redução em condições hidrológicas adversas para 119 m³/s (manutenção de 190 m³/s afluentes menos 71 m³/s de defluência).

Com fundamento nas regras estabelecidas nas legislações citadas, o conjunto de reservatórios do rio Paraíba do Sul operou, desde fevereiro de 1980, com o objetivo de regularizar a vazão afluente à Usina Elevatória Santa Cecília em 250 m³/s em condições hidrológicas normais (160 m³/s para bombeamento e 90 m³/s para jusante), ou em 190 m³/s em condições desfavoráveis (119 m³/s para bombeamento e 71 m³/s para a jusante) (LIGHT, 2005).

Com a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em 2000, a definição das condições de operação de reservatórios passou a ser uma atribuição dessa Agência que, para reservatórios do setor elétrico, é realizada em articulação com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Nesse caso específico, a definição das condições de operação tem sido efetuada envolvendo também os Comitês de Bacia Hidrográfica, com participação dos usuários de recursos hídricos, do poder público em todas as suas esferas e dos órgãos da sociedade civil, em sintonia com os fundamentos de gestão descentralizada e participativa dos recursos hídricos (LIGHT, 2015). A ANA tem regulamentado as

condicionantes de operação do sistema hídrico da bacia através de diversas normativas e resoluções que foram publicadas ao longo dos anos.

Operação estabelecida pela crise hídrica de 2001-2003: Resolução ANA nº 211/2003

De acordo com Freitas (2004), durante a crise hídrica dos anos 2000 foi verificado que as vazões naturais afluentes aos reservatórios Paraibuna e Jaguari (para o período de 1996 a 2001), foram inferiores às vazões médias de longo termo e que, a diminuição da precipitação média não foi suficiente para explicar o baixo nível de acumulação dos reservatórios da bacia.

Dessa forma, devido às dificuldades em recuperar os volumes úteis dos reservatórios de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari e, considerando sua importância no abastecimento de água, na época, foi editada uma resolução com novas regras de operação, as quais foram definidas com o auxílio do modelo de rede de fluxo *AcquaNet* (Freitas, 2004). O estudo de Freitas (2004) teve o objetivo de testar cenários com diferentes valores de vazão defluente, ordem de prioridade de deplecionamento e restrições operativas. A partir dessas análises, foi publicada a Resolução nº 211/2003.

A Resolução ANA nº 211, de 26 de maio de 2003, estabeleceu as regras para operação dos reservatórios e estruturas de transposição, definindo vazões mínimas a jusante dos barramentos (Quadro 8-4). A resolução também mantém o limite mínimo para a vazão média de bombeamento em Santa Cecília em 119 m³/s (Decreto nº 81.436/1978). Com isso, a afluência mínima que deveria ser garantida em Santa Cecília era de 190 m³/s (71 m³/s para a jusante e 119 m³/s para bombeamento). Dessa forma, o deplecionamento dos reservatórios para atender esta vazão mínima de afluência em Santa Cecília deveria observar a ordem de prioridade detalhada no Quadro 8-4, procurando manter o limite de 10% do volume útil dos mesmos. A exceção para a vazão mínima a jusante de Santa Cecília seria quando a vazão incremental entre Funil e Santa Cecília fosse maior que 110 m³/s: neste caso, a vazão emergencial de 71 m³/s a jusante de Santa Cecília deveria ser gradativamente aumentada até atingir o limite da vazão mínima normal de 90 m³/s. Essa resolução foi alterada por outras normativas, mas foi reestabelecida pela Resolução nº 465/2004.

Quadro 8-4 – Condicionantes de operação definidas na Resolução nº 211/2003

Reservatório	Descarga mínima a jusante	Ordem de prioridade de deplecionamento*
Funil	80 m³.s⁻¹	1º
Santa Branca	40 m³.s⁻¹	2º
Paraibuna	30 m³.s⁻¹	3º
Jaguari	10 m³.s⁻¹	4º
Santa Cecília	71 m³.s⁻¹ (instantânea)	-
Pereira Passos	120 m³.s⁻¹ (instantânea)	-

*Deplecionamento refere-se à diminuição do volume dos reservatórios.

Fonte: Resolução ANA nº 211/2003

Conforme o Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul (ANA, 2015), a estratégia de operação (até a crise hídrica 2014-2016) para atender a vazão mínima afluente em Santa Cecília era feita por meio de um balanço hídrico que definia a vazão defluente da UHE Funil e, por consequência, as vazões defluentes das usinas de Paraibuna e Jaguari, situadas a montante de Funil. De acordo com o documento citado, a estratégia de operação era diferente dependendo do período hidrológico:

- No período chuvoso, de novembro a abril, a geração era normalmente minimizada nas usinas de cabeceira, Jaguari e

Paraibuna, dimensionada apenas para atender às defluências mínimas destes reservatórios;

- No período seco, de maio a outubro, a geração das usinas de cabeceira era utilizada para complementar os requisitos de afluência, para atender a vazão mínima afluenta em Santa Cecília. O armazenamento da UHE Funil era conduzido a seu armazenamento mínimo previsto, 10% do volume útil, para posteriormente serem utilizados os recursos dos reservatórios de cabeceira.

Operação estabelecida pela crise hídrica de 2014-2016: Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382/2015

As regras operativas da Resolução 211/2003 permaneceram em vigor até a crise hídrica de 2014. No ano de 2014, a bacia vivenciou uma estiagem severa, até então nunca registrada, a qual se prolongou também nos anos seguintes. Além disso, como parte das medidas contingentes para a crise hídrica, em fevereiro de 2018 entrou em operação a transposição de água da bacia do rio Paraíba do Sul para o reservatório Atibainha no Sistema Cantareira. As condicionantes operativas desta transposição constam na Resolução ANA nº 1.931/2017 (ANA, 2017). A nova transposição

trouxe um cenário de aumento da complexidade na gestão hídrica do estado do Rio de Janeiro associada à sua profunda dependência de uma bacia compartilhada e de gestão cada vez mais complexa (COSTA *et al.*, 2023).

Assim sendo, segundo Costa *et al.* (2023), o acordo federativo em torno da segurança hídrica do estado do Rio de Janeiro face à proposta paulista de transpor águas da bacia do rio Paraíba do Sul, foi iniciado em 2014 e celebrado em novembro de 2015 entre a ANA, as Secretarias de Estado e órgãos gestores de recursos hídricos, e o Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (CEIVAP) e sua agência de bacia Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) e homologado pelo STF em dezembro de 2015.

Destaca-se que durante o período de escassez hídrica de 2014 – 2016, foram publicadas normativas de redução temporária dos limites de vazão (Quadro 8-5), chegando a reduzir a vazão afluenta mínima à barragem de Santa Cecília para 110 m³/s, sendo também limitadas as descargas mínimas a jusante de Paraibuna, Santa Branca, Funil e Jaguari.

Quadro 8-5 – Resoluções de redução temporária estabelecidas durante a crise hídrica 2014/2016

Resolução	Validade	Redução
Nº 700/2014	30/06/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 173 m ³ .s ⁻¹
Nº 898/2014	31/07/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 173 m ³ .s ⁻¹
Nº 1038/2014	15/08/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 165 m ³ .s ⁻¹
Nº 1072/2014	-	Afluência Santa Cecília - 190 para 165 m ³ .s ⁻¹
Nº 1309/2014	30/09/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 160 m ³ .s ⁻¹
Nº 1516/2014	31/10/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 160 m ³ .s ⁻¹
Nº 1603/2014	30/11/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 160 m ³ .s ⁻¹
Nº 1779/2014	31/12/2014	Afluência Santa Cecília - 190 para 160 m ³ .s ⁻¹
Nº 2048/2014	31/01/2015	Afluência Santa Cecília - 190 para 140 m ³ .s ⁻¹
Nº 2051/2014	31/01/2015	Afluência Santa Cecília - 190 para 140 m ³ .s ⁻¹
Nº 86/2015	28/02/2015	Afluência Santa Cecília - 190 para 140 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 34 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 7 m ³ .s ⁻¹
Nº 145/2015	30/06/2015	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 34 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 7 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 70 m ³ .s ⁻¹

Resolução	Validade	Redução
Nº 205/2015	30/06/2015	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 30 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 70 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 25 m ³ .s ⁻¹
Nº 714/2015	31/10/2015	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 30 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 70 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 25 m ³ .s ⁻¹
Nº 1204/2015	31/01/2016	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 10 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 60 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 7 m ³ .s ⁻¹
Nº 65/2016	31/03/2016	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 10 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 60 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 7 m ³ .s ⁻¹
Nº 288/2016	31/05/2016	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 10 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹

Resolução	Validade	Redução
		Jusante Funil - 80 para 60 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 7 m ³ .s ⁻¹
Nº 561/2016	30/09/2016	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 10 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 60 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 7 m ³ .s ⁻¹
Nº 1188/2016	30/11/2016	Afluência Santa Cecília - 190 para 110 m ³ .s ⁻¹ Jusante Santa Branca - 40 para 10 m ³ .s ⁻¹ Jusante Jaguari - 10 para 4 m ³ .s ⁻¹ Jusante Funil - 80 para 60 m ³ .s ⁻¹ Jusante Paraibuna - 30 para 7 m ³ .s ⁻¹

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Segundo Costa *et al.* (2023), em 15 de janeiro de 2015, foi aprovado um relatório de avaliação do GT ANA-Estados-Agevap que continha a proposição de uma minuta de resolução com novas regras operativas do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul, para substituir a Resolução ANA nº 211/2003. O objetivo da Resolução Conjunta era privilegiar os usos múltiplos consuntivos, em especial o abastecimento humano, possibilitando um maior estoque de água nos reservatórios em detrimento do setor elétrico que teria menor flexibilidade de operação e disponibilizar um volume adicional de até

425 milhões de m³ ao Sistema, oriundo da reserva técnica ('volume morto') do reservatório de Paraibuna, caso necessário em momentos de estiagens severas como a ocorrida em 2014 e 2015.

Assim, a Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382, publicada em 07 de dezembro de 2015, revogou a Resolução nº 211/2003 estabelecendo novas condições de operação em resposta à maior crise hídrica em 85 anos na bacia do rio Paraíba do Sul. O contexto de publicação da Resolução nº 1382/2015 resultou em novas regras de operação que trouxeram maior segurança ao Sistema Hidráulico Paraíba do Sul, principalmente em anos mais secos. Destaca-se os seguintes aspectos da referida Resolução:

- Determinação de novos limites mínimos de descarga a jusante e de volume útil dos reservatórios para operação em cenários de deplecionamento (Quadro 8-6);
- Criação de uma reserva estratégica de 425 milhões de m³ no reservatório de Paraibuna para cenários de estiagens críticas;
- Instituição do Grupo de Assessoramento à Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (GAOPS) com o objetivo

de realizar o acompanhamento permanente da operação do sistema hidráulico da bacia;

- Determinação de estudo anual, a ser elaborado pelo ONS, para atualização da curva de segurança de armazenamento para operação normal do sistema. Esta curva indica os volumes mínimos necessários no início de cada mês do período de estiagem, para que, caso se repita a série de vazões mais crítica do histórico, que é a do ano de 2014, se alcance o volume equivalente de 11,6%, no dia 01/12, correspondente à ponderação dos volumes previstos no 3º estágio de deplecionamento do Art. 1º da Resolução Conjunta. Quando o volume observado está abaixo da curva, é caracterizado um “estado de atenção” para o Sistema, entretanto, não significa a falta de água no sistema, já que os reservatórios têm água armazenada até o zero do volume útil, e há ainda uma “reserva estratégica” adicional (“volume morto”) no reservatório de Paraibuna.

Quadro 8-6 – Condicionantes definidos na Resolução nº 1382/2015

Reservatório	Vazão mínima a jusante	Deplecionamento dos reservatórios			Ordem de prioridade de deplecionamento*
		Limite mín. de volume útil: 1º estágio	Limite mín. de volume útil: 2º estágio	Limite mín. de volume útil: 3º estágio	
Funil	70 m³.s ⁻¹	30%	30%	30%	1º
Santa Branca	30 m³.s ⁻¹	70%	40%	10%	2º
Paraibuna	10 m³.s ⁻¹	80%	40%	5%	3º
Jaguari	4 m³.s ⁻¹	80%	50%	20%	4º

*A mudança no estágio de deplecionamento, de cada reservatório para a próxima etapa, só pode ocorrer quando todos eles atingem seus valores mínimos para uma determinada etapa, sendo permitida uma variação de 5% do valor de referência.

Fonte: Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382/2015

Vale mencionar que, além da Resolução ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382/2015, as regras operativas do Sistema também são determinadas pelo Manual de Procedimentos da Operação, elaborado pelo ONS, que detalha as restrições operativas hidráulicas e informações operativas relevantes para os reservatórios da bacia. As principais condicionantes de operação apresentados no Manual de Regras operativas do ONS (2025) para os reservatórios de Funil, Santa Branca, Paraibuna e Jaguari são:

- **Funil:** possui cota mínima operacional de 449 m, referente a 15% do volume útil, mas permite operações excepcionais até 447,45 m (10% do VU). É o primeiro na ordem de deplecionamento com estágios de 30% do VU. A vazão máxima defluente é de $700 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e a mínima é de $70 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, com taxa máxima de variação de $100 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}.\text{h}^{-1}$;
- **Santa Branca:** possui nível mínimo referente a 10% do VU e taxa mínima de deplecionamento de 10 cm por dia (excepcionalmente 15 cm por dia). É o segundo na ordem de deplecionamento, com estágios de 70%, 40% e 10% do VU. Sua vazão máxima defluente é de $300 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e a mínima é de $30 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, com redução máxima permitida de $40 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ a cada 6 horas;
- **Paraibuna:** possui nível mínimo operacional de 5% do VU, entretanto pode ser operado em cotas menores para garantir vazões mínimas. É o terceiro reservatório na ordem de deplecionamento, com estágios de 80%, 40% e 5% do VU. A vazão defluente máxima é de $120 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e a mínima a jusante é de $10 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$;
- **Jaguari:** seu nível mínimo é referente a 20% do volume útil e é o quarto na ordem de deplecionamento, com estágios de 80%, 50% e 20% do VU. A vazão máxima do conduto forçado é de $60 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e a mínima a jusante é de $4 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. Em relação a transposição para o reservatório de Atibainha, sua vazão média anual de captação não pode passar de $5,13 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ e sua vazão máxima é de $8,5 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$.

8.4. ESTUDOS ANTERIORES SOBRE A OPERAÇÃO DO SISTEMA HÍDRICO DO PARAÍBA DO SUL

A gestão dos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul tem sido objeto de diversos estudos técnicos e acadêmicos que, ao longo do tempo, vem contribuindo para o aprimoramento das regras operativas e para o fortalecimento da segurança hídrica regional. Três trabalhos avaliados no presente estudo permitem observar a evolução metodológica e conceitual no tratamento do tema: Freitas (2003), Melo (2017) e Paiva (2020).

O estudo conduzido por Freitas, sob a coordenação da ANA, teve como objetivo consolidar as condições de operação do sistema de

reservatórios da bacia e das estruturas de transposição associadas. Para tanto, foi utilizado o modelo AcquaNet, baseado em rede de fluxo, que possibilitou simular alternativas de operação e embasar a edição da Resolução ANA nº 211/2003. O foco esteve na definição de limites de vazões defluentes, na ordem de deplecionamento dos principais reservatórios (Funil, Santa Branca, Paraibuna e Jaguari) e na regulação da transposição em Santa Cecília. O estudo caracterizou-se por trabalhar com séries históricas longas, contemplando a variabilidade hidrológica do período de 1931 a 2002. Entretanto, restringiu-se a uma análise de caráter regulatório-operacional, sem incorporar explicitamente aspectos de crescimento de demanda ou cenários de mudanças climáticas.

Posteriormente, Melo (2017) desenvolveu uma avaliação acadêmica que buscou compreender os efeitos da crise hídrica de 2014–2015 na operação da bacia. A autora utilizou o modelo WEAP, de estrutura integrada, que permitiu incorporar de forma explícita as demandas municipais e setoriais. Foram comparados três esquemas de operação: (i) regras anteriores à crise hídrica, (ii) regras posteriores à Resolução Conjunta ANA nº 1.382/2015 e (iii) uma operação alternativa baseada em curvas-guia para os reservatórios. Adicionalmente, foi avaliada a hipótese da transposição Jaguari–

Atibainha para reforço do Sistema Cantareira. O estudo apresentou avanços relevantes ao priorizar o abastecimento urbano como demanda de maior hierarquia. Contudo, trabalhou com demandas estáticas (referentes a 2010), não incorporando a dinâmica de crescimento populacional e setorial, e tampouco incluiu projeções climáticas. Ressalta-se que, apesar do modelo WEAP implementado por Melo (2017) contemplar a totalidade da bacia, a avaliação dos resultados restringiu-se principalmente ao Alto Paraíba do Sul e a pontos específicos de controle, como Santa Cecília, evidenciando a ausência de uma análise integrada da influência das regras operativas em toda a bacia.

Por sua vez, a tese de doutorado de Paiva (2020) ampliou a análise para o horizonte de longo prazo, incorporando de forma inovadora a perspectiva da segurança hídrica. O trabalho utilizou o MHD-INPE, permitindo a simulação espacialmente detalhada das vazões em toda a bacia. Foram integrados cenários de mudanças no uso e cobertura do solo (expansão urbana, agricultura e silvicultura), bem como projeções climáticas derivadas de modelos globais e regionais (RCP 4.5 e RCP 8.5), para os períodos de 2016–2035 e 2036–2055. Além disso, foram implementadas as regras vigentes da ANA e do ONS, incluindo a ordem de deplecionamento e as restrições

operativas das transposições do sistema Guandu e Cantareira. O estudo concluiu que, embora os reservatórios consigam atender parte das demandas previstas, haverá comprometimento crescente da geração hidrelétrica e riscos de falhas na manutenção das vazões mínimas em cenários futuros. Essa abordagem amplia a visão tradicional, ao articular operação, clima, uso do solo e demandas de longo prazo. Apesar de avançar na avaliação de cenários futuros, o estudo de Paiva não se configura como um modelo hidrológico-operacional integrado. Essa limitação dificulta a representação conjunta das regras de operação dos reservatórios com a resposta hidrológica da bacia, comprometendo a aplicabilidade prática do modelo para suporte direto à gestão operacional.

De forma comparativa, nota-se uma clara evolução metodológica. O trabalho de Freitas forneceu a base legal e operacional para a gestão da bacia, estabelecendo as primeiras regras estruturadas com suporte de modelos de simulação. Melo avançou no sentido de avaliar alternativas em um contexto de crise, com destaque para a priorização do abastecimento humano e para a utilização de um modelo mais acessível e integrado aos processos decisórios dos comitês de bacia. Já Paiva expandiu o escopo para a análise de cenários futuros complexos, contemplando tanto a variabilidade

climática quanto as mudanças de uso do solo, oferecendo um diagnóstico robusto da segurança hídrica em horizontes de médio e longo prazo.

Deve ser destacado que nenhum dos estudos analisados incorporou de forma explícita a variabilidade sazonal das vazões, o que limita a compreensão da influência das regras operativas em diferentes períodos hidrológicos ao longo do ano. Além disso, observa-se a ausência de uma abordagem verdadeiramente integrada que avalie os efeitos das regras de operação em toda a bacia, indo além da análise restrita a pontos de controle hidráulico específicos, como Santa Cecília. Soma-se a isso o fato de que o estudo de Paiva, apesar de seu avanço metodológico em cenários climáticos e de uso do solo, não se configura como uma modelagem operacional, o que dificulta a aplicação prática das regras de operação acopladas à hidrologia da bacia em escala sistêmica. Diante dessas limitações, torna-se necessário o desenvolvimento de estudos futuros que integrem a sazonalidade das vazões, associem explicitamente as regras operacionais ao regime hidrológico e adotem uma perspectiva abrangente de toda a bacia, de modo a fornecer subsídios mais consistentes para a gestão adaptativa e para a tomada de decisão em tempo real.

9. AVALIAÇÃO DO IMPACTO ECONÔMICO E SOCIAL DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO

9.1. IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BALANÇO HÍDRICO

9.1.1. Metodologia para a alteração da disponibilidade hídrica

A alteração da disponibilidade hídrica em decorrência das mudanças climáticas no horizonte temporal considerado (horizonte de curto prazo 2015–2045) é objeto de um estudo aprofundado e de alta complexidade, envolvendo diversas variáveis. Essa variação decorre de múltiplos fatores climatológicos, como precipitação e temperatura causadas pelas mudanças climáticas. Tais aspectos foram analisados no Produto 5 do EDH-PS (CEIVAP, 2025), os quais serviram como base para a definição da variação da disponibilidade hídrica adotada nos cenários de balanço hídrico desenvolvidos neste estudo.

A partir das simulações desses modelos, o estudo EDH-PS realizou uma análise estatística das variações projetadas das vazões de referência, com o cálculo da alteração média percentual em relação ao período histórico. Essa abordagem permitiu avaliar a tendência

central de comportamento das vazões futuras, considerando a diversidade de respostas dos modelos. Ressalta-se que as projeções de disponibilidade hídrica do EDH-PS não foram desenvolvidas na escala de ottobacias. Diante disso, para o presente estudo, aplicaram-se as alterações médias por sub-bacia às vazões de referência históricas (1977–2021), originalmente disponibilizadas por ottobacia. Com isso, foi possível estimar o balanço hídrico sob cenário de mudança climática na mesma escala utilizada de ottobacia.

Ressalta-se que a disponibilidade hídrica gerada para a avaliação dos cenários futuros não considera a operação dos reservatórios da bacia, de forma que, conforme indicado por CEIVAP (2024), não seria possível estimar o futuro estado de operação dessas obras hidráulicas e o seu impacto na bacia hidrográfica. Sendo assim, as alterações na disponibilidade hídrica em cenários de mudança climática contemplam apenas a resposta da bacia à alteração do regime de chuvas, mas não à operação dos reservatórios da bacia.

9.1.2. Metodologia para a alteração das demandas hídricas

As mudanças do clima gerarão diferentes repercussões nas demandas hídricas, a depender das características de cada setor

usuário. Na sequência, são apresentadas as perspectivas de cada um, apontando - sempre que pertinente - as variações a serem aplicadas nas demandas hídricas estimadas sob cenários de crescimento.

A metodologia adotada para cada um dos setores é apresentada no produto específico, sendo aqui focada a exposição nos resultados dos cenários de alteração de demanda para os cenários de mudanças climáticas e onda de calor.

Na sequência, do Quadro 9-1 ao Quadro 9-5 são apresentados os resultados obtidos para os setores: abastecimento humano urbano; abastecimento humano rural; irrigação; dessedentação animal; e evaporação líquida de reservatórios. Vale destacar que, conforme metodologia e análises desenvolvidas para os setores de mineração, indústria e termelétricas, não se espera incremento das demandas em função de mudanças climáticas. Os resultados apresentados nos quadros em questão são focados no horizonte final de estimativas, 2045.

Importante ressaltar que os valores apresentados nos quadros em questão tratam de impactos relacionados às condições de mudanças

climáticas e onda de calor. Sendo assim, mostram valores superiores aos cenários desenvolvidos nas etapas anteriores do trabalho.

Em seguida, do Quadro 9-6 ao Quadro 9-8 são apresentados os valores distribuídos por Unidade de Planejamento.

Quadro 9-1 – Consolidação das demandas de abastecimento humano urbano (m³/s) sob cenário de emissões SSP2-4.5 e onda de calor no ano de 2045

UP	Demandas de abastecimento humano urbano (m³/s) no ano de 2045																			
	Cena Atual		Cenário de Menor Pressão						Cenário Tendencial						Cenário de Maior Pressão					
			Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor		Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor		Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor	
	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup
1 - Alto Paraíba do Sul	0,81	5,63	0,81	5,62	0,83	5,78	1,00	6,94	0,76	4,82	0,78	4,96	0,94	5,95	0,79	4,79	0,81	4,93	0,97	5,92
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,09	1,74	0,10	1,80	0,10	1,85	0,12	2,22	0,10	1,60	0,10	1,65	0,12	1,98	0,10	1,55	0,10	1,59	0,12	1,91
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,25	1,76	0,25	1,78	0,26	1,83	0,31	2,20	0,26	1,76	0,27	1,81	0,32	2,17	0,27	1,78	0,28	1,83	0,34	2,20
4 - Médio Paraíba do Sul	0,02	3,12	0,02	3,02	0,02	3,11	0,02	3,73	0,02	2,31	0,02	2,38	0,02	2,86	0,02	2,14	0,02	2,20	0,02	2,64
5 - Piabanha	0,05	0,99	0,04	0,80	0,04	0,82	0,05	0,98	0,04	0,78	0,04	0,80	0,05	0,96	0,04	0,79	0,04	0,81	0,05	0,97
6 - Rio Dois Rios	0,01	0,69	0,01	0,71	0,01	0,73	0,04	0,88	0,01	0,62	0,01	0,64	0,04	0,77	0,01	0,60	0,01	0,62	0,05	0,74
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,17	2,20	0,15	1,94	0,15	1,99	0,18	2,39	0,13	1,52	0,13	1,56	0,16	1,87	0,12	1,42	0,12	1,46	0,14	1,75
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,01	0,27	0,01	0,43	0,01	0,44	0,01	0,53	0,01	0,31	0,01	0,32	0,01	0,38	0,01	0,26	0,01	0,27	0,01	0,32
Total	1,41	16,40	1,39	16,12	1,43	16,58	1,72	19,90	1,32	13,71	1,36	14,10	1,63	16,92	1,36	13,33	1,40	13,71	1,68	16,45
Total Geral	17,81		17,50		18,01		21,62		15,04		15,46		18,55		14,68		15,11		18,13	

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-2 – Consolidação das demandas de abastecimento humano rural (m³/s) sob cenário de emissões SSP2-4.5 e onda de calor no ano de 2045

UP	Demandas de abastecimento humano rural (m³/s) no ano de 2045																			
	Cena atual		Cenário de Menor Pressão						Cenário Tendencial						Cenário de Maior Pressão					
			Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor		Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor		Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor	
	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup
1 - Alto Paraíba do Sul	0,23	0,09	0,23	0,09	0,24	0,09	0,29	0,11	0,24	0,10	0,25	0,10	0,30	0,12	0,30	0,12	0,31	0,13	0,37	0,14
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,06	0,04	0,06	0,04	0,06	0,04	0,07	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,04	0,03	0,05	0,02
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,21	0,00	0,22	0,00	0,23	0,00	0,28	0,00	0,14	0,00	0,14	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00	0,20	0,00
4 - Médio Paraíba do Sul	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05
5 - Piabanha	0,09	0,06	0,09	0,06	0,09	0,06	0,11	0,07	0,10	0,07	0,10	0,07	0,12	0,08	0,13	0,08	0,13	0,08	0,16	0,10
6 - Rio Dois Rios	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,05	0,04	0,07	0,03	0,06	0,03	0,06	0,05	0,08	0,04	0,07	0,04	0,07	0,05	0,08
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,09	0,14	0,09	0,14	0,09	0,14	0,11	0,17	0,09	0,14	0,09	0,14	0,11	0,17	0,11	0,17	0,11	0,17	0,13	0,20
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02
Total	0,76	0,44	0,76	0,43	0,78	0,43	0,94	0,52	0,69	0,43	0,71	0,43	0,85	0,52	0,83	0,53	0,85	0,54	1,02	0,64
Total Geral	1,20		1,19		1,21		1,46		1,12		1,14		1,37		1,36		1,39		1,66	

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-3 – Consolidação das demandas de irrigação (m³/s) sob mudanças climáticas no ano de 2045

UP	Demandas de irrigação (m³/s) no ano de 2045													
	Cena Atual		Cenário de Menor Pressão				Cenário Tendencial				Cenário de Maior Pressão			
			Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Progressão padrão		Mudanças Climáticas	
	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup
1 - Alto Paraíba do Sul	0,05	4,78	0,05	5,75	0,06	6,78	0,06	6,25	0,07	7,35	0,07	7,68	0,08	9,04
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,00	0,14	0,01	0,20	0,01	0,20	0,01	0,30	0,01	0,30	0,01	0,37	0,01	0,38
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,08	1,48	0,11	2,14	0,12	2,42	0,16	3,19	0,19	3,64	0,21	4,11	0,24	4,71
4 - Médio Paraíba do Sul	0,00	0,30	0,00	0,35	0,00	0,46	0,00	0,37	0,00	0,49	0,00	0,42	0,00	0,55
5 - Piabanha	0,00	0,92	0,00	1,25	0,00	1,75	0,00	1,46	0,00	0,44	0,00	1,67	0,00	2,34
6 - Rio Dois Rios	0,03	0,43	0,04	0,52	0,04	0,57	0,04	0,60	0,04	0,62	0,05	0,68	0,05	0,68
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,03	2,38	0,04	2,72	0,05	2,95	0,06	4,19	0,07	4,53	0,07	5,18	0,09	5,61
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03
Total	0,19	10,44	0,25	12,96	0,28	15,16	0,33	16,38	0,38	17,40	0,42	20,14	0,47	23,34
Total Geral	10,63		13,21		15,44		16,71		17,78		20,55		23,81	

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-4 – Consolidação das demandas de criação animal (m³/s) sob cenário de emissões SSP2-4.5 e ondas de calor no ano de 2045

UP	Cena Atual		Demandas de dessedentação animal (m³/s) no ano de 2045																	
			Cenário de Menor Pressão						Cenário Tendencial						Cenário de Maior Pressão					
			Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor		Progressão padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor		Projeção padrão		Mudanças Climáticas		Onda de Calor	
	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup	Sub	Sup
1 - Alto Paraíba do Sul	0,17	0,43	0,22	0,56	0,23	0,59	0,31	0,80	0,25	0,65	0,26	0,68	0,36	0,94	0,30	0,77	0,31	0,80	0,43	1,10
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,25	0,05	0,36	0,07	0,37	0,07	0,52	0,10	0,39	0,07	0,41	0,08	0,56	0,10	0,46	0,09	0,48	0,09	0,66	0,12
3 - Rios Pomba e Muriaé	0,26	0,49	0,35	0,65	0,38	0,69	0,51	0,94	0,41	0,76	0,44	0,81	0,60	1,10	0,54	1,00	0,57	1,05	0,78	1,43
4 - Médio Paraíba do Sul	0,00	0,32	0,00	0,41	0,00	0,43	0,00	0,59	0,00	0,48	0,00	0,50	0,00	0,68	0,00	0,56	0,00	0,58	0,00	0,80
5 - Piabanha	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07	0,06	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09	0,08	0,13	0,12	0,10	0,09	0,11	0,10	0,15	0,14
6 - Rio Dois Rios	0,00	0,26	0,00	0,33	0,00	0,35	0,00	0,48	0,00	0,37	0,00	0,39	0,00	0,53	0,00	0,44	0,00	0,46	0,00	0,63
7 - Baixo Paraíba do Sul	0,21	0,60	0,23	0,65	0,24	0,68	0,33	0,94	0,27	0,77	0,28	0,80	0,38	1,10	0,31	0,90	0,33	0,94	0,45	1,28
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,00	0,05	0,00	0,06	0,00	0,06	0,00	0,08	0,00	0,07	0,00	0,08	0,00	0,11	0,00	0,09	0,00	0,09	0,00	0,13
Total	0,95	2,26	1,22	2,80	1,28	2,93	1,76	4,02	1,41	3,26	1,48	3,41	2,04	4,68	1,71	3,93	1,80	4,10	2,46	5,62
Total Geral	3,20		4,02		4,21		5,78		4,67		4,89		6,72		5,64		5,90		8,08	

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-5 – Comparação das demandas de evaporação líquida (m³/s), na cena atual e nos cenários de Maior Pressão (2045) e de Mudança Climática por unidade de planejamento

UP	Cena Atual	Demandas de Evaporação Líquida (m³/s) no ano de 2045					
		Cenário de Menor Pressão		Cenário Tendencial		Cenário de Maior Pressão	
		Progressão padrão	Mudanças Climáticas	Progressão padrão	Mudanças Climáticas	Progressão padrão	Mudanças Climáticas
1 - Alto Paraíba do Sul	6,55	6,55	6,55	6,55	6,56	6,55	6,56
2 - Rios Preto e Paraibuna	0,86	0,86	0,90	0,87	0,91	1,64	1,68
3 - Rios Pomba e Muriaé	1,09	1,09	1,13	1,19	1,23	2,00	2,05
4 - Médio Paraíba do Sul	0,87	0,92	0,92	0,97	0,98	0,97	0,98
5 - Piabanha	0,22	0,22	0,23	0,23	0,23	0,26	0,26
6 - Rio Dois Rios	0,17	0,18	0,23	0,29	0,34	1,31	1,36
7 - Baixo Paraíba do Sul	2,39	4,58	4,70	5,14	5,26	5,14	5,26
8 - Sub-bacia do Rio Pirai	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Total	12,25	14,50	14,77	15,34	15,60	17,96	18,23

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-6 – Valores consolidados de demanda hídrica total no cenário de Maior Pressão, por unidade de planejamento

Cenário de demanda	Setor Usuário	Demandas hídricas totais (m³/s) por Unidade de Planejamento								Total por Setor
		1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	
Cena Atual	Abastecimento Urbano	6,44	1,83	2,01	3,14	1,05	0,69	2,38	0,28	17,81
	Abastecimento Rural	0,32	0,1	0,22	0,08	0,15	0,08	0,23	0,02	1,2
	Dessedentação Animal	0,59	0,3	0,75	0,32	0,11	0,26	0,81	0,05	3,2
	Irrigação	4,82	0,14	1,55	0,3	0,92	0,46	2,41	0,02	10,63
	Indústria	5,99	0,25	0,64	4,68	0,38	0,08	0,63	0,13	12,79
	Mineração	9,63	1,31	0,61	0,52	0,15	0,14	0,47	0,01	12,83
	Termoeletricidade	2,71	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	0,49	0	4,57
	Total por UP	30,5	4,29	6,02	9,51	2,92	1,84	7,42	0,51	63,02
Cena de Maior Pressão (2045) Progressão Padrão	Abastecimento Urbano	5,58	1,65	2,04	2,15	0,83	0,61	1,55	0,27	14,68
	Abastecimento Rural	0,42	0,07	0,17	0,09	0,21	0,11	0,28	0,02	1,36
	Dessedentação Animal	1,07	0,55	1,54	0,56	0,19	0,44	1,21	0,09	5,65
	Irrigação	7,75	0,39	4,32	0,42	1,67	0,73	5,25	0,03	20,55
	Indústria	7,18	0,31	0,78	5,44	0,49	0,1	0,69	0,17	15,17
	Mineração	12,07	1,61	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	15,94
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0	6,04
	Total por UP	36,89	4,93	9,85	9,76	3,72	2,29	11,37	0,59	79,4
Cena de Maior Pressão (2045) Mudanças Climáticas	Abastecimento Urbano	5,74	1,69	2,11	2,22	0,85	0,63	1,58	0,28	15,11
	Abastecimento Rural	0,43	0,06	0,17	0,08	0,21	0,11	0,28	0,02	1,38
	Dessedentação Animal	1,11	0,57	1,62	0,58	0,21	0,46	1,27	0,09	5,9
	Irrigação	9,12	0,39	4,95	0,55	2,34	0,73	5,7	0,03	23,81
	Indústria	7,18	0,31	0,78	5,44	0,49	0,1	0,69	0,17	15,17
	Mineração	12,07	1,61	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	15,94
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0	6,04
	Total por UP	38,47	5	10,64	9,96	4,43	2,32	11,91	0,6	83,35
Cena de Maior Pressão (2045) Mudanças Climáticas	Abastecimento Urbano	6,89	2,03	2,54	2,66	1,02	0,79	1,89	0,33	18,13
	Abastecimento Rural	0,51	0,07	0,2	0,1	0,26	0,13	0,33	0,02	1,66
	Dessedentação Animal	1,53	0,78	2,21	0,8	0,29	0,63	1,73	0,13	8,08
	Irrigação	9,12	0,39	4,95	0,55	2,34	0,73	5,7	0,03	23,81
	Indústria	7,18	0,31	0,78	5,44	0,49	0,1	0,69	0,17	15,17
	Mineração	12,07	1,61	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	15,94

Cenário de demanda	Setor Usuário	Demandas hídricas totais (m³/s) por Unidade de Planejamento								Total por Setor
		1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	
e Ondas de Calor	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0	6,04
	Total por UP	40,12	5,56	11,69	10,64	4,73	2,67	12,73	0,69	88,83

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-7 – Valores consolidados de demanda hídrica superficial no cenário de Maior Pressão, por unidade de planejamento

Cenário de demanda	Setor Usuário	Demandas hídricas superficiais (m³/s) por Unidade de Planejamento								Total por Setor
		1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	
Cena Atual	Abastecimento Urbano	5,63	1,74	1,76	3,12	0,99	0,69	2,20	0,27	16,40
	Abastecimento Rural	0,09	0,04	0,00	0,04	0,06	0,05	0,14	0,02	0,44
	Dessedentação Animal	0,43	0,05	0,49	0,32	0,05	0,26	0,60	0,05	2,26
	Irrigação	4,78	0,14	1,48	0,30	0,92	0,43	2,38	0,02	10,44
	Indústria	3,00	0,21	0,46	4,57	0,21	0,06	0,57	0,13	9,20
	Mineração	3,52	1,31	0,61	0,52	0,14	0,14	0,47	0,01	6,71
	Termoeletricidade	2,71	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	0,49	0,00	4,57
	Total por UP	20,16	3,89	5,07	9,30	2,55	1,78	6,84	0,50	50,07
Cena de Maior Pressão (2045)	Abastecimento Urbano	4,79	1,55	1,78	2,14	0,79	0,60	1,42	0,26	13,33
	Abastecimento Rural	0,12	0,02	0,00	0,04	0,08	0,07	0,17	0,02	0,53
	Dessedentação Animal	0,77	0,09	1,00	0,56	0,09	0,44	0,90	0,09	3,93
	Irrigação	7,68	0,37	4,11	0,42	1,67	0,68	5,18	0,03	20,14
	Indústria	3,61	0,26	0,55	5,28	0,27	0,07	0,63	0,17	10,85
	Mineração	4,40	1,60	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	8,27
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total por UP	24,21	4,30	8,47	9,50	3,25	2,17	10,68	0,58	63,15
Progressão Padrão	Abastecimento Urbano	4,93	1,59	1,83	2,20	0,81	0,62	1,46	0,27	13,71
	Abastecimento Rural	0,12	0,02	0,00	0,04	0,08	0,07	0,17	0,02	0,54
	Dessedentação Animal	0,80	0,09	1,05	0,58	0,10	0,46	0,94	0,09	4,10
	Irrigação	9,04	0,38	4,71	0,55	2,34	0,68	5,61	0,03	23,34
	Indústria	3,61	0,26	0,55	5,28	0,27	0,07	0,63	0,17	10,85
	Mineração	4,40	1,60	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	8,27
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total por UP	24,21	4,30	8,47	9,50	3,25	2,17	10,68	0,58	63,15
Mudanças Climáticas	Abastecimento Urbano	4,93	1,59	1,83	2,20	0,81	0,62	1,46	0,27	13,71
	Abastecimento Rural	0,12	0,02	0,00	0,04	0,08	0,07	0,17	0,02	0,54
	Dessedentação Animal	0,80	0,09	1,05	0,58	0,10	0,46	0,94	0,09	4,10
	Irrigação	9,04	0,38	4,71	0,55	2,34	0,68	5,61	0,03	23,34
	Indústria	3,61	0,26	0,55	5,28	0,27	0,07	0,63	0,17	10,85
	Mineração	4,40	1,60	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	8,27
	Termoeletricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total por UP	24,21	4,30	8,47	9,50	3,25	2,17	10,68	0,58	63,15

Cenário de demanda	Setor Usuário	Demandas hídricas superficiais (m³/s) por Unidade de Planejamento								Total por Setor
		1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	
	Total por UP	25,74	4,35	9,17	9,71	3,95	2,21	11,19	0,59	66,90
Cena de Maior Pressão (2045)	Abastecimento Urbano	5,92	1,91	2,20	2,64	0,97	0,74	1,75	0,32	16,45
	Abastecimento Rural	0,14	0,02	0,00	0,05	0,10	0,08	0,20	0,02	0,64
	Dessedentação Animal	1,10	0,12	1,43	0,80	0,14	0,63	1,28	0,13	5,62
	Irrigação	9,04	0,38	4,71	0,55	2,34	0,68	5,61	0,03	23,34
Mudanças Climáticas e Ondas de Calor	Indústria	3,61	0,26	0,55	5,28	0,27	0,07	0,63	0,17	10,85
	Mineração	4,40	1,60	0,76	0,63	0,17	0,16	0,54	0,01	8,27
	Termoelectricidade	2,82	0,37	0,25	0,46	0,16	0,13	1,85	0,00	6,04
	Total por UP	27,05	4,70	9,92	10,38	4,17	2,51	11,85	0,68	71,27

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-8 – Valores consolidados de demanda hídrica subterrânea no cenário de Maior Pressão, por unidade de planejamento

Cenário de demanda	Setor Usuário	Demandas hídricas subterrâneas (m³/s) por Unidade de Planejamento								Total por Setor
		1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	
Cena Atual	Abastecimento Urbano	0,81	0,09	0,25	0,02	0,05	0,01	0,17	0,01	1,41
	Abastecimento Rural	0,23	0,06	0,21	0,04	0,09	0,03	0,09	0,00	0,76
	Dessedentação Animal	0,17	0,25	0,26	0,00	0,06	0,00	0,21	0,00	0,95
	Irrigação	0,05	0,00	0,08	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,19
	Indústria	3,00	0,03	0,18	0,11	0,18	0,03	0,06	0,00	3,58
	Mineração	6,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,12
	Total por UP	10,35	0,45	0,98	0,17	0,39	0,09	0,57	0,01	13,01
Cena de Maior Pressão (2045)	Abastecimento Urbano	0,79	0,10	0,27	0,02	0,04	0,01	0,12	0,01	1,36
	Abastecimento Rural	0,30	0,04	0,17	0,04	0,13	0,04	0,11	0,00	0,83
	Dessedentação Animal	0,30	0,46	0,54	0,00	0,10	0,00	0,31	0,00	1,71
	Irrigação	0,07	0,01	0,21	0,00	0,00	0,05	0,07	0,00	0,42
	Indústria	3,57	0,04	0,22	0,16	0,23	0,03	0,07	0,00	4,32
	Mineração	7,67	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	7,68
	Total por UP	12,70	0,65	1,41	0,22	0,51	0,13	0,68	0,01	16,31
	Abastecimento Urbano	0,81	0,10	0,28	0,02	0,04	0,01	0,12	0,01	1,40

Cenário de demanda	Setor Usuário	Demandas hídricas subterrâneas (m³/s) por Unidade de Planejamento								
		1 - Alto Paraíba do Sul	2 - Rios Preto e Paraibuna	3 - Rios Pomba e Muriaé	4 - Médio Paraíba do Sul	5 - Piabanha	6 - Rio Dois Rios	7 - Baixo Paraíba do Sul	8 - Sub-bacia do Rio Pirai	Total por Setor
Cena de Maior Pressão (2045)	Abastecimento Rural	0,31	0,04	0,17	0,04	0,13	0,04	0,11	0,00	0,85
	Dessedentação Animal	0,31	0,48	0,57	0,00	0,11	0,00	0,33	0,00	1,80
	Irrigação	0,08	0,01	0,24	0,00	0,00	0,05	0,09	0,00	0,47
	Indústria	3,57	0,04	0,22	0,16	0,23	0,03	0,07	0,00	4,32
Mudanças Climáticas	Mineração	7,67	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	7,68
	Total por UP	12,75	0,67	1,48	0,22	0,52	0,13	0,72	0,01	16,52
Cena de Maior Pressão (2045)	Abastecimento Urbano	0,97	0,12	0,34	0,02	0,05	0,05	0,14	0,01	1,68
	Abastecimento Rural	0,37	0,05	0,20	0,05	0,16	0,05	0,13	0,00	1,02
	Dessedentação Animal	0,43	0,66	0,78	0,00	0,15	0,00	0,45	0,00	2,46
	Irrigação	0,08	0,01	0,24	0,00	0,00	0,05	0,09	0,00	0,47
Mudanças Climáticas e Ondas de Calor	Indústria	3,57	0,04	0,22	0,16	0,23	0,03	0,07	0,00	4,32
	Mineração	7,67	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	7,68
	Total por UP	13,09	0,88	1,78	0,23	0,60	0,18	0,88	0,01	17,63

Fonte: elaborado pelo Consórcio

9.1.3. Balanço Hídrico de Águas Superficiais

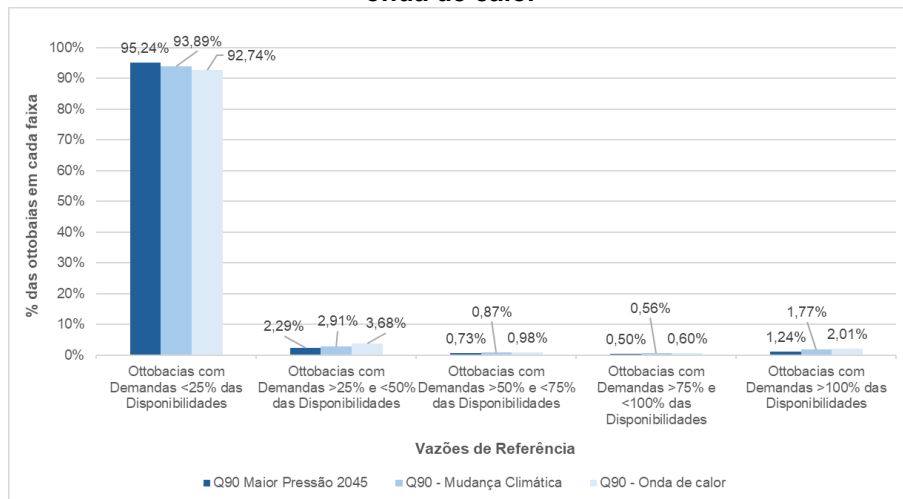
Análise Geral da Bacia

A Figura 9-1, a Figura 9-2 e a Figura 9-3 apresentam o percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, fazendo a comparação entre os resultados de balanço hídrico anual da cena de Maior Pressão (2045) e os cenários de mudança climática e de onda de calor, obtidos para as três vazões de referência. Dentre as principais alterações em relação à cena de Maior Pressão (2045), citam-se a diminuição da disponibilidade e o incremento das demandas, naturalmente ocasionando uma diminuição do conforto hídrico na bacia como um todo.

Observa-se um aumento constante no nível de criticidade em relação aos cenários de mudanças climáticas e onda de calor, sendo o último mais crítico. Neste cenário, o percentual de ottobacias fora da faixa de conforto hídrico (demandas menores que 25% da disponibilidade) é de cerca de 7% para a Q_{90} , 10% para a Q_{95} e 15% para a $Q_{7,10}$. Apesar de grande parte da bacia do rio Paraíba do Sul se encontrar em conforto hídrico, o aumento progressivo da criticidade nos cenários de mudanças climáticas e ondas de calor deve ter atenção e planejamento de ações para ser evitado.

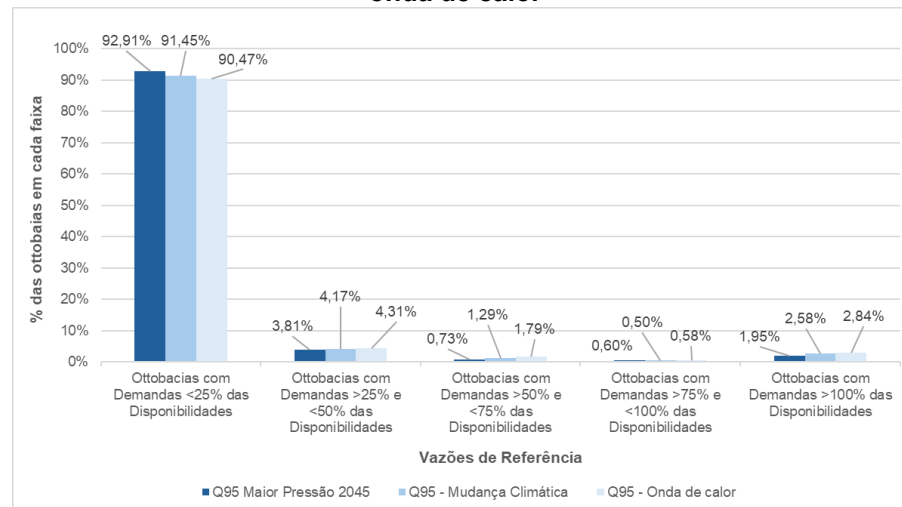
Dentre as vazões de referência, a $Q_{7,10}$ apresenta o maior nível de criticidade relativa, com aumentos principalmente nas faixas mais críticas (maior que 75% de comprometimento e déficit) em comparação às demais. Destaca-se principalmente a faixa de déficit hídrico, que atinge 4,8% das ottobacias no cenário de mudança climática e 5,9% para onda de calor, aumentos de 35% e 66% em relação ao cenário de Maior Pressão 2045, respectivamente. Esses saltos significativos em termos percentuais podem indicar áreas com potencial risco de escassez e conflitos de uso, muitas vezes em localidades já sinalizadas como críticas nas cenas atuais. Em síntese, o aumento da criticidade nos balanços hídricos aponta para a urgência de estratégias de gestão mais resilientes e adaptativas às mudanças climáticas, capazes de mitigar déficits e garantir a sustentabilidade dos múltiplos usos da água.

Figura 9-1 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q₉₀ – Cenário de Maior Pressão (2045), Mudança climática e onda de calor



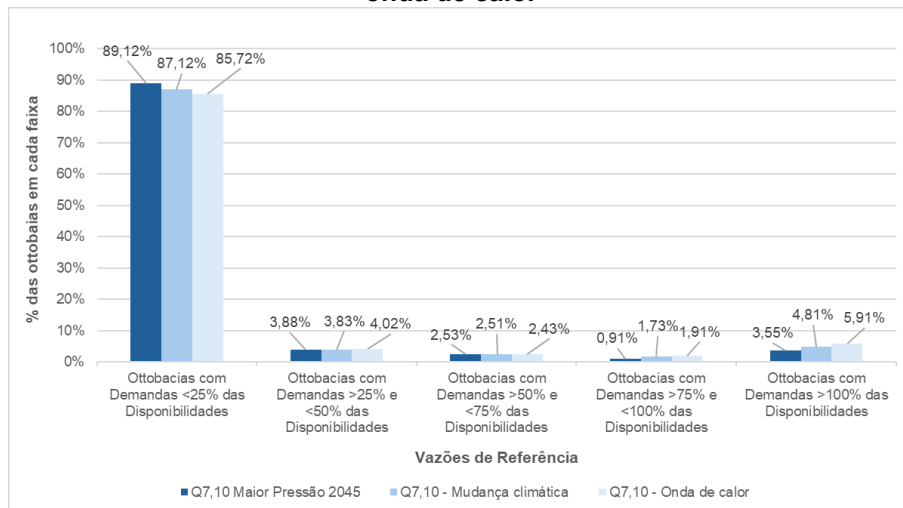
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-2 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q₉₅ – Cenário de Maior Pressão (2045), Mudança climática e onda de calor



Fonte: elaborado pelo Consórcio

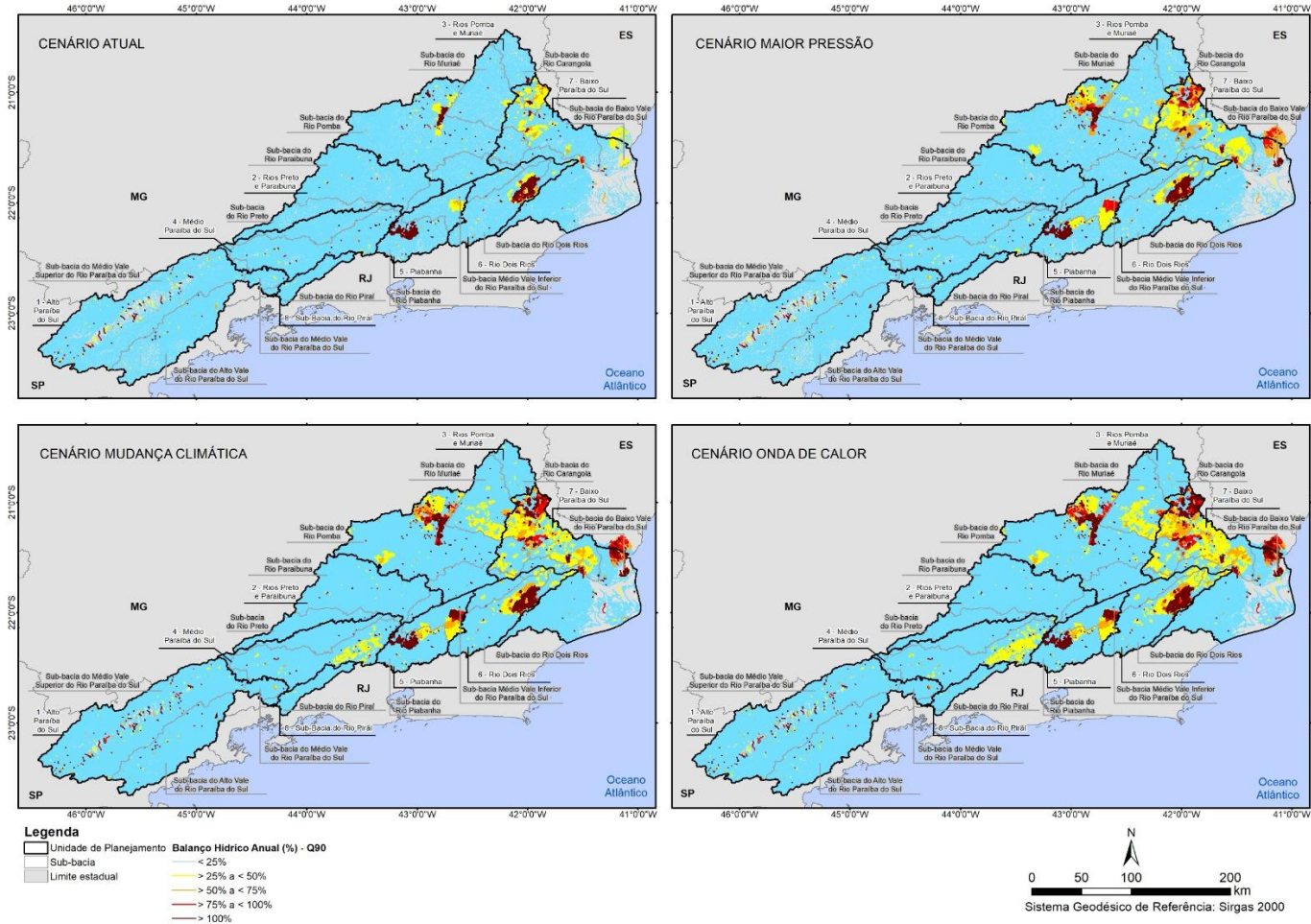
Figura 9-3 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{7,10} – Cenário de Maior Pressão (2045), Mudança climática e onda de calor



Fonte: elaborado pelo Consórcio

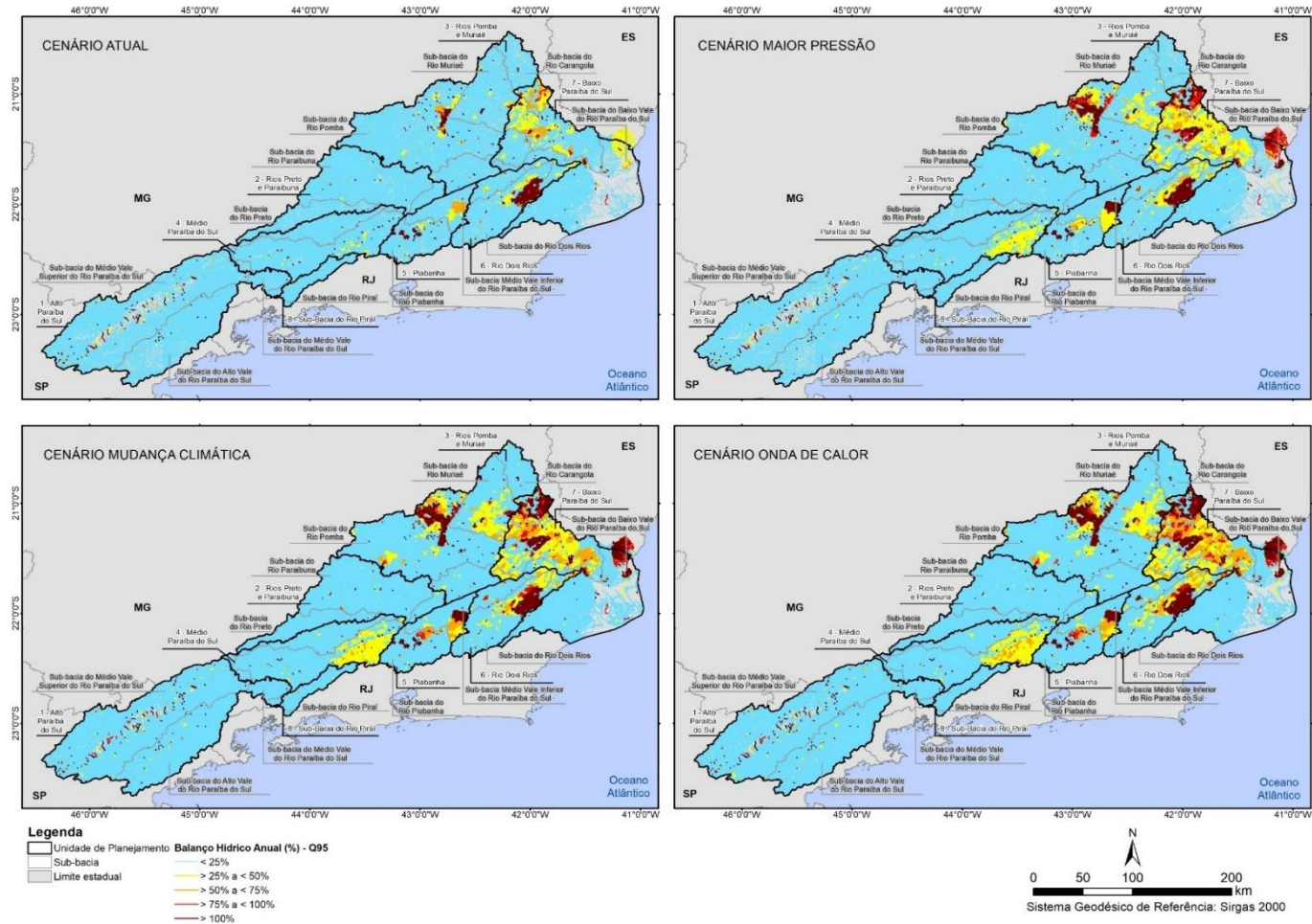
A seguir, da Figura 9-4 até a Figura 9-6 são apresentados os resultados espacializados de balanço hídrico anual no cenário de mudanças climáticas para as vazões Q90, Q95 e Q7,10, respectivamente. Nota-se que as regiões com altos índices de comprometimento possuem pouca variação entre as diferentes vazões de referência, alterando basicamente sua intensidade e extensão.

Figura 9-4 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₀, Mudanças climáticas – Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul



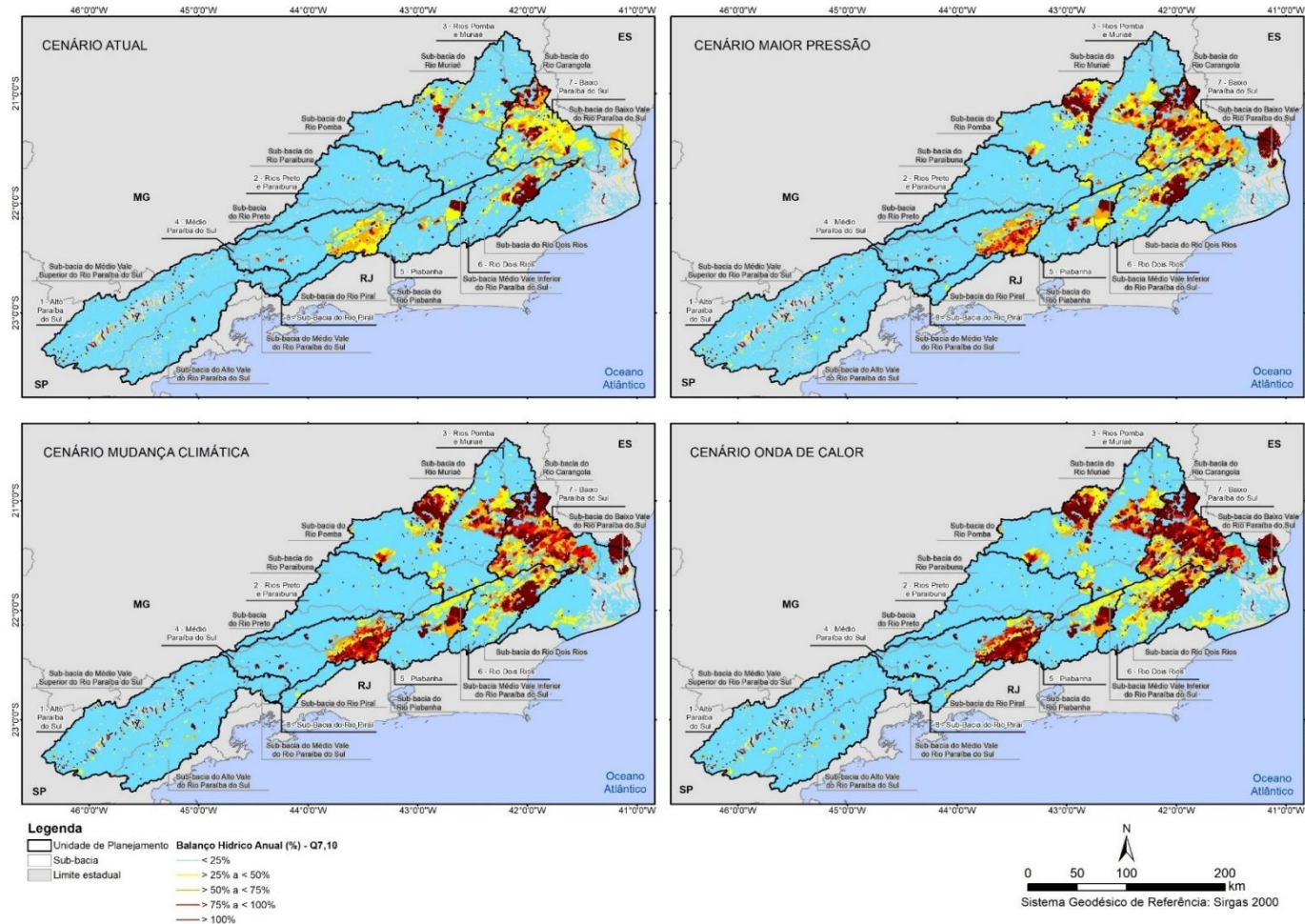
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-5 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, Mudanças climáticas – Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-6 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, Mudanças climáticas – Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Análise dos Resultados por Unidade de Planejamento

A seguir são apresentados os resultados da distribuição percentual das ottobacias por classes de comprometimento hídrico em cada Unidade de Planejamento, sendo o Quadro 9-9 e o Quadro 9-10 referentes à Q_{90} , o Quadro 9-11 e o Quadro 9-12 relacionados à Q_{95} e o Quadro 9-13 e o Quadro 9-14 tratando da $Q_{7,10}$. São indicados nos quadros o cenário de Maior Pressão (2045), assim como os cenários de mudanças climáticas e ondas de calor, permitindo uma comparação evolutiva do nível de criticidade em cada situação. Os resultados espacializados são apresentados da Figura 9-7 até a Figura 9-17, distribuídos por Unidade de Planejamento.

As Unidades de Planejamento Alto Paraíba do Sul, Rios Preto e Paraibuna e a sub-bacia do rio Piraí permanecem, em todos os cenários simulados, com a maior parte de suas ottobacias na faixa de conforto hídrico, e apresentam variações mínimas de criticidade nos quadros de mudança climática e de onda de calor. Essa estabilidade evidencia elevada resiliência hidrológica, associada a relações favoráveis entre disponibilidade e demanda e à presença de reservatórios que atenuam oscilações de vazão.

No Médio Paraíba do Sul, o comportamento difere conforme a vazão de referência. Na Q_{95} observam-se ganhos progressivos nas faixas intermediárias sem, contudo, elevar substancialmente a participação de ottobacias nas faixas mais críticas. Contudo, em relação à $Q_{7,10}$, o acréscimo de comprometimento desloca-se para os intervalos superiores a 75 % de balanço hídrico, refletindo vulnerabilidade em episódios de maior escassez hídrica. A UP dos rios Pomba e Muriaé, por sua vez, mostra crescimento distribuído em praticamente todas as faixas de comprometimento, mantendo percentuais intermediários de ottobacias em déficit e sinalizando pressão constante, ainda que menos concentrada.

As UPs Piabanha e Rio Dois Rios, que já partem de quadro crítico na cena de Maior Pressão (2045) apresentam comportamentos distintos. No Piabanha, sob Q_{95} , nota-se uma manutenção relativa em praticamente todas as faixas, exceto entre 25%-50% e 50%-75%, havendo um deslocamento da primeira para a segunda. Na $Q_{7,10}$, há uma diminuição significativa na faixa de maior conforto hídrico e um aumento nas faixas mais críticas. Para a bacia do Rio Dois Rios, tanto na Q_{95} quanto na $Q_{7,10}$ há um aumento distribuído entre todas as faixas, com a diminuição da parcela de ottobacias em conforto hídrico. Ressalta-se que tal UP possui o maior índice de criticidade

na cena de Maior Pressão (2045), havendo a manutenção dessa relação para o cenário de mudanças climáticas.

Por fim, o Baixo Paraíba do Sul demonstra alta sensibilidade em relação à disponibilidade-demanda, o que pode ser observado pela alta variação (e aumento) entre os valores das faixas mais críticas no cenário de mudanças climáticas: para a Q_{90} , apresenta cerca de 3% das ottobacias em déficit, enquanto para a vazão $Q_{7,10}$ este valor salta para 12,3%. Apesar de representar um evento passageiro, no cenário de onda de calor (especificamente na $Q_{7,10}$) tal UP possui o maior percentual em déficit hídrico de toda a bacia: 16%, indicando a alta suscetibilidade dessa região a condições extremas.

Em síntese, a comparação mostra que, embora a bacia ainda apresente boa parcela de áreas em conforto hídrico, o aumento da quantidade de ottobacias em faixas de comprometimento mais altas é claro e consistente ao incluir os efeitos das mudanças climáticas no balanço hídrico. Logo, é necessário o planejamento de medidas adaptativas — sejam estruturais ou não-estruturais — já que o aumento constante de criticidade e déficits hídricos tende a ocasionar o aumento dos conflitos de uso da água, assim como consequências socioeconômicas.

Após as tabelas indicando os percentuais em cada UP, são apresentados os resultados espacializados, sendo apresentados em todas as UPs para a vazão de referência Q_{95} , pois trata-se da vazão de referência utilizada pela ANA. Além disso, nas UPs que possuem como vazão de referência a $Q_{7,10}$ (Alto Paraíba do Sul, Preto e Paraibuna e Pomba e Muriaé), também são apresentados tais resultados.

Observa-se um agravamento dos desequilíbrios já identificados na cena de Maior Pressão (2045): ottobacias que apresentavam sinais de instabilidade evoluem para níveis mais elevados de comprometimento no cenário de mudança climática. Além disso, há o surgimento de pontos esporádicos com criticidade variada, assim como o surgimento dos seguintes focos: balanços na faixa 25%-50% na UP Rio Pomba e Muriaé para vazão Q_{95} nas proximidades do município de Santo Antônio do Aventureiro e nos afluentes do rio Novo (entre os municípios de Descoberto e Itamarati de Minas), e para a vazão $Q_{7,10}$ no rio Pardo (proximidades do município de Argirita); no Baixo Paraíba do Sul, o córrego Bom Jardim apresenta igual faixa de comprometimento em suas regiões mais a montante.

Com o intuito de amenizar os resultados críticos observados nesse cenário de mudanças climáticas, é imprescindível a adoção de medidas de curto e médio prazo que combinem medidas estruturais e não-estruturais. Os resultados obtidos, tanto para a cena atual, cena futura e cena de mudanças climáticas sinalizam as regiões prioritárias e, portanto, oferecem subsídios para a implementação de ações de gestão hídrica direcionadas.

Quadro 9-9 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q₉₀ - Cenário de Maior Pressão (2045), Mudanças Climáticas e Onda de Calor – Alto Paraíba do Sul, Rios Preto e Paraibuna, Pomba e Muriaé e Médio Paraíba do Sul

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento											
	Alto Paraíba do Sul			Rios Preto e Paraibuna			Rios Pomba e Muriaé			Médio Paraíba do Sul		
	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,67%	99,65%	99,62%	99,92%	99,91%	99,91%	96,48%	95,01%	94,12%	99,64%	98,02%	96,43%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,09%	0,09%	0,11%	0,03%	0,04%	0,03%	1,70%	2,73%	3,32%	0,17%	1,77%	3,34%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,05%	0,06%	0,07%	0,00%	0,01%	0,01%	0,72%	0,75%	0,66%	0,03%	0,02%	0,04%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,04%	0,04%	0,04%	0,01%	0,01%	0,00%	0,29%	0,35%	0,60%	0,01%	0,03%	0,03%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,14%	0,16%	0,17%	0,04%	0,04%	0,05%	0,81%	1,17%	1,31%	0,15%	0,16%	0,17%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-10 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{90} - Cenário de Maior Pressão (2045), Mudanças Climáticas e Onda de Calor – Piabanha, Rio Dois Rios, Baixo Paraíba do Sul e Sub-bacia do rio Pirai

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento											
	Piabanha			Rio Dois Rios			Baixo Paraíba do Sul			Sub-bacia do Rio Pirai		
	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	84,41%	81,71%	81,63%	87,56%	85,30%	82,64%	87,08%	83,68%	80,19%	99,94%	99,96%	99,94%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	7,60%	6,73%	6,59%	4,10%	5,13%	7,20%	7,17%	8,41%	10,38%	0,04%	0,04%	0,04%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,47%	2,61%	2,75%	1,07%	1,88%	2,04%	2,80%	2,51%	3,14%	0,02%	0,00%	0,02%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	2,30%	1,16%	1,17%	0,54%	0,50%	0,64%	1,63%	2,31%	2,13%	0,00%	0,00%	0,00%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	5,23%	7,79%	7,86%	6,73%	7,20%	7,47%	1,31%	3,08%	4,15%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-11 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{95} - Cenário de Maior Pressão (2045), Mudanças Climáticas e Onda de Calor – Alto Paraíba do Sul, Rios Preto e Paraibuna, Pomba e Muriaé e Médio Paraíba do Sul

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento											
	Alto Paraíba do Sul			Rios Preto e Paraibuna			Rios Pomba e Muriaé			Médio Paraíba do Sul		
	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,68%	99,65%	99,59%	99,87%	99,81%	99,77%	93,93%	92,16%	91,29%	96,05%	93,12%	91,85%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,10%	0,12%	0,15%	0,04%	0,10%	0,13%	3,18%	4,11%	4,53%	3,79%	6,57%	7,26%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,06%	0,05%	0,06%	0,02%	0,03%	0,02%	0,65%	0,93%	1,01%	0,04%	0,18%	0,73%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,03%	0,03%	0,03%	0,02%	0,01%	0,01%	0,70%	0,58%	0,50%	0,02%	0,02%	0,04%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,14%	0,16%	0,17%	0,04%	0,05%	0,07%	1,53%	2,22%	2,67%	0,10%	0,11%	0,13%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-12 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{95} - Cenário de Maior Pressão (2045), Mudanças Climáticas e Onda de Calor – Piabanha, Rio Dois Rios, Baixo Paraíba do Sul e Sub-bacia do rio Pirai

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento											
	Piabanha			Rio Dois Rios			Baixo Paraíba do Sul			Sub-bacia do Rio Pirai		
	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	85,70%	84,41%	84,27%	83,73%	81,44%	78,52%	79,83%	76,66%	74,20%	99,94%	99,94%	99,94%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	8,23%	4,25%	4,27%	5,34%	6,56%	7,80%	11,43%	11,25%	10,45%	0,02%	0,04%	0,04%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,41%	5,25%	5,23%	1,84%	2,00%	2,72%	2,46%	3,90%	6,13%	0,04%	0,02%	0,02%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,08%	0,42%	0,54%	0,49%	1,03%	1,57%	2,45%	1,64%	1,90%	0,00%	0,00%	0,00%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	5,58%	5,66%	5,70%	8,59%	8,97%	9,39%	3,83%	6,55%	7,33%	0,00%	0,00%	0,00%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-13 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{7,10} - Cenário de Maior Pressão (2045), Mudanças Climáticas e Onda de Calor – Alto Paraíba do Sul, Rios Preto e Paraibuna, Pomba e Muriaé e Médio Paraíba do Sul

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento											
	Alto Paraíba do Sul			Rios Preto e Paraibuna			Rios Pomba e Muriaé			Médio Paraíba do Sul		
	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	99,43%	99,35%	99,21%	99,37%	99,31%	99,30%	89,90%	87,25%	86,06%	88,53%	85,37%	83,70%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	0,24%	0,28%	0,35%	0,56%	0,48%	0,50%	4,42%	5,29%	5,45%	4,34%	4,01%	4,17%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	0,06%	0,08%	0,13%	0,01%	0,14%	0,13%	1,82%	2,03%	2,33%	4,49%	3,86%	3,13%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,04%	0,04%	0,05%	0,01%	0,01%	0,02%	0,89%	1,32%	1,57%	1,60%	3,86%	3,56%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	0,23%	0,25%	0,26%	0,05%	0,06%	0,06%	2,97%	4,11%	4,58%	1,04%	2,90%	5,44%

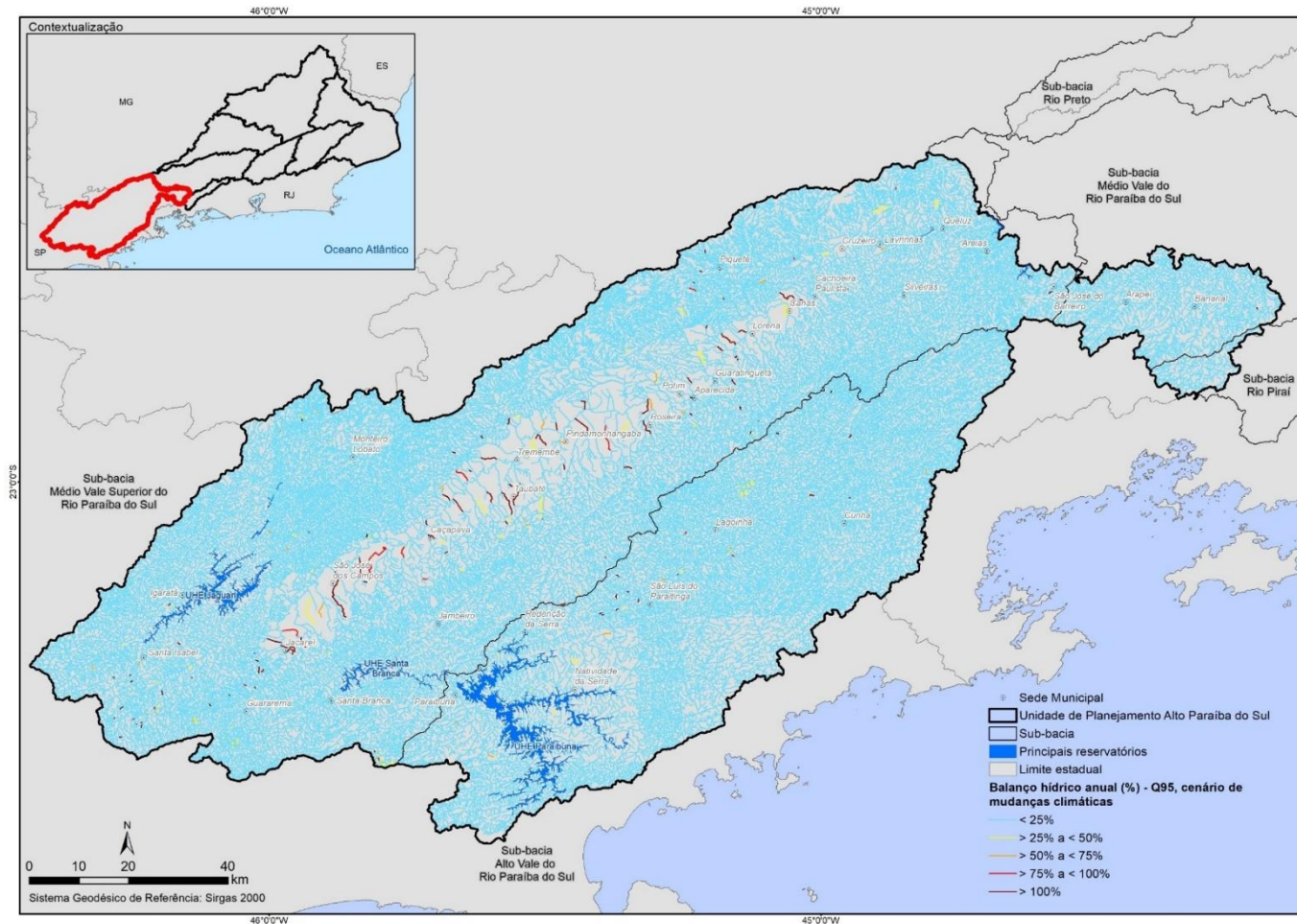
Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Quadro 9-14 – Percentual de ottobacias em cada faixa de Balanço Hídrico, Q_{7,10} - Cenário de Maior Pressão (2045), Mudanças Climáticas e Onda de Calor – Piabanha, Rio Dois Rios, Baixo Paraíba do Sul e Sub-bacia do rio Pirai.

Faixas de Balanço Hídrico	Unidades de Planejamento											
	Piabanha			Rio Dois Rios			Baixo Paraíba do Sul			Sub-bacia do Rio Pirai		
	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor	Maior Pressão-2045	Mudança climática	Onda de calor
Ottobacias com Demandas <25% das Disponibilidades	84,16%	79,06%	78,21%	76,28%	72,80%	68,25%	71,62%	68,25%	64,99%	99,48%	99,35%	99,12%
Ottobacias com Demandas >25% e <50% das Disponibilidades	5,43%	5,60%	6,19%	7,55%	8,94%	10,87%	9,15%	7,23%	6,87%	0,46%	0,62%	0,60%
Ottobacias com Demandas >50% e <75% das Disponibilidades	4,57%	3,78%	3,97%	2,68%	3,15%	4,03%	7,34%	7,28%	6,35%	0,02%	0,02%	0,27%
Ottobacias com Demandas >75% e <100% das Disponibilidades	0,51%	1,76%	1,81%	1,69%	1,67%	1,93%	2,35%	4,93%	5,75%	0,04%	0,00%	0,00%
Ottobacias com Demandas >100% das Disponibilidades	5,33%	9,81%	9,82%	11,81%	13,44%	14,92%	9,53%	12,31%	16,03%	0,00%	0,02%	0,02%

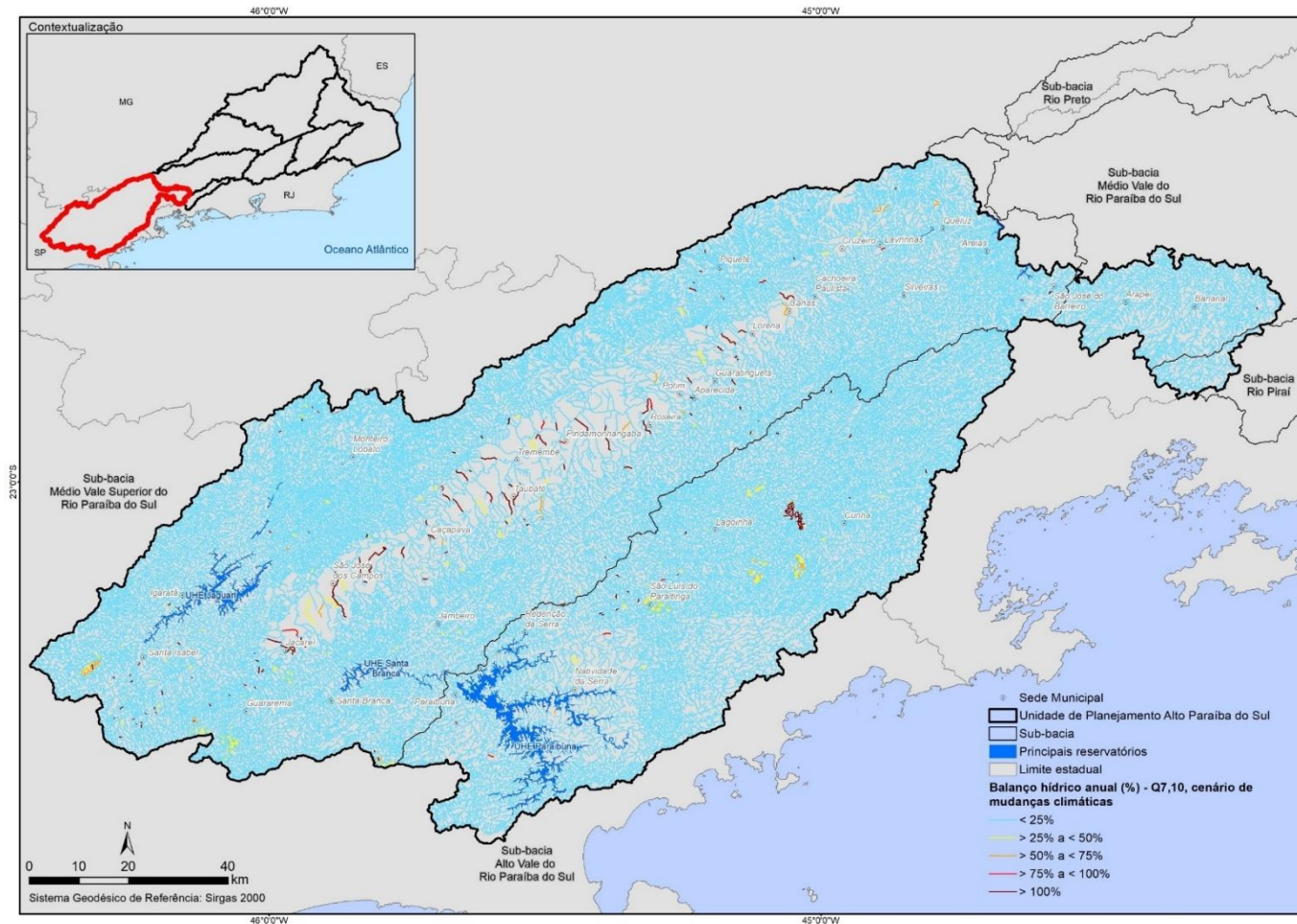
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-7 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, mudanças climáticas – UP Alto Paraíba do Sul



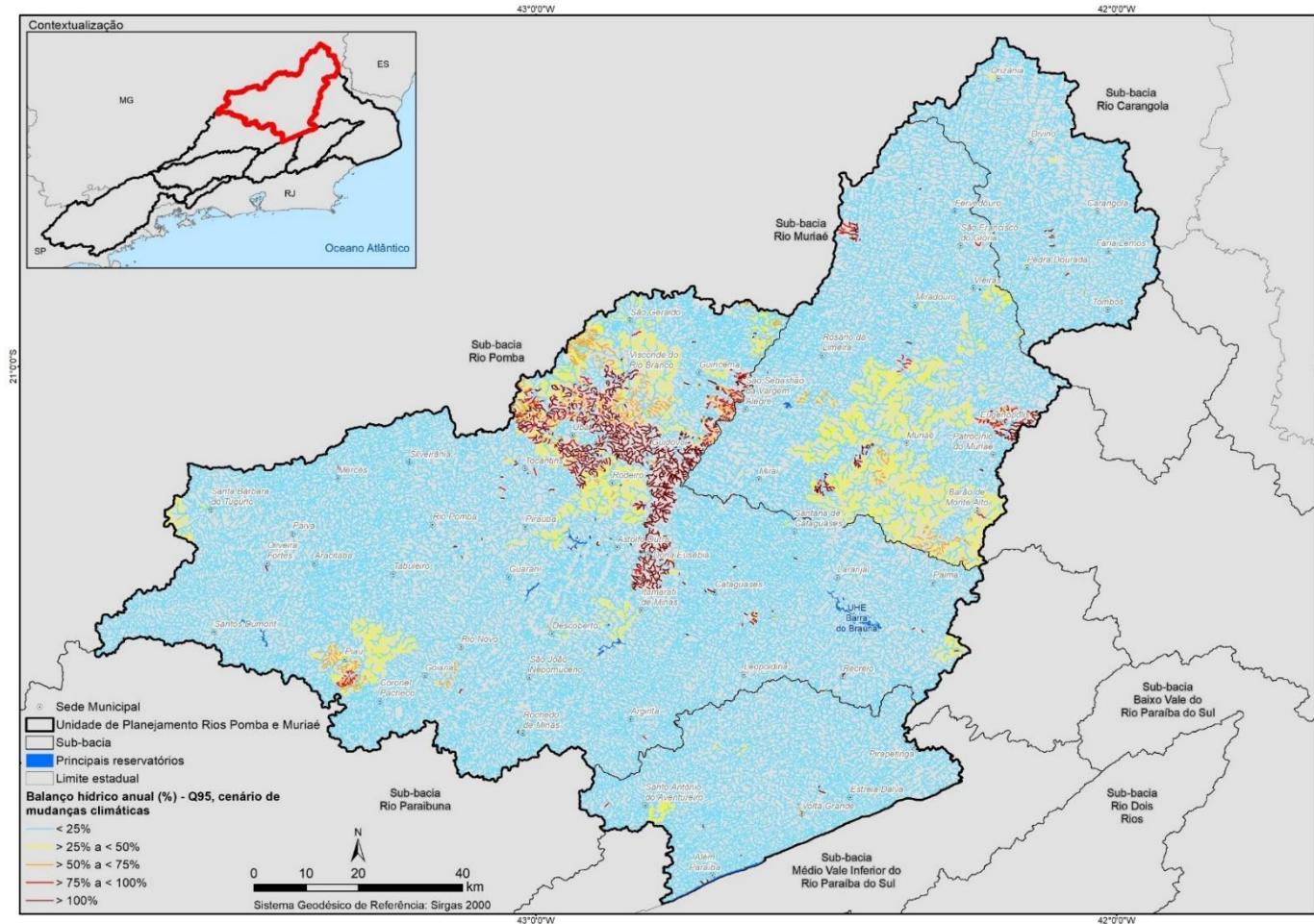
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-8 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q_{7,10}, mudanças climáticas – UP Alto Paraíba do Sul



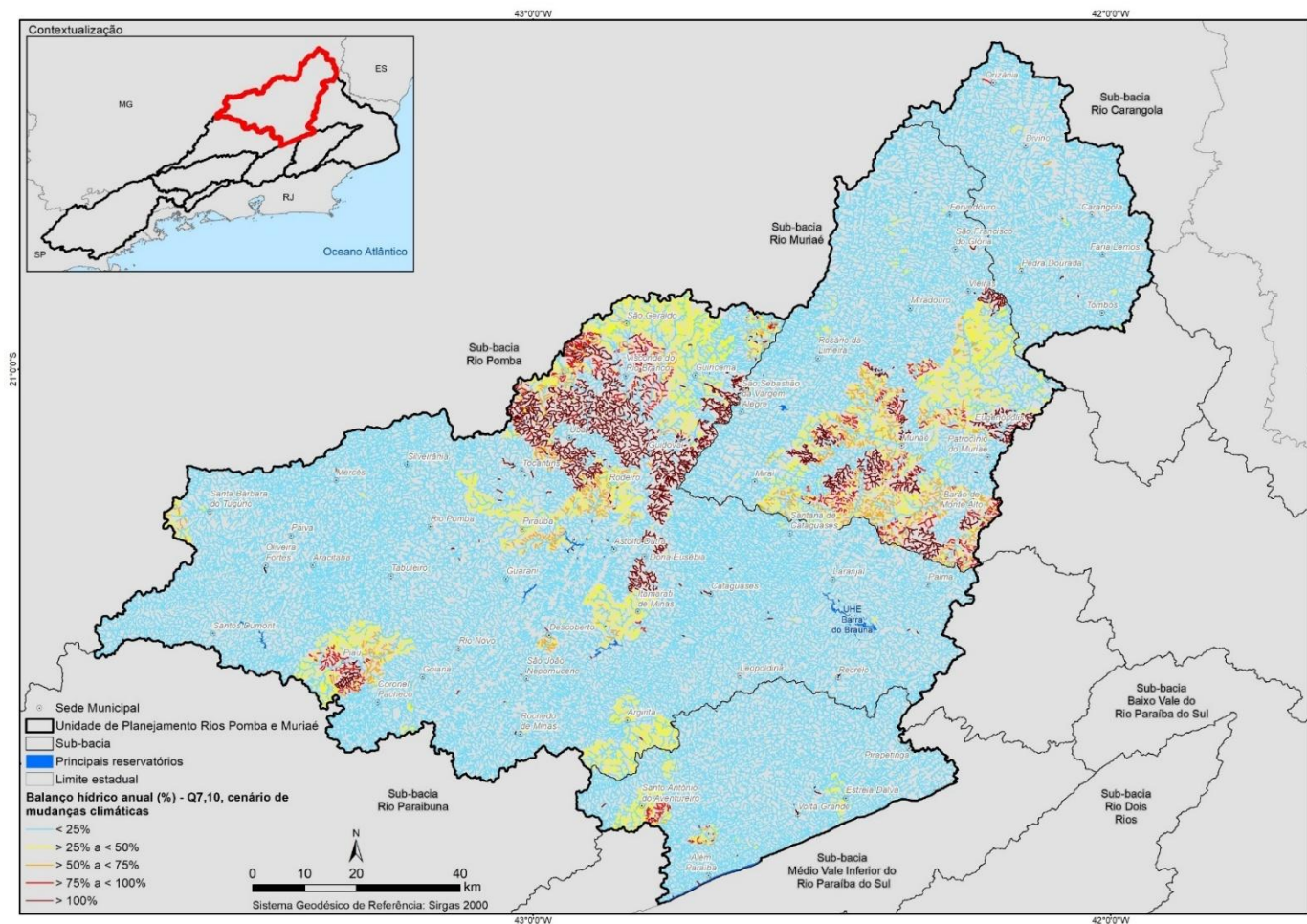
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-11 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, mudanças climáticas – UP Pomba e Muriaé



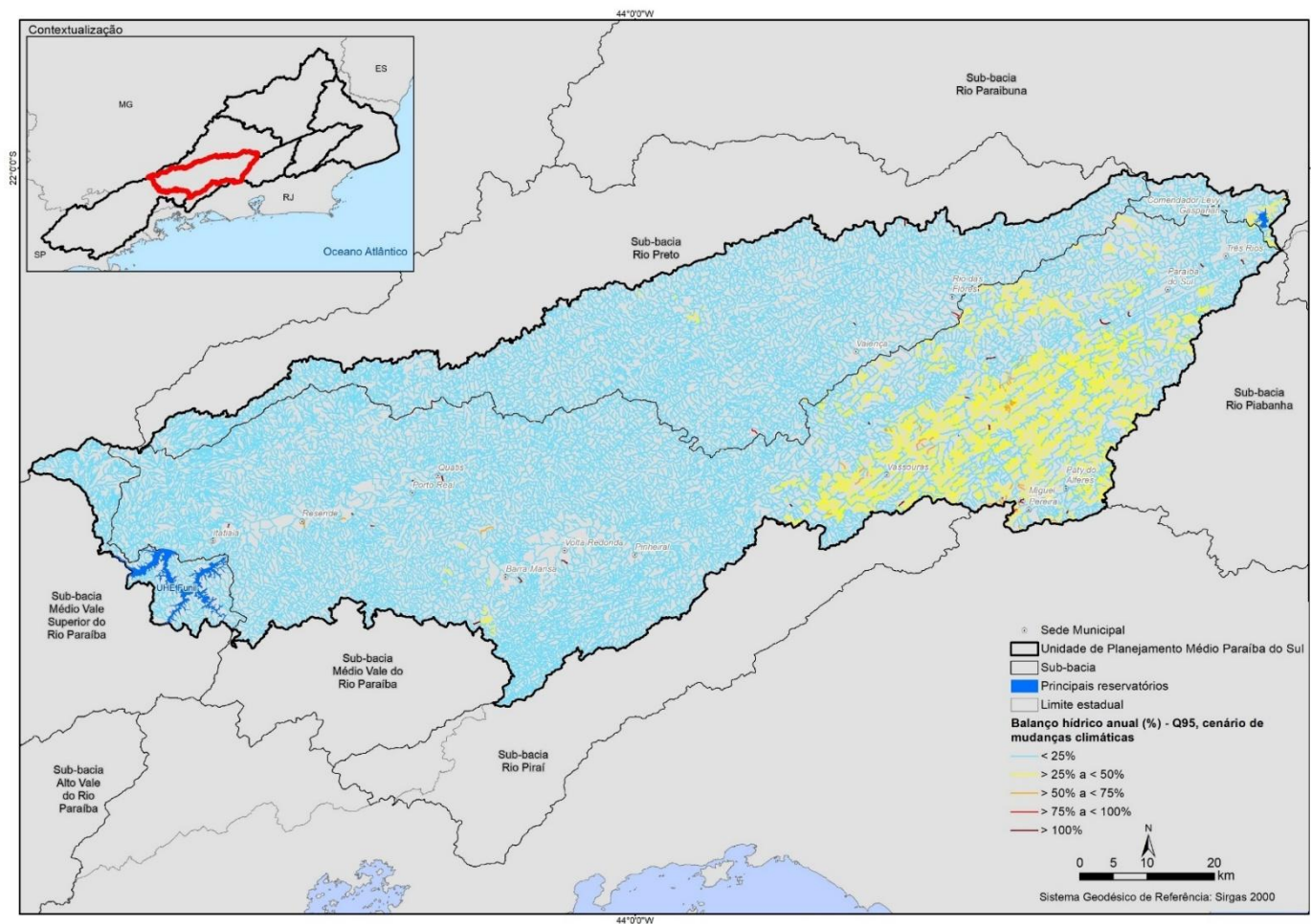
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-12 – Balanço Hídrico Superficial Anual – $Q_{7,10}$, mudanças climáticas – UP Pomba e Muriaé



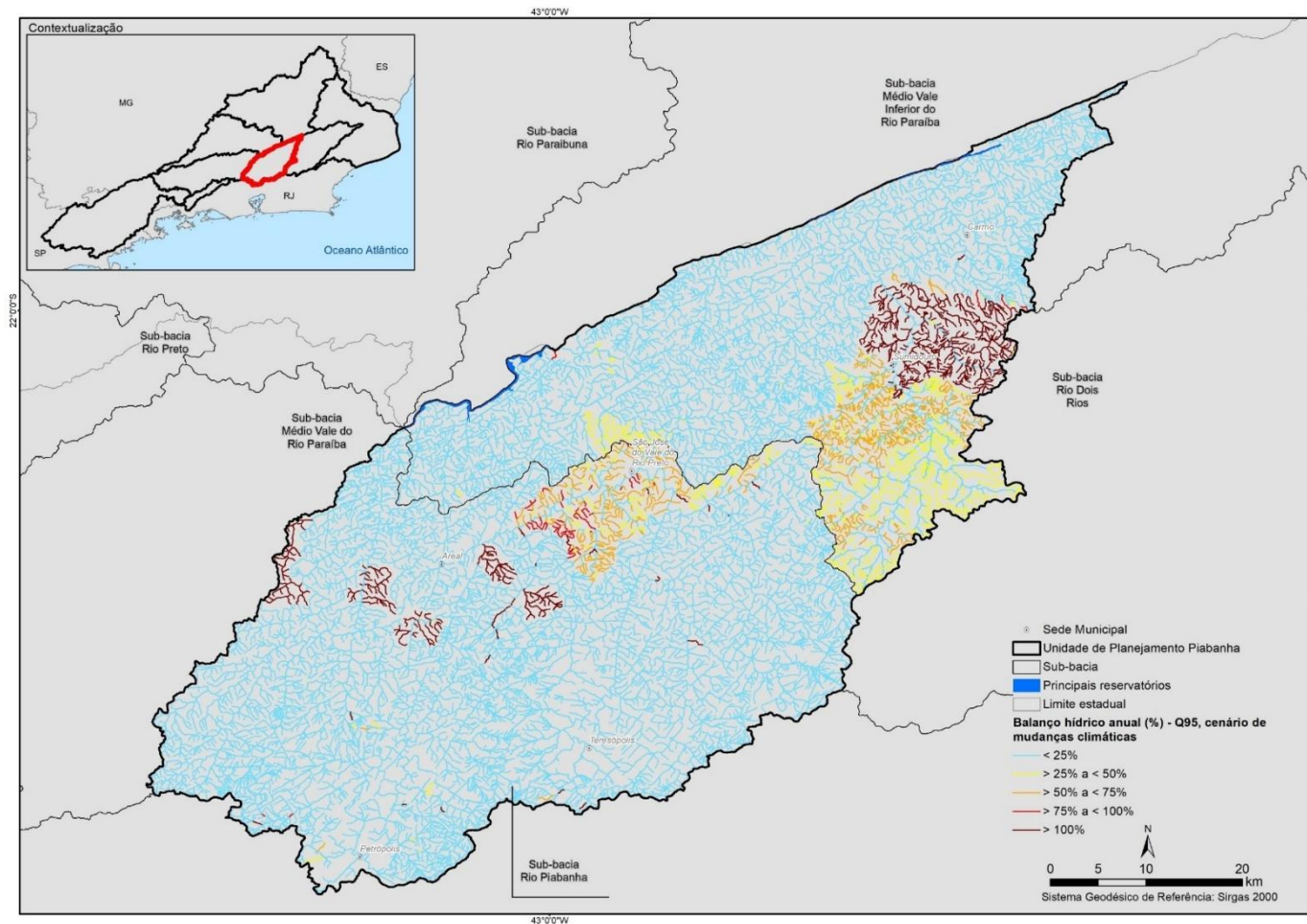
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-13 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, mudanças climáticas – UP Médio Paraíba do Sul



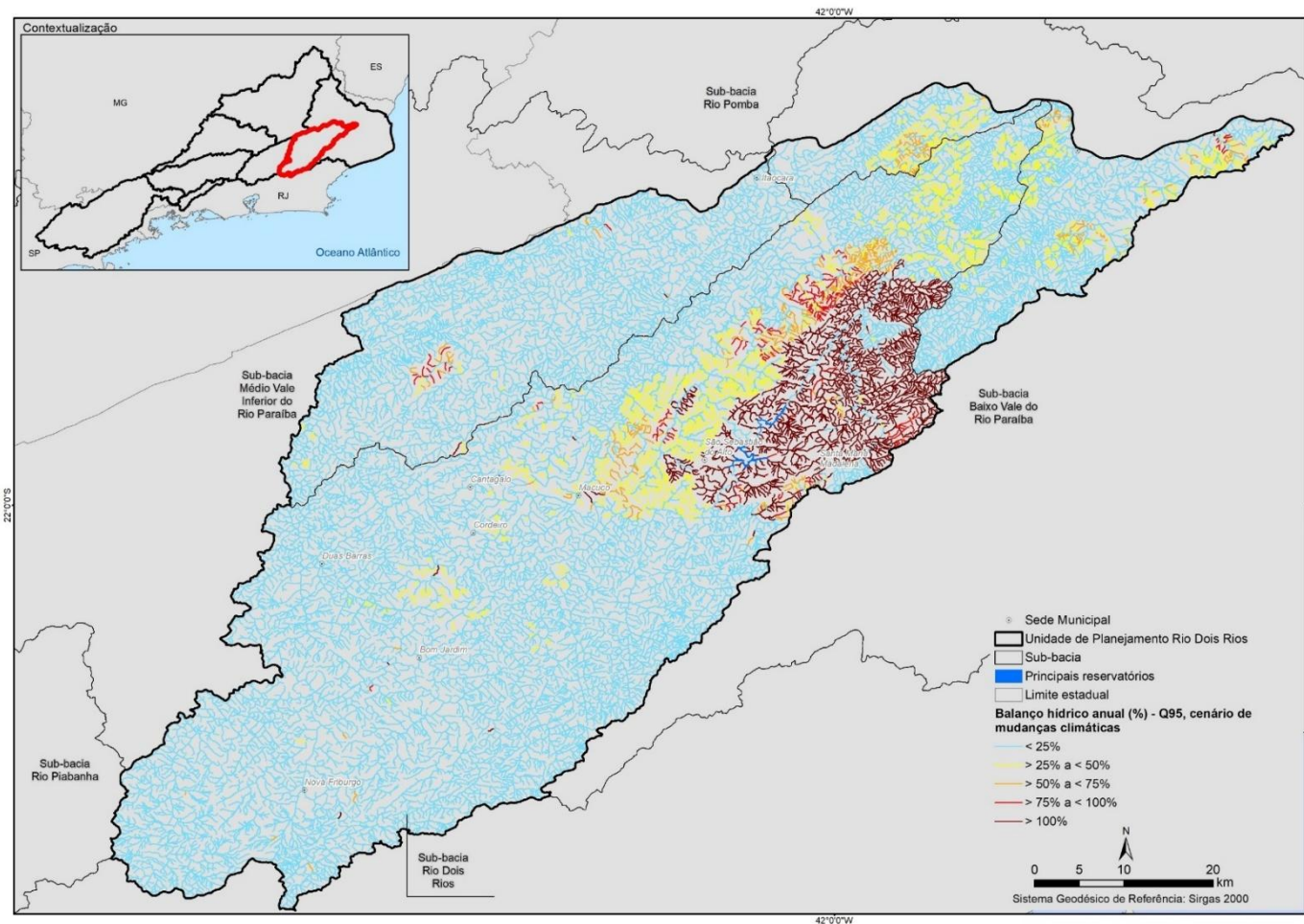
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-14 – Balanço Hídrico Superficial Anual, mudanças climáticas – Q₉₅– UP Piabanha



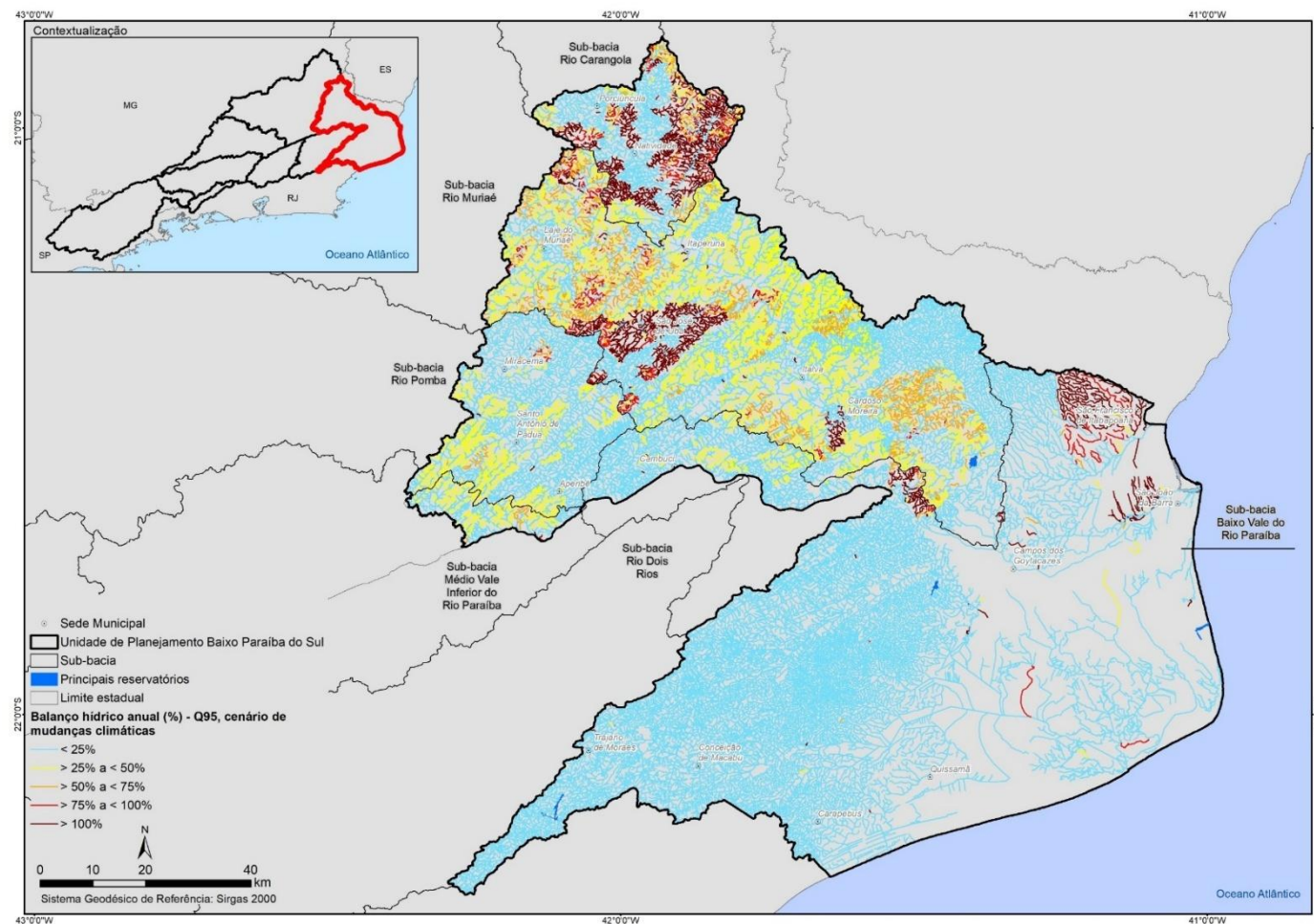
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-15 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, mudanças climáticas – UP Rio dois Rios



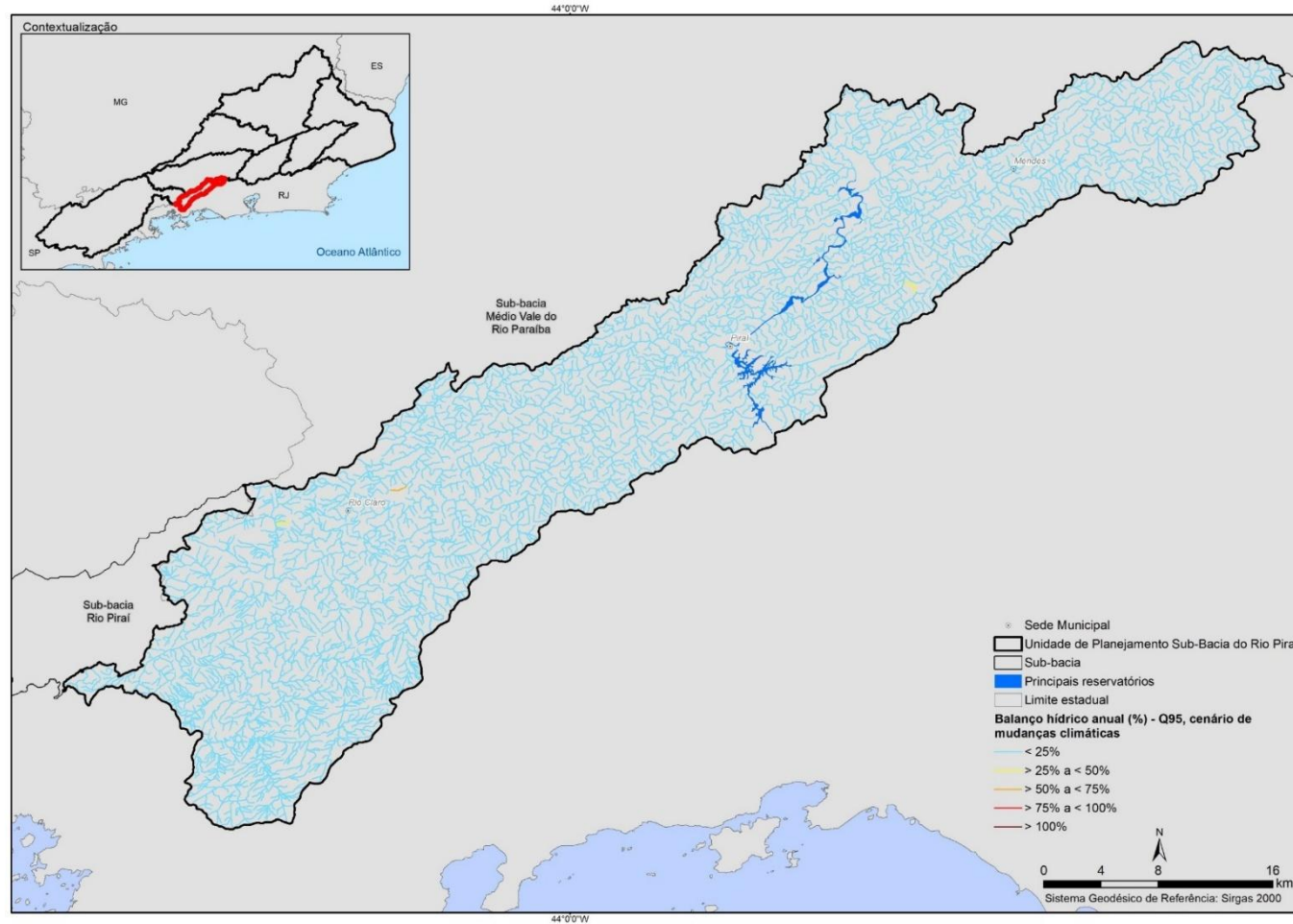
Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-16 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, mudanças climáticas – UP Baixo Paraíba do Sul



Fonte: elaborado pelo Consórcio

Figura 9-17 – Balanço Hídrico Superficial Anual – Q₉₅, mudanças climáticas – UP Rio Pirai



Fonte: elaborado pelo Consórcio

9.1.4. Balanço Hídrico de Águas Subterrâneas

O Quadro 9-15 apresenta uma síntese dos resultados de balanço hídrico subterrâneo em pontos chave da bacia (foram considerados os exutórios de cada sub-bacia) e contrastados com as demandas de águas subterrâneas.

A análise das demandas hídricas subterrâneas revela um aumento expressivo no consumo projetado até o cenário de Maior Pressão em 2045, comparado à cena atual. O uso total passa de 13,01 m³/s para 16,31 m³/s, representando um acréscimo de aproximadamente 25% quando considerada a projeção econômica padrão. Ao se considerar cenários agravados por mudanças climáticas, a demanda hídrica subterrânea total eleva-se ainda mais, chegando a 16,52 m³/s (aumento de 27% em relação à cena atual). Já no cenário mais extremo — Mudanças Climáticas associadas a Ondas de Calor — o consumo total atinge 17,63 m³/s, representando um crescimento de cerca de 35% em relação à situação atual.

Os resultados do balanço hídrico subterrâneo (Quadro 9-15), mostram que, apesar do crescimento projetado da demanda até 2045 em cenário de mudança climática, nenhuma das sub-bacias avaliadas atinge condição de escassez crítica ou muito crítica,

conforme os critérios da Deliberação CRH nº 146/2012 (CRH, 2020). Mesmo no cenário de mudanças climáticas acrescidas de ondas de calor os valores de comprometimento se mantêm abaixo de 50% da reserva explotável em todas as sub-bacias. Contudo, algumas áreas já apresentam percentuais de comprometimento relevantes e merecem atenção, destacando-se:

- **Sub-bacia Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul (UP Alto Paraíba do Sul):** apresenta o maior grau de comprometimento em todos os cenários. – 27,1% na cena atual (situação potencialmente preocupante) e 33,2% na progressão Padrão de 2045 (situação preocupante). No cenário de mudanças climáticas, o balanço hídrico projetado é de 36,80%, enquanto, no cenário de acréscimo associado a ondas de calor, o balanço hídrico é de 37,70%. Esse comportamento reflete a elevada concentração de demandas industriais, minerárias e de abastecimento urbano na sub-bacia. O aumento verificado nos cenários de mudanças climáticas e de ondas de calor reforça o destaque dessa sub-bacia em relação ao comprometimento hídrico;

- **Sub-bacias dos rios Pomba e Carangola (UP Rios Pomba e Muriaé):** estão na faixa considerada como situação potencialmente preocupante (comprometimento de 5 a 30%) nos cenários avaliados. Juntas possuem uma demanda subterrânea no cenário de Maior Pressão – Progressão Padrão (2045) de 1,22 m³/s frente a uma reserva explorável de 11,4 m³/s. A análise do balanço hídrico indica que a sub-bacia do Rio Pomba mantém o nível de comprometimento estabelecido pela Deliberação CRH nº 146/2012, apresentando aumento de 10,90% no cenário de Progressão Padrão 2045 para 12,70% no cenário de mudanças climáticas e 14,90% sob a influência de ondas de calor. Já a sub-bacia do rio Carangola registra comprometimento de 10,60% no cenário de mudanças climáticas associado a ondas de calor, permanecendo, assim como o rio Pomba, distante do intervalo de transição de classe de comprometimento (30%–50%), mesmo considerando os acréscimos projetados. Esse comprometimento pode ser relacionado à hidrogeologia da região, a qual indica que estas sub-bacias ficam situadas em uma unidade hidrogeológica fraturada de produtividade muito baixa;
- **Sub-bacia do rio Muriaé (UP Rios Pomba e Muriaé):** O comprometimento da sub-bacia evolui de 3,10% na condição atual para 4,40% na projeção de progressão padrão para 2045. Sob o efeito de mudanças climáticas, eleva-se para 4,60% e, em cenários de ondas de calor, atinge 5,90%, configurando situação potencialmente preocupante quanto à disponibilidade hídrica. Trata-se da única sub-bacia que apresenta alteração de enquadramento nos cenários futuros segundo os critérios da Deliberação CRH nº 146/2012;
- **Sub-bacia do rio Piabanha (UP Piabanha):** salta de 10,5% na cena atual para 13,1% no cenário de Maior Pressão – Progressão Padrão (2045), tornando-se uma sub-bacia que merece acompanhamento por apresentar crescimento proporcional expressivo em relação a sua disponibilidade. Apesar das demandas subterrâneas nessa sub-bacia não serem elevadas (0,41 m³/s no cenário de Progressão Padrão), as reservas explotáveis são baixas (3,1 m³/s), o que justifica o comprometimento hídrico apresentado. A sub-bacia apresenta acréscimo em relação ao cenário de Progressão Padrão (2045), passando de 13,10% para 13,50% no cenário de mudanças climáticas e para 14,85%

sob efeito de ondas de calor. A UP Piabanha tem sua maior porção localizada em uma unidade aquífera fraturada com pouca produtividade, o que justifica os índices de comprometimento obtidos.

Por outro lado, sub-bacias como o **Baixo Vale do Rio Paraíba do Sul, Rio Pirai, Médio Vale do Rio Paraíba do Sul e Rio Dois Rios** permanecem com baixos índices de comprometimento (<5%) mesmo em cenário de mudanças climáticas acrescidas de ondas de calor, o que sugere maior resiliência quanto ao uso dos recursos subterrâneos. Destaca-se que o maior incremento do índice de comprometimento hídrico ocorre no cenário de ondas de calor, eventos de caráter pontual e temporário, configurando, portanto, uma condição crítica, porém de duração limitada.

Quadro 9-15 – Demandas subterrâneas em relação às reservas exploráveis nos cenários avaliados.

Sub-bacia*	Cena atual			Maior Pressão (2045)								
				Progressão padrão			Mudança climática			Ondas de Calor		
	Demandas subterrâneas (m³/s)	Reserva Explotável (m³/s)	Balanco Hídrico (%)	Demandas subterrâneas (m³/s)	Reserva Explotável (m³/s)	Balanco Hídrico (%)	Demandas subterrâneas (m³/s)**	Reserva Explotável (m³/s)**	Balanco Hídrico (%)	Demandas subterrâneas (m³/s)	Reserva Explotável (m³/s)	Balanco Hídrico (%)
Alto Vale do Rio Paraíba do Sul	0,12	5,7	2,20%	0,19	5,7	3,40%	0,20	5,8	3,40%	0,25	5,8	4,30%
Médio Vale Superior do Rio Paraíba do Sul	10,2	37,6	27,20%	12,5	37,6	33,20%	12,5	34,0	36,80%	12,8	34,0	37,70%
Rio Preto	0,11	6	1,80%	0,16	6	2,60%	0,16	6,3	2,60%	0,21	6,3	3,35%
Rio Paraibuna	0,36	14,5	2,50%	0,53	14,5	3,60%	0,54	14,1	3,80%	0,69	14,1	4,90%
Rio Pomba	0,74	9,9	7,40%	1,08	9,9	10,90%	1,12	8,9	12,70%	1,32	8,9	14,90%
Rio Carangola	0,08	1,5	5,60%	0,12	1,5	8,00%	0,12	1,4	8,50%	0,15	1,4	10,60%
Rio Muriaé	0,26	8,5	3,10%	0,38	8,5	4,40%	0,38	8,3	4,60%	0,49	8,3	5,90%
Médio Vale do Rio Paraíba do Sul*	0,16	16,7	1,00%	0,21	16,7	1,30%	0,21	15,9	1,30%	0,21	15,9	1,30%
Médio Vale Inferior do Rio Paraíba do Sul	0,17	32,3	0,50%	0,24	32,3	0,80%	0,24	28,3	0,80%	0,31	28,3	1,10%
Rio Piabanha	0,33	3,1	10,50%	0,41	3,1	13,10%	0,41	3,0	13,50%	0,45	3,0	14,85%
Rio Dois Rios	0,09	3,8	2,30%	0,11	3,8	3,00%	0,12	3,4	3,50%	0,13	3,4	3,80%
Baixo Vale do Rio Paraíba do Sul	0,42	54,9	0,80%	0,47	54,9	0,80%	0,48	48,7	1,00%	0,57	48,7	1,20%
Rio Pirai	0,01	3,3	0,30%	0,01	3,3	0,20%	0,01	3,2	0,30%	0,01	3,2	0,30%

*Todos os resultados foram gerados no exutório de cada sub-bacia, com exceção da sub-bacia Médio Vale do Rio Paraíba do Sul, onde a disponibilidade hídrica subterrânea apresentada é a montante da transposição do barramento de Santa Cecília devido à influência da transposição nos resultados a jusante.

** Algumas variações associadas ao cenário de mudanças climáticas ocorrem a partir da segunda ou terceira casa decimal, podendo, devido ao arredondamento, não aparentar diferenças no quadro de demandas.

Fonte: elaborado pelo Consórcio

9.2. IMPACTOS ECONÔMICOS E SOCIAIS NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

9.2.1. Impactos Relacionados ao Deficit Hídrico

Risco hídrico de base (sem efeito das mudanças do clima)

Estimativa do Risco de Base

Depois de definida a mensuração do risco hídrico em seus aspectos complementares de gravidade e de duração da ocorrência, torna-se possível realizar a leitura do balanço hídrico sob cenário de Maior Pressão para o ano de 2045, pelo qual se identificam os graus de atendimento à demanda. Para fins de mensuração do valor em risco da demanda hídrica, compilou-se o grau de atendimento de cada uma das mais de três mil e quatrocentas outorgas de uso de recursos hídricos superficiais que compuseram o Produto 3 do presente estudo, cuja vazão máxima totaliza 48,71 m³/s. Essas interferências, que são associadas a um curso d'água específico e avaliadas pelo balanço hídrico a nível de ottobacia, são discretas não apenas espacialmente, como também pela finalidade de uso. Retoma-se que, pela base de outorgas dos órgãos competentes, as finalidades são classificadas como: abastecimento humano urbano; abastecimento humano rural; consumo industrial; dessedentação

animal; irrigação; mineração; e outros. Há, ainda, uma classe de finalidades não informadas.

Torna-se possível calcular a quantidade de interferências por finalidade de uso - dentre as que têm outorga para captação superficial - que estão sob risco hídrico, segregando-se ainda a classificação de sua durabilidade. O Quadro 9-16 e o Quadro 9-17 apresentam esse quantitativo, que aponta para a existência do risco hídrico de base no cenário futuro de 2045 sob maiores pressões de crescimento. A nomenclatura "de base" se deve ao fato que ainda não estão articulados os efeitos da mudança do clima, que se sobrepõe a tal risco. Para a vazão de referência $Q_{95\%}$, verifica-se um total de 481 interferências sob alguma classe de risco hídrico, representando 14% do total. A finalidade de uso com a maior quantidade de interferências sob risco é a irrigação, com um total de 167, o que indica que de todas as outorgas desse importante setor usuário, 40% estão sob algum grau de risco (25% delas em risco inerente e 39% no oposto, risco pós-déficit superior a 300%). Verifica-se que a utilização da vazão de referência $Q_{7,10}$, que é mais restritiva, incrementa a quantidade de interferências sob risco.

Quadro 9-16 – Quantidade de interferências sob risco hídrico sob vazão $Q_{95\%}$, por finalidade de uso, no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base)

Finalidade de uso	Total de interferências	Interferências sob risco na vazão $Q_{95\%}$			
		Risco Inerente	Pós-Déficit (até 200%)	Pós-Déficit (até 300%)	Pós-Déficit (>300%)
Abastecimento Humano Rural	576	47	9	3	5
Abastecimento Humano Urbano	344	9	10	0	4
Consumo industrial	262	18	12	4	33
Dessedentação animal	97	12	4	0	7
Irrigação	416	41	44	17	65
Mineração	493	15	18	27	54
Não informado	101	0	0	0	1
Outros	1130	9	7	1	5
TOTAL	3419	151	104	52	174

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-17 – Quantidade de interferências sob risco hídrico sob vazão $Q_{7,10}$, por finalidade de uso, no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base)

Finalidade de uso	Total de interferências	Interferências sob risco na vazão $Q_{7,10}$			
		Risco Inerente	Pós-Déficit (até 200%)	Pós-Déficit (até 300%)	Pós-Déficit (>300%)
Abastecimento Humano Rural	576	41	20	2	10
Abastecimento Humano Urbano	344	8	12	1	11

Finalidade de uso	Total de interferências	Interferências sob risco na vazão $Q_{7,10}$			
		Risco Inerente	Pós-Déficit (até 200%)	Pós-Déficit (até 300%)	Pós-Déficit (>300%)
Consumo industrial	262	12	20	3	37
Dessedentação animal	97	9	12	1	10
Irrigação	416	45	35	25	77
Mineração	493	15	18	23	66
Não informado	101	3	1	0	1
Outros	1130	15	9	4	7
TOTAL	3419	148	127	59	219

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Para cada uma das interferências, as vazões outorgadas foram convertidas em volume anual de utilização do recurso hídrico, permitindo obter assim a quantidade absoluta de água que é demandada superficialmente na bacia do rio Paraíba do Sul por meio de outorgas. Para os usos econômicos da água, pressupõe-se que o volume efetivo de captação é equivalente ao volume outorgado, mesmo sabendo-se ser uma simplificação. Justifica-se essa premissa em função dos cálculos decorrentes serem pertinentes à gestão de risco, na qual é importante poder fazer uso estratégico das captações até os limites superiores das outorgas, de forma a manejar eventuais períodos de maior demanda (sejam motivadas por fins

industriais-produtivos, mercadológicos, ou mesmo por fins de restrição hídrica).

Para calcular o volume hídrico sob risco, faz-se a leitura da ocorrência do risco inerente e do risco pós-déficit de cada interferência, associando-se para tanto o grau de risco respectivo do balanço hídrico no cenário de interesse - o de Maior Pressão pelos recursos hídricos no ano de 2045. Nota-se que esse mesmo cenário, nos itens a seguir, será lido com base no aumento da demanda e concomitante redução na disponibilidade gerada pelas mudanças do clima.

Em termos práticos, exemplifica-se com uma outorga de consumo industrial de 100 mil m³ por ano (vazão de 3,17 L/s). Caso a captação dessa indústria esteja localizada em um manancial cujo resultado de balanço hídrico seja de 120%, tem-se um risco pós-déficit, ou seja, grau de risco 1. Isso significa que a totalidade de sua demanda por água (todo o volume) se encontra sob risco. Já caso a captação da indústria se encontre em uma ottobacia cujo resultado de balanço hídrico seja de 70%, tem-se um grau de risco inerente de 0,24. Torna-se possível, nesse segundo caso, multiplicar o grau de risco

pela demanda anual da indústria, estimando-se assim um volume sob risco inerente equivalente a 24 mil m³.

Fazendo esse uso do grau de risco, o mesmo cálculo é aplicado para as demais finalidades de uso das águas, permitindo computar os volumes totais demandados anualmente para captação superficial que estão sob alguma forma em situação de risco hídrico. A metodologia aqui desenvolvida permite realizar a associação de cada interferência ao resultado do balanço hídrico e, por meio deste, estimar o volume hídrico sob risco. Dessa forma, a materialização de um episódio de escassez resulta, potencialmente, em um evento de magnitude e durabilidade conhecidas, o que permite realizar a multiplicação simples em relação ao volume sob risco - que está exposto e vulnerável ao evento (conforme introdução desse capítulo).

No Quadro 9-18, encontram-se os resultados obtidos para este que se define como o risco hídrico físico, ou seja, o volume de captação superficial que está sob risco. Na primeira coluna, somam-se os valores de captação superficial que estão expostos ao risco hídrico; já nas demais colunas, apresentam-se os resultados dos volumes

(em valor absoluto e relativo) que estão efetivamente sob risco hídrico, pois não apenas estão expostos, mas sim vulneráveis.

Quadro 9-18 – Risco hídrico físico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - total de interferências

UP	Volume Captado Total (mil m ³ /ano)	Volume sob risco (Q _{95%})		Volume sob risco (Q _{7,10})	
		mil m ³	%	mil m ³	%
1 - Alto Paraíba do Sul	622.448	72.332	11,62%	77.978	12,53%
2 - Rios Preto e Paraibuna	89.199	6.898	7,73%	7.586	8,50%
3 - Rios Pomba e Muriaé	242.831	21.913	9,02%	33.242	13,69%
4 - Médio Paraíba do Sul	286.966	3.510	1,22%	3.689	1,29%
5 - Piabanha	69.984	4.801	6,86%	6.404	9,15%
6 - Rio Dois Rios	24.734	2.463	9,96%	2.930	11,84%
7 - Baixo Paraíba do Sul	190.381	11.257	5,91%	11.915	6,26%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	10.178	1	0,01%	10	0,10%
Total Geral	1.536.721	123.175	8,02%	143.754	9,35%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

O Quadro 9-18 traz a mensuração do risco hídrico físico (volumétrico) total para captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima, ou seja, o risco de base. Nos próximos itens, esse risco de base será majorado pela consideração da mudança do clima. Por enquanto, cabe observar que uma fração significativa do volume captado se encontra sob risco hídrico no

cenário de 2045: na vazão de referência Q_{95%}, tem-se um volume equivalente a 8,0% das demandas totais, e a vazão de referência Q_{7,10}, esse percentual sobe para 9,4%. Essa proporção é superior àquela de ottobacias que se encontram com balanços hídricos superiores a 100%, uma vez que aqui são consideradas as interferências de forma espacialmente discreta e ponderada pelo volume em risco. Ou seja, caso apenas uma ottobacia atenda a muitas interferências, ou a poucas, mas intensas interferências, e esteja sob risco, pesará proporcionalmente mais do que uma grande quantidade de ottobacias com balanço hídrico comprometido, mas que atendem apenas a uma ou outra captação, ou ainda à várias captações de pequeno volume. Além disso, é possível observar que as unidades de planejamento não contemplam riscos equivalentes - enquanto a dos rios Pomba e Muriaé, por exemplo, apresentam as maiores frações sob risco, a do médio Paraíba do Sul conta com uma situação muito mais confortável, embora os volumes captados nessa última sejam superiores aos da primeira. Trata-se, evidentemente, do reflexo de uma maior disponibilidade hídrica, o que faz com que apenas em locais muito críticos haja risco de desabastecimento.

Os resultados apresentados acima são referentes à totalidade das interferências sob risco, podendo-se também segregá-los por

finalidade de uso. Os quadros a seguir expostos apresentam esses resultados por setores usuários, quais sejam: indústria e mineração (Quadro 9-19), consumo humano (Quadro 9-20), agropecuária, que considera conjuntamente os usos de irrigação e dessedentação animal (Quadro 9-21), e os outros usos e outorgas não discriminadas (Quadro 9-22).

Quadro 9-19 – Risco hídrico físico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - indústria e mineração.

UP	Volume Captado Total (mil m ³ /ano)	Volume sob risco (Q _{95%})		Volume sob risco (Q _{7,10})	
		mil m ³	%	mil m ³	%
1 - Alto Paraíba do Sul	205.368	62.084	30,23%	63.521	30,93%
2 - Rios Preto e Paraibuna	47.878	3.926	8,20%	4.587	9,58%
3 - Rios Pomba e Muriaé	33.789	4.845	14,34%	5.609	16,60%
4 - Médio Paraíba do Sul	160.661	3.217	2,00%	3.251	2,02%
5 - Piabanha	10.942	4.079	37,28%	4.344	39,70%
6 - Rio Dois Rios	6.118	943	15,42%	1.058	17,30%
7 - Baixo Paraíba do Sul	32.732	2.479	7,57%	2.899	8,86%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	4.305	1	0,02%	5	0,13%
Total Geral	501.791	81.574	16,26%	85.275	16,99%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-20 – Risco hídrico físico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - consumo humano.

UP	Volume Captado Total (mil m ³ /ano)	Volume sob risco (Q _{95%})		Volume sob risco (Q _{7,10})	
		mil m ³	%	mil m ³	%
1 - Alto Paraíba do Sul	210.112	383	0,18%	1.904	0,91%
2 - Rios Preto e Paraibuna	28.806	0	0,00%	24	0,08%
3 - Rios Pomba e Muriaé	131.428	11.110	8,45%	18.511	14,08%
4 - Médio Paraíba do Sul	120.055	141	0,12%	221	0,18%
5 - Piabanha	57.102	639	1,12%	1.977	3,46%
6 - Rio Dois Rios	16.930	1.142	6,74%	1.419	8,38%
7 - Baixo Paraíba do Sul	90.155	1.976	2,19%	2.159	2,40%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	5.411	1	0,01%	4	0,08%
Total Geral	659.998	15.391	2,33%	26.219	3,97%

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Quadro 9-21 – Risco hídrico físico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - agropecuária.

UP	Volume Captado Total (mil m ³ /ano)	Volume sob risco (Q _{95%})		Volume sob risco (Q _{7,10})	
		mil m ³	%	mil m ³	%
1 - Alto Paraíba do Sul	144.720	9.864	6,82%	12.549	8,67%
2 - Rios Preto e Paraibuna	2.140	344	16,07%	347	16,19%
3 - Rios Pomba e Muriaé	33.809	5.748	17,00%	7.267	21,49%
4 - Médio Paraíba do Sul	434	151	34,85%	208	47,97%
5 - Piabanha	317	83	26,13%	83	26,25%

UP	Volume Captado Total (mil m³/ano)	Volume sob risco (Q _{95%})		Volume sob risco (Q _{7,10})	
		mil m³	%	mil m³	%
6 - Rio Dois Rios	1.143	312	27,31%	361	31,62%
7 - Baixo Paraíba do Sul	54.683	6.802	12,44%	6.857	12,54%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	398	0	0,00%	0	0,03%
Total Geral	237.644	23.304	9,81%	27.673	11,64%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-22 – Risco hídrico físico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - outros usos e não discriminados

UP	Volume Captado Total (mil m³/ano)	Volume sob risco (Q _{95%})		Volume sob risco (Q _{7,10})	
		mil m³	%	mil m³	%
1 - Alto Paraíba do Sul	62.249	1	0,00%	4	0,01%
2 - Rios Preto e Paraibuna	10.376	2.628	25,33%	2.628	25,33%
3 - Rios Pomba e Muriaé	43.806	210	0,48%	1.855	4,24%
4 - Médio Paraíba do Sul	5.815	0	0,00%	8	0,14%
5 - Piabanha	1.623	0	0,00%	0	0,03%
6 - Rio Dois Rios	543	66	12,20%	91	16,72%
7 - Baixo Paraíba do Sul	12.811	0	0,00%	0	0,00%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	65	0	0,00%	0	0,00%
Total Geral	137.287	2.906	2,12%	4.587	3,34%

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

A análise setorial dos volumes hídricos sob risco de escassez revela algumas disparidades: o setor de indústria e mineração apresenta a maior vulnerabilidade relativa, com 16,26% e 16,99% do volume captado sob risco nas vazões respectivas Q_{95%} e Q_{7,10}, totalizando aproximadamente 81,57 a 85,28 milhões de m³/ano em situação de risco. Em contrapartida, o consumo humano, que representa o maior volume absoluto de captação outorgada (660,00 milhões de m³/ano), demonstra menor exposição ao risco, com apenas 2,33% na vazão de referência Q_{95%} e 3,97% na Q_{7,10}. A agropecuária ocupa posição intermediária, com 9,81% a 11,64% do volume sob risco, representando cerca de 23,30 a 27,67 milhões de m³/ano nessa situação.

Do ponto de vista territorial, a unidade de planejamento Piabanha se destaca pela vulnerabilidade do setor industrial, com 37,28% a 39,70% dos volumes sob risco, seguida pela do Alto Paraíba do Sul, que concentra os maiores volumes absolutos em risco para indústria e mineração (62,08 a 63,52 milhões de m³/ano). Já no Médio Paraíba do Sul, a situação se apresenta mais crítica para a agropecuária, com 34,85% a 47,97% dos volumes sob risco, apesar do volume total ser relativamente pequeno. Nota-se que a UP do Rio Pirai se

mantém como a menos vulnerável em todos os setores, com riscos próximos a zero.

Impacto econômico do risco hídrico de base

A partir da mensuração do risco físico, pode-se relacionar os volumes hídricos com a respectiva produtividade econômica que gerariam, dando origem à valoração do valor econômico sob risco. Conforme as notas metodológicas no início desse item, a forma de mensuração do valor econômico da água na economia foi desenvolvida pelo Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental da Água da ONU (2012), sendo que a aplicação no Brasil se dá pelo Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA), realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (IBGE e ANA, 2023). O CEAA apresenta uma detalhada análise sobre a oferta e o uso da água no país, cobrindo os anos entre 2013 e 2020 e integrando dados físicos e monetários.

Dos diversos resultados apresentados pela contabilidade, destacam-se as Tabelas de Recursos e Usos Híbridas que, como sugere o nome, integram informações físicas e monetárias sobre os fluxos hídricos na economia brasileira e permitem a construção de indicadores de eficiência. Esses indicadores são construídos a partir da relação dos dados do Sistema de Contas Nacionais¹⁴ com as informações físicas sobre captação, fornecimento e uso da água dentro da economia, proporcionando uma análise combinada em uma única estrutura metodológica. As tabelas híbridas distinguem os conceitos de uso e de consumo de água, uma vez que representam fluxos distintos no sistema econômico: (i) o uso de água se refere ao volume total retirado do meio ambiente ou fornecido por outras atividades econômicas para atender às demandas produtivas, incluindo tanto a água que é efetivamente consumida quanto aquela que retorna ao sistema após utilização; (ii) já o consumo de água, por sua vez, representa especificamente a parcela do volume utilizado que não retorna ao meio ambiente ou ao sistema

¹⁴ Sistema padronizado para medir a atividade econômica do país, incluindo métricas de valor agregado por setor de atividade econômica.

econômico, sendo incorporada aos produtos, evaporada ou perdida durante o processo produtivo.

Nas tabelas híbridas, os indicadores de eficiência do uso e do consumo de água permitem calcular a intensidade hídrica por unidade monetária produzida em cada uma das atividades econômicas, ou seja, qual o valor de uso e de consumo em R\$/m³. O nível de agregação das atividades econômicas é alto, sendo que sete setores englobam toda a atividade econômica. O Quadro 9-23 apresenta os resultados dos indicadores de eficiência do consumo e do uso de água específicos para a região Sudeste do país, na qual se localiza, integralmente, a bacia do rio Paraíba do Sul. Os resultados do CEAA para o ano 2020 foram corrigidos pelo Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), trazendo-os para valores referentes ao ano de 2024.

Quadro 9-23 – Indicadores híbridos de eficiência no consumo e no uso de água na região Sudeste do Brasil

Setor Econômico	Eficiência da água R\$/m ³ em 2020		Eficiência da água R\$/m ³ em 2024*	
	Consumo	Uso	Consumo	Uso
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	1,11	0,69	1,42	0,88

Setor Econômico	Eficiência da água R\$/m ³ em 2020		Eficiência da água R\$/m ³ em 2024*	
	Consumo	Uso	Consumo	Uso
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura (sem água do solo)	9,98	8,71	12,74	11,12
Indústrias extrativas	826,21	224,80	1.054,99	287,05
Indústrias de transformação e construção	373,26	199,43	476,62	254,65
Eletricidade e gás	2.002,25	0,03	2.556,67	0,04
Água e esgoto	19,16	0,89	24,47	1,14
Demais atividades	41.639,11	2.779,48	53.168,98	3.549,12
Total das atividades econômicas	38,68	1,66	49,39	2,12

* Aplicação de correção monetária pelo IPCA entre jan./2021 e dez./2024 (27,69%), arredondados à segunda casa decimal

Fonte: Contas Econômicas Ambientais da Água (IBGE e ANA, 2023).

Observa-se que os setores econômicos apresentam valores bastante distintos na eficiência da geração econômica a partir de um mesmo metro cúbico de água, condizente com o grau de agregação de valor que realizam. Essa relação é bastante evidente quando se compara os resultados do setor agropecuário com e sem a consideração da água no solo, permitindo compilar indicadores que se relacionam apenas à água captada (distinguindo, assim, agricultura de sequeiro da irrigada, por exemplo). Os valores de eficiência na conversão de água para produção econômica

aumentam em cerca de dez vezes quando se tem o uso da água atrelado à captação própria. Em contrapartida, na comparação entre consumo e uso (sem considerar a água do solo), os valores de eficiência de consumo (R\$ 9,98/m³ em 2020) e de uso (R\$ 8,71/m³ em 2020) são relativamente próximos, o que indica que a maior parcela da água captada é de fato consumida, seja pela evapotranspiração das culturas ou pela incorporação na biomassa vegetal, não retornando ao sistema hídrico. Essa é a característica típica deste setor usuário consuntivo.

A diferença entre os indicadores de consumo e de uso, no entanto, é bastante destacada no setor de água e esgoto, por exemplo, que é um setor de prestação de serviços. A eficiência do consumo (R\$ 19,16/m³) é mais de 21 vezes superior à eficiência do uso (R\$ 0,89/m³). Isso ocorre porque a atividade é responsável pela captação de um grande volume de água (uso), mas a maior parte é distribuída a outros usuários da economia (famílias, indústrias), com apenas uma pequena fração sendo efetivamente consumida no processo (perdas físicas e lavagem, por exemplo). Essa disparidade é ainda mais acentuada no setor de eletricidade e gás, que apresenta a maior diferença entre os dois indicadores. A eficiência do consumo (R\$ 2.002,25/m³) é drasticamente superior à do uso (R\$ 0,03/m³),

explicado pela natureza da geração hidrelétrica: um grande volume de água é usado para produzir energia, mas quase todo é devolvido imediatamente ao curso d'água, característica típica de um usuário não-consuntivo.

Estes indicadores de eficiência se tornam particularmente pertinentes para estimar o valor econômico sob risco hídrico, pois traduzem o valor econômico associado a cada metro cúbico, permitindo quantificar o impacto potencial dos eventos de escassez hídrica. Ao multiplicar esses indicadores pela quantidade de água sob risco, obtém-se uma valoração monetária do prejuízo que se pode esperar, tal como a perda de valor adicionado bruto em setores dependentes. Levando em consideração as características dos indicadores híbridos de eficiência de consumo e de uso das águas, assim como o perfil de cada setor usuário dos recursos hídricos superficiais das águas da bacia do rio Paraíba do Sul, nota-se que existem diferentes formas de interação física e econômica com o recurso hídrico, que condicionam as métricas de eficiência.

Primeiramente, observa-se que as finalidades de uso de dessedentação animal e irrigação (setor primário, agropecuária), assim como indústria e mineração (setor secundário), são voltadas à

produção econômica intermediária. Ou seja, as interferências com essas finalidades detêm características essencialmente produtivas, para as quais o volume de água captado atua como insumo produtivo. Dessa forma, o uso (retirada total) caracteriza-se como a métrica que melhor captura a relação entre o valor econômico e os recursos hídricos. Dessa forma, para as finalidades de uso agropecuário, utiliza-se o indicador de eficiência de uso de R\$ 11,13/m³ (a preços de 2024). Já para as interferências industriais, adota-se o indicador de eficiência de uso correspondente ao setor de indústrias de transformação e construção, de R\$ 254,65/m³.

A finalidade de uso da mineração, por fim, requer um ajuste devido à natureza preponderante da atividade na bacia do rio Paraíba do Sul, que é majoritariamente voltada à extração de areia, pedra e argila do leito de rio, atividade com menor grau de valor agregado. A produção desses agregados não condiz ao valor de uso do CEAA correspondente às indústrias extrativas (R\$ 287,05/m³), e utilizá-lo geraria uma drástica superestimativa do valor econômico gerado, distorcendo a análise de impacto econômico do risco hídrico. Dessa forma, optou-se pelo uso do indicador de eficiência de uso do CEAA correspondente ao do setor de eletricidade e gás (R\$ 0,04/m³). A escolha por esse indicador se justifica no fato de ambas as atividades

(mineração de agregados e geração hidrelétrica) apresentarem características similares quanto ao uso não-consuntivo da água e baixo valor agregado por unidade de recurso hídrico utilizado, proporcionando uma aproximação mais realista para a valoração econômica do risco hídrico na atividade mineral específica da bacia.

Para os usuários de abastecimento humano (seja em ambiente urbano ou rural), tem-se uma relação de uso da água distinta dos setores produtivos, relação que supera o setor de água e esgoto, por ser intermediário (prestação de serviços), e que se materializa na repercussão do consumo da água nas mais diversas atividades econômicas. Estas aplicações vão desde a simples higienização de frutas e legumes nas residências e restaurantes, até a higienização de materiais cirúrgicos em um hospital, passando por uma infinidade de situações características da complexidade econômica local que perpassa os usos que não são destacados por obterem outorgas próprias. Um outro exemplo é pertinente às indústrias, que quando são de maior porte e/ou requerem água em características específicas, tendem a ter captações próprias (usos outorgados); já as indústrias de menor porte e/ou de menor intensidade de consumo de água são abastecidas pela rede geral, compondo assim o rol de múltiplas atividades que decorrem a partir da captação de água,

pelas companhias de água, nos corpos de água. Conclui-se que, para os usuários de abastecimento humano, a melhor representação do valor econômico que se espera derivar da água extraída é dada pelo indicador de eficiência de consumo das atividades econômicas totais (que representam a multiplicidade de usos), cujo valor unitário é de R\$ 49,39/m³ a preços de 2024. Adota-se, para fins de simplificação, a mesma métrica para as interferências denominadas de "outros usos", bem como para as interferências de finalidade de uso não determinado.

O uso dos indicadores de eficiência para cada finalidade de uso é referencial, mas útil para se ter uma noção da ordem de grandeza que está sob risco hídrico. Com a adoção dos indicadores unitários respectivos de cada finalidade de uso das águas, torna-se possível multiplicar as métricas de eficiência na conversão de água em atividade econômica (R\$/m³) pelo volume captado, obtendo-se assim a contribuição econômica total da água no âmbito das CEAA's.

Antes de prosseguir com a adoção dos indicadores para a mensuração dos valores econômicos sob risco, realizou-se a seguinte checagem de aderência das premissas adotadas: multiplicou-se os indicadores de eficiência respectivos a cada

finalidade de uso, pelo respectivo volume de água outorgado, segregado entre captações superficiais e subterrâneas. O resultado econômico obtido pelas atividades agropecuárias, que somam as interferências de dessedentação animal e irrigação, é de R\$ 2,70 bilhões (98% deles oriundo de captações superficiais) em produção econômica diretamente vinculada ao uso das águas da bacia do rio Paraíba do Sul. Esse montante corresponde a 48% do valor agregado bruto das atividades primárias nos municípios componentes, mensurada a partir das Contas Nacionais do IBGE a nível municipal para o ano de 2020 (compatível com os dados do CEAA) e trazidos a preços de 2024 pelo IPCA.

O Quadro 9-24 apresenta os resultados dessa checagem de aderência também para os setores secundário e terciário, comparados, respectivamente, às interferências de indústria e de mineração (secundário) e de abastecimento humano e outros usos (terciário).

Quadro 9-24 – Checagem de aderência das premissas de valoração do uso da água na bacia do rio Paraíba do Sul

Valor Agregado Bruto (VAB)* gerado nos municípios da bacia do rio Paraíba do Sul**		Valor econômico da produção vinculada às outorgas de uso de recursos hídricos			
		Superficial **	Subterrâ- neo **	Total** (sup. + sub.)	Fração do Total
VAB Primário (agropecuária)	5.606,33	2.642,60	55,30	2.697,90	48,12%
VAB Secundário (indústria)	144.604,32	73.904,83	28.820,87	102.725,70	71,04%
VAB Terciário (serviços)	201.740,52	39.377,95	9.145,21	48.523,16	24,05%
VAB Total	351.951,17	115.925,38	38.021,38	153.946,76	43,74%

* Aplicação de correção monetária pelo IPCA entre jan./2021 e dez./2024
(27,69%)

** x R\$ 1 milhão

Fonte: elaborado pelo Consórcio com base em IBGE, 2025

Verifica-se aderência dos resultados, mesmo reconhecendo-se tratar de uma estimativa que tem validade pelas ordens de grandeza levantadas. A alta correspondência identificada no setor secundário (71% do VAB) revela que a indústria da bacia é fortemente dependente dos recursos hídricos outorgados, o que é consistente

com o fato de grandes indústrias operarem com captações próprias. Já a menor proporção no setor de serviços (24%) está alinhada ao fato que de as atividades terciárias são fruto de um efeito econômico em cascata que se dá a partir da captação e distribuição de água via rede geral, mas não é diretamente mensurável pelas outorgas.

Os valores econômicos encontrados revelam o efeito da água na economia regional, cuja estimativa total é de R\$ 153,95 bilhões, ou seja, 44% do valor agregado bruto somado dos 168 municípios cujas sedes estão inseridas na bacia do rio Paraíba do Sul¹⁵. Tem-se, pela metodologia adotada, uma medida evidente do recurso natural para as atividades econômicas. Em termos de importância relativa, observa-se que as captações superficiais são responsáveis por 33% do VAB agregado, enquanto as subterrâneas representam uma fração de 11%.

Dadas as estimativas do impacto econômico de cada uma das interferências (cuja somatória dá origem aos valores agregados

¹⁵ O uso desse recorte de municípios, em detrimento à consideração da totalidade de municípios com áreas parcialmente inseridas na bacia, tem como justificativa o estabelecimento da devida comparação com os valores

agregados brutos. A análise de risco hídrico, outrossim, contempla a totalidade da bacia.

apresentados anteriormente), torna-se possível segregá-los por unidade de planejamento hídrico e por grupo de finalidades de uso. Além disso, é possível aplicá-los aos volumes hídricos sob risco de déficit, revelando enfim o impacto econômico caso o risco se materialize. O Quadro 9-25 apresenta os resultados obtidos para as vazões de restrição $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, ressaltando-se tratar apenas das interferências com captação superficial. Os valores são apresentados em milhões de reais a preços de 2024.

Quadro 9-25 – Risco hídrico econômico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - total de interferências

UP	Valor econômico da água (R\$, MM)	Valor sob risco ($Q_{95\%}$)		Valor sob risco ($Q_{7,10}$)	
		R\$, MM	%	R\$, MM	%
1 - Alto Paraíba do Sul	39.131	4.808	12,29%	5.010	12,80%
2 - Rios Preto e Paraibuna	3.665	477	13,01%	478	13,05%
3 - Rios Pomba e Muriaé	12.722	1.072	8,43%	1.553	12,21%
4 - Médio Paraíba do Sul	42.948	609	1,42%	621	1,45%
5 - Piabanha	4.557	991	21,75%	1.125	24,68%
6 - Rio Dois Rios	1.342	192	14,29%	207	15,45%
7 - Baixo Paraíba do Sul	10.245	525	5,13%	796	7,77%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1.314	0	0,02%	2	0,12%
Total Geral	115.925	8.674	7,48%	9.791	8,45%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

A mensuração do risco hídrico econômico total para captação superficial varia entre R\$ 8,67 e R\$ 9,79 bilhões por ano (a depender da vazão de restrição $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, respectivamente), notando-se tratar do valor no Cenário de Maior Pressão (2045) ainda sem a consideração dos agravamentos trazidos pela mudança do clima. O risco de base revela percentuais do valor econômico total entre 7,48% e 8,45%, que representam percentuais respectivos de 2,46% e 2,78% do valor agregado bruto gerado nos municípios da bacia. Tem-se, portanto, a identificação de um risco de grande relevância para a economia regional, com impactos elevados.

Os resultados acima são referentes à totalidade das interferências, podendo-se segregá-los por finalidade de uso. Em linha com os indicadores do valor econômico e dos volumes captados, é a indústria que apresenta os maiores valores sob risco, como revela o Quadro 9-26. Já as atividades econômicas derivadas do consumo humano (Quadro 9-27), embora sejam inferiores às do setor industrial, apontam para um risco entre R\$ 0,76 e R\$ 1,30 bilhões. O setor agropecuário também traz valores econômicos relevantes sob riscos, embora inferiores em valor absoluto (Quadro 9-28). Os outros usos e outorgas não discriminadas são apresentados, por fim, no Quadro 9-29.

Quadro 9-26 – Risco hídrico econômico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - indústria e mineração

UP	Valor econômico da água (R\$, MM)	Valor sob risco (Q _{95%})		Valor sob risco (Q _{7,10})	
		R\$, MM	%	R\$, MM	%
1 - Alto Paraíba do Sul	24.070	4.679	19,44%	4.776	19,84%
2 - Rios Preto e Paraibuna	1.706	343	20,13%	343	20,13%
3 - Rios Pomba e Muriaé	3.692	449	12,16%	466	12,63%
4 - Médio Paraíba do Sul	36.726	601	1,64%	607	1,65%
5 - Piabanha	1.653	958	57,99%	1.026	62,07%
6 - Rio Dois Rios	466	129	27,60%	129	27,60%
7 - Baixo Paraíba do Sul	4.552	352	7,74%	613	13,47%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1.040	0	0,02%	1	0,13%
Total Geral	73.905	7.512	10,16%	7.962	10,77%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-27 – Risco hídrico econômico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - consumo humano

UP	Valor econômico da água (R\$, MM)	Valor sob risco (Q _{95%})		Valor sob risco (Q _{7,10})	
		R\$, MM	%	R\$, MM	%
1 - Alto Paraíba do Sul	10.377	19	0,18%	94	0,91%
2 - Rios Preto e Paraibuna	1.423	0	0,00%	1	0,08%
3 - Rios Pomba e Muriaé	6.491	549	8,45%	914	14,08%
4 - Médio Paraíba do Sul	5.930	7	0,12%	11	0,18%
5 - Piabanha	2.820	32	1,12%	98	3,46%

UP	Valor econômico da água (R\$, MM)	Valor sob risco (Q _{95%})		Valor sob risco (Q _{7,10})	
		R\$, MM	%	R\$, MM	%
6 - Rio Dois Rios	836	56	6,74%	70	8,38%
7 - Baixo Paraíba do Sul	4.453	98	2,19%	107	2,40%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	267	0	0,01%	0	0,08%
Total Geral	32.597	760	2,33%	1.295	3,97%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-28 – Risco hídrico econômico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - agropecuária

UP	Valor econômico da água (R\$, MM)	Valor sob risco (Q _{95%})		Valor sob risco (Q _{7,10})	
		R\$, MM	%	R\$, MM	%
1 - Alto Paraíba do Sul	1.609	110	6,82%	140	8,67%
2 - Rios Preto e Paraibuna	24	4	16,07%	4	16,19%
3 - Rios Pomba e Muriaé	376	64	17,00%	81	21,49%
4 - Médio Paraíba do Sul	5	2	34,85%	2	47,97%
5 - Piabanha	4	1	26,13%	1	26,25%
6 - Rio Dois Rios	13	3	27,31%	4	31,62%
7 - Baixo Paraíba do Sul	608	76	12,44%	76	12,54%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	4	0	0,00%	0	0,03%
Total Geral	2.643	259	9,81%	308	11,64%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-29 – Risco hídrico econômico de captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base) - outros usos e não discriminados

UP	Valor econômico da água (R\$, MM)	Valor sob risco (Q _{95%})		Valor sob risco (Q _{7,10})	
		R\$, MM	%	R\$, MM	%
1 - Alto Paraíba do Sul	3.074	0	0,00%	0	0,01%
2 - Rios Preto e Paraibuna	512	130	25,33%	130	25,33%
3 - Rios Pomba e Muriaé	2.164	10	0,48%	92	4,24%
4 - Médio Paraíba do Sul	287	0	0,00%	0	0,14%
5 - Piabanha	80	0	0,00%	0	0,03%
6 - Rio Dois Rios	27	3	12,20%	4	16,72%
7 - Baixo Paraíba do Sul	633	0	0,00%	0	0,00%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	3	0	0,00%	0	0,00%
Total Geral	6.781	144	2,12%	227	3,34%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Impacto social do risco hídrico de base

Para fins de estimativa do risco de abastecimento da população humana, é adotada uma forma de estimativa de pessoas atendidas a partir dos volumes outorgados, segregada para aqueles na área rural e os na área urbana, mas ambos fazendo uso das taxas de consumo per capita (litros por habitante por dia) apresentadas no Produto 3. Para a área rural, é associada uma fração de 60% do uso do volume outorgado para consumo humano propriamente dito,

reconhecendo-se que diversas das captações no meio rural, embora tenham como finalidade majoritária o consumo humano, atendem a outros fins, como a irrigação de pequenas hortas e dessedentação de pequenos animais de criação. Além disso, essa fração contempla as eventuais perdas físicas de água que ocorrem entre a captação e o consumo. Com esse pressuposto, utilizou-se a taxa de consumo de 150 litros por habitante por dia para estimar a quantidade de pessoas atendidas por cada outorga. Como exemplo, tem-se que uma interferência de abastecimento humano rural de 2,0 mil m³ por ano de volume (cerca de 0,06 L/s) tenha 60% (volume de 1,2 mil m³) destinado ao atendimento efetivo de consumo. Uma vez dividindo-se tal volume efetivo pela taxa de consumo per capita, é possível estimar que essa interferência atenda 22 pessoas.

Para as interferências de abastecimento humano urbano, que ocorrem via rede geral de abastecimento, foram adotadas duas mecânicas, a partir da disponibilidade de detalhes das interferências. Para as emitidas em nome de companhias de abastecimento, foi adotada a população atendida por rede geral no respectivo município, fazendo uso das informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apresentadas no Produto 3. O município paulista de Aparecida, por exemplo, detém uma outorga

em nome do "Serviço Autônomo de Água e Esgotos e Resíduos Sólidos de Aparecida", cujo volume de 8,58 milhões de m³/ano atende à população de 32,45 mil habitantes (segundo informações de 2022 do indicador AG001 do SNIS - população total atendida com abastecimento de água). Para municípios que têm mais de uma interferência em nome de sua concessionária de água, foi realizado o rateio da população atendida de forma proporcional ao volume captado por interferência. Com base nessa mecânica, são considerados sob risco - para estas interferências específicas - apenas a população que é atendida pela rede de abastecimento.

Existem, no entanto, diversas outras interferências de abastecimento humano urbano que não estão emitidas em nome de uma companhia de abastecimento, mas sim em nome de condomínios residenciais, loteamentos e outros empreendimentos específicos, como áreas militares, por exemplo. Para esses casos, foi adotada a exata mesma mecânica que para a população rural. Com base nessas formas de cálculo, é possível computar a quantidade de pessoas associadas a cada uma das interferências das finalidades de abastecimento humano e rural que fazem uso das águas superficiais da bacia do rio Paraíba do Sul (Quadro 9-30).

Quadro 9-30 – Risco hídrico da população humana abastecida por captação superficial no Cenário de Maior Pressão (2045) sem mudança do clima (risco de base)

UP	Pessoas expostas	Pessoas sob risco (Q _{95%})		Pessoas sob risco (Q _{7,10})	
		Pessoas	%	Pessoas	%
1 - Alto Paraíba do Sul	1.574.064	1.739	0,11%	7.192	0,46%
2 - Rios Preto e Paraibuna	69.873	0	0,00%	115	0,17%
3 - Rios Pomba e Muriaé	667.576	59.279	8,88%	91.318	13,68%
4 - Médio Paraíba do Sul	968.565	1.550	0,16%	2.310	0,24%
5 - Piabanha	388.983	5.392	1,39%	17.580	4,52%
6 - Rio Dois Rios	135.220	7.897	5,84%	9.371	6,93%
7 - Baixo Paraíba do Sul	811.137	21.515	2,65%	23.526	2,90%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	52.970	7	0,01%	47	0,09%
Total Geral	4.668.387	97.380	2,09%	151.461	3,24%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Primeiramente, a metodologia aplicada desvenda que há um total de 4,67 milhões de pessoas expostas ao sistema de abastecimento superficial, seja via sistemas de abastecimento de água, seja por outorgas próprias de captação, tanto em ambiente urbano quanto rural. O quantitativo permite validar a metodologia adotada para vincular as outorgas às quantidades de pessoas atendidas, que representa cerca de 71% da população total da bacia, de 6,54 milhões de habitantes conforme o Censo Demográfico do IBGE. Nota-se que essa é a população atendida pelas águas superficiais

da bacia do Rio Paraíba do Sul, sendo que a outra fração é abastecida por água subterrânea ou ainda por captações localizadas em bacias vizinhas.

Do total da população exposta ao risco de déficit hídrico, revela-se que de 2,09% a 3,24% (vazões de referência $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, respectivamente) está exposta e vulnerável, ou seja, está efetivamente sob risco. Embora os resultados relativos sejam pequenos, traduzem-se em um contingente de 97,38 mil a 151,46 mil pessoas. A diferença entre as vazões de referência indica que a transição para condições hidrológicas mais críticas eleva significativamente a população vulnerável. Em relação à distribuição das pessoas sob risco, nota-se uma concentração em unidades específicas de planejamento: a dos Rios Pomba e Muriaé, por exemplo, apresenta a maior vulnerabilidade relativa e absoluta, com 8,88% a 13,68% da população sob risco ($Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$), totalizando entre 59,28 e 91,32 mil pessoas em situação de risco. Em seguida, a unidade Rio Dois Rios apresenta entre 5,84% e 6,93% da população com vulnerabilidade.

A distribuição territorial do risco populacional contrasta com os riscos volumétricos setoriais apresentados no item antecedente. Na

unidade de planejamento Alto Paraíba do Sul, que concentra o maior contingente populacional exposto (1,57 milhões de habitantes), mantém risco relativo muito baixo (0,11% a 0,46%), ao passo que apresenta alta fração de risco para o setor industrial e de mineração (30,23% a 30,93%). De forma similar, a unidade Piabanha também exhibe baixo grau de risco para a população (1,39% a 4,52%) e uma alta vulnerabilidade industrial (37,28% a 39,70%).

Risco hídrico da mudança climática - riscos crônicos

Um dos efeitos promovidos pela mudança do clima está no agravamento paulatino das maiores temperaturas e das modificações na quantidade de água que a atmosfera consegue comportar. São as mudanças crônicas, que traçam paralelo às novas condições de vazão de referência ($Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$), na qual a disponibilidade hídrica é modificada, assim como o são as próprias demandas hídricas. A mudança crônica implica em um "novo normal", não em termos de uma ocorrência episódica, mas sim na configuração de uma situação permanentemente agravada. Com base nos resultados de balanço hídrico que espelham esse duplo agravamento das condições - por um lado, menores disponibilidades, por outro, maiores demandas - torna-se possível

reaplicar a metodologia desenvolvida com os resultados do balanço hídrico sob mudança do clima crônico. Nota-se que os resultados representam as perspectivas no cenário de emissões SSP4-4.5, que condicionou as análises e se apresenta como uma perspectiva de alteração média - não é a mais extrema, mas tampouco a otimista. Como resposta das simulações sob esse cenário, está o agravamento do risco de base, apresentado no item precedente. O primeiro passo para essa estimativa do risco adicional trazido pela mudança do clima está na identificação do risco físico.

Estimativa do risco físico crônico

Uma vez conhecendo o risco físico de base, tona-se possível estimar, com a mesma metodologia, os resultados do balanço hídrico modificados a partir das ofertas e demandas sob mudança do clima crônica. A primeira modificação que se apresenta é na quantidade de interferências, por finalidade de uso e dentre as que têm outorga para captação superficial, que estão sob novo risco hídrico. Nota-se que nesse item todos os resultados são apresentados pelo diferencial que a mudança do clima gera sob o risco de base.

O Quadro 9-31 apresenta o quantitativo de interferências adicionais que passam a estar, para cada uma das vazões de referência, sob

risco hídrico com a mudança do clima e que não estavam assim no cenário futuro sem essa perspectiva. Para a vazão de referência $Q_{95\%}$, verifica-se um total de 505 interferências sob alguma classe de risco hídrico, o que representa uma adição de 24 novas interferências sobre as 481 que já estavam sob risco hídrico na situação de base (representado no quadro pelo ΔMC quantidade, ou seja, o aumento das interferências sob risco causado pelo clima). Já a coluna denominada " $\Delta MC\%$ " mostra o impacto adicional da mudança climática sobre o risco hídrico atual. Atualmente, sem considerar os efeitos da mudança do clima, 481 outorgas estão sob risco hídrico, o que representa 14,07% do total de 3.419 interferências de captação superficial na bacia. Com a mudança do clima, esse número aumenta para 505 outorgas sob risco, elevando o percentual para 14,77% do total. A coluna $\Delta MC\%$ apresenta, portanto, a diferença entre esses dois percentuais (resultando em uma variação de 0,70 pontos percentuais), significando que a mudança climática representa um agravamento mensurável da situação de segurança hídrica que já seria enfrentada mesmo sem a consideração das alterações climáticas.

Quadro 9-31 – Quantidade de interferências sob risco hídrico com mudança do clima crônica.

Finalidade de uso	Interferências sob risco na vazão de ref. $Q_{95\%}$			Interferências sob risco na vazão de ref. $Q_{7,10}$		
	Qtde.	ΔMC qtde.	ΔMC %	Qtde.	ΔMC qtde.	ΔMC %
An. Humano Rural	66	2	0,35%	77	4	0,69%
Ab. Humano Urbano	26	3	0,87%	36	4	1,16%
Consumo industrial	67	0	0,00%	76	4	1,53%
Dessedentação animal	25	2	2,06%	34	2	2,06%
Irrigação	178	11	2,64%	189	7	1,68%
Mineração	117	3	0,61%	123	1	0,20%
Não informado	2	1	0,99%	7	2	1,98%
Outros	24	2	0,18%	40	5	0,44%
TOTAL	505	24	0,70%	582	29	0,85%

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Com a vazão de referência $Q_{95\%}$, nota-se que a finalidade de uso com a maior quantidade de interferências sob risco continua sendo a irrigação, com um total de 178 (11 a mais do que na situação de base). Uma vez que a vazão de referência $Q_{7,10}$ é mais restritiva, todos os resultados apresentados são incrementados - a quantidade total de interferências sob risco sobe para 582, 29 a mais do que as 553 que assim estavam na situação de base com essa mesma vazão. Isso representa um acréscimo de 0,85% das interferências totais que passam a estar sob risco. Essa mesma lógica de

apresentar resultados incrementais é utilizada para as demais análises desse item.

Tal como realizado para estimar o risco físico na situação sem mudança do clima (risco de base), cada uma das interferências sob risco teve sua vazão outorgada convertida em volume anual de utilização do recurso hídrico. Além disso, foram computados os riscos inerentes e os riscos pós-déficit, associando-se para tanto o grau de risco respectivo do balanço hídrico no cenário de interesse - o de Maior Pressão pelos recursos hídricos no ano de 2045 com as modificações trazidas pela mudança crônica do clima no cenário de emissões SSP4-4.5.

No Quadro 9-32 encontram-se os resultados obtidos para o risco hídrico físico, apresentados para as vazões de restrição $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, de acordo com os resultados dos balanços hídricos respectivos do Capítulo 7. Assim como para a quantidade de interferências, o quadro traz o volume total sob risco e a diferença (incremental, ou delta - Δ) que é gerado pela simulação do cenário de clima SSP4-4.5 em suas mudanças crônicas. Observa-se pelo percentual incremental que a diferença resultante não é muito expressiva,

embora esteja bastante concentrada em uma unidade de planejamento.

Quadro 9-32 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima crônica - total de interferências

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	110.301	37.969	6,10%	121.627	43.649	7,01%
2 - Rios Preto e Paraibuna	6.901	2	0,00%	7.597	11	0,01%
3 - Rios Pomba e Muriaé	23.670	1.757	0,72%	36.105	2.863	1,18%
4 - Médio Paraíba do Sul	3.513	4	0,00%	3.843	154	0,05%
5 - Piabanha	5.080	279	0,40%	6.409	5	0,01%
6 - Rio Dois Rios	2.736	272	1,10%	4.337	1.407	5,69%
7 - Baixo Paraíba do Sul	11.310	53	0,03%	12.268	352	0,19%
8 - Sub-Bacia do Rio Piraí	2	1	0,01%	39	29	0,29%
Total Geral	163.512	40.337	2,62%	192.225	48.471	3,15%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Observa-se uma elevação disseminada do volume sob risco nas duas vazões de referência (Q_{95%} e Q_{7,10}), com concentração espacial no Alto Paraíba do Sul e relevância secundária nas UPs Pomba e Muriaé, Baixo Paraíba do Sul e Rio Dois Rios para a vazão Q_{7,10}. No agregado das interferências, o incremento crônico adiciona cerca de 40,34 a 48,47 milhões de metros cúbicos ao risco de base (nas vazões respectivas), com a UP1 respondendo pela maior parcela

absoluta do acréscimo. O resultado é um reflexo de duas forças combinadas: (i) maior intensidade de captações e pressões localizadas em subtrechos críticos, e (ii) sensibilidade das vazões de referência às mudanças tendenciais nas condições hidrológicas, que deslocam o “novo normal” para patamares de menor garantia. A Q_{7,10}, por ser mais restritiva, amplifica esse efeito e evidencia pontos onde pequenos choques de oferta/demanda elevam rapidamente o volume sob risco.

Os quadros a seguir apresentados mostram os resultados para cada setor usuário, quais sejam: indústria e mineração (Quadro 9-33), consumo humano (Quadro 9-34), agropecuária, que considera conjuntamente os usos de irrigação e dessedentação animal (Quadro 9-35), e os outros usos e outorgas não discriminadas (Quadro 9-36).

Quadro 9-33 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima crônica - indústria e mineração

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	62.325	241	0,12%	65.368	1.848	0,90%
2 - Rios Preto e Paraibuna	3.926	0	0,00%	4.587	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	5.120	275	0,81%	6.473	864	2,56%

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
4 - Médio Paraíba do Sul	3.218	1	0,00%	3.258	7	0,00%
5 - Piabanha	4.342	263	2,40%	4.346	2	0,02%
6 - Rio Dois Rios	945	2	0,03%	1.058	0	0,00%
7 - Baixo Paraíba do Sul	2.525	46	0,14%	2.926	27	0,08%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1	0	0,01%	22	16	0,38%
Total Geral	82.403	829	0,17%	88.039	2.763	0,55%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-34 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima crônica - consumo humano

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	628	245	0,12%	1.935	31	0,01%
2 - Rios Preto e Paraibuna	0	0	0,00%	35	11	0,04%
3 - Rios Pomba e Muriaé	11.750	640	0,49%	19.033	522	0,40%
4 - Médio Paraíba do Sul	144	2	0,00%	289	67	0,06%
5 - Piabanha	655	16	0,03%	1.979	2	0,00%
6 - Rio Dois Rios	1.405	263	1,56%	2.759	1.340	7,92%
7 - Baixo Paraíba do Sul	1.976	0	0,00%	2.479	320	0,35%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1	0	0,00%	17	13	0,24%
Total Geral	16.558	1.167	0,18%	28.527	2.308	0,35%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-35 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima crônica - agropecuária

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	47.346	37.482	25,90%	54.317	41.768	28,86%
2 - Rios Preto e Paraibuna	347	2	0,11%	347	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	6.398	650	1,92%	8.461	1.194	3,53%
4 - Médio Paraíba do Sul	152	1	0,15%	209	0	0,05%
5 - Piabanha	83	0	0,01%	83	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	314	2	0,19%	427	66	5,73%
7 - Baixo Paraíba do Sul	6.808	7	0,01%	6.863	6	0,01%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,01%
Total Geral	61.448	38.143	16,05%	70.706	43.033	18,11%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-36 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima crônica - outros usos e não discriminados

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	2	1	0,00%	6	2	0,00%
2 - Rios Preto e Paraibuna	2.628	0	0,00%	2.628	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	402	192	0,44%	2.138	283	0,65%
4 - Médio Paraíba do Sul	0	0	0,00%	88	80	1,37%
5 - Piabanha	0	0	0,00%	1	0	0,01%
6 - Rio Dois Rios	71	5	0,86%	92	1	0,26%
7 - Baixo Paraíba do Sul	0	0	0,00%	0	0	0,00%

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,00%
Total Geral	3.103	198	0,14%	4.953	367	0,27%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Ao comparar os setores usuários, nota-se que os correlatos à agropecuária são os mais sensíveis ao componente crônico, com aumento dos volumes sob risco que variam de 38,1 a 43,0 milhões de metros cúbicos (nas vazões respectivas Q_{95%} e Q_{7,10}) frente ao cenário de base. A resposta é consistente com a natureza consuntiva do uso agrícola, além da elasticidade da demanda a temperaturas mais altas e maior déficit de umidade. Em contraste, o consumo humano apresenta elevação modesta do volume sob risco no cenário crônico, mantendo exposição relativa baixa no agregado da bacia, ainda que as UPs Pomba e Muriaé e Rio Dois Rios apresentem incrementos mais sensíveis para esse setor. Já a Indústria e mineração, por sua vez, mostram incremento relativamente pequeno no risco físico crônico, salientando-se que estas são as finalidades de uso mais vulneráveis ao risco de base. Ou seja, para estas interferências, a mudança do clima não deverá

ser um agravante tão severo, muito embora a situação atual já sugira um elevado risco.

Impacto econômico do risco hídrico crônico

Com base na informação acerca do risco físico, torna-se possível aplicar as estimativas da produção econômica unitária (R\$/m³) de cada finalidade de uso para se obter a estimativa do impacto econômico caso o risco se materialize. O Quadro 9-37 apresenta os resultados obtidos para ambas as vazões de restrição - Q_{95%} e Q_{7,10} - ressaltando-se tratar apenas das interferências com captação superficial.

Quadro 9-37 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima crônica - total de interferências

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	5.280	472	1,21%	5.519	509	1,30%
2 - Rios Preto e Paraibuna	477	0	0,00%	479	1	0,02%
3 - Rios Pomba e Muriaé	1.121	49	0,39%	1.612	59	0,46%
4 - Médio Paraíba do Sul	610	0	0,00%	628	7	0,02%
5 - Piabanha	1.059	68	1,49%	1.125	1	0,01%
6 - Rio Dois Rios	205	13	0,99%	274	67	4,99%
7 - Baixo Paraíba do Sul	537	11	0,11%	816	20	0,19%

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,01%	6	5	0,37%
Total Geral	9.289	614	0,53%	10.459	668	0,58%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Como antes, os valores são apresentados em milhões de reais a preços de 2024, pelos quais se observa que a mudança do clima deve promover um risco adicional de R\$ 614 a R\$ 668 milhões na bacia do rio Paraíba do Sul (para as vazões Q_{95%} e Q_{7,10}, respectivamente). Esse risco econômico, assim como indicado pela distribuição do risco físico, é bastante concentrado na unidade de planejamento Alto Paraíba do Sul. Sozinha, essa UP adiciona respectivos R\$ 472 e R\$ 509 milhões ao valor sob risco. As UPs Rio dois Rios e Pomba e Muriaé também se destacam pelo aumento do valor em risco, com magnitudes inferiores em termos absolutos, mas destacadas principalmente na vazão de referência Q_{7,10}.

Os resultados apresentados são referentes à totalidade das interferências, podendo-se também segregá-los por finalidade de uso. Os resultados para a indústria e mineração, como se lê no Quadro 9-38, não são preponderantes nesse acréscimo de risco

(frente ao risco de base), e tampouco as atividades econômicas derivadas do consumo humano (Quadro 9-39) concentram esse acréscimo. O setor agropecuário, não obstante, é o que se encontra mais suscetível aos efeitos da mudança do clima, como se observa no Quadro 9-40, pelo qual se vê um acréscimo no risco entre 16% e 18% em relação à situação de base. Os outros usos e outorgas não discriminadas são apresentados no Quadro 9-41.

Quadro 9-38 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima crônica - indústria e mineração

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	4.722	43	0,18%	4.819	43	0,18%
2 - Rios Preto e Paraibuna	343	0	0,00%	343	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	450	1	0,02%	472	6	0,16%
4 - Médio Paraíba do Sul	601	0	0,00%	607	0	0,00%
5 - Piabanha	1.025	67	4,05%	1.026	1	0,03%
6 - Rio Dois Rios	129	0	0,00%	129	0	0,00%
7 - Baixo Paraíba do Sul	363	11	0,25%	617	4	0,09%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,01%	6	4	0,40%
Total Geral	7.634	123	0,17%	8.020	58	0,08%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-39 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima crônica - consumo humano

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	31	12	0,12%	96	2	0,01%
2 - Rios Preto e Paraibuna	0	0	0,00%	2	1	0,04%
3 - Rios Pomba e Muriaé	580	32	0,49%	940	26	0,40%
4 - Médio Paraíba do Sul	7	0	0,00%	14	3	0,06%
5 - Piabanha	32	1	0,03%	98	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	69	13	1,56%	136	66	7,92%
7 - Baixo Paraíba do Sul	98	0	0,00%	122	16	0,35%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	1	1	0,24%
Total Geral	818	58	0,18%	1.409	114	0,35%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-40 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima crônica - agropecuária

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	526	417	25,90%	604	464	28,86%
2 - Rios Preto e Paraibuna	4	0	0,11%	4	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	71	7	1,92%	94	13	3,53%
4 - Médio Paraíba do Sul	2	0	0,15%	2	0	0,05%

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
5 - Piabanha	1	0	0,01%	1	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	3	0	0,19%	5	1	5,73%
7 - Baixo Paraíba do Sul	76	0	0,01%	76	0	0,01%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,01%
Total Geral	683	424	16,05%	786	479	18,11%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-41 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima crônica - outros usos e não discriminados

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	0	0	0,00%	0	0	0,00%
2 - Rios Preto e Paraibuna	130	0	0,00%	130	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	20	10	0,44%	106	14	0,65%
4 - Médio Paraíba do Sul	0	0	0,00%	4	4	1,37%
5 - Piabanha	0	0	0,00%	0	0	0,01%
6 - Rio Dois Rios	4	0	0,86%	5	0	0,26%
7 - Baixo Paraíba do Sul	0	0	0,00%	0	0	0,00%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,00%
Total Geral	153	10	0,14%	245	18	0,27%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Em linha com o desvendado pelo risco físico adicionado pela mudança crônica do clima, o setor agropecuário é o centro do aumento do risco econômico, com incremento de 16 a 18% sobre o risco de base em ambas as vazões de referência, refletindo a elevação dos volumes sob risco e a escolha metodológica de aplicar a eficiência econômica de uso em valores econômicos produzidos por metro cúbico. Em contraponto, indústria e mineração apresentam acréscimos pouco expressivos no risco econômico crônico frente ao risco de base, coerentes com o incremento moderado do risco físico setorial - destacando-se novamente que esses são os setores que detêm os mais altos riscos de base.

Impacto social do risco hídrico crônico

Aplicando-se a mesma metodologia de estimativa do risco de abastecimento da população humana que para o risco de base, é possível estimar os impactos trazidos pela mudança do clima crônico sobre a quantidade de pessoas. Ou seja, dadas as interferências de abastecimento humano e suas localizações e perfis de segurança hídrica, estima-se o número de pessoas sob risco associadas a cada uma das interferências das finalidades de abastecimento humano e rural que fazem uso das águas superficiais da bacia do rio Paraíba

do Sul. O Quadro 9-42 apresenta os resultados, que revelam o acréscimo de 7,36 mil pessoas adicionais sob risco pela mudança do clima para a vazão de referência $Q_{95\%}$, chegando a 12,63 mil pessoas com a referência mais restritiva da $Q_{7,10}$. Os maiores contingentes sob risco adicional da mudança do clima se encontram na UP Rios Pomba e Muriaé, sendo que as unidades Rio Dois Rios e Baixo Paraíba do Sul também se destacam pelo acréscimo de pessoas em risco.

Quadro 9-42 – Risco hídrico da população humana abastecida por captação superficial com mudança do clima crônica

UP	Pessoas sob risco ($Q_{95\%}$)			Pessoas sob risco ($Q_{7,10}$)		
	Pessoas	ΔMC pessoas	ΔMC %	Pessoas	ΔMC pessoas	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	2.743	1.003	0,06%	7.344	152	0,01%
2 - Rios Preto e Paraibuna	0	0	0,00%	171	56	0,08%
3 - Rios Pomba e Muriaé	64.130	4.851	0,73%	95.516	4.198	0,63%
4 - Médio Paraíba do Sul	1.575	24	0,00%	2.924	614	0,06%
5 - Piabanha	5.550	158	0,04%	17.606	26	0,01%
6 - Rio Dois Rios	9.218	1.321	0,98%	13.307	3.936	2,91%
7 - Baixo Paraíba do Sul	21.516	0	0,00%	27.030	3.504	0,43%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	9	3	0,01%	190	142	0,27%
Total Geral	104.740	7.361	0,16%	164.089	12.628	0,27%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quando analisada a população total sob risco (não apenas o acréscimo trazido pela mudança do clima crônica), a unidade de planejamento dos Rios Pomba e Muriaé desponta como preocupação: 64,13 e 95,52 mil pessoas sob risco nas vazões de referência $Q_{95\%}$ na $Q_{7,10}$, patamar superior às demais UPs e coerente com a combinação de múltiplas captações e restrições de disponibilidade observadas para o abastecimento humano. O Baixo Paraíba do Sul ocupa a segunda posição em termos absolutos (21,52 e 27,03 mil pessoas, respectivamente), enquanto Rio Dois Rios, embora com população exposta total menor, apresenta elevação significativa com a referência mais restritiva (de 9,22 mil para 13,31 mil). Apesar de o Alto Paraíba do Sul registrar uma das maiores populações expostas na bacia, o contingente sob risco crônico permanece baixo (2,74 mil na $Q_{95\%}$ e 7,34 mil na $Q_{7,10}$), sendo que o acréscimo de risco aportado pela mudança do clima é relativamente modesto nesse território.

Risco hídrico da mudança climática - riscos agudos

O item anterior tratou do risco crônico da mudança do clima, que se reflete nas mudanças esperadas para a situação futura corriqueira em 2045 sob cenário de emissões SSP4-4.5. Um outro efeito

promovido pela mudança do clima está no agravamento das situações de risco agudo, que se manifesta de forma contundente nas ondas de calor. Nesses episódios, que se tornarão mais frequentes e mais intensos, a demanda pelos recursos hídricos se altera de forma expressiva para praticamente todos os usuários - no entanto, a disponibilidade hídrica segue sob as mesmas restrições, tendendo inclusive a se tornar mais restrita. Embora essa última faceta (restrições na oferta) não tenha sido modelada explicitamente para as ondas de calor, a simulação do balanço hídrico mediante o incremento previsto nas demandas serve de indicativo do risco adicional trazido pela ocorrência desse tipo de evento agudo.

Por definição, o risco agudo se materializa sobre o risco crônico, agravando-o. Ou seja, dada a situação futura de referência (representada pela mudança do clima crônica), podem ocorrer episódios de ondas de calor (mudança do clima aguda), compondo assim um cenário que agrava os riscos da perspectiva crônica. Tal como para o risco crônico, os resultados do risco agudo são apresentados de forma absoluta e relativa (mudança incremental, ou seja, o delta - Δ). Dessa vez, não obstante, esse delta é calculado sobre o risco crônico, e não sobre o risco de base. Esse item se inicia pelo risco físico (quantidade de interferências e volumes de água

comprometidos), depois segue para a estimativa dos impactos econômicos e sociais.

Estimativa do risco físico agudo

O Quadro 9-43 apresenta o quantitativo de interferências que passam a estar, para cada uma das duas vazões de referência, sob risco hídrico com a mudança do clima aguda - um evento de onda de calor. Para a vazão de referência $Q_{95\%}$, verifica-se um total de 518 interferências sob alguma classe de risco hídrico sob mudança do clima aguda (MCa), uma adição de 13 interferências sobre as 505 que já estavam sob risco hídrico pela mudança do clima crônica (MCc). Assim como no item anterior, o resultado percentual mostra a diferença na quantidade relativa sob novo risco, ou seja, o percentual sob risco da mudança do clima aguda (MCa) menos o percentual que está sob risco pela mudança do clima crônica (MCc).

Quadro 9-43 – Quantidade de interferências sob risco hídrico com mudança do clima aguda

Finalidade de uso	Interferências sob risco na vazão de ref. $Q_{95\%}$			Interferências sob risco na vazão de ref. $Q_{7,10}$		
	Qtde.	MCa-MCc Qtde.	MCa-MCc %	Qtde.	MCa-MCc Qtde.	MCa-MCc %
An. Humano Rural	72	6	1,04%	80	3	0,52%
Ab. Humano Urbano	29	3	0,87%	44	8	2,33%
Consumo industrial	69	2	0,76%	76	0	0,00%
Dessedentação animal	25	0	0,00%	34	0	0,00%
Irrigação	180	2	0,48%	189	0	0,00%
Mineração	117	0	0,00%	123	0	0,00%
Não informado	2	0	0,00%	8	1	0,99%
Outros	24	0	0,00%	45	5	0,44%
TOTAL	518	13	0,38%	599	17	0,50%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

No Quadro 9-44, encontram-se os resultados obtidos para o risco hídrico físico, obtido pela multiplicação das vazões de cada uma das interferências sob risco, conforme a metodologia de avaliação da gravidade e da duração do risco advinda dos resultados de balanço hídrico. O quadro apresenta resultados para as vazões de restrição $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$ na simulação da ocorrência de uma onda de calor.

Quadro 9-44 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima aguda - total de interferências.

UP	Volume sob risco ($Q_{95\%}$)			Volume sob risco ($Q_{7,10}$)		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	111.574	1.273	0,20%	121.847	220	0,04%
2 - Rios Preto e Paraibuna	6.901	0	0,00%	7.636	39	0,04%
3 - Rios Pomba e Muriaé	28.187	4.517	1,86%	39.488	3.383	1,39%
4 - Médio Paraíba do Sul	3.717	203	0,07%	4.165	321	0,11%
5 - Piabanha	5.281	201	0,29%	6.656	247	0,35%
6 - Rio Dois Rios	2.764	29	0,12%	6.386	2.049	8,29%
7 - Baixo Paraíba do Sul	11.504	194	0,10%	12.383	116	0,06%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	2	0	0,00%	39	0	0,00%
Total Geral	169.930	6.418	0,42%	198.600	6.375	0,41%

Fonte: elaborado pelo Consórcio.

Observa-se pelo percentual incremental total que a diferença gerada por uma onda de calor não é muito expressiva. Ou seja, eventos agudos representados pela onda de calor acrescentam um risco físico cujo volume cresce entre 6,42 e 6,38 milhões de metros cúbicos nas vazões de referência respectivas de $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$, mantendo-se a ordem de grandeza próxima entre as duas referências. Essa relativa estabilidade percentual sugere que os picos de demanda e as condições hidrológicas momentaneamente mais restritivas dada a ocorrência de uma onda de calor afetam a

bacia de modo localizado, sem modificar substancialmente o perfil global de exposição já inscrito no risco crônico.

Mesmo assim, trata-se de um risco que requer medidas de prevenção nos locais onde ocorre, pois há grande concentração espacial, com destaque para a unidade de planejamento dos Rios Pomba e Muriaé, que apresenta o maior acréscimo absoluto, variando de 4,52 a 3,38 milhões adicionais de m³ sob risco (respectivamente na $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$). A UP Rio Dois Rios, por sua vez, apresenta um salto de volume sob risco adicional na vazão de referência mais restritiva ($Q_{7,10}$), com 2,05 milhões de m³ (+8,29% em relação ao risco crônico da mudança do clima), o maior incremento relativo do quadro. A unidade de planejamento Alto Paraíba do Sul, embora lidere o volume total sob risco crônico da mudança do clima, tem aumentos marginais em termos de acréscimo de risco agudo.

Os quadros abaixo apresentam os resultados para cada setor usuário, quais sejam: indústria e mineração (Quadro 9-45), consumo humano (Quadro 9-46), agropecuária, que considera conjuntamente os usos de irrigação e dessedentação animal (Quadro 9-47), e os outros usos e outorgas não discriminadas (Quadro 9-48).

Quadro 9-45 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima aguda - indústria e mineração

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	62.328	4	0,00%	65.375	7	0,00%
2 - Rios Preto e Paraibuna	3.926	0	0,00%	4.587	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	5.125	5	0,01%	6.487	14	0,04%
4 - Médio Paraíba do Sul	3.218	0	0,00%	3.262	3	0,00%
5 - Piabanha	4.342	0	0,00%	4.346	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	970	25	0,40%	1.196	137	2,24%
7 - Baixo Paraíba do Sul	2.536	11	0,03%	2.926	0	0,00%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1	0	0,01%	22	0	0,00%
Total Geral	82.447	45	0,01%	88.201	162	0,03%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-46 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima aguda - consumo humano

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	1.891	1.264	0,60%	2.083	148	0,07%
2 - Rios Preto e Paraibuna	0	0	0,00%	74	39	0,13%
3 - Rios Pomba e Muriaé	16.164	4.414	3,36%	22.311	3.278	2,49%
4 - Médio Paraíba do Sul	297	153	0,13%	607	318	0,26%
5 - Piabanha	856	201	0,35%	2.226	246	0,43%
6 - Rio Dois Rios	1.409	3	0,02%	4.652	1.892	11,18%
7 - Baixo Paraíba do Sul	2.159	183	0,20%	2.564	84	0,09%

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	1	0	0,00%	17	0	0,00%
Total Geral	22.777	6.218	0,94%	34.533	6.006	0,91%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-47 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima aguda - agropecuária

UP	Volume sob risco (Q _{95%})			Volume sob risco (Q _{7,10})		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	47.350	4	0,00%	54.379	62	0,04%
2 - Rios Preto e Paraibuna	347	0	0,00%	347	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	6.480	83	0,24%	8.550	88	0,26%
4 - Médio Paraíba do Sul	202	50	11,46%	209	0	0,02%
5 - Piabanha	83	0	0,00%	83	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	315	1	0,08%	440	13	1,16%
7 - Baixo Paraíba do Sul	6.808	0	0,00%	6.883	20	0,04%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,00%
Total Geral	61.585	137	0,06%	70.890	184	0,08%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-48 – Risco hídrico físico de captação superficial com mudança do clima aguda - outros usos e não discriminados

UP	Volume sob risco ($Q_{95\%}$)			Volume sob risco ($Q_{7,10}$)		
	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %	mil m ³	ΔMC mil m ³	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	4	2	0,00%	9	3	0,00%
2 - Rios Preto e Paraibuna	2.628	0	0,00%	2.628	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	418	16	0,04%	2.141	3	0,01%
4 - Médio Paraíba do Sul	0	0	0,00%	88	0	0,00%
5 - Piabanha	0	0	0,00%	1	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	71	0	0,00%	99	6	1,16%
7 - Baixo Paraíba do Sul	0	0	0,00%	11	11	0,09%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,00%
Total Geral	3.122	18	0,01%	4.976	23	0,02%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Os quadros permitem identificar que há um incremento sensível do risco hídrico por evento agudo para as interferências de consumo humano e de usos agropecuários. Estes são os usos que são mais sensíveis a esse tipo de evento, sendo que os resultados mostram que, mediante acréscimo de demanda para suportar a ocorrência de uma onda de calor, alguns locais não trazem segurança hídrica suficiente - gerando déficits. No caso do consumo humano, o acréscimo absoluto domina o total agregado (adicionais 6,22 a 6,01 milhões de m³ nas vazões respectivas $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$), puxado

principalmente por Rios Pomba e Muriaé (+4,41 e +3,28 milhões de m³) e por Rio Dois Rios, que apresenta o maior salto relativo na vazão mais restritiva ($Q_{7,10}$).

A resposta de risco dos usos agropecuários ao incremento das demandas hídricas em uma onda de calor é menor no agregado (+137 e +184 mil m³), porém com alguns locais que se destacam pelo aumento na vulnerabilidade: a unidade de planejamento Médio Paraíba do Sul apresenta variação relativa elevada na $Q_{95\%}$ (+11,46%), indicando sensibilidade desse setor, mesmo que os volumes absolutos modestos. Nos rios Pomba e Muriaé, os novos volumes sob risco (+83 e +88 mil m³) demonstram que o setor também deve sofrer pressão pelos eventos agudos.

Impacto econômico do risco hídrico agudo

Com base na informação acerca do risco físico agudo - que decorre da simulação de ocorrência de uma onda de calor, torna-se possível aplicar as estimativas da produção econômica unitária (R\$/m³) de cada finalidade de uso para se obter a estimativa do impacto econômico caso o risco se materialize. O Quadro 9-49 apresenta os resultados obtidos para ambas as vazões de restrição - $Q_{95\%}$ e $Q_{7,10}$ -, pelo qual se observa o incremento de risco da ordem de R\$ 300

milhões sobre o risco climático crônico. Ou seja, a ocorrência de um evento de onda de calor na realidade do ano de 2045, deve repercutir um risco econômico adicional dessa magnitude para a região.

Quadro 9-49 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima aguda - total de interferências

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	5.343	63	0,16%	5.527	8	0,02%
2 - Rios Preto e Paraibuna	477	0	0,00%	481	2	0,05%
3 - Rios Pomba e Muriaé	1.341	220	1,73%	1.777	165	1,30%
4 - Médio Paraíba do Sul	618	8	0,02%	645	16	0,04%
5 - Piabanha	1.069	10	0,22%	1.137	12	0,27%
6 - Rio Dois Rios	211	6	0,44%	374	100	7,42%
7 - Baixo Paraíba do Sul	548	12	0,11%	821	5	0,05%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,01%	6	0	0,00%
Total Geral	9.607	318	0,27%	10.768	309	0,27%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Os resultados por finalidade de uso indicam quais as perdas incrementais do risco agudo são mais sensíveis. Para a indústria e mineração, como se lê no Quadro 9-50, não são preponderantes nesse acréscimo de risco (frente ao risco da mudança do clima crônica). As atividades econômicas derivadas do consumo humano

(Quadro 9-51), por outro lado, concentram praticamente a totalidade desse acréscimo de risco, sendo que é esse o setor que mais precisa incorporar elementos mitigadores do risco. A ocorrência de uma onda de calor eleva o risco da mudança do clima crônica em R\$ 300 milhões. O setor agropecuário, por sua vez, é muito pouco impactado, não obstante suas demandas sejam bastante elevadas durante o episódio de onda de calor. Isso indica que há resiliência no meio rural para suportar esse tipo de evento, como se observa no Quadro 9-52. Os outros usos e outorgas não discriminadas são apresentados no Quadro 9-53.

Quadro 9-50 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima aguda - indústria e mineração

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	4.723	0	0,00%	4.819	0	0,00%
2 - Rios Preto e Paraibuna	343	0	0,00%	343	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	450	0	0,00%	475	2	0,06%
4 - Médio Paraíba do Sul	601	0	0,00%	608	1	0,00%
5 - Piabanha	1.025	0	0,00%	1.026	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	134	6	1,22%	134	6	1,22%
7 - Baixo Paraíba do Sul	366	3	0,06%	617	0	0,00%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,01%	6	0	0,00%

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
Total Geral	7.643	9	0,01%	8.028	9	0,01%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-51 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima aguda - consumo humano

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	93	62	0,60%	103	7	0,07%
2 - Rios Preto e Paraibuna	0	0	0,00%	4	2	0,13%
3 - Rios Pomba e Muriaé	798	218	3,36%	1.102	162	2,49%
4 - Médio Paraíba do Sul	15	8	0,13%	30	16	0,26%
5 - Piabanha	42	10	0,35%	110	12	0,43%
6 - Rio Dois Rios	70	0	0,02%	230	93	11,18%
7 - Baixo Paraíba do Sul	107	9	0,20%	127	4	0,09%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	1	0	0,00%
Total Geral	1.125	307	0,94%	1.706	297	0,91%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-52 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima aguda - agropecuária

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	527	0	0,00%	605	1	0,04%
2 - Rios Preto e Paraibuna	4	0	0,00%	4	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	72	1	0,24%	95	1	0,26%
4 - Médio Paraíba do Sul	2	1	11,46%	2	0	0,02%
5 - Piabanha	1	0	0,00%	1	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	4	0	0,08%	5	0	1,16%
7 - Baixo Paraíba do Sul	76	0	0,00%	77	0	0,04%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,00%
Total Geral	685	2	0,06%	788	2	0,08%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Quadro 9-53 – Risco hídrico econômico de captação superficial com mudança do clima aguda - outros usos e não discriminados

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	0	0	0,00%	0	0	0,00%
2 - Rios Preto e Paraibuna	130	0	0,00%	130	0	0,00%
3 - Rios Pomba e Muriaé	21	1	0,04%	106	0	0,01%
4 - Médio Paraíba do Sul	0	0	0,00%	4	0	0,00%
5 - Piabanha	0	0	0,00%	0	0	0,00%
6 - Rio Dois Rios	4	0	0,00%	5	0	1,16%

UP	Valor econômico sob risco (Q _{95%})			Valor econômico sob risco (Q _{7,10})		
	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %	R\$, MM	ΔMC R\$, MM	ΔMC %
7 - Baixo Paraíba do Sul	0	0	0,00%	1	1	0,09%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	0	0	0,00%	0	0	0,00%
Total Geral	154	1	0,01%	246	1	0,02%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Impacto social do risco hídrico agudo

Dadas as interferências de abastecimento humano em suas localizações e perfis de segurança hídrica, estima-se o número de pessoas sob risco adicional frente à ocorrência de uma onda de calor. Conforme observado no subitem anterior, que destaca esse setor usuário como o mais sensível em relação à ocorrência episódica desse evento climático, a quantidade de pessoas adicionais sob risco também é significativa: são previstos, ao todo, incrementos entre 37,36 e 42,82 mil pessoas, a depender das vazões de referência (Q_{7,10} e Q_{95%}, respectivamente) - conforme se lê no Quadro 9-54.

Quadro 9-54 – Risco hídrico da população humana abastecida por captação superficial com mudança do clima aguda

UP	Pessoas sob risco (Q _{95%})			Pessoas sob risco (Q _{7,10})		
	Pessoas	ΔMC pessoas	ΔMC %	Pessoas	ΔMC pessoas	ΔMC %
1 - Alto Paraíba do Sul	7.267	4.524	0,29%	8.728	1.384	0,09%
2 - Rios Preto e Paraibuna	0	0	0,00%	358	187	0,27%
3 - Rios Pomba e Muriaé	96.835	32.705	4,90%	121.096	25.579	3,83%
4 - Médio Paraíba do Sul	3.255	1.680	0,17%	6.073	3.149	0,33%
5 - Piabanha	7.415	1.865	0,48%	19.289	1.684	0,43%
6 - Rio Dois Rios	9.255	37	0,03%	17.238	3.931	2,91%
7 - Baixo Paraíba do Sul	23.522	2.007	0,25%	28.481	1.451	0,18%
8 - Sub-Bacia do Rio Pirai	11	2	0,00%	190	0	0,00%
Total Geral	147.560	42.820	0,92%	201.453	37.364	0,80%

Fonte: elaborado pelo Consórcio

Segundo um levantamento sobre o impacto econômico de ondas de calor no estado de Victoria, na Austrália, foram identificadas perdas previstas de 131 a 291 milhões de dólares australianos quando da ocorrência de eventos severos e extremos, representando, respectivamente, 0,04% e 0,08% do PIB estadual (NCE, 2018). A análise econômica considerou a repercussão da onda de calor na estrutura econômica do estado.

9.3. PROPOSIÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE PRIORIZAÇÃO DE DEMANDAS E CONSIDERAÇÃO OPERACIONAL NO BALANÇO HÍDRICO

Com base nos resultados dos balanços hídricos para cada bacia hidrográfica, é possível identificar subsídios para priorização de demandas em uma situação de crise hídrica ou falta de disponibilidade para atender a todos os usos.

Vale destacar que a responsabilidade de priorização é do Comitê de Bacia Hidrográfica, com o apoio técnico das agências de águas / entidades delegatárias e dos órgãos gestores de recursos hídricos. De toda forma, critérios podem ser considerados nas tomadas de decisão, a partir das análises realizadas, sendo possível citar alguns:

- Atendimento a princípios legais de priorização, considerando a Lei Federal nº 9433/1997, que dispõe serem prioritários os usos para consumo humano e a dessedentação animal. Quanto a esse primeiro ponto, importante destacar que consumo humano é diferente de abastecimento público urbano, uma vez que as captações para esta finalidade também abrangem usos comerciais e por vezes inclusive industriais que utilizam água a partir das redes de

concessionárias de saneamento. Assim, em uma situação de priorização formal, há que se distinguir tais usos dentro dos sistemas de abastecimento público;

- Usos com maior benefício social: nesses casos, importante verificar aqueles que apresentarão melhores efeitos para a manutenção da vida em sociedade durante o período de escassez hídrica ou que não levem ao incremento de problemas futuros. Assim, cabe a discussão sobre usos para irrigação de culturas x usos industriais, podendo entender, em algumas situações, que os primeiros são adequados para produção de alimentos para a população. Por outro lado, os segundos podem ser responsáveis pela manutenção de empregos e de ganho financeiro da sociedade, o que permite que se busque alimentos advindos de outras regiões que não estejam sofrendo com a escassez hídrica no mesmo período;
- Usos com maior eficiência econômico-financeira: os subitens anteriores deste documento apresentaram informações relevantes referentes a cada setor usuário no que se refere aos benefícios financeiros obtidos por metro cúbico de água consumida. Nesses casos, verifica-se que os usos industriais apresentam maior valor agregado ao uso da água, o que

indicaria tais finalidades como potencial importante de manutenção dos ganhos financeiros da sociedade durante o período de escassez.

Vale destacar que essa análise de priorização deve ser realizada caso a caso, de acordo com a ocorrência da escassez hídrica, envolvendo período esperado, nível de escassez e percentual de usos que deverão ser racionados. Além disso, tal situação deve ser diferenciada por bacia hidrográfica, considerando maiores percentuais de usos para cada finalidade em função das características e vocações econômicas de cada região.

Outro aspecto de grande relevância e resultante das análises desenvolvidas neste documento trata de questões operacionais referentes ao balanço hídrico em situações de ocorrências de crises hídricas.

Com base nos estudos aqui realizados, é possível propor as seguintes estratégias de consideração operacional do impacto econômico e social do déficit hídrico no âmbito do plano de bacia e na relação de gestão hídrica com vistas à manutenção de um balanço hídrico apropriado, segregados por principais setores usuários. São abordados quatro tópicos: (i) portfólios de medidas de

adaptação na escala da bacia; (ii) gestão das outorgas sob incerteza; (iii) dimensionamento e regras operativas de infraestrutura hídrica; e (iv) recomendações aos setores usuários para priorizar ganhos de eficiência hídrica e reúso.

Desenho de portfólios de medidas de adaptação na escala da bacia, abordando desde aspectos da gestão da demanda hídrica como da oferta, *pari passu* a conservação de elementos naturais, fomento da recarga de aquíferos e lençóis e instrumentos econômicos.

A implementação de portfólios integrados de adaptação requer uma abordagem sistêmica que combine medidas de gestão da demanda e da oferta com conservação ambiental e instrumentos econômicos, considerando as especificidades e interdependências de cada setor usuário na escala da bacia hidrográfica. Um exemplo de integração de planejamento é o tratamento de águas pluviais urbanas em sistemas híbridos que podem integrar pavimentos permeáveis e jardins de chuva (infraestrutura verde) com galerias e reservatórios de retenção (infraestrutura cinza), criando uma cascata de tratamento que remove poluentes progressivamente enquanto atenua picos de vazão. Já em sistemas de abastecimento, a combinação de proteção de mananciais através de pagamentos por

serviços ambientais (infraestrutura verde) com estações de tratamento avançado (infraestrutura cinza) pode reduzir custos operacionais de longo prazo e permitir o reúso para agricultura, fechando um ciclo completo que perpassa diversos usuários das águas e favorece a todos na bacia hidrográfica. Para controle de inundações, a restauração de planícies de inundação (infraestrutura verde) combinada com regras operativas emergenciais de reservatórios e estações de bombeamento preexistentes (infraestrutura cinza) pode proporcionar proteção mais efetiva e econômica que soluções puramente convencionais.

Para os setores de abastecimento humano urbano e rural, o portfólio pode incluir diversificação de fontes (superficiais, subterrâneas, reúso), criação de fundos de segurança hídrica, implementação de tarifas progressivas que incentivem a conservação e desenvolvimento de mercados de água em situações críticas. No consumo industrial e termoelétrico, as medidas podem abranger incentivos fiscais para investimentos em eficiência hídrica, criação de bancos de água para transações temporárias entre usuários, implementação de certificações ambientais que valorizem o uso racional da água e estabelecimento de seguros contra riscos hidrológicos. Para a irrigação, o portfólio pode contemplar programas

de conversão tecnológica subsidiada, pagamentos por serviços ambientais para produtores que adotem práticas conservacionistas, criação de cooperativas de usuários para gestão coletiva de recursos e implementação de zoneamentos agrícolas baseados em disponibilidade hídrica. A dessedentação animal e aquicultura podem se beneficiar, além dos programas da irrigação, de assistência técnica para manejo sustentável, linhas de crédito para infraestrutura hídrica e integração com esquemas de conservação de nascentes e áreas ripárias. Para mineração e reservatórios, as medidas podem incluir compensações ambientais direcionadas à conservação hídrica, fundos setoriais para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias eficientes e parcerias público-privadas para implementação de soluções baseadas na natureza que beneficiem múltiplos usuários na bacia.

Considerando a necessidade e possibilidade incremento da oferta hídrica nas bacias, pode ser realizada a avaliação e o desenvolvimento de estudos para implementação de sistemas de reservação (barragens) para regularização de vazões, visando minimizar os riscos de escassez hídrica.

Gestão de outorgas: utilizar as outorgas para a gestão sob incerteza climática, ajustando volumes outorgáveis com fatores de segurança que se alteram sob cenários climáticos ou mesmo que são revistas mediante gatilhos sazonais.

A gestão adaptativa das outorgas representa uma estratégia fundamental para equilibrar a segurança hídrica com a viabilidade econômica dos usos múltiplos da água. Essa abordagem envolve a implementação de sistemas de outorga dinâmicos que incorporam fatores de segurança variáveis conforme as condições hidrológicas e climáticas projetadas, permitindo ajustes automáticos ou pré-programados dos volumes autorizados mediante gatilhos pré-estabelecidos. Esses gatilhos podem, por exemplo, ser ajustados a cada trimestre (a depender das perspectivas de pluviosidade, por exemplo), ou ainda a cada ano a partir de perspectivas climáticas mais amplas, como a ocorrência de La Niña ou El Niño, por exemplo.

Para a irrigação, este mecanismo é particularmente relevante dado seu caráter sazonal e a possibilidade de ajustar cronogramas de plantio e técnicas de manejo conforme a disponibilidade hídrica. Sabendo-se antecipadamente da restrição hídrica, o produtor rural pode optar por uma cultura menos hidro intensiva, ou até mesmo por

não plantar a mesma quantidade, garantindo que a oferta hídrica prevista será suficiente para a quantidade plantada. No consumo industrial, especialmente em setores com processos flexíveis, a outorga adaptativa permite planejamento antecipado de reduções temporárias ou implementação de tecnologias de redundância e estoque de água. Com antecipação, as indústrias podem gerar maiores estoques de insumos hidro intensivos, utilizando-os no período de restrição hídrica sem a contrapartida do consumo de água. Para aquicultura, essa estratégia possibilita o ajuste de densidades de cultivo e ciclos produtivos em função da disponibilidade de água, uma vez que o ciclo dos peixes é relativamente curto e diferentes densidades podem ser cultivadas com menor volume de água. A mineração também se beneficia dessa abordagem ao poder programar operações de lavra e beneficiamento considerando restrições hídricas sazonais, embora na bacia do rio Paraíba do Sul a extração de areia, pedra e cascalho no leito dos rios tenda a sofrer menores decorrências. Nos reservatórios, a gestão adaptativa das outorgas permite otimizar os níveis operacionais considerando tanto as perdas por evaporação quanto as demandas a jusante.

Dimensionamento e regras operativas de infraestrutura hídrica considerando eventos extremos sob mudança do clima e que incorporem opções de Soluções baseadas na Natureza.

O planejamento de infraestrutura hídrica resiliente demanda a integração de cenários climáticos extremos no dimensionamento, combinando soluções convencionais de engenharia com alternativas baseadas na natureza, de forma a agregar resiliência e co-benefícios sem a contrapartida de custos muito elevados. Afinal, abordagens híbridas frequentemente apresentam vantagens econômicas significativas quando analisadas em ciclo de vida completo e, embora possam demandar investimentos iniciais mais complexos devido à necessidade de coordenação entre diferentes tipos de infraestrutura, os custos operacionais tendem a ser menores devido à menor demanda energética da infraestrutura verde e aos múltiplos benefícios fornecidos (GIZ, 2023). A diversificação de tecnologias também reduz riscos operacionais, uma vez que falhas em um componente podem ser parcialmente compensadas por outros.

Essa estratégia é importante para as companhias de abastecimento e esgotamento sanitário ao dimensionarem e instalarem sistemas de captação, tratamento, distribuição e armazenamento de água, bem

como tecnologias, locais e dimensões das estações de tratamento de efluentes. Requer-se dos sistemas que sejam robustos e capazes de manter a operação mesmo durante crises hídricas prolongadas, incluindo a implementação de redes de distribuição redundantes, reservatórios estratégicos e sistemas de reúso. Para o abastecimento humano rural, o foco recai sobre soluções descentralizadas como cisternas, pequenos reservatórios comunitários e sistemas de captação de água de chuva integrados a paisagens naturais. No setor termoelétrico, essa abordagem envolve o dimensionamento de sistemas de resfriamento que incorporem tecnologias menos hidro intensivas, além de reservatórios ou acordos para uso de águas reservadas para manter a capacidade de geração em períodos críticos. Para dessedentação animal, a estratégia inclui o desenvolvimento de bebedouros eficientes, pequenos açudes e sistemas de captação que aproveitem a drenagem natural. Os reservatórios se beneficiam da integração com áreas úmidas construídas e zonas ripárias restauradas que reduzem perdas por evaporação e melhoram a qualidade da água.

Outras recomendações aos setores usuários vão no sentido de priorizar ganhos de eficiência hídrica e reúso, além da aceitabilidade de riscos e priorizações de usos mediante a ocorrência de eventos

extremos. A promoção da eficiência hídrica e do reúso constitui estratégia para maximizar o aproveitamento dos recursos disponíveis, especialmente frente aos cenários de escassez. No consumo industrial, essa abordagem envolve a implementação de circuitos fechados de resfriamento, tratamento e reúso de efluentes, otimização de processos produtivos e adoção de tecnologias menos intensivas em água. Para a irrigação, as medidas incluem transição para sistemas de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão), manejo baseado em sensores de umidade do solo, seleção de culturas menos demandantes em água e implementação de práticas de agricultura de precisão. Na aquicultura, a eficiência é promovida através de sistemas de recirculação, tratamento biológico de efluentes e integração com outros usos como piscicultura-agricultura. A mineração pode implementar circuitos fechados de água de processo, tratamento e reúso para as operações de lavagem e beneficiamento. No abastecimento humano urbano, as estratégias englobam programas de redução de perdas na distribuição, incentivos ao reúso residencial e predial, implementação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e campanhas de conscientização sobre uso racional.

O que permeia todas as estratégias de adaptação e resiliência é justamente o papel estratégico e único do Comitê de Bacia Hidrográfica. Como fórum de governança participativa e descentralizada, torna-se o ente mais apropriado para promover, articular e, por meio da Agência de Bacia, implementar as soluções em escala de bacia hidrográfica, dado que sua composição tripartite (poder público, usuários de água e sociedade civil) confere legitimidade e capacidade técnica para mediar interesses diversos através de instrumentos como o Plano de Recursos Hídricos da Bacia. A partir dele, podem ser pactuados zoneamentos integrados, a cobrança diferenciada pelo uso da água para incentivar as soluções integradas e financiamento de programas de pagamento por serviços ambientais. Sua capacidade institucional permite coordenação multi-setorial e multi-escalar essencial para sistemas híbridos que demandam ações simultâneas em propriedades privadas, espaços públicos e infraestrutura regional, facilitando parcerias público-privadas, mediando conflitos entre diferentes usos da água e do solo, promovendo inovação através de projetos piloto e centros de demonstração, estabelecendo monitoramento integrado para gestão adaptativa baseada em evidências, e articulando políticas hídricas com outras políticas setoriais, como a urbana, a

agrícola e a ambiental, todas influenciando a viabilidade de soluções conjuntas.

10. ANÁLISE CRÍTICA DOS DESAFIOS E AVANÇOS AO PROCESSO DE ELABORAÇÃO DO ESTUDO

Este documento é o relatório final do estudo desenvolvido para a atualização do quadro de demandas hídricas e atualização dos balanços hídricos na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Trata-se de um estudo inovador, considerando uma série de aspectos relacionados à identificação de bases de dados para as estimativas de demandas, metodologias de cálculo consistentes para cada setor usuário. De caráter inovador, podem ser destacadas, ainda, as estimativas de impactos de mudanças climáticas nas demandas hídricas para cada setor usuário, bem como a avaliação de seus impactos no balanço hídrico e em aspectos econômicos e sociais na bacia.

O presente documento consolida e apresenta os principais resultados obtidos no estudo, com capítulos referentes a cada uma das etapas de trabalho. Vale destacar, como exposto ao longo do documento, que as metodologias detalhadas para cada atividade desenvolvida são apresentadas de forma completa nos produtos intermediários do estudo referentes a cada atividade desenvolvida. Dessa forma, o presente documento foca na apresentação dos principais resultados do estudo. Com isso, o leitor interessado em

informações detalhadas de cada metodologia e etapa de trabalho pode se dirigir ao respectivo produto intermediário.

No que se refere à consolidação e síntese mostrada neste documento, são apresentadas informações desde as principais bases de dados secundários identificadas e sistematizadas, até a análise de impactos de mudanças climáticas no balanço hídrico e os respectivos impactos econômicos e sociais.

Ao longo do desenvolvimento dos estudos, diversos desafios foram identificados pela equipe técnica do Consórcio e nas discussões realizadas. Tais desafios foram superados por meio de premissas, consistências de dados e das metodologias adotadas, mas são relevantes de ser aqui lembrados, de forma a dar subsídio a aperfeiçoamentos futuros.

O principal desafio identificado vem em função do caráter inovador do estudo. Nesse sentido, não foram identificados outros estudos semelhantes para outras bacias hidrográficas do porte e da relevância da bacia do rio Paraíba do Sul, o que faz com que a metodologia seja considerada como uma novidade para todas as etapas de estudo. De forma complementar, podem ser também destacados outros desafios identificados e que foram relevantes

para o desenvolvimento das metodologias e do estudo. Esses desafios são apresentados na sequência, destacados em função das etapas e atividades desenvolvidas para o trabalho.

Articulação e Consolidação de Dados Secundários

- Para essa etapa de trabalho, destaca-se, inicialmente, a dificuldade para obtenção de dados atualizados de demandas pelo uso da água nos estados. Quanto a esse aspecto, é importante lembrar que os OGRHs disponibilizam seus dados de outorgas em sistemas estaduais de informações sobre recursos hídricos e nos respectivos sites. No entanto, para a maior parte dos usos cujas informações são disponibilizadas, as bases não são consistentes, apresentando às vezes dados com unidades distintas das reais. Por exemplo, são apresentados usos cujos valores de vazões demandadas são apresentados em m³/s, mas como se a unidade fosse em L/s, o que gera demandas 1.000 vezes superiores ao real para determinado usuário. Em outras situações, são apresentadas finalidades distintas das reais. Isso ocorre, por exemplo, em que se percebe o nome do usuário como sendo uma concessionária de abastecimento

público e a finalidade de uso sendo apresentada como uso industrial. Inconsistência semelhante ocorre para usuários cujo nome é apresentado como pessoa física e a finalidade como abastecimento público. Percebe-se claramente que há diferença no uso efetivamente autorizado em relação ao que consta na base de dados de outorgas. Para superar esse desafio, uma consistência fina foi fundamental de ser realizada nas bases de outorgas dos OGRHs;

- Também com relação às informações de outorgas, foi verificado que as bases de outorgas dos sistemas de informações ou sites dos estados são distintas das bases também citadas como de outorgas disponibilizadas no CNARH / SNIRH. Assim, cria-se a dúvida sobre qual se mostra mais atualizada ou mais adequada para o uso em termos de consistência. Além disso, gera distinção nos resultados de demandas por bacia hidrográfica de acordo com a base utilizada, considerando a base que for selecionada para determinada análise. Dessa forma, qualquer pessoa que se interesse pelos dados de outorgas deve ter que escolher uma base a utilizar (que pode estar

diferente das outras) e realizar sua consistência (o que pode gerar resultados diferentes de outros especialistas);

- Outro ponto identificado trata da diferença na padronização de finalidades de demandas. Nesse caso, percebe-se que cada OGRH apresenta diferentes entendimentos em relação a finalidades de demandas. Como exemplo, de acordo com a base utilizada, podem ser citados usos para mineração, indústria e termoeletricas, que, em alguns casos, são integradas como indústria apenas. Outro exemplo, para dessedentação animal, percebe-se que em alguns casos são integradas com o consumo humano rural em uma finalidade única. Isso também ocorre em relação a “outros usos”, que OGRHs consideram usos diferentes nessa categoria. Nesse caso, alguns OGRHs apresentam finalidades como lavagem de veículos, aspersão de vias, aquicultura e, por fim, “outros usos”. Outros OGRHs não apresentam tais finalidades e, com isso, os “outros usos” passam a incluí-las, o que faz com que seja complexo o entendimento comum e a padronização;
- Ainda em relação às bases de dados de demandas dos OGRHs, verifica-se o fato de não separarem os usos por finalidade quando uma mesma captação é usada para mais

de uma. Nesse sentido, como exemplo, por vezes uma captação é realizada para irrigação, consumo humano rural e dessedentação animal. Nesses casos, podem ter OGRHs que apresentam apenas a principal finalidade de uso, enquanto outros apresentam todas, mas sem separar qual a demanda de cada. Outro exemplo trata de situações de usos para agroindústrias, em que por vezes tem-se uma captação para irrigação realizada também com a finalidade de uso industrial, mas não se tem a distinção nas outorgas sobre a vazão utilizada de forma específica para cada uma delas. Há, ainda, situações de usos para indústria e mineração dentro da mesma outorga, situações de termoeletricas consideradas como uso industrial, além de situações de abastecimento de comunidades ou distritos em áreas rurais, que são apresentadas como abastecimento público ou consumo humano rural, sem padronização específica. Isso dificulta análises específicas para identificar a demanda por finalidade de uso;

- Outro ponto identificado em relação às bases de dados trata das demandas reais mensais de cada finalidade, considerando a respectiva sazonalidade. Usos como

irrigação de culturas podem ter sazonalidade importante e com grande variação ao longo dos meses do ano, apresentando maior uso no período de estiagem que no chuvoso. Como verificado nas análises realizadas e apresentadas ao longo do estudo, as informações de demandas advindas das bases de outorgas e de outros estudos desenvolvidos não mostram a sazonalidade real existente na bacia. Sabe-se que de acordo com a cultura e com o método de irrigação, há variações importantes no uso da água para esses usos. Uma vez que essa variação não foi identificada nas bases de dados analisadas e apresentadas ao longo do estudo, observa-se mais um importante desafio para análises sazonais;

- Destaca-se, ainda, com relação às bases de dados de outorgas, a questão relacionada ao vencimento dos atos autorizativos. Algumas bases de outorgas apresentavam informações de data de vencimento de outorgas e outras apresentavam, de uma forma geral, apenas as outorgas válidas. Assim, é possível que haja uma série de outorgas vencidas e cujos usos são continuados sem a devida renovação, por esquecimento do próprio usuário ou porque o

processo ainda continua em análise para renovação. Esse aspecto mostra, mais uma vez, que a base de outorgas pode não refletir de forma adequada os usos reais existentes na bacia, considerando usos vencidos e não renovados.

Proposição e Validação de Metodologias de Cálculo

- As metodologias para cálculo das demandas para cada finalidade também foram um grande desafio para o estudo. Nesse caso, cabe destacar, inicialmente, que a ANA possui metodologia consolidada do estudo de usos consuntivos (revisada em 2024), mas ainda apresenta alguns elementos cuja obtenção de dados para estimativas foi complexa, ou que foram identificados como passíveis de aperfeiçoamento, notadamente relacionados à localização espacial exata de cada ponto de demanda. Assim, o primeiro ponto destacado em relação à metodologia de cálculo trata da localização espacial dos usos, considerando a otobacia em que cada ponto de uso da água está localizado. Ao comparar a base de outorgas e a base de usos consuntivos, observa-se diferenças importantes em algumas situações, podendo ser destacados pontos de usos para irrigação ou para abastecimento público que não apresentam localização

coincidente em termos de otobacias. Assim, essa questão voltada à localização acurada dos usos estimados se mostrou como grande desafio;

- Outro ponto relevante quanto à metodologia de cálculo trata da obtenção de informações. Nesse sentido, podem ser citados exemplos como o do setor irrigação, em que nem todas as informações de culturas, áreas irrigadas e métodos são disponíveis de forma atualizada para o cálculo para toda a bacia e ainda ligadas à localização espacial da captação. Mesmo quanto às informações de censos agropecuários, observa-se que, além de desatualizadas (considerando serem realizados usualmente com frequência decenal), sabe-se que nem todos proprietários rurais apresentam dados completos, parte em função de aspectos relacionados ao fisco ou outras questões relacionadas a um processo censitário;
- Com relação à base de dados, pode ser citada, também, a demanda para abastecimento humano, tanto rural quanto urbano, em que as informações de população existente ou atendida podem ter diferentes valores, em função de distintas metodologias de projeções de crescimento. Assim, projeções

futuras de população abastecida são diferentes em cálculos realizados por cada prefeitura, concessionária de serviço de saneamento ou mesmo diferentes modelos de planejamento. Assim, tem-se possíveis diferenças nos valores de populações urbanas e rurais influenciando diretamente as demandas estimadas;

- Ainda com relação às metodologias de estimativas, outro desafio identificado foi quanto à distribuição de demandas entre fontes de águas superficiais e subterrâneas. A base de usos consuntivos da ANA não tem essa distinção, sendo identificada apenas nas bases de outorgas, o que tem também suas fragilidades, uma vez que nem todos os usos da água existentes estão outorgados. Assim, por um lado, tem-se a base de usos consuntivos da ANA que apresenta o total de usos estimados, mas sem apresentar distinção sobre fonte de uso de águas subterrâneas ou superficiais. Por outro lado, tem-se as outorgas com informações distribuídas entre as fontes superficiais e subterrâneas, mas com diferentes valores de vazões e espacialização. Dessa forma, a definição de uma metodologia que permitisse tal análise foi um grande

desafio, não tendo sido identificado outro estudo em que tal distribuição foi identificada.

Cenários e Projeções de Crescimento de Demandas

- O processo de cenarização de crescimento de demandas em uma bacia hidrográfica adota uma série de premissas para que possam ser construídos futuros possíveis de ocorrer. Com isso, sabe-se que tais cenários e as respectivas cenas futuras dependem de uma série de fatores relacionados à metodologia adotada, podendo gerar resultados diferentes em função do processo definido. Assim, considerando que já havia diferentes cenários de PRHs, PERHs, PNRH e outros planejamentos para a região, foi um desafio construir os cenários para o presente estudo de forma clara e consistente com os restantes planejamentos existentes.

Histórico de Regras Operativas das UHEs

- Em relação às regras operativas dos reservatórios, é importante destacar a dificuldade para obtenção de informações e para as avaliações, considerando que os grandes barramentos existentes na bacia são utilizados, principalmente, para geração de energia. Nesse sentido, são

sujeitos a regras do setor elétrico, principalmente voltadas ao Sistema Integrado Nacional (SIN), com influência da reservação em outras bacias hidrográficas e mesmo da disponibilidade de outras fontes de energia para abastecimento do País. Assim, a possível variação das regras operativas depende, também, de questões externas à bacia, com reduzida governabilidade da gestão específica do rio Paraíba do Sul.

Avaliação do Impacto Econômico e Social das Mudanças Climáticas

- Tratando das análises de mudanças climáticas, cabe também citar o grande desafio relacionado aos modelos e resultados existentes das estimativas. Nesse sentido, o primeiro ponto a ser destacado trata do fato da base do EDH-PS não ter apresentado a disponibilidade hídrica com o mesmo detalhe de espacialização em que foi disponibilizada a base para as vazões de referência Q_{95} e $Q_{7,10}$, por exemplo. As bases de demandas para vazões de referência Q_{95} e $Q_{7,10}$ estavam disponibilizadas por ottobacia, enquanto as informações de disponibilidade para mudanças climáticas estavam apresentadas em outro nível de detalhe, com a apresentação

de percentuais de alteração de vazões por bacia hidrográfica. Assim, tiveram que ser feitas inferências com base nos resultados do referido estudo para a obtenção de dados que permitissem as análises;

- Ainda em relação às mudanças climáticas, o segundo desafio identificado tratou da verificação dos impactos sobre as demandas pelo uso da água. Quanto a esse ponto, foi feita uma extensa revisão bibliográfica e busca por outros estudos já realizados e não foram identificados indicadores consolidados sobre a variação por finalidade de demanda ou mesmo metodologias específicas. Assim, o desafio de obter índices de variação de demandas para diferentes finalidades em função das mudanças climáticas foi relevante, sendo apresentado em detalhe no Produto 6 e podendo ser considerado como mais um ponto de inovação, com informações relevantes para subsidiar outros estudos;
- Cabe citar, ainda, o desafio relacionado à identificação de metodologias voltadas à avaliação de impactos sociais e econômicos de problemas de balanço hídrico, seja para a condição atual ou para as cenários futuros com impactos de mudanças climáticas. Nesse caso, após busca em outros

estudos técnicos já realizados, não foram identificados índices ou análises com metodologia clara sobre o tema. Com isso, coube à equipe técnica do Consórcio o desafio de buscar índices que pudessem dar suporte a tal análise, bem como desenvolver a metodologia, também inovadora. O detalhe dessa metodologia é apresentado no Produto 6 do presente estudo, sendo a síntese de seus resultados apresentada neste documento.

11. RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

Em função das discussões e resultados obtidos no estudo, algumas recomendações são apresentadas e que podem indicar melhorias nos processos futuros na bacia e para o gerenciamento de recursos hídricos no País, bem como no desenvolvimento de novos estudos:

- A primeira recomendação apresentada trata da internalização do estudo e seus resultados junto aos CBHs afluentes da bacia, com apresentações da metodologia e dos resultados obtidos, principalmente em relação aos impactos identificados, que podem ser mitigados ou minimizados por ações no contexto da revisão dos respectivos Planos de Ações. Nesse sentido, entende-se que a internalização dos estudos fará com que os atores das bacias hidrográficas entendam a relevância de seus resultados e das metodologias adotadas, de forma que possam aplicar em estudos de maior detalhe para microbacias ou sub-bacias, inclusive com a possibilidade de cadastros de usuários ou chamadas aos usuários para que possam validar ou retificar suas informações reais de demandas pelo uso da água;
- Outra recomendação relacionada a atividades futuras trata da internalização das bases de dados do estudo pelos OGRHs. É fundamental que a partir do momento em que houver uma base de dados consolidada de demandas e balanço hídrico para a bacia, ela seja a utilizada pelos OGRHs para a aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, como é o caso da outorga, cobrança, revisões dos planos de recursos hídricos e estudos de enquadramento. Assim, recomenda-se a realização de estudos e avaliações específicas para verificar as implicações dos resultados do presente estudo em relação à aplicação ou revisão de metodologias relacionadas aos instrumentos de gestão, como é o caso da outorga e cobrança. Como exemplo, no caso da outorga, é possível que existam sub-bacias que na base atual dos OGRHs estejam apresentando balanço hídrico crítico, mas na realidade não estão com comprometimento hídrico tão alto. Da mesma forma, podem ocorrer situações inversas. Assim, é recomendável o desenvolvimento de estudos específicos relacionando os resultados do presente estudo e suas

implicações específicas para os instrumentos de gestão de recursos hídricos;

- Dentre os instrumentos de gestão, pode ser destacado o PIRH, para o qual recomenda-se que seu Plano de Ações seja revisado em função dos resultados do presente estudo, com a possibilidade de alteração das ações indicadas para cada região da bacia, a partir de diferentes níveis de comprometimento hídrico identificado;
- Ainda relacionado aos instrumentos de gestão de recursos hídricos, vale destacar os Sistemas de Informações sobre Recursos Hídricos de caráter nacional (Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH) ou estaduais de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Nesse caso, a recomendação é que sejam contratados trabalhos para que as informações resultantes do presente estudo sejam integradas junto a suas bases de dados e disponibilizadas para a sociedade de forma aberta e acessível;
- Em relação à disponibilização de informações, vale também lembrar do Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

(SIGA-CEIVAP), que apresenta de forma aberta uma série de dados de grande relevância da bacia. Dentre as abas do SIGA-CEIVAP, uma se trata do “balanço hídrico” apresentando, atualmente, dados referentes ao ano de 2018 para vazões de referência $Q_{7,10}$ e Q_{95} . Nesse sentido, recomenda-se também uma contratação para que seja feita a atualização dessa aba para apresentar as informações de disponibilidade hídrica do estudo EDH-PS e demandas e balanço hídrico atualizadas do presente estudo, o que será relevante para manter as informações mais recentes disponíveis;

- Por fim, vale destacar que as análises desenvolvidas nesse estudo devem ser revisitadas periodicamente, tanto em função de atualizações das bases de dados, quanto de proposições de novas metodologias de cálculo por setor usuário, avaliações de mudanças climáticas e impactos econômicos e sociais. Nesse sentido, sugere-se que em um prazo de 5 anos seja revisitado o estudo, com nova contratação, visando verificar impactos de ações desenvolvidas na bacia e de questões climáticas como estiagens e cheias nos balanços hídricos e nos resultados

identificados no estudo. Esse prazo de atualização deve ser ajustado e coincidente com revisões do plano de ações ou do PIRH como um todo, uma vez que alterações no balanço hídrico podem subsidiar alterações nas ações a serem desenvolvidas na bacia.

12. REFERÊNCIAS

ANA – Agência nacional das Águas e Saneamento Básico. Evapotranspiração Líquida de reservatório no Brasil. 2021. Disponível em

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/c5b45a6e-69df-4a26-9dd9-846160b10e2a> Acesso em agosto de 2024.

ANA – Agência nacional das Águas e Saneamento Básico. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. 2019.

ANA – Agência nacional das Águas e Saneamento Básico. Atlas Irrigação. 2ª Edição, Brasília-DF, 2021.

ANA – Agência nacional das Águas e Saneamento Básico. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil. 2ª Edição, Brasília-DF, 2024. Acesso em novembro de 2025.

ANA – Agência nacional das Águas e Saneamento Básico. Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul. Resende: AGEVAP, jun. 2015. Disponível em: <https://www.agevap.org.br/gtaoh/pac-ana-jun15.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2025.

ANA – Agência nacional das Águas e Saneamento Básico. Resolução nº 1.931, de 12 de dezembro de 2017. Dispõe sobre as condições de operação dos reservatórios Jaguari e Atibainha, integrantes do Sistema Cantareira, e estabelece regras para a transposição de águas entre as bacias do rio Paraíba do Sul e do rio Piracicaba. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 dez. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/legislacao/resolucoes/resolucoes-regulatorias/2017/1931>. Acesso em: 18 ago. 2025.

CEIVAP - Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. 2021 Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/instrumentos-de-gestao/plano-de-recursos-hidricos>. Acesso em novembro de 2024.

COSTA, Larissa Ferreira da; BARCELLOS, Izabela Andrade; FORMIGA-JOHNSSON, Rosa Maria. Evolução do armazenamento equivalente do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul após novas regras operativas (Dez/2016 a Jun/23) e implicações sobre a segurança hídrica dos seus usuários. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 25. Aracaju, 2023.

CRH (2020). Deliberação CRH nº 146 de 2012. Relatório de situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica. Roteiro para elaboração e fichas técnicas dos parâmetros. Disponível em: https://agencia.baciaspcj.org.br/wp-content/uploads/Roteiro_RS_ab2019.pdf. Acesso em: 14 maio 2025.

FREITAS, Marcos Airon de Sousa. Regras de operação dos reservatórios da bacia do rio Paraíba do Sul / Sistema Guandu, 2004.

LIGHT SERVIÇOS DE ELETRICIDADE S.A. Contribuições da LIGHT Serviços de Eletricidade S.A. – Audiência Pública nº 004/2005. Brasília: ANEEL, 21 mar. 2005. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/audiencias-publicas-antigas?p_p_id=participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet&p_p_lifecycle=2&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_cacheability=cacheLevelPage&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_idDocumento=9180&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_tipoFaseReuniao=fase&_participacaopublica_WAR_participacaopublicaportlet_jspPage=%2Fhtml%2Fpp%2Fvisualizar.jsp. Acesso em: 19 ago. 2025.

MELO, Monique de Barros. Avaliação de operações alternativas para a gestão de recursos hídricos da bacia do rio Paraíba do Sul. 2017. 38 f. Projeto de Graduação (Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO – ONS (S.d). Portal de Dados Abertos. Rio de Janeiro: ONS, S.d. Disponível em: <https://dados.ons.org.br/>. Acesso em: 28 jul. 2025.

PAIVA, A. C. (2020). *Segurança Hídrica da bacia do rio Paraíba do Sul* [Tese de Doutorado, INPE].

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Apresentação ao Grupo de Trabalho de Alocação de Água da Bacia do Rio Paraíba do Sul (GTAOH). AGEVAP, 2018. Disponível em: <https://www.agevap.org.br/gtaoh/apresentacao-sabesp-01-2018-gtaoh.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2025.