

The logo for COBRAPE, consisting of the word "cobrape" in a white, lowercase, sans-serif font, centered within a dark teal rectangular box. A thin white horizontal line is positioned above the box, and a thin dark teal horizontal line is positioned below it.

cobrape

PLANO DIRETOR DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAPEBA

**RP02 - REVISÃO DO RELATÓRIO DO DIAGNÓSTICO DA
BACIA DO RIO PARAPEBA - TOMO II
REVISÃO 1 | OUTUBRO DE 2018**

01	09/10/2018	Minuta de Entrega	COB	BKMT	BKMT	RFT
00	20/08/2018	Minuta de Entrega	COB	BKMT	BKMT	RFT
Revisão	Data	Descrição Breve	Por	Superv.	Aprov.	Autoriz.

Revisão, Complementação e Consolidação do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraopeba: SF3

RP02

REVISÃO DO RELATÓRIO DO DIAGNÓSTICO DA BACIA DO RIO PARAPEBA

Elaborado por:
Equipe Técnica da COBRAPE

Supervisionado por:
Bruna Kiechaloski Miro Tozzi

Aprovado por:
Bruna Kiechaloski Miro Tozzi

Autorizado por:
Rafael Fernando Tozzi

Revisão	Finalidade	Data
01	3	Outubro/2018

Legenda Finalidade: [1] Para Informação [2] Para Comentário [3] Para Aprovação



COBRAPE – CIA BRASILEIRA DE PROJETOS E EMPREENDIMENTOS

Rua Capitão Antônio Rosa, 406, Jardim Paulistano – São Paulo/SP
CEP 01443-010
Tel (11) 3897-8000
www.cobrape.com.br

Elaboração e Execução

COBRAPE – Cia. Brasileira de Projetos e Empreendimentos

Responsável Técnico pela Empresa

Alceu Guérios Bittencourt

Coordenação Geral

Rafael Decina Arantes

Rafael Fernando Tozzi

Coordenação Técnica

Carlos Eduardo Curi Gallego

Coordenação Executiva

Bruna Kiechaloski Miro Tozzi

Fabiana de Cerqueira Martins

Equipe Técnica

Adriana Sales Cardoso

Andrei Stevanni Goulart Mora

Andreia Schypula

Bruno de Lima e Silva Soares Teixeira

Camila de Carvalho Almeida de Bitencourt

Cláudio Marchand Krüger

Christian Taschelmayer

Cristine de Noronha

Giovanna Reinehr Tiboni

José Antônio Oliveira de Jesus

José Maria Almeida Martins Dias

Juliana Cristina Jansson Kissula

Luís Eduardo Gregolin Grisoto

Luis Gustavo Christoff

Marianna Botelho de Oliveira Dixo

Maurício Marchand Krüger

Paula Pandolfo Bertol
Raissa Vitareli Assunção Dias
Robson Klisiowicz
Rodolpho Humberto Ramina
Rodrigo Pinheiro Pacheco
Sávio Mourão Henrique
Thaís Cristina Pereira da Silva
Wagner Jorge Nogueira

Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)/Grupo de Acompanhamento Técnico (GAT)

Cleverson Ulisses Vidigal – GAT/Fórum Nacional da Sociedade Civil nos Comitês de Bacias Hidrográficas (FONASC)
Deivid Lucas de Oliveira – GAT/Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais (FIEMG)
Guilherme da Silva Oliveira – GAT/Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais (FAEMG)
Leonardo Gomes Lara – GAT/Prefeitura Municipal de Betim
Maria de Lourdes Amaral Nascimento – IGAM
Rodrigo Antônio Di Lorenzo Mundim – IGAM
Wilson Pereira Barbosa Filho – GAT/Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM)
Winston Caetano de Souza – GAT/Associação Ambiental Veredas & Cerrado

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE QUADROS.....	9
LISTA DE SIGLAS.....	9
APRESENTAÇÃO	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. PRECIPITAÇÕES	17
2.1. Dados Existentes.....	17
2.2. Precipitação Média Anual	24
2.3. Tendências Sazonais.....	29
3. REDE DE MONITORAMENTO	34
3.1. Análise de Suficiência da Rede de Monitoramento Existente	34
4. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS.....	51
4.1. Metodologia.....	51
4.2. Vazões Médias.....	55
4.3. Vazões Mínimas	57
4.4. Evapotranspiração	64
4.5. Análise Sedimentológica.....	66
5. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUBTERRÂNEAS	71
5.1. Apresentação.....	71
5.2. Introdução e Objetivos	71
5.3. Caracterização dos Sistemas Aquíferos.....	72
5.4. Metodologia.....	77
5.5. Resultados Calculados	81
5.6. Considerações Finais	84
6. QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL.....	85
6.1. Avaliação histórica dos parâmetros de qualidade de água	85
6.2. Dados de monitoramento da COPASA	101
6.3. Índice de Qualidade da Água (IQA).....	101
6.4. Cargas Poluidoras	104

6.5.	Estimativa da Condição Atual da Qualidade da Água.....	122
6.6.	Estimativa de Impacto do Setor Minerário.....	133
7.	QUALIDADE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA.....	152
8.	DIAGNÓSTICO DAS DEMANDAS HÍDRICAS	156
8.1.	Usos Consuntivos	157
8.2.	Usos Não Consuntivos	227
9.	BALANÇO HÍDRICO	257
9.1.	Balanço Hídrico Superficial Quantitativo	257
9.2.	Balanço Hídrico Subterrâneo Quantitativo	261
9.3.	Balanço Hídrico Superficial Qualitativo.....	264
9.4.	Áreas de Conflito	267
10.	CONCLUSÃO	277
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	280

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Estações Pluviométricas Existentes.....	18
Figura 2.2 - Diagrama de Barras dos Dados Pluviométricos.....	19
Figura 2.3 - Estações Pluviométricas Seleccionadas.....	23
Figura 2.4 - Exemplo das Curvas Duplo-Acumulativas (01944004).....	24
Figura 2.5- Precipitação Total Anual Média.....	28
Figura 2.6 - Precipitação Média Mensal	33
Figura 3.1- Rede de Monitoramento Fluviométrica	38
Figura 3.2 - Rede de Monitoramento Sedimentométrica.....	40
Figura 3.3 - Rede de Monitoramento Pluviométrica	43
Figura 3.4 - Rede de monitoramento de qualidade de água superficial	49
Figura 4.1 - Vazões Médias.....	56
Figura 4.2 - Sobreposição das Curvas de Permanência de Vazões	57
Figura 4.3 - Vazões com 95% de Permanência	59
Figura 4.4 - Vazões com 90% de Permanência	60
Figura 4.5 - Vazão de Referência (Q7,10).....	63
Figura 4.6 - Evapotranspiração	65
Figura 4.7 - Medições de Descarga Sólida da Estação Ponte Nova do Paraopeba (40800001)	66
Figura 4.8 - Classificação da Erosão Específica Média	70
Figura 5.1 - Sistemas Aquíferos com Poços	76
Figura 5.2 - Recarga Potencial Direta	82
Figura 5.3 - Recarga Potencial Explotável	83
Figura 6.1 – Número de amostragens analisadas no PDRH Paraopeba por ano.....	87
Figura 6.2 – Avaliação histórica dos Coliformes Totais para o período seco e chuvoso	89
Figura 6.3 – Avaliação histórica de <i>Escherichia coli</i> para o período seco e chuvoso ..	90
Figura 6.4 – Avaliação histórica de DBO para o período seco e chuvoso	92
Figura 6.5 – Avaliação histórica de Oxigênio Dissolvido para o período seco e chuvoso	93
Figura 6.6 – Avaliação histórica de Nitrato para o período seco e chuvoso.....	96
Figura 6.7 – Avaliação histórica de Fósforo Total para o período seco e chuvoso	97
Figura 6.8 – Avaliação histórica de Turbidez para o período seco e chuvoso	98
Figura 6.9 – Avaliação histórica de pH para o período seco e chuvoso.....	100
Figura 6.10 – Índice de Qualidade da Água (IQA).....	103
Figura 6.11 - Lançamentos Pontuais Domésticos	110

Figura 6.12 - Lançamentos Pontuais Industriais e Tipologias Adotadas	113
Figura 6.13 - Localização dos Empreendimentos Minerários.....	115
Figura 6.14 - Uso do Solo.....	117
Figura 6.15 - Cargas Remanescentes por Fonte de Poluição.....	119
Figura 6.16 - Cargas Remanescentes.....	120
Figura 6.17 - Enquadramento Vigente.....	124
Figura 6.18 - Esquema de Análise Acumulada do Modelo Matemático	125
Figura 6.19 - Resultado da Modelagem na Q _{7,10}	130
Figura 6.20 - Resultado da Modelagem na Q _{95%}	131
Figura 6.21 - Comparativo de Classes	133
Figura 6.22 - Média histórica de cromo total	141
Figura 6.23 - Média histórica de ferro dissolvido	141
Figura 6.24 - Média histórica de manganês total.....	142
Figura 6.25 - Média histórica de cádmio total e de mercúrio total	144
Figura 6.26 - Classes Resultantes da Análise de Metais na Q _{7,10}	150
Figura 6.27 - Classes Resultantes da Análise de Metais na Q _{95%}	151
Figura 7.1 - Uso da Água dos Poços Subterrâneos	153
Figura 7.2 - Localização dos Poços Subterrâneos	155
Figura 8.1 - Demanda para Abastecimento Público	173
Figura 8.2 - Demanda do Setor Industrial.....	178
Figura 8.3 - Demanda do Setor Agrícola	188
Figura 8.4 - Demanda do Setor Pecuário	194
Figura 8.5 - Demanda do Setor de Extração Mineral	200
Figura 8.6 - Mineração: Áreas (km ²) por Recurso Mineral	204
Figura 8.7 - Lavras de Mineração.....	208
Figura 8.8 - Exportações de Minérios, Escórias e Cinzas	209
Figura 8.9 - Destino dos Minerais Extraídos.....	210
Figura 8.10 - Demandas de Aquicultura	217
Figura 8.11 - Demandas de Urbanização e Paisagismo	222
Figura 8.12 - Demandas Captadas Totais.....	225
Figura 8.13 - Empreendimentos em Operação e Previstos.....	232
Figura 8.14 - Circuitos Turísticos, Cavernas e Geossítios	256
Figura 9.1 - Balanço Hídrico Superficial Quantitativo (Q _{95%}).....	259
Figura 9.2 - Balanço Hídrico Superficial Quantitativo (Q _{7,10})	260
Figura 9.3 - Balanço Hídrico Subterrâneo Quantitativo	263
Figura 9.4 - Balanço Hídrico Superficial Qualitativo	266
Figura 9.5 - Índice de Criticidade Quantitativa Reservatório – IS.....	269

Figura 9.6 - Índice de Criticidade Qualitativa – IQ	271
Figura 9.7 - Índice de Criticidade Quali-Quantitativa – ISQ.....	273
Figura 9.8 - Áreas Críticas.....	275

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Estações Pluviométricas Seleccionadas	20
Quadro 2.2 - Precipitação Total Anual por Estação	25
Quadro 2.3 - Médias Pluviométricas Mensais	30
Quadro 3.1 - Densidade Mínima da Rede de Monitoramento	35
Quadro 3.2 - Panorama Geral da Rede Fluviométrica	36
Quadro 3.3 - Análise da Densidade da Rede Fluviométrica por Sub-bacia	37
Quadro 3.4 - Análise da Densidade da Rede Sedimentométrica por Sub-bacia.....	39
Quadro 3.5 - Panorama Geral da Rede Pluviométrica	41
Quadro 3.6 - Análise da Densidade da Rede Pluviométrica por Sub-bacia	42
Quadro 3.7 - Rede de monitoramento de qualidade da água superficial	45
Quadro 4.1- Estações Utilizadas	53
Quadro 4.2 - Descarga Sólida Total por Estação	68
Quadro 4.3 - Parâmetros de Análise da Descarga Sólida.....	69
Quadro 5.1 - Resultados RPD e RPE Específicos	81
Quadro 6.1 – Padrões de qualidade de água da Resolução CONAMA nº 357/05 e Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01/08 para os parâmetros de análise	86
Quadro 6.2 – Faixas de IQA utilizada em Minas Gerais.....	101
Quadro 6.3 - Informações de Índices de Atendimento por Município.....	107
Quadro 6.4 - Concentrações Típicas de DBO e Taxa Média de Retorno por Tipologia Industrial	111
Quadro 6.5 - Coeficientes de Exportação por Tipo de Uso do Solo	118
Quadro 6.6 - Cargas Estimadas por Município.....	121
Quadro 6.7 - Dados de Entrada do Modelo e Suas Respectives Fontes	127
Quadro 6.8 - Período de dados disponíveis dos metais analisados.....	136
Quadro 6.9 - Concentrações de Poluentes da Mineração.....	145
Quadro 6.10 - Carga de Metais Estimada por Município em kg/dia	146
Quadro 6.11 - Concentrações Limites de Metais em mg/L	148
Quadro 7.1 - Classificação da Água Quanto aos Valores de Condutividade Elétrica	154
Quadro 8.1 - Consolidação do Cadastro de Outorgas	158
Quadro 8.2 - Municípios Atendidos pela COPASA.....	159
Quadro 8.3 - Demandas de Abastecimento Público Urbanas - COPASA.....	161
Quadro 8.4 - Municípios Não Atendidos pela COPASA	163
Quadro 8.5 - Faixas de População Urbana	163
Quadro 8.6 - Demandas de Abastecimento Público Urbanas - Autônomos.....	164

Quadro 8.7 - Demanda de Abastecimento Rural.....	166
Quadro 8.8 - Demandas Totais para Abastecimento Público.....	170
Quadro 8.9 - Demandas do Setor Industrial	175
Quadro 8.10 - Comparativo de Vazões do Setor Industrial – Estudos Regionais	179
Quadro 8.11 - Outorgas do Setor Industrial – Maiores Concentrações.....	180
Quadro 8.12 - Demandas do Setor Agrícola	183
Quadro 8.13 - Principais Culturas por Município	186
Quadro 8.14 - Valores de BEDA por Tipo de Rebanho.....	189
Quadro 8.15 - Demandas do Setor Pecuário	191
Quadro 8.16 - Demandas do Setor de Extração Mineral.....	196
Quadro 8.17 - Barragens de Rejeitos por Município	199
Quadro 8.18 - Mineração: Áreas (km ²) por Recurso Mineral.....	202
Quadro 8.19 - CFEM: Arrecadação por Município	205
Quadro 8.20 - . CFEM: Arrecadação por Substância.....	207
Quadro 8.21 - Espécies Registradas.....	211
Quadro 8.22 - Aquicultura – Produção Efetiva e Valor da Produção	213
Quadro 8.23 - Demandas de Aquicultura	214
Quadro 8.24 - Demandas de Urbanização e Paisagismo	219
Quadro 8.25 - Demandas Consuntivas Totais.....	223
Quadro 8.26 - Demandas Captadas Totais	224
Quadro 8.27 - Demandas Captadas Totais	226
Quadro 8.28 - Quantidade de Empreendimentos em Operação	228
Quadro 8.29 - Relação de Aproveitamentos Energéticos em Operação.....	229
Quadro 8.30 - Parâmetros Médios Utilizados para a Categorização dos Municípios	234
Quadro 8.31 - Categorização dos Municípios	235
Quadro 8.32 - Locais Ligados ao Turismo.....	237
Quadro 8.33 - Circuitos Turísticos.....	252
Quadro 8.34 - Cavernas e Geossítios	254
Quadro 9.1 - Taxas de Consumo	258
Quadro 9.2 - Vazão Necessária para Diluição	265
Quadro 9.3 - Classes de Criticidade adotadas pela NTC 002/2012/SPR/SER	274

LISTA DE SIGLAS

AAF	Autorização Ambiental de Funcionamento
ANA	Agência Nacional de Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APP	Área de Preservação Permanente
BEDA	Bovinos Equivalentes para Demanda de Água
BHTCOMG	Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais
BIG	Banco de Informações de Geração
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CFEM	Compensação Financeira de Recursos Minerais
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
DRO	Despachos de Registro de Recebimento de Requerimento de Outorga
DRS	Despacho de Registro de Adequabilidade do Sumário Executivo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency U.S</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAEMG	Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente

FIEMG	Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais
FONASC	Fórum Nacional da Sociedade Civil nos Comitês de Bacias Hidrográficas
GAT	Grupo de Acompanhamento Técnico
GPRH-UFV	Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IQA	Índice de Qualidade da Água
LO	Licença de Operação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MTur	Ministério do Turismo
OD	Oxigênio Dissolvido
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PDRH	Plano Diretor de Recursos Hídricos
pH	Potencial Hidrogeniônico
PI	Proteção Integral
PIB	Produto Interno Bruto
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNT	Plano Nacional de Turismo
PPM	Pesquisa Pecuária Municipal
RAIS	Relação Anual de Informações Sociais

RMBH	Região Metropolitana Belo Horizonte
SAAE	Sistema Autônomo de Água e Esgoto
Setur-MG	Secretaria de Estado de Turismo de Minas Gerais
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIN	Sistema Interligado Nacional
SisCAH 1.0	Sistema Computacional para Análises Hidrológicas
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPE	Sociedade de Propósito Específico
TR	Tempo de Recorrência
UC	Unidade de Conservação
UF	Unidades da Federação
UHE	Usina Hidrelétrica
UPGRH	Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
UTE	Usina Termoelétrica
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>

APRESENTAÇÃO

O presente documento corresponde a versão preliminar do *RP02 - Revisão do Relatório do Diagnóstico da Bacia do Rio Paraopeba*; que consolida a atualização do diagnóstico do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraopeba, relativo ao Contrato celebrado entre o IGAM e a Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE).

O Termo de Referência, parte integrante do contrato, estabelece os seguintes produtos a serem desenvolvidos:

- *RP01 - Plano de Trabalho para Elaboração do PDRH Rio Paraopeba;*
- *RP02 - Revisão do Relatório do Diagnóstico da Bacia do Rio Paraopeba;*
- *RP03 - Relatório dos Cenários e Prognósticos da Bacia do Rio Paraopeba;*
- *RP04 - Plano de Ação e Diretrizes e Critérios para Aplicação dos Instrumentos de Gestão dos Recursos Hídricos na Bacia do Rio Paraopeba;*
- *RP05 - Relatório Parcial do PDRH do Rio Paraopeba;*
- *RF01 - Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraopeba: SF3;*
- *RF02 - Resumo Executivo do Plano Diretor de Recursos Hídricos;*
- *RF03 - Sistema de Informações Geográficas (SIG) para o Plano Diretor de Recursos Hídricos.*

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório - Tomo II do RP02 - Revisão do Relatório do Diagnóstico da Bacia do Rio Paraopeba - apresenta somente os temas ligados à caracterização das disponibilidades e demandas hídricas, além dos resultados de balanço hídrico e áreas de conflito geral da Bacia do Paraopeba, este relatório é complementado pelo Tomo I, o qual compreende a caracterização geral da bacia. O objetivo do produto em geral é atualizar as informações já existentes do PDRH, a partir da espacialização das informações apresentadas em mapas temáticos, de forma a facilitar uma análise que integre os componentes inerentes à bacia, e assim, subsidie a consolidação de um diagnóstico realista da região. Para isso, o mesmo está dividido em dez capítulos, iniciado por essa introdução, sendo os demais capítulos descritos a seguir.

O *Capítulo 2* compreende um estudo das precipitações na Bacia, com o intuito de elaborar um mapa de precipitação total anual. Além disso, buscou-se a identificação das tendências sazonais, através da análise das precipitações mensais.

Já no *Capítulo 3* é apresentada a análise das redes de monitoramento das águas superficiais existentes na região da Bacia do rio Paraopeba, englobando a análise para as redes fluviométricas, sedimentométricas, pluviométricas e de qualidade da água, com foco a identificação de locais onde a rede de monitoramento seja insuficiente.

O *Capítulo 4* apresenta a compilação dos dados fluviométricos existentes na bacia, com o objetivo de definir as suas vazões características. A partir dos dados obtidos, define-se então a disponibilidade hídrica superficial da Bacia do rio Paraopeba, a qual será utilizada nos cálculos de balanço hídrico a serem apresentados no *Capítulo 9* do presente relatório.

Posteriormente, no *Capítulo 5*, são apresentados além da caracterização dos aquíferos, os cálculos finais das reservas ativas e disponibilidades hídricas subterrâneas.

No *Capítulo 6*, apresentam-se os resultados de qualidade da água superficial da Bacia do rio Paraopeba, que compreende a avaliação histórica dos parâmetros de qualidade de água, além da situação atual, índices de avaliação qualitativa, e balneabilidade. Neste capítulo também está compreendida a estimativa das cargas poluidoras na bacia.

No *Capítulo 7*, são apresentados os resultados de qualidade da água subterrânea, que devido à carência de dados, foram compilados estudos existentes sobre água subterrânea a fim de dar uma percepção da qualidade da mesma na Bacia.

O *Capítulo 8* apresenta quadro atual das demandas hídricas na Bacia do rio Paraopeba, superficiais e subterrâneas, considerando os usos consuntivos e não-consuntivos, além da

análise das fontes de poluição, sendo suficiente para subsidiar as análises, propostas e deliberações do Plano da Bacia do rio Paraopeba.

No *Capítulo 9* é apresentado o cotejamento entre as disponibilidades e demandas hídricas, chamado Balanço Hídrico, cujo é caracterizado por possuir informações fundamentais para a continuidade do Plano.

Por fim, o *Capítulo 10* apresenta a conclusão do relatório, onde são avaliados todos os aspectos do diagnóstico de maneira geral.

2. PRECIPITAÇÕES

A caracterização climática da bacia é realizada com ênfase na variabilidade anual de longo termo da precipitação, considerando que o regime pluviométrico pode ser considerado umas das variáveis mais importantes para o estudo climático regional. Como afirma VANHONI e MENDONÇA (2008), além de influenciar significativamente o balanço hídrico da bacia hidrográfica por afetar o regime de escoamento superficial e as recargas das unidades aquíferas.

2.1. Dados Existentes

Para a realização dos cálculos envolvendo dados de precipitação foram coletadas informações do banco de dados Hidroweb operado pela Agência Nacional de Águas (ANA). Segundo essas informações, a rede pluviométrica da Bacia do rio Paraopeba é composta de 134 postos pluviométricos cadastrados, sendo que 55 possuem dados disponíveis. Além disso, como forma de garantir a consistência de dados e identificar as características pluviométricas de toda a região, consideraram-se as estações limítrofes da bacia em um raio de 50 km, resultando em um total de 335 estações, entretanto, apenas 125 possuem dados disponíveis. Na Figura 2.1 podem ser observadas as estações existentes.

A partir das informações existentes nas 180 estações pluviométricas com dados disponíveis, foi elaborado um diagrama de barras (Figura 2.2), com o objetivo de apresentar o período contemplado pelas séries históricas de chuvas disponíveis.

45°0'0"O

44°0'0"O

Estações Pluviométricas Existentes

19°0'0"S

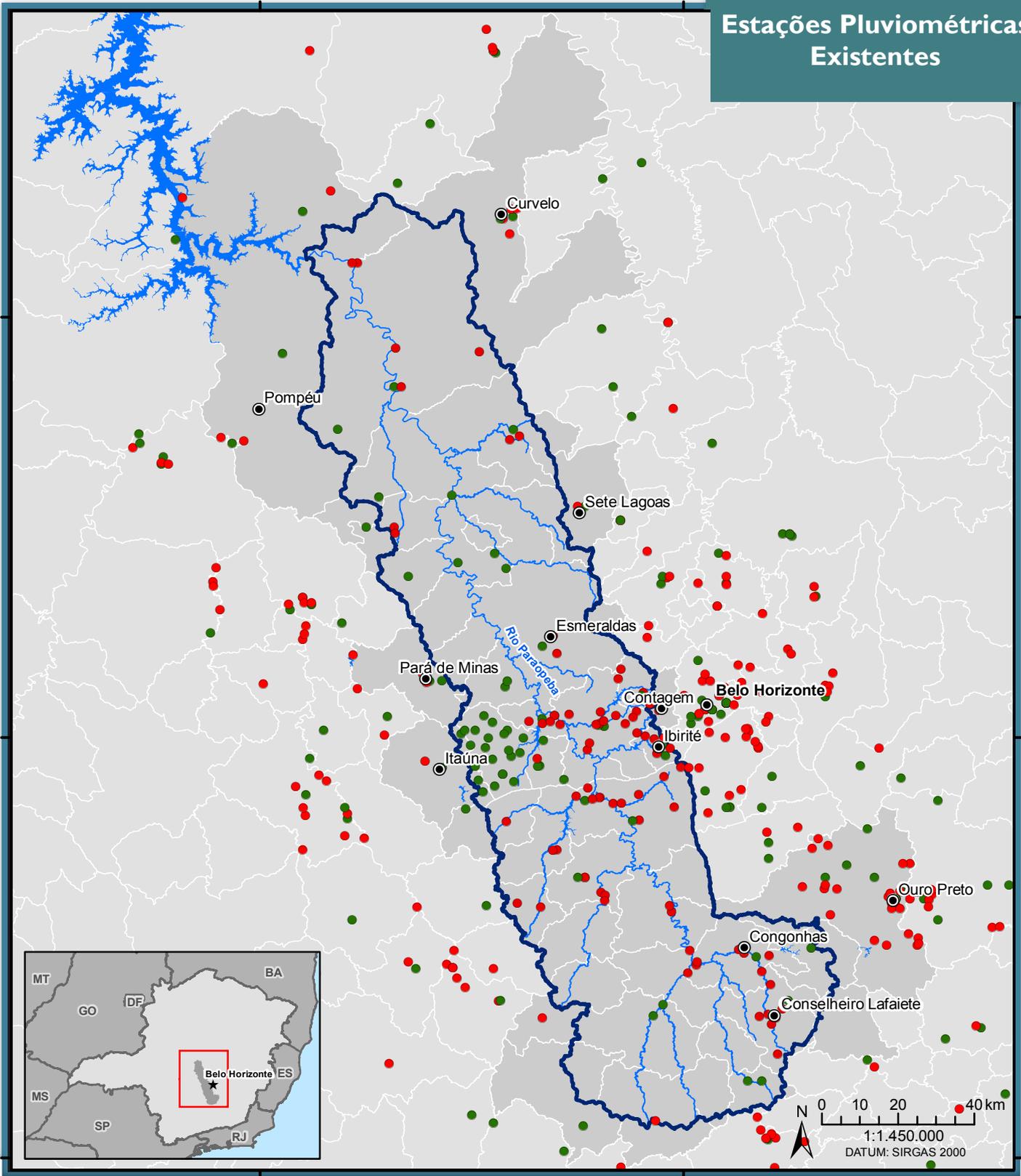
19°0'0"S

20°0'0"S

20°0'0"S

21°0'0"S

21°0'0"S



Legenda

Estações Pluviométricas

- Sem Dados
- Com Dados

FONTE: HIDROWEB, 2018.

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Reservatório

Figura 2.2 - Diagrama de Barras dos Dados Pluviométricos



De 0 a 6 leituras	@
de 6 a 11 leituras	+
12 leituras	X

Desta forma, a partir das 180 estações pluviométricas existentes com dados disponíveis, selecionaram-se aquelas com períodos com menos falhas e com pelo menos 30 anos de dados observados entre o período de 1941 a 2018. Com isso, formou-se um conjunto final de 83 estações, as quais estão apresentadas no Quadro 2.1 abaixo.

Quadro 2.1 - Estações Pluviométricas Selecionadas

	Código Estação	Nome	Período	Latitude (°)	Longitude (°)
Paraopeba	01944003	MATEUS LEME	1941-1976	-19,98	-44,42
	01944004	PONTE NOVA DO PARAPEBA	1941-2018	-19,95	-44,47
	01944005	BETIM	1943-1976	-19,97	-44,20
	01944007	FAZENDA ESCOLA FLORESTAL	1941-2018	-19,88	-44,42
	01944010	HORTO FLORESTAL	1941-2005	-19,27	-44,40
	01944026	BARRO PRETO	1970-2018	-19,96	-44,45
	01944027	JUATUBA	1970-2018	-19,96	-44,33
	01944031	PONTE DA TAQUARA	1973-2018	-19,42	-44,55
	01944048	MATEUS LEME	1973-2001	-19,99	-44,42
	01944049	PAPAGAIOS	1975-2017	-19,43	-44,72
	01944055	BETIM - COPASA	1976-2018	-19,97	-44,19
	01944059	FORTUNA DE MINAS	1984- 2018	-19,56	-44,45
	01944062	FAZENDA SANTA RITA	1988-2018	-19,98	-44,49
	02043005	CONSELHEIRO LAFIETE	1940-2017	-20,63	-43,75
	02043013	CONGONHAS - LINIGRAFO	1941-2018	-20,52	-43,83
	02044007	ENTRE RIOS DE MINAS	1941-2018	-20,66	-44,07
	02044008	MELO FRANCO	1941-2017	-20,20	-44,12
	02044012	IBIRITÉ	1945-2015	-20,04	-44,04
	02044019	FAZENDA VISTA ALEGRE	1970-2018	-20,05	-44,45
	02044020	CALAMBAU	1970-2018	-20,07	-44,49
	02044021	ALTO DA BOA VISTA	1972-2018	-20,11	-44,40
	02044024	FAZENDA CURRALINHO	1972-2018	-20,01	-44,33
	02044026	FAZENDA COQUEIROS	1974-2018	-20,13	-44,47
	02044040	USINA JOÃO RIBEIRO	1973-2010	-20,64	-44,05
	02044041	FAZENDA LARANJEIRAS - JUSANTE	1976-2018	-20,10	-44,48
	02044043	ESTIVA	1977-2018	-20,00	-44,46
	02044047	SERRA DA SAUDADE	1978-2010	-20,02	-44,47
	02044052	JARDIM	1982-2018	-20,05	-44,41
	02044053	ESCOLA DE VETERINÁRIA	1986-2018	-20,07	-44,35
	02044054	SERRA AZUL	1987-2018	-20,09	-44,43

Código Estação	Nome	Período	Latitude (°)	Longitude (°)
01844003	PONTE DO LICÍNIO	1941-1979	-18,68	-44,68
01844010	PONTE DO LICÍNIO - JUSANTE	1973-2005	-18,67	-44,19
01844015	CURVELO	1912-1998	-18,77	-44,43
01844017	CORINTO	1984-2005	-18,37	-44,44
01844019	MORRO DA GARÇA	1988-2018	-18,54	-44,60
01943004	JABOTICATUBAS	1941-2017	-19,52	-43,74
01943010	CAETÉ	1941-2018	-19,90	-43,67
01943011	INSTITUTO AGRONÔMICO	1941-1971	-19,92	-43,90
01943022	CAIXA DE AREIA	1940-2016	-19,95	-43,91
01943023	TAQUARAÇU	1942-2018	-19,66	-43,69
01943049	PONTE RAUL SOARES	1973-2018	-19,56	-43,92
01943055	BELO HORIZONTE (HORTO)	1961-2017	-19,90	-43,92
01944000	PRUDENTE DE MORAIS - A	1941-1978	-19,48	-44,15
01944009	PEDRO LEOPOLDO	1941-2018	-19,63	-44,05
01944011	JAGUARUNA - JUSANTE	1941-2018	-19,73	-44,81
01944020	PIRAPAMA	1958-2018	-19,01	-44,04
01944021	VELHO DA TAIPA	1959-2018	-19,70	-44,93
01944024	FAZENDA VARGEM BONITA	1961-2018	-19,24	-44,12
01944032	SE PITANGUI	1941-2004	-19,68	-44,88
01944052	SETE LAGOAS	1941-1998	-19,47	-44,25
01945004	ESTAÇÃO ALVARO DA SILVEIRA	1941-2018	-19,75	-45,12
01945038	PORTO DAS ANDORINHAS	1983-2018	-19,28	-45,29
01945039	MARTINHO CAMPOS	1983-2018	-19,33	-45,23
02043010	PIRANGA	1941-2017	-20,69	-43,30
02043018	CARANDAÍ	1941-2017	-20,96	-43,80
02043026	BRAZ PIRES	1967-2018	-20,85	-43,24
02043042	REPRESA DAS CODORNAS (MMV)	1976-2018	-20,16	-43,89
02043043	REPRESA DO MIGUELÃO (MMV)	1976-2018	-20,13	-43,95
02043056	FAZENDA ÁGUA LIMPA JUSANTE	1984-2018	-20,30	-43,62
02043057	PCH CODORNA BARRAMENTO	1950-1981	-20,17	-43,89
02043058	MIGUELÃO	1950-1981	-20,17	-43,90
02043059	COLÉGIO CARAÇA	1983-2018	-20,10	-43,49
02043060	ITABIRITO LINIGRAFO	1984-2018	-20,29	-43,80
02044002	ITAÁNA - MONTANTE	1941-2017	-20,07	-44,57
02044003	CARMO DO CAJURU	1941-2018	-20,19	-44,79
02044005	CARMO DA MATA	1941-1977	-20,56	-44,87
02044006	DIVINÓPOLIS	1941-2018	-20,14	-44,89
02044009	FAZENDA CAMPO GRANDE	1942-2018	-20,63	-44,43
02044016	FAZENDA BENEDITO CHAVES	1970-2017	-20,17	-44,52
02044038	RESENDE COSTA	1975-2017	-20,92	-44,24
02044042	CARMO DA MATA (ETA - COPASA)	1977-2018	-20,56	-44,87
02044050	SÃO TIAGO	1984-2018	-20,90	-44,50
02143003	DESTERRO DO MELO	1941-2018	-21,15	-43,52
02143005	CAMPOLIDE	1941-2018	-21,28	-43,82

Limítrofe

Código Estação	Nome	Período	Latitude (°)	Longitude (°)	
Limítrofe	02143006	BARROSO	1941-2018	-21,19	-43,98
	02143007	VARGEM DO ENGENHO	1941-2018	-21,19	-43,61
	02143010	BARBACENA	1941-1976	-21,22	-43,77
	02143055	BARBACENA	1961-1998	-21,25	-43,77
	02144002	PORTO TIRADENTES	1941-2018	-21,12	-44,23
	02144009	PORTO DO ELVAS	1941-2018	-21,17	-44,14
	02144020	USINA SÃO JOÃO DEL REI	1961-2018	-21,06	-44,21
	02144024	VILA RIO DAS MORTES	1967-2018	-21,19	-44,33
	02144032	SÃO JOÃO DEL REI	1889-1998	-21,13	-44,27

FONTE: Hidroweb, 2018.

A Figura 2.3 apresenta a distribuição espacial das estações pluviométricas selecionadas para o estudo.

45°0'0"O

44°0'0"O

Estações Pluviométricas Seleccionadas

19°0'0"S

19°0'0"S

20°0'0"S

20°0'0"S

21°0'0"S

21°0'0"S

45°0'0"O

44°0'0"O



Legenda

- Estações Pluviométricas

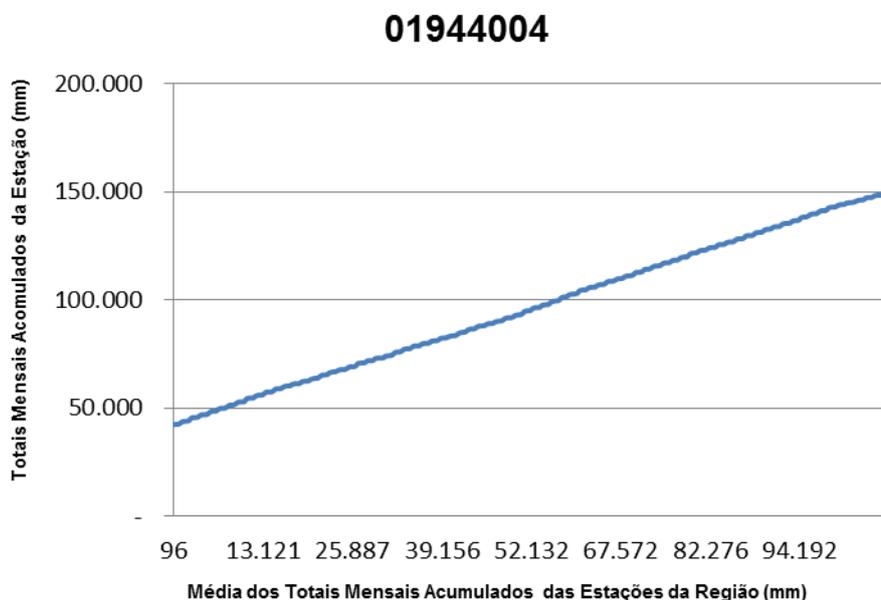
FONTE: HIDROWEB, 2018.

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Reservatório

Após a seleção das estações, com os dados de precipitação total mensal de cada uma das 83 estações pluviométricas selecionadas foram elaborados os gráficos das Curvas Duplo-Acumulativas, conforme o exemplo apresentado na Figura 2.4 abaixo, a fim de verificar a continuidade e aplicabilidade dos dados.

Figura 2.4 - Exemplo das Curvas Duplo-Acumulativas (01944004)



Todas as 83 estações apresentaram distribuições coerentes das curvas duplo-acumulativas, sendo então definida a utilização desse conjunto para o cálculo da precipitação total anual.

2.2. Precipitação Média Anual

Com a consistência dos dados confirmada, foram calculadas as precipitações totais anuais, utilizando a média aritmética da precipitação total de cada ano para cada estação e desconsiderando os anos que apresentassem falta de dados. Com isso, foi elaborado o Quadro 2.2 contendo o nome, código e o valor da precipitação total anual de cada estação.

Quadro 2.2 - Precipitação Total Anual por Estação

	Código	Nome	Precipitação Total Anual Média (mm)
Paraopeba	01944003	MATEUS LEME	1.429,6
	01944004	PONTE NOVA DO PARAPEBA	1.390,0
	01944005	BETIM	1.365,5
	01944007	FAZENDA ESCOLA FLORESTAL	1.390,6
	01944010	HORTO FLORESTAL	1.283,8
	01944026	BARRO PRETO	1.426,4
	01944027	JUATUBA	1.417,1
	01944031	PONTE DA TAQUARA	1.276,3
	01944048	MATEUS LEME	1.468,8
	01944049	PAPAGAIOS	1.283,8
	01944055	BETIM - COPASA	1.424,4
	01944059	FORTUNA DE MINAS	1.259,9
	01944062	FAZENDA SANTA RITA	1.370,0
	02043005	CONSELHEIRO LAFAIETE	1.370,5
	02043013	CONGONHAS - LINIGRAFO	1.382,8
	02044007	ENTRE RIOS DE MINAS	1.371,0
	02044008	MELO FRANCO	1.322,5
	02044012	IBIRITÉ	1.734,5
	02044019	FAZENDA VISTA ALEGRE	1.445,4
	02044020	CALAMBAU	1.417,4
	02044021	ALTO DA BOA VISTA	1.542,3
	02044024	FAZENDA CURRALINHO	1.471,9
	02044026	FAZENDA COQUEIROS	1.427,7
	02044040	USINA JOÃO RIBEIRO	1.443,7
	02044041	FAZENDA LARANJEIRAS - JUSANTE	1.473,3
	02044043	ESTIVA	1.490,1
	02044047	SERRA DA SAUDADE	1.439,4
	02044052	JARDIM	1.438,5
	02044053	ESCOLA DE VETERINÁRIA	1.430,8
	02044054	SERRA AZUL	1.396,9

	Código	Nome	Precipitação Total Anual Média (mm)
Limítrofe	01844003	PONTE DO LICÍNIO	1.181,4
	01844010	PONTE DO LICÍNIO - JUSANTE	1.103,4
	01844015	CURVELO	1.294,6
	01844017	CORINTO	1.066,8
	01844019	MORRO DA GARÇA	1.088,9
	01943004	JABOTICATUBAS	1.268,6
	01943010	CAETÉ	1.408,9
	01943011	INSTITUTO AGRÔNOMICO	1.471,1
	01943022	CAIXA DE AREIA	1.728,0
	01943023	TAQUARAÇU	1.300,8
	01943049	PONTE RAUL SOARES	1.254,6
	01943055	BELO HORIZONTE (HORTO)	1.547,7
	01944000	PRUDENTE DE MORAIS - A	1.350,0
	01944009	PEDRO LEOPOLDO	1.291,3
	01944011	JAGUARUNA - JUSANTE	1.266,0
	01944020	PIRAPAMA	1.229,2
	01944021	VELHO DA TAIPA	1.371,3
	01944024	FAZENDA VARGEM BONITA	1.228,7
	01944032	SE PITANGUI	1.423,6
	01944052	SETE LAGOAS	1.381,7
	01945004	ESTAÇÃO ALVARO DA SILVEIRA	1.241,7
	01945038	PORTO DAS ANDORINHAS	1.234,9
	01945039	MARTINHO CAMPOS	1.159,8
	02043010	PIRANGA	1.374,0
	02043018	CARANDAÍ	1.433,7
	02043026	BRAZ PIRES	1.294,0
	02043042	REPRESA DAS CODORNAS (MMV)	1.612,7
	02043043	REPRESA DO MIGUELÃO (MMV)	1.651,2
	02043056	FAZENDA ÁGUA LIMPA JUSANTE	1.320,9
	02043057	PCH CODORNA BARRAMENTO	1.205,1
	02043058	MIGUELÃO	1.377,6
	02043059	COLÉGIO CARAÇA	1.975,4
	02043060	ITABIRITO LINIGRAFO	1.388,8
	02044002	ITAÁNA - MONTANTE	1.437,5
	02044003	CARMO DO CAJURU	1.376,9
	02044005	CARMO DA MATA	1.367,3
	02044006	DIVINÓPOLIS	1.326,5
	02044009	FAZENDA CAMPO GRANDE	1.494,6
	02044016	FAZENDA BENEDITO CHAVES	1.494,7
	02044038	RESENDE COSTA	1.556,3
02044042	CARMO DA MATA (ETA - COPASA)	1.441,3	
02044050	SÃO TIAGO	1.464,1	

	Código	Nome	Precipitação Total Anual Média (mm)
Limítrofe	02143003	DESTERRO DO MELO	1.580,8
	02143005	CAMPOLIDE	1.418,3
	02143006	BARROSO	1.327,8
	02143007	VARGEM DO ENGENHO	1.528,0
	02143010	BARBACENA	1.408,6
	02143055	BARBACENA	1.435,7
	02144002	PORTO TIRADENTES	1.471,2
	02144009	PORTO DO ELVAS	1.473,7
	02144020	USINA SÃO JOÃO DEL REI	1.455,2
	02144024	VILA RIO DAS MORTES	1.282,5
	02144032	SÃO JOÃO DEL REI	1.498,3

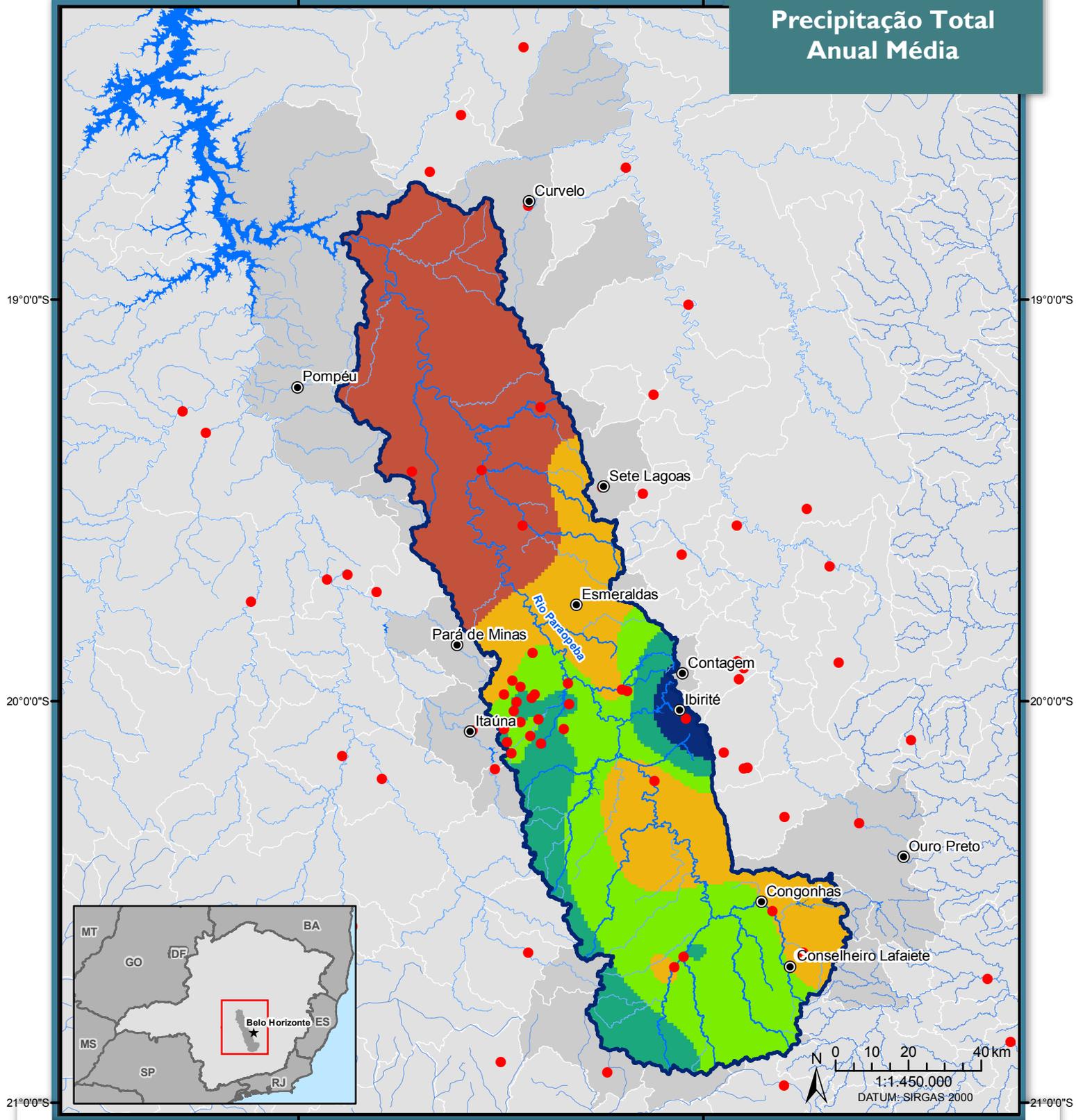
FONTE: COBRAPE, 2018.

A partir dos valores pontuais apresentados no Quadro 2.2, foi realizada a interpolação através do *software* ArcGis 10.5.1, extensão *Spatial Analyst*, módulo *Topo to Raster*. O módulo *Topo to Raster* foi escolhido por utilizar uma técnica de interpolação por diferenças finitas, que combina a eficiência de uma interpolação local (por exemplo, o método do Inverso do Quadrado da Distância), com métodos de interpolação global que utilizam uma superfície de continuidade, como o interpolador *Kriging* (Mccoy e Johnston, 2002). Os arquivos de saída são no formato de imagens *raster*, como apresenta a Figura 2.5 a seguir.

45°0'0"O

44°0'0"O

Precipitação Total Anual Média



Legenda

- Estações Pluviométricas
- Precipitação Total Anual Média (mm)**
- 1.100 - 1.300
- 1.300 - 1.400
- 1.400 - 1.450
- 1.450 - 1.550
- 1.550 - 1.750

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Reservatório

FONTE: COBRAPE, 2018.

Observa-se que os valores de precipitação média anual crescem na direção mais alta da bacia. As estações limítrofes são as que apresentam os maiores intervalos, sendo a estação pluviométrica Colégio Caraça (02043059) que apresenta a maior precipitação média anual. O intervalo vai de aproximadamente 1.050 mm no município de Corinto, a aproximadamente 2.000 mm no município de Santa Bárbara. Dentro da bacia, a estação Ibirité é a que apresenta os maiores índices pluviométricos.

2.3. Tendências Sazonais

Com o objetivo de verificar a existência de sazonalidade mensal no regime de precipitação da Bacia do rio Paraopeba foram analisadas as médias de precipitação de cada mês do ano. O Quadro 2.3 a seguir apresenta esses dados para cada uma das estações, bem como o índice médio mensal.

Quadro 2.3 - Médias Pluviométricas Mensais

Código Estação	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
01944003	251,40	184,50	180,10	61,90	24,70	15,30	11,80	7,50	44,60	126,60	204,00	302,90
01944004	273,47	169,36	170,45	57,35	27,27	12,82	10,31	9,65	45,54	107,95	205,13	298,37
01944005	257,82	162,84	147,71	52,25	23,44	18,30	9,18	12,85	49,50	126,61	213,36	291,62
01944007	277,90	170,00	161,80	59,40	25,10	12,40	12,00	8,30	41,20	101,50	214,40	303,50
01944010	258,80	169,60	147,20	50,40	24,50	7,50	10,70	8,60	37,80	98,80	214,10	259,00
01944026	282,36	146,41	163,62	63,61	28,12	17,44	11,13	11,40	52,33	98,13	228,90	310,97
01944027	268,22	138,98	186,19	53,92	28,44	12,28	12,01	12,86	46,41	102,46	221,77	326,15
01944031	247,63	151,62	157,40	48,27	28,47	8,72	10,38	9,00	36,59	95,71	204,78	273,64
01944048	291,30	144,60	171,20	53,50	34,10	12,90	13,20	17,60	53,50	102,00	220,90	352,80
01944049	253,00	141,76	171,29	51,52	27,35	7,70	9,45	9,65	39,21	86,80	196,68	273,30
01944055	298,72	144,24	174,18	60,17	30,38	14,59	9,12	13,16	53,79	89,69	208,89	321,79
01944059	254,30	151,40	158,50	43,50	24,00	9,40	9,40	10,40	39,30	82,40	202,40	277,20
01944062	270,46	163,22	178,39	55,19	31,42	15,59	8,76	12,64	48,03	79,45	203,90	303,48
02043005	257,82	162,84	147,71	52,25	23,44	18,30	9,18	12,85	49,50	126,61	213,36	291,62
02043013	247,86	174,20	164,03	61,55	26,78	16,63	14,44	13,63	53,08	121,25	200,37	275,42
02044007	267,16	172,52	159,71	55,33	34,82	16,68	11,79	14,76	54,38	118,39	185,95	279,44
02044008	261,79	149,59	153,50	55,61	26,49	13,62	10,12	10,91	43,69	106,84	202,55	275,45
02044012	355,49	211,50	202,93	73,52	35,39	18,80	11,68	12,49	50,79	130,16	257,16	371,72
02044019	280,79	162,62	166,64	62,65	32,75	17,14	12,78	15,89	47,69	100,51	224,97	315,43
02044020	263,73	154,01	160,41	63,23	29,76	15,95	12,50	13,12	47,94	99,89	224,28	306,42
02044021	312,66	163,74	181,09	62,49	34,24	17,62	12,58	11,49	49,74	101,93	225,16	344,77
02044024	302,38	156,01	184,86	61,82	34,21	15,12	13,06	12,53	51,68	95,35	223,36	319,03
02044026	295,80	156,39	156,13	63,50	33,68	16,34	12,51	11,90	50,04	95,28	203,50	309,74
02044040	293,51	155,38	163,32	67,21	38,71	16,21	17,38	20,29	64,42	114,19	193,59	296,19
02044041	293,62	160,26	174,93	67,90	34,50	18,67	11,36	12,53	49,80	95,30	218,28	324,23
02044043	298,47	158,19	182,15	66,64	34,38	20,87	10,79	13,60	48,68	95,56	230,79	328,16
02044047	288,24	179,97	165,19	67,47	29,54	12,43	12,09	15,29	49,61	91,22	209,50	337,56
02044052	298,03	151,14	165,07	60,53	32,37	16,57	8,10	13,73	51,95	91,42	217,31	338,38

Paraopeba

Código Estação	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
02044053	299,51	159,16	166,03	52,06	32,16	13,46	7,43	9,86	45,55	82,40	211,56	330,96
02044054	286,54	164,92	171,40	49,37	32,36	19,73	8,60	10,41	47,06	91,06	205,28	313,59
01844003	204,10	152,00	123,60	59,40	23,60	7,40	6,90	5,60	27,80	113,90	197,40	272,20
01844010	241,60	125,80	125,10	48,90	25,30	4,50	7,60	7,80	35,40	82,10	175,90	225,10
01844015	231,70	153,10	145,60	63,80	20,40	5,40	5,60	7,30	29,50	101,00	189,10	279,00
01844017	213,50	127,60	134,20	46,10	12,20	4,20	8,60	8,30	34,60	64,60	199,90	221,10
01844019	179,62	121,79	144,97	44,03	19,34	7,34	4,58	10,07	28,61	70,93	184,16	252,92
01943004	239,60	145,18	140,48	50,95	23,18	8,43	9,09	7,49	38,25	94,57	213,24	288,54
01943010	274,40	165,93	152,67	53,81	27,04	11,87	10,38	10,66	44,01	109,55	218,35	331,48
01943011	289,70	196,30	162,80	64,20	21,10	11,90	8,70	8,60	31,60	132,40	219,50	323,70
01943022	344,09	203,40	197,52	77,13	30,69	14,39	11,99	11,28	49,01	120,83	259,14	393,98
01943023	252,48	154,44	144,24	49,80	24,14	9,05	8,16	7,51	36,13	94,60	215,14	309,39
01943049	250,52	135,55	155,59	55,13	24,32	8,24	8,76	8,84	38,83	80,92	201,80	270,80
01943055	305,60	181,20	174,20	71,90	28,40	12,90	11,00	13,30	44,90	116,30	239,30	334,00
01944000	255,20	185,70	155,40	54,70	21,20	8,20	11,40	5,40	31,80	109,10	213,30	304,00
01944009	242,45	153,33	152,13	48,43	21,65	8,50	8,79	8,25	36,84	97,42	210,52	300,55
01944011	242,25	158,46	156,15	54,95	25,52	10,31	9,35	8,32	41,53	103,90	185,95	255,57
01944020	245,11	148,04	143,60	49,81	24,98	7,06	7,39	7,10	29,18	91,45	194,18	268,66
01944021	270,98	177,70	157,94	49,05	30,86	11,65	9,51	10,65	42,37	109,56	205,04	283,23
01944024	234,65	133,57	148,90	48,83	20,91	7,39	6,72	8,23	35,18	98,09	214,25	262,54
01944032	286,06	178,88	172,84	70,60	32,22	11,21	10,94	11,40	42,55	101,24	206,28	302,08
01944052	275,30	180,40	158,00	59,10	24,80	10,60	10,80	8,20	38,30	101,30	218,40	297,30
01945004	250,90	151,96	166,94	49,95	27,06	7,88	9,12	8,22	38,97	88,89	173,82	267,88
01945038	228,31	161,58	170,78	66,64	31,87	9,68	9,76	10,19	40,87	84,88	183,88	248,92
01945039	239,68	151,04	144,16	61,37	28,88	6,68	11,49	8,52	34,94	74,99	169,68	233,58
02043010	255,15	157,25	161,51	63,97	29,61	16,32	11,46	15,26	53,52	117,30	207,49	280,26
02043018	258,89	188,07	169,96	60,05	36,89	19,70	12,98	16,52	61,12	122,46	204,95	288,94
02043026	240,95	139,11	146,14	57,86	30,47	15,15	14,13	14,47	55,81	112,50	204,95	255,33
02043042	324,24	176,42	196,98	71,23	34,69	15,08	11,94	15,17	58,12	117,43	238,22	336,66

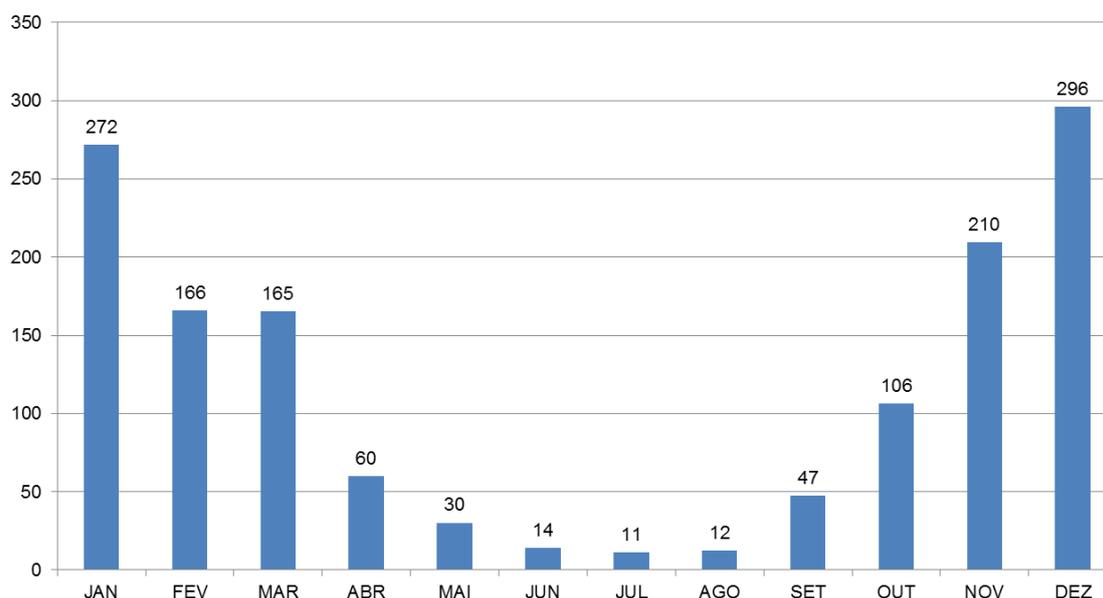
Limítrofe

Código Estação	Meses											
	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
02043043	341,42	192,22	202,42	76,59	40,88	19,45	12,29	16,23	56,74	111,09	236,98	342,30
02043056	262,25	133,31	152,11	66,14	32,96	14,49	9,83	17,65	55,08	92,46	193,35	285,26
02043057	230,60	165,70	154,80	55,10	22,20	11,80	13,90	10,30	33,10	104,00	191,10	255,70
02043058	262,80	191,90	163,90	59,40	26,90	14,10	13,80	10,80	34,70	124,10	212,30	267,70
02043059	357,37	224,86	223,10	90,24	45,24	13,98	11,31	17,15	58,77	125,09	289,06	482,66
02043060	256,40	150,93	175,09	66,04	36,04	16,70	7,99	16,84	51,86	98,70	211,54	299,45
02044002	254,86	161,62	173,77	65,56	28,15	16,33	12,09	12,78	48,20	107,34	221,61	296,50
02044003	266,49	164,70	155,30	61,08	27,56	15,57	11,46	11,25	47,33	112,88	208,71	288,74
02044005	258,00	186,70	160,30	50,70	29,80	14,60	11,50	9,30	42,10	128,40	200,20	275,60
02044006	269,50	162,65	150,99	54,46	25,06	16,29	10,89	10,85	45,38	105,95	195,16	278,94
02044009	291,74	196,10	177,33	64,87	35,96	20,75	10,90	13,65	54,29	123,94	204,36	311,13
02044016	288,72	163,52	176,29	66,77	35,10	20,00	13,91	13,43	53,91	108,89	234,85	310,69
02044038	308,23	178,40	164,95	71,59	40,74	17,28	13,22	15,73	65,73	118,39	209,37	297,30
02044042	301,88	145,68	169,53	64,39	40,89	19,39	12,08	14,53	53,31	116,24	192,35	299,49
02044050	293,11	169,41	167,43	63,72	39,73	17,40	10,85	16,46	60,46	104,92	197,48	305,05
02143003	295,04	207,56	192,95	88,01	38,02	18,71	17,16	16,73	57,74	125,42	225,42	303,02
02143005	276,75	180,32	172,17	60,89	39,76	18,84	14,17	17,52	61,23	122,20	213,21	257,57
02143006	248,03	178,62	165,61	57,17	32,55	18,73	11,94	15,27	53,95	113,85	192,15	252,42
02143007	285,36	196,06	191,24	74,39	40,90	21,77	19,43	21,53	69,08	131,18	210,04	280,43
02143010	252,50	204,40	165,60	55,10	31,60	20,60	14,90	18,90	53,50	135,00	201,40	263,40
02143055	279,20	175,70	136,90	63,70	39,70	19,90	16,60	20,80	65,10	128,70	217,00	239,10
02144002	283,46	182,95	182,94	64,12	35,69	19,45	13,66	15,40	55,59	120,01	211,01	289,81
02144009	272,68	185,86	190,29	57,42	34,67	21,93	13,93	11,38	57,15	117,50	209,76	301,92
02144020	283,26	178,61	168,62	54,49	39,12	19,76	13,56	18,42	58,57	124,51	213,55	287,94
02144024	274,86	151,34	161,78	53,88	30,71	19,20	14,52	14,37	57,02	101,77	189,92	257,45
02144032	287,80	207,00	186,20	65,40	32,80	18,40	11,60	18,00	54,90	140,30	191,30	288,00
MÉDIA	271,66	165,91	165,27	59,96	30,20	14,28	11,19	12,37	47,32	106,15	209,68	295,88

FONTE: Hidroweb, 2018.

A Figura 2.6 a seguir apresenta graficamente a variação das médias mensais da bacia do rio Paraopeba.

Figura 2.6 - Precipitação Média Mensal



FONTE COBRAPE, 2018.

Pode-se observar na Figura 2.6 que os menores índices médios pluviométricos estão entre os meses de abril a setembro, considerado como período seco, com precipitações médias mensais entre 11 mm a 60 mm.

A partir da análise da tabela e gráfico apresentados, verifica-se que a pluviosidade média mensal, em grande maioria das estações, possuem os maiores índices nos meses de dezembro e janeiro, com médias de 296 mm e 272 mm, respectivamente.

A distribuição da precipitação na Bacia do rio Paraopeba, de maneira geral obedece à dinâmica das estações do ano, apresentando no verão as maiores médias, diminuindo nas estações de outono e primavera, chegando aos valores mínimos nos meses de inverno.

3. REDE DE MONITORAMENTO

3.1. Análise de Suficiência da Rede de Monitoramento Existente

Uma rede de monitoramento com objetivo de apoiar o sistema de gestão dos recursos hídricos deve atender a diversos requisitos, tais como a localização adequada dos pontos de controle, o número de pontos de controle suficiente para atender as condições de monitoramento da bacia, a frequência adequada de amostragens, e a análise dos parâmetros de qualidade da água efetivamente representativos para a área de intervenção, entre outros. A análise de suficiência da rede de monitoramento existente considera, primordialmente, a densidade de postos fluviométricos, sedimentométricos, de qualidade da água e pluviométricos existentes. Visando a avaliação da rede de monitoramento atual na área da bacia foram utilizadas as informações disponíveis no Hidroweb, Banco de Dados Hidrometeorológicos gerenciado pela Agência Nacional de Águas, que reúne informações de monitoramento de todo o país (ANA, 2018).

Segundo Soares (2001), existem dificuldades em se definir uma densidade de estações uniforme que seja aplicável para cada região. Estudos têm demonstrado que entre os fatores mais importantes que definem uma densidade ótima estão as condições geográficas e hidrológicas; a natureza da hidrografia; a necessidade de dados hidrológicos ou meteorológicos para projeto, a construção e operação de estruturas hidráulicas e a densidade de ocupação populacional e o nível de atividade econômica da região.

Apesar da dificuldade em se definir uma densidade ótima de estações fluviométricas, sedimentométricas e pluviométricas, a *World Meteorological Organization* (WMO) criou normas quanto à rede mínima de monitoramento, que são definidas segundo o tipo de estação e as características de relevo e de clima da região. Com isso, a análise da densidade da Bacia do rio Paraopeba levou em consideração os critérios definidos pela WMO. O Quadro 3.1 apresenta esses critérios, que são especificados por tipo de região e são correlacionados por área de drenagem.

Quadro 3.1 - Densidade Mínima da Rede de Monitoramento

Tipo de Região	Normas para Rede Mínima de Monitoramento - Área (km²) por Estação	Normas Provisórias Toleradas para Condições Difíceis de Monitoramento - Área (km²) por Estação ⁽¹⁾
I. Regiões planas de zonas temperada, mediterrânea e tropical	1.000 - 2.500	3.000 - 10.000
II. Regiões montanhosas de zonas temperada, mediterrânea e tropical; Pequenas ilhas montanhosas com precipitação muito irregular e com grande concentração de redes hidrográficas.	300 - 1.000 140 - 300	1.000 - 5.000 ⁽⁴⁾
III. Regiões áridas e polares ⁽²⁾ .	5.000 - 20.000 ⁽³⁾	Não Apresenta

⁽¹⁾ Somente para circunstâncias excepcionalmente difíceis.

⁽²⁾ Grandes desertos não estão incluídos.

⁽³⁾ Dependendo da praticidade.

⁽⁴⁾ Sob circunstâncias muito difíceis o valor poderá ser estendido para 10.000km².

FONTE: WMO, 2008

A avaliação da adequação do número de estações, considerando que a Bacia Hidrográfica do rio Paraopeba se enquadra na região tipo II, foi realizada a partir das seguintes informações:

- Normas para as regiões montanhosas de zonas temperada, mediterrânea e tropical, com densidade mínima indicada de 300 a 1.000 km² por estação;
- Estações de Monitoramento em operação;
- Divisão das estações de monitoramento pelas Áreas Estratégicas de Gestão.

Já para a rede de monitoramento de qualidade da água, foi adotada a densidade proposta para a região sudeste do Brasil no estudo “Projeto da Rede Nacional de Monitoramento da Rede de Qualidade das Águas Superficiais” (ANA, 2012). O padrão em questão adota como referência para representatividade espacial da rede de monitoramento o valor mínimo de 1 estação por 1.000 km². Ainda com relação à rede qualitativa, é apresentada uma análise quanto aos parâmetros de qualidade a serem monitorados, respeitando os parâmetros mínimos de ANA (2012), sendo estes:

- Físico-químicos: condutividade elétrica, temperatura do ar e da água, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais dissolvidos, sólidos em suspensão, alcalinidade total, cloreto total (regiões estuarinas), transparência (ambientes lênticos), demanda bioquímica de oxigênio (águas doces) ou carbono orgânico total (águas salobras e salinas) e demanda química de oxigênio;

- Microbiológicos: coliformes termotolerantes;
- Biológicos: apenas para ambientes lênticos, clorofila-a e fitoplâncton;
- Nutrientes: fósforo (solúvel reativo e total) e nitrogênio (nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total).

Por fim, com a análise de suficiência das redes de monitoramento, é apresentado um veredito quanto à densidade, para todas as redes, e quanto aos parâmetros para a rede qualitativa. Para isso as análises serão divididas quanto à característica da rede de monitoramento.

3.1.1. Rede Fluviométrica

A rede fluviométrica é responsável pela medição dos dados de cotas (cm), vazões (m³/s), qualidade de água, resumo de descarga, sedimentos e perfil transversal.

Apesar dos dados de sedimentos estarem relacionados à rede fluviométrica, a análise de suficiência da rede sedimentométrica é apresentada no item 3.1.2, uma vez que apresentam informações e objetivos específicos, assim como os dados referentes à rede de qualidade da água, apresentados no item 3.1.4.

O Quadro 3.2 apresenta um panorama geral da rede fluviométrica como um todo na região da bacia, demonstrando a quantidade de estações e as características de medição por Sub-bacia.

Quadro 3.2 - Panorama Geral da Rede Fluviométrica

Sub-bacia	Total	Operantes	Escala	Registro Nível	Descarga Líquida	Sedimentos	Qualidade da água	Telemétrica
Alto	36	21	12	0	9	5	13	11
Médio	79	40	20	1	11	2	28	7
Baixo	17	15	6	0	5	2	12	5
Total Geral	132	76	38	1	25	9	53	23

FONTE: Hidroweb, 2018.

A rede fluviométrica na Bacia do Rio Paraopeba é composta por 132 estações, conforme detalhado no *Anexo 1*. Dentre estas, 50 apresentam dados referentes a vazões (m³/s) e apenas 12 estão operando. A distribuição das estações fluviométricas pode ser observada na **Figura 3.1**.

Pode-se analisar que existe na bacia um total de 76 estações operantes, no entanto, 64 não apresentam dados. Isso acontece provavelmente porque existem empresas que operam as estações, contudo, não fornecem os dados.

A bacia do rio Paraopeba tem 12.030,15 km² com 12 estações operando, resultando em uma densidade de 1.002,51 km²/estação, o que não estaria em conformidade com os parâmetros estabelecidos para uma rede mínima, visto que o máximo é de 1.000 km²/estação. Se analisar para as 50 estações que tem dados referentes a vazões (m³/s), a densidade estaria em conformidade, pois apresentaria um valor de 240,60 km²/estação.

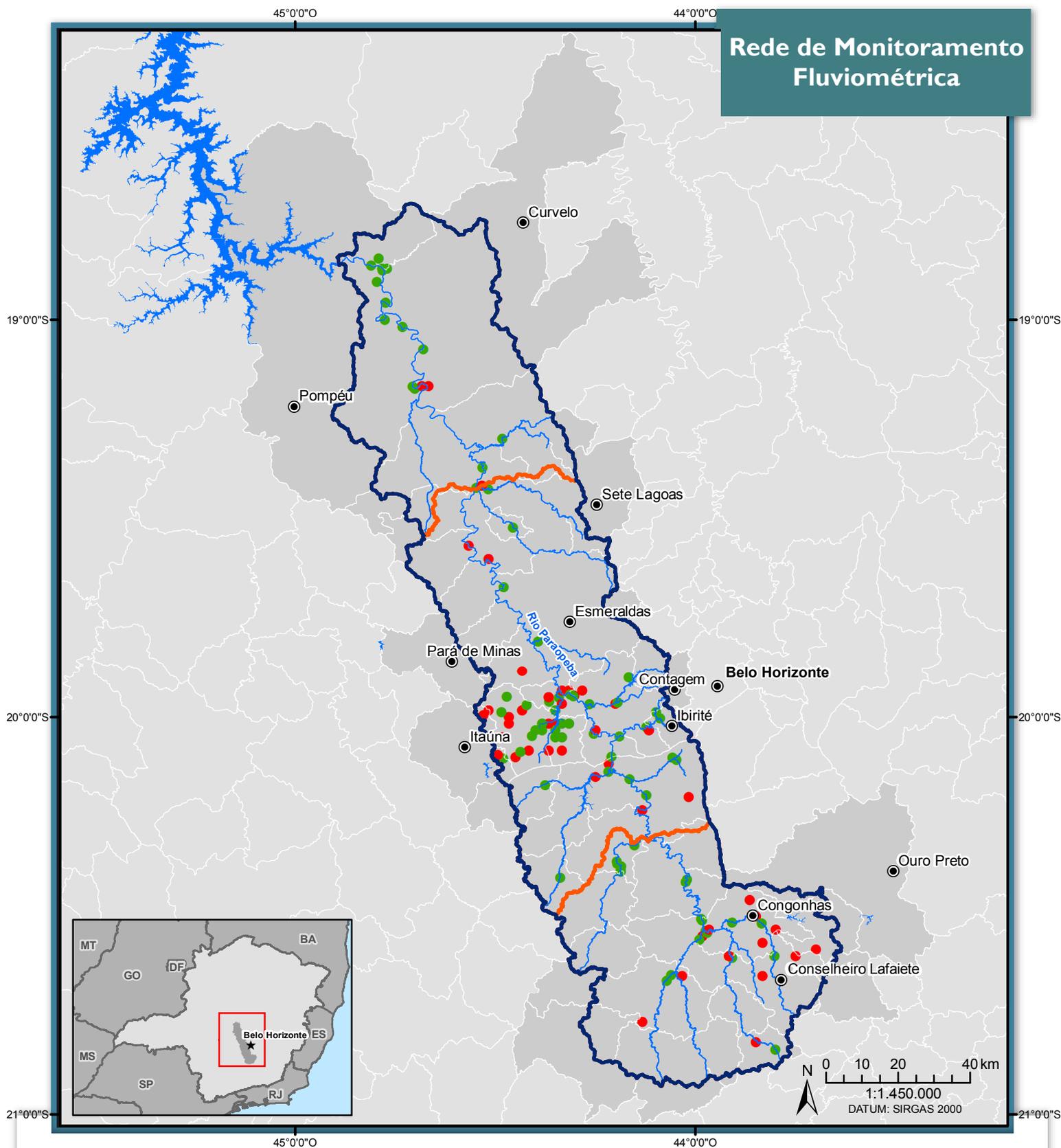
Quando detalhada a análise para o nível de sub-bacias, verifica-se que apenas a sub-bacia do baixo Paraopeba não se enquadra nos parâmetros estabelecidos para uma rede mínima, conforme pode ser observado no Quadro 3.3, que apresenta a densidade das estações de monitoramento de vazão por sub-bacia em relação às estações operantes.

Quadro 3.3 - Análise da Densidade da Rede Fluviométrica por Sub-bacia

Sub-bacia	Estações de Fluviometria	Operantes Com dados	Área (km ²)	Densidade (km ² /estação)
Alto	16	4	3.629,25	907,31
Médio	31	7	5.097,93	728,28
Baixo	3	1	3.302,97	3.302,97
Total Geral	50	12	12.030,15	1.002,51

FONTE: COBRAPE, 2018.

Rede de Monitoramento Fluviométrica



Legenda

Estações Fluviométricas [132]

- Não Operante [56]
- Operante [76]

FONTE: ANA, 2018.

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Limite das Sub-bacias do Paraopeba
- Reservatório

3.1.2. Rede Sedimentométrica

Em relação à rede sedimentométrica, a Bacia do rio Paraopeba contempla 9 estações, sendo que as 9 encontram-se operando, no entanto, apenas 3 possuem dados disponíveis. A **Figura 3.2** apresenta a distribuição espacial das estações na região.

Considerando as 9 estações operantes na área total da bacia, de 12.030,15 km², o resultado é uma densidade de 1.336,68 km²/estação, o que não estaria de acordo com o solicitado para rede mínima. Quando a análise é refinada para nível de sub-bacia, essa inconformidade se mantém para as três sub-bacias (alto, médio e baixo Paraopeba).

O Quadro 3.4 apresenta a relação da densidade das estações sedimentométricas em operação por sub-bacias. Novamente, nota-se que a rede, tanto para um cenário macro quanto para a escala das sub-bacias, não é suficiente quanto às normas da WMO.

Quadro 3.4 - Análise da Densidade da Rede Sedimentométrica por Sub-bacia

Sub-bacia	Total	Operantes com Dados	Área (km ²)	Densidade (km ² /estação)
Alto	5	1	3.629,25	3.629,25
Médio	2	2	5.097,93	2.548,96
Baixo	2	0	3.302,97	-
Total Geral	9	3	12.030,15	4.010,05

FONTE: COBRAPE, 2018.

45°0'0"O

44°0'0"O

Rede de Monitoramento Sedimentométrica

19°0'0"S

19°0'0"S

20°0'0"S

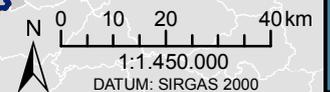
20°0'0"S

21°0'0"S

21°0'0"S

45°0'0"O

44°0'0"O



Legenda

Estações Sedimentométricas

- Operando [9]

FONTE: ANA, 2018.

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Limite das Sub-bacias do Paraopeba
- Reservatório

3.1.3. Rede Pluviométrica

A rede pluviométrica é responsável por monitorar as informações de chuva (mm), e na região da Bacia do rio Paraopeba são observadas 134 estações no total, das quais 95 estão aptas a realizar o monitoramento dos dados de chuva e constam como operantes no Hidroweb (ANA, 2018). No entanto, das 134 estações observadas, apenas 53 possuem dados disponíveis para consulta e análise.

Assim como na rede fluviométrica, pode-se verificar que das 53 estações que possuem dados disponíveis, apenas 28 estão em operação. Essa divergência, em relação as 95 estações que constam como operantes no Hidroweb, ocorre visto que existem empresas que operam as estações, contudo, não fornecem os dados.

O Quadro 3.5 apresenta a relação geral da rede pluviométrica e o Anexo 1 apresenta detalhadamente as estações, enquanto a Figura 3.3 apresenta sua distribuição espacial na Bacia do rio Paraopeba.

Quadro 3.5 - Panorama Geral da Rede Pluviométrica

Sub-bacia	Total	Operantes	Pluviometria	Registro Chuva	Tanque Evapotranspiração	Climatológica	Telemétrica
Alto	28	22	21	3	1	1	18
Médio	92	65	62	12	9	9	41
Baixo	14	8	8	1	0	0	4
Total Geral	134	95	91	16	10	10	66

FONTE: Hidroweb, 2018.

Quanto à densidade das estações, a Bacia do rio Paraopeba apresenta um valor suficiente de estações em um cenário geral, possuindo 429,65 km²/estação quando observadas as 28 estações operantes, e 226,98 km²/estação quando são consideradas as 53 estações com dados disponíveis. Quando a análise é realizada na escala das sub-bacias, verifica-se que o médio Paraopeba não está de acordo com as normas mínimas de rede de monitoramento. O Quadro 3.6 apresenta a relação da densidade das estações operantes por sub-bacia.

Novamente a densidade da rede pluviométrica da Bacia do Rio Paraopeba atende os critérios estabelecidos pela WMO, o que garante dados suficientes para uma análise macro da região, porém se a análise for feita por sub-bacia, os critérios de monitoramento não são integralmente atendidos.

Quadro 3.6 - Análise da Densidade da Rede Pluviométrica por Sub-bacia

Sub-bacia	Total	Operantes	Área (km²)	Densidade (km²/estação)
Alto	7	4	3.629,25	907,31
Médio	5	3	5.097,93	1.699,31
Baixo	41	21	3.302,97	157,28
Total Geral	53	28	12.030,15	429,65

FONTE: COBRAPE, 2018.

45°0'0"O

44°0'0"O

Rede de Monitoramento Pluviométrica

19°0'0"S

19°0'0"S

20°0'0"S

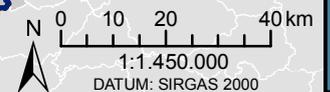
20°0'0"S

21°0'0"S

21°0'0"S

45°0'0"O

44°0'0"O



Legenda

Estações Pluviométricas [134]

- Não Operante [39]
- Operante [95]

FONTE: ANA, 2018.

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Limite das Sub-bacias do Paraopeba
- Reservatório

3.1.4. Rede de Qualidade da Água

A qualidade da água superficial na região do PDRH Paraopeba foi avaliada com base nos dados de monitoramento disponíveis em duas fontes distintas: sistema Hidroweb e IGAM. Por um lado, essa maior quantidade de informações permitiu a análise de um número maior de trechos de rio, melhorando assim o monitoramento da qualidade hídrica da região. Por outro lado, exigiu uma compatibilização das informações, de modo a resultar em uma única base de dados.

Inicialmente, essa unificação da rede de monitoramento foi realizada por meio do georreferenciamento dos dados recebidos, que possibilitou a espacialização de todos os 84 pontos com parâmetros de qualidade de água monitorados. Nessa etapa, foram ainda verificados pontos do Hidroweb e IGAM que, segundo a base de dados do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), apresentam informações idênticas acerca de seus índices.

Em consequência desse fato, 66 pontos duplicados foram reduzidos a 33 estações de monitoramento. Foram analisados ainda 14 pontos exclusivamente da base do Hidroweb e mais 4 exclusivamente do IGAM. Totalizando assim, 51 pontos de monitoramento da qualidade da água superficial na região do PDRH Paraopeba.

O Quadro 3.7 mostra o compilado de informações dos pontos de monitoramento analisados quanto à sua fonte, nomenclatura utilizada pelas duas bases de dados, corpo hídrico monitorado, município no qual está localizado e sua presença ou não no banco de dados do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade da Água. É, ainda, descrita a série histórica geral de dados disponíveis para cada estação, o que não implica necessariamente que existam informações de monitoramento para todos os anos descritos no período.

Quadro 3.7 - Rede de monitoramento de qualidade da água superficial

Código adotado	Fonte	Códigos originais		Período de dados	Corpo hídrico	Município	PNQA
		Hidroweb	IGAM				
BP088 *	Hidroweb e IGAM	40790001	BP088	2000 - 2018	Rio Betim	Betim	Sim
BP071	Hidroweb e IGAM	40790100	BP071	1997 - 2018	Rio Betim	Betim	Sim
40680000	Hidroweb	40680000		1977 - 2018	Rio Brumado	Entre Rios de Minas	Sim
BP024	Hidroweb e IGAM	40678000	BP024	2007 - 2018	Rio Brumado	Entre Rios de Minas	Sim
BP026 *	Hidroweb e IGAM	40684000	BP026	1997 - 2018	Rio Camapuã	Jeceaba	Sim
BP094	Hidroweb e IGAM	40818900	BP094	2003 - 2018	Ribeirão Catarina	Brumadinho	Sim
BP092	Hidroweb e IGAM	40818800	BP092	2003 - 2018	Ribeirão Casa Branca	Brumadinho	Sim
BP098	Hidroweb e IGAM	40801000	BP098	2006 - 2018	Ribeirão do Cedro	Caetanópolis	Sim
41190100	Hidroweb	41190100		2016 - 2016	Ribeirão Cortesia	Rio Acima	Sim
BP090	Hidroweb e IGAM	40818700	BP090	2000 - 2018	Ribeirão Grande	Esmeraldas	Sim
BP081	Hidroweb e IGAM	40800005	BP081	2013 - 2018	Ribeirão Ibitité	Ibitité	Sim
BP085	Hidroweb e IGAM	40800200	BP085	2013 - 2018	Ribeirão Ibitité	Ibitité	Sim
BP074	Hidroweb e IGAM	40792000	BP074	2007 - 2018	Ribeirão dos Macacos	Cachoeira da Prata	Sim
BP018	IGAM		BP018	2015 - 2018	Córrego Mãe-D'água	Congonhas	Não
BP096	Hidroweb e IGAM	40760000	BP096	2005 - 2018	Rio Manso	Brumadinho	Sim
BP084 *	Hidroweb e IGAM	40579500	BP084	2000 - 2018	Rio Maranhão	Conselheiro Lafaiete	Sim
40579995	Hidroweb	40579995		2002 - 2018	Rio Maranhão	Congonhas	Sim
BP080	Hidroweb e IGAM	40580100	BP080	1997 - 2018	Rio Maranhão	Congonhas	Sim
BP032	Hidroweb e IGAM	40713000	BP032	2007 - 2018	Rio Macaúbas	Alto Rio Doce	Sim
BP020 *	IGAM		BP020	2015 - 2018	Córrego Maria-José	Congonhas	Não
40810400	Hidroweb	40810400		2009 - 2018	Córrego Mato Frio	Itaúna	Sim
40822995	Hidroweb	40822995		1987 - 2018	Ribeirão Mateus Leme	Mateus Leme	Sim
40823500	Hidroweb	40823500		2002 - 2018	Ribeirão Mateus Leme	Juatuba	Sim
BP073	Hidroweb e IGAM	40790070	BP073	2007 - 2018	Riacho das Pedras	Betim	Sim

Código adotado	Fonte	Códigos originais		Período de dados	Corpo hídrico	Município	PNQA
		Hidroweb	IGAM				
BP075	Hidroweb e IGAM	40793000	BP075	2013 - 2018	Córrego Pintado	Ibirité	Sim
BP016	IGAM		BP016	2015 - 2018	Rio Preto	Congonhas	Não
BP022	Hidroweb e IGAM	40537000	BP022	2007 - 2018	Rio Paraopeba	Cristiano Ottoni	Sim
40549998	Hidroweb	40549998		2002 - 2018	Rio Paraopeba	São Brás do Suaçuí	Sim
BP079	Hidroweb e IGAM	40797500	BP079	1997 - 2018	Rio Paraopeba	São João del Rei	Sim
BP027	Hidroweb e IGAM	40701000	BP027	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Jeceaba	Sim
BP029	Hidroweb e IGAM	40701500	BP029	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Belo Vale	Sim
40710000	Hidroweb	40710000		1982 - 2018	Rio Paraopeba	Belo Vale	Sim
BP036	Hidroweb e IGAM	40720003	BP036	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Belo Vale	Sim
40740000	Hidroweb	40740000		1978 - 2018	Rio Paraopeba	Brumadinho	Sim
BP068	Hidroweb e IGAM	40750000	BP068	1997 - 2018	Rio Paraopeba	São Joaquim de Bicas	Sim
BP070	Hidroweb e IGAM	40787000	BP070	1997 - 2018	Rio Paraopeba	São Joaquim de Bicas	Sim
BP072	Hidroweb e IGAM	40791000	BP072	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Betim	Sim
40800001 **	Hidroweb	40800001		1985 - 2018	Rio Paraopeba	Juatuba	Sim
BP082	Hidroweb e IGAM	40800010	BP082	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Esmeraldas	Sim
4085000	Hidroweb	40850000		2002 - 2018	Rio Paraopeba	Paraopeba	Sim
BP083	Hidroweb e IGAM	40800100	BP083	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Esmeraldas	Sim
BP078	Hidroweb e IGAM	40797000	BP078	1997 - 2018	Rio Paraopeba	Pompéu	Sim
BP099 *	Hidroweb e IGAM	40867000	BP099	2007 - 2018	Rio Paraopeba	Felixlândia	Sim
BP086	Hidroweb e IGAM	40786100	BP086	2000 - 2018	Ribeirão Sarzedo	Mário Campos	Sim
40810800	Hidroweb	40810800		2002 - 2018	Ribeirão Serra Azul	Mateus Leme	Sim
40811100	Hidroweb	40811100		2002 - 2018	Ribeirão Serra Azul	Mateus Leme	Sim
BP069	Hidroweb e IGAM	40817500	BP069	2007 - 2018	Ribeirão Serra Azul	Carangola	Sim
40821900	Hidroweb	40821900		2009 - 2018	Ribeirão Sesmaria	Mateus Leme	Sim
BP076	Hidroweb e IGAM	40795000	BP076	1997 - 2018	Ribeirão São João	Inhauma	Sim

Código adotado	Fonte	Códigos originais		Período de dados	Corpo hídrico	Município	PNQA
		Hidroweb	IGAM				
BP014	IGAM		BP014	2015 - 2018	Ribeirão Soledade	Conselheiro Lafaiete	Não
BP066	Hidroweb e IGAM	40771000	BP066	2007 - 2018	Rio Veloso	Itatiaiuçu	Sim

* Estações com incompatibilidade entre o corpo hídrico citado pelo Hidroweb e/ou IGAM e a hidrografia analisada. Segundo a nomenclatura da hidrografia enviada pelo IGAM, os trechos monitorados pelas estações são: BP088 (Córrego Praia do Batatal); BP026 (Córrego Sem Nome de cobacia 74969112); BP084 (Ribeirão Bananeiras); BP020 (Rio sem nome de cobacia 749693613); BP099 (Rio Manso).

** Segundo os dados do Hidroweb, a estação 40800001 monitora um trecho do rio Paraopeba. No entanto, o georreferenciamento deste ponto mostra que o trecho monitorado é nomeado como Córrego Morro Grande e existe uma distância de aproximadamente 13 km entre a estação e o trecho mais próximo da calha principal do rio Paraopeba.

FONTE: COBRAPE, 2018.

É válido ainda ressaltar que, quando espacializados, os pontos comuns às duas bases apresentaram certo espaçamento entre si. Como essas distâncias poderiam ser originadas da mera diferença entre sistemas de georreferenciamento utilizados pelas fontes de dados, foi atribuído um valor limite aceitável de distanciamento entre os pontos de monitoramento do Hidroweb e do IGAM de 150 metros. Durante essa análise, 7 dos 33 pontos extrapolaram essa distância, sendo: BP088 (2.927,587 m), BP026 (3.419,111 m), BP094 (1.894,582 m), BP092 (608,858 m), BP036 (622,258 m), BP099 (1.651,373 m) e BP080 (496,326 m).

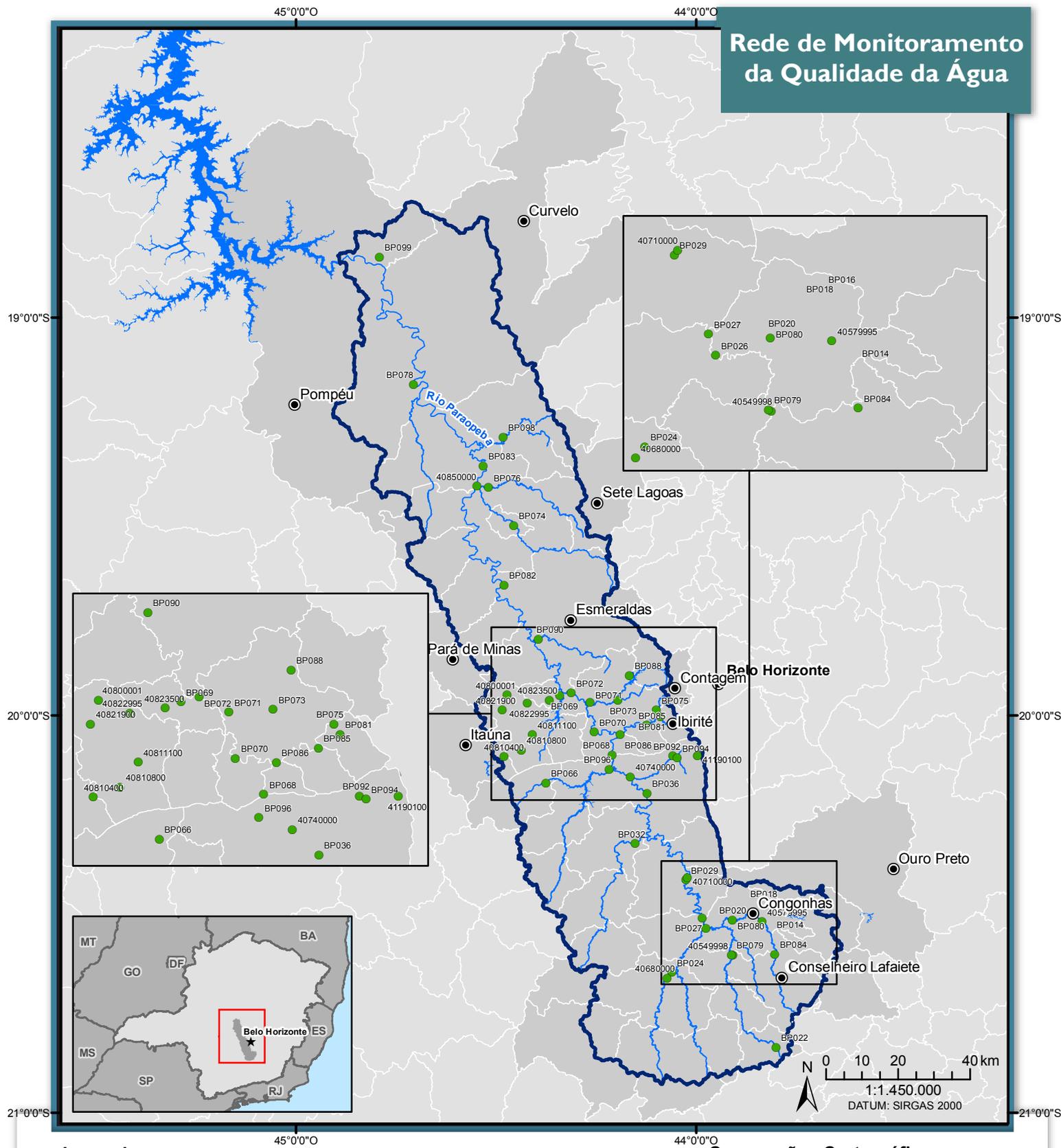
Mesmo com essa inadequação quanto às coordenadas geográficas estabelecidas pela base de dados do Hidroweb e do IGAM para um mesmo ponto, essas estações foram atribuídas como duplicadas, uma vez que todas as informações acerca dos parâmetros de qualidade da água apresentaram valores exatamente iguais. Essa falha no georreferenciamento das estações indica a necessidade de uma adequação e conferência das bases de dados utilizadas pelas duas fontes.

Por fim, foi realizada a análise da suficiência da rede de monitoramento de qualidade da água, com o objetivo de verificar se atende aos padrões básicos. Para isso, adotou-se o proposto para o estado de Minas Gerais no Projeto da Rede Nacional de Monitoramento da Rede de Qualidade das Águas Superficiais (ANA, 2012). O padrão em questão adota como referência para representatividade espacial da rede de monitoramento o valor mínimo de 1 ponto/estação por 1.000 km².

Dessa forma, para a região do PDRH Paraopeba foram consideradas as 47 estações ativas listadas no PNQA para a área de 12.054 km², o que resulta em 3,9 estações por 1.000 km², que de acordo com o padrão adotado seria suficiente para a região e atenderia ao Projeto da Rede Nacional de Monitoramento da Rede de Qualidade das Águas Superficiais.

A distribuição espacial das estações de monitoramento com dados de monitoramento de qualidade de água superficial encontra-se indicada na Figura 3.4.

Rede de Monitoramento da Qualidade da Água



Legenda

Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas

- Sim
- Não

Convenções Cartográficas

- Principais Sedes Municipais
- Limite Municipal
- Hidrografia Principal
- Limite SF3: Rio Paraopeba
- Municípios SF3: Rio Paraopeba
- Reservatório

FONTE: IGAM, 2018 e Hidroweb, 2018.

No que se refere aos parâmetros a serem monitorados, ainda de acordo com o Panorama (ANA, 2012), deve-se, no mínimo, monitorar:

- Físico-químicos: condutividade elétrica, temperatura do ar e da água, turbidez, oxigênio dissolvido, pH, sólidos totais dissolvidos, sólidos em suspensão, alcalinidade total, cloreto total (regiões estuarinas), transparência (ambientes lênticos), demanda bioquímica de oxigênio (águas doces) ou carbono orgânico total (águas salobras e salinas) e demanda química de oxigênio;
- Microbiológicos: coliformes termotolerantes;
- Biológicos: apenas para ambientes lênticos a clorofila-a e o fitoplâncton
- Nutrientes: fósforo (solúvel reativo e total) e nitrogênio (nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total).

O banco de dados disponível no Hidroweb e no IGAM para o PDRH Paraopeba contém 114.842 informações para 58 parâmetros diferentes, porém o número de amostras para um mesmo parâmetro é muito variável (de 0 a 4.357). Dos parâmetros supracitados, encontram-se dados de: condutividade elétrica (3.257), temperatura do ar (3.229), temperatura da água (4.357), turbidez (4.092), oxigênio dissolvido (4.224), pH (4.308), sólidos totais dissolvidos (2.359), cloreto (2.933), demanda bioquímica de oxigênio (3.886), demanda química de oxigênio (2.147), coliformes termotolerantes (1.353), fósforo total (3.535), nitrato (3.896), nitrogênio amoniacal (3.774).

Pela diferença entre o número de dados apresentados para cada parâmetro, é nítido o fato de que a frequência mínima trimestral de amostragens, planejada pela ANA (2012), ainda não conseguiu ser estabelecida em todos os pontos de monitoramento. Quando analisados os dados a partir de 2012, todos os 51 pontos mapeados no estudo apresentam pelo menos um ano com quantidade de informações abaixo da frequência mínima estabelecida.

Tais fatos, apesar de permitirem uma visão geral das alterações que ocorrem ao longo do tempo na região hidrográfica, dificultam a avaliação da qualidade da água com maior precisão, sendo importante a adequação da rede quanto à frequência e parâmetros monitorados.

4. DISPONIBILIDADES HÍDRICAS SUPERFICIAIS

O cálculo das disponibilidades hídricas superficiais é fundamental para o Plano de Recursos Hídricos. É ele que apresenta, a partir das vazões características escolhidas, o potencial hídrico da região e, conseqüentemente, a vazão passível de ser captada para consumo. Portanto, este capítulo tem como objetivo apresentar as vazões características da bacia do rio Paraopeba, de modo que seja possível identificar quais regiões da bacia possuem maior ou menor potencial para a utilização das disponibilidades hídricas superficiais.

De antemão sabe-se, de acordo com os resultados apresentados anteriormente, que a região ao sul da bacia possui condições climáticas mais favoráveis à produção de escoamento superficial, do que a sua parte norte. Assim, espera-se com os resultados confirmar as tendências climáticas já apresentadas.

No *Capítulo 3* do presente relatório também foram apresentadas as estações fluviométricas - nas quais se faz a medição da vazão nos rios. Elas apresentam os dados brutos de vazão, medidas em pontos específicos do rio. Porém, para uma análise robusta de planejamento é ideal que os dados estejam apresentados de forma espacial, onde se possa ter uma visão global da disponibilidade na bacia. Sabe-se que o Estado de Minas Gerais em geral possui um grande arcabouço de informações sobre recursos hídricos, em especial para a bacia hidrográfica do rio Paraopeba, visto que é a bacia que abastece a região metropolitana de Belo Horizonte. Desta forma, foram consultados diversos estudos sobre o tema, e pela qualidade dos dados encontrados, optou-se da utilização de estudos já existentes para a caracterização das disponibilidades hídricas da bacia.

4.1. Metodologia

A escolha do estudo a ser utilizado nas estimativas baseou-se nas observações feitas por Moreira e Silva (2013). Esse artigo analisa diversas metodologias de regionalização de vazões, as quais espacializam os dados das estações fluviométricas, visando fornecer ao órgão gestor de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais subsídios para escolha de um método para a estimativa das vazões na bacia do rio Paraopeba. Para isso o artigo teve por objetivo analisar as estimativas dos valores da vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) e da vazão média de longa duração (Q_{mid}) obtidas pelo estudo “Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais” e os métodos de regionalização tradicional, proporcionalidade de vazões e conservação de massas.

O estudo “Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais” (COPASA, 1993), o qual foi desenvolvido pela Hidrosistemas com o apoio da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), é o atualmente utilizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para a estimativa da $Q_{7,10}$ e Q_{mld} .

Segunda a análise realizada por Moreira e Silva (2013), os maiores erros nas estimativas das vazões ($Q_{7,10}$ e Q_{mld}) ocorreram nas regiões de cabeceiras da bacia; na estimativa da Q_{mld} não foram observadas diferenças expressivas entre os métodos de regionalização de vazões; e dentre os métodos de regionalização utilizados no estudo, o método tradicional permite melhor estimativa dos valores de $Q_{7,10}$ e Q_{mld} para a bacia do rio Paraopeba.

Desta forma, nesta etapa do Plano, optou-se pela utilização de um estudo de regionalização tradicional, o qual foi desenvolvido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (GPRH-UFV). Para a estimativa de regionalização identificou-se que as estações situadas na UPGRH - SF3 -objeto de estudo do presente Plano - contemplam uma região hidrologicamente homogênea.

Segundo UFV/IGAM (2012), o procedimento metodológico utilizado no estudo envolveu as seguintes etapas: (i) as variáveis dependentes e independentes analisadas; (ii) os modelos de regressão analisados; (iii) os critérios para a seleção do modelo de regionalização; (iv) a espacialização das vazões; e (v) a proposta de minimizar o uso da extrapolação das equações de regionalização obtidas.

As variáveis dependentes utilizadas para a regionalização de vazões foram as vazões médias anuais de longa duração (Q_{mld}), as mínimas associadas à permanência de 95% (Q_{95}), de 90% (Q_{90}) e a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), todas obtidas nas estações fluviométricas para as quais foi realizado o estudo. Para obtenção das vazões médias e mínimas foi utilizado o programa SisCAH 1.0 -Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SOUSA, 2009), utilizando os dados das estações fluviométricas de 1968 a 2005, sendo que antes do cálculo destas vazões foram descartados os anos da série histórica que apresentaram mais de 5% de falhas, como mostra o Quadro 4.1.

As variáveis independentes utilizadas no estudo representam as características físicas e climáticas da bacia, utilizou-se, ao invés de área de drenagem e da precipitação, uma única variável, representada pela equação:

$$P_{eq} = \frac{P \cdot A}{k},$$

onde:

P_{eq} = vazão equivalente ao volume precipitado, $m^3 s^{-1}$;

P = precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm;

A = área de drenagem, km^2 ;

k = fator de conversão, o qual é igual a 31.536.

Além da área e da precipitação, o estudo incluiu o conceito de inércia hídrica, proposto por Novaes (2005), o qual estabelece que, para que ocorra o escoamento no leito do rio advindo da contribuição subterrânea é necessário que, primeiramente, a precipitação supra o déficit de água existente ao longo da zona de aeração, que é dependente das características do solo, da cobertura vegetal e da demanda evapotranspirométrica. Para tanto, utilizou-se o valor de 750 mm, proposto por Novaes (2005), valor esse compatível com os valores de evapotranspiração da bacia, apresentados no item 4.4.

Assim como para a precipitação, para a consideração da precipitação menos a inércia hídrica de 750 mm também se utilizou uma única variável, representada pela equação:

$$P_{eq} = \frac{(P-750) \cdot A}{k},$$

onde:

P_{eq} = vazão equivalente ao volume precipitado, m^3/s ;

P = precipitação média anual na área de drenagem considerada, mm;

A = área de drenagem, km^2 ;

k = fator de conversão, o qual é igual a 31.536.

Quadro 4.1- Estações Utilizadas

Código	Área (km ²)	Q _{md} (m ³ /s)	Q _{90%} (m ³ /s)	Q _{95%} (m ³ /s)	Q _{7,10} (m ³ /s)	P _{eq} (m ³ /s)	P _{eq750} (m ³ /s)
40549998	462,00	7,68	2,61	2,21	1,38	20,77	9,75
40680000	487,00	9,73	2,81	2,24	1,34	22,00	10,46
40710000	2.770,00	52,21	18,36	15,20	11,36	124,74	58,94
40740000	4.120,00	59,82	21,84	18,93	13,74	188,67	90,92
40800001	5.690,00	83,62	28,70	24,08	17,10	261,37	126,37
40850000	8.750,00	125,25	40,68	33,81	24,12	393,51	185,88

FONTE: COBRAPE, 2018.

Os modelos de regressão analisados no estudo foram: linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco. A escolha do melhor modelo de regressão foi baseada no maior coeficiente de determinação (R^2), menor erro padrão e menores valores dos resíduos.

Visando uma análise mais criteriosa do comportamento físico das vazões obtidas pelos modelos de regionalização aplicados utilizou-se o coeficiente de escoamento para a análise das vazões, conforme proposto por Rodriguez (2008). Portanto, considerou-se um valor de coeficiente de escoamento superficial para a bacia como um limitador para as estimativas de todas as vazões calculadas, sendo este valor limite obtido pelos dados observados nas estações fluviométricas.

Ainda segundo UFV/IGAM (2012), para a representação espacial das variáveis hidrológicas analisadas houve a necessidade de inserção das variáveis independentes (P_{eq} e P_{eq750}) no banco de dados da Base Hidrográfica Topologicamente Consistente Ottocodificada do Estado de Minas Gerais (BHTCOMG) para posterior cálculo das vazões em cada trecho da hidrografia.

Assim, como produto final, se tem para qualquer seção fluvial, as vazões características Q_{mid} ; $Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{95} e a área de drenagem correspondente para todas as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Estado de Minas Gerais.

É importante destacar alguns pontos relevantes na metodologia de cálculo das vazões apresentadas em UFV/IGAM (2012). Primeiramente, o estudo não cita a utilização de séries naturalizadas de vazões, e leva a crer que a regionalização foi realizada através de dados observados, portanto, sem a consideração das vazões naturalizadas. Sabe-se que a naturalização de vazões é um processo complexo, porém na bacia hidrográfica do rio Paraopeba uma avaliação seria importante, visto que a retirada de água do Sistema de Abastecimento da RMBH acaba se tornando uma transposição significativa de água que não retorna para a bacia, através dos reservatórios de Vargem das Flores, Rio Manso e Serra Azul.

Outro ponto relevante é que a espacialização realizada não permite o cálculo das vazões características incrementais, pois não há continuidade na malha hidrográfica, gerando alguns resultados negativos.

Desta forma, apesar do presente relatório apresentar os resultados obtidos através de dados secundários, na etapa de prognóstico algumas análises adicionais e até o cálculo de vazões a partir de outras metodologias poderão ser utilizadas. Apesar dessas ressalvas, isso não inviabiliza os dados apresentados no relatório, apenas

levantam questões que deverão ser discutidas tecnicamente nas próximas etapas do plano.

4.2. Vazões Médias

As vazões médias de longo período (Q_{mld}) representam a média aritmética das vazões diárias de todo período das séries disponíveis, ela também é o limite teórico de regularização de uma bacia. Sua análise e de profunda importância para conhecer o comportamento médio das disponibilidades hídricas da região.

Partindo dos resultados apresentados em UFV/IGAM (2012), para a bacia do rio Paraopeba o melhor ajuste estatístico para representar as vazões médias foi o potencial. Portanto, a Q_{mld} pode ser obtida pela seguinte equação:

$$Q_{mld} = 0,0308390135398044 * A^{0,91777825986436},$$

onde:

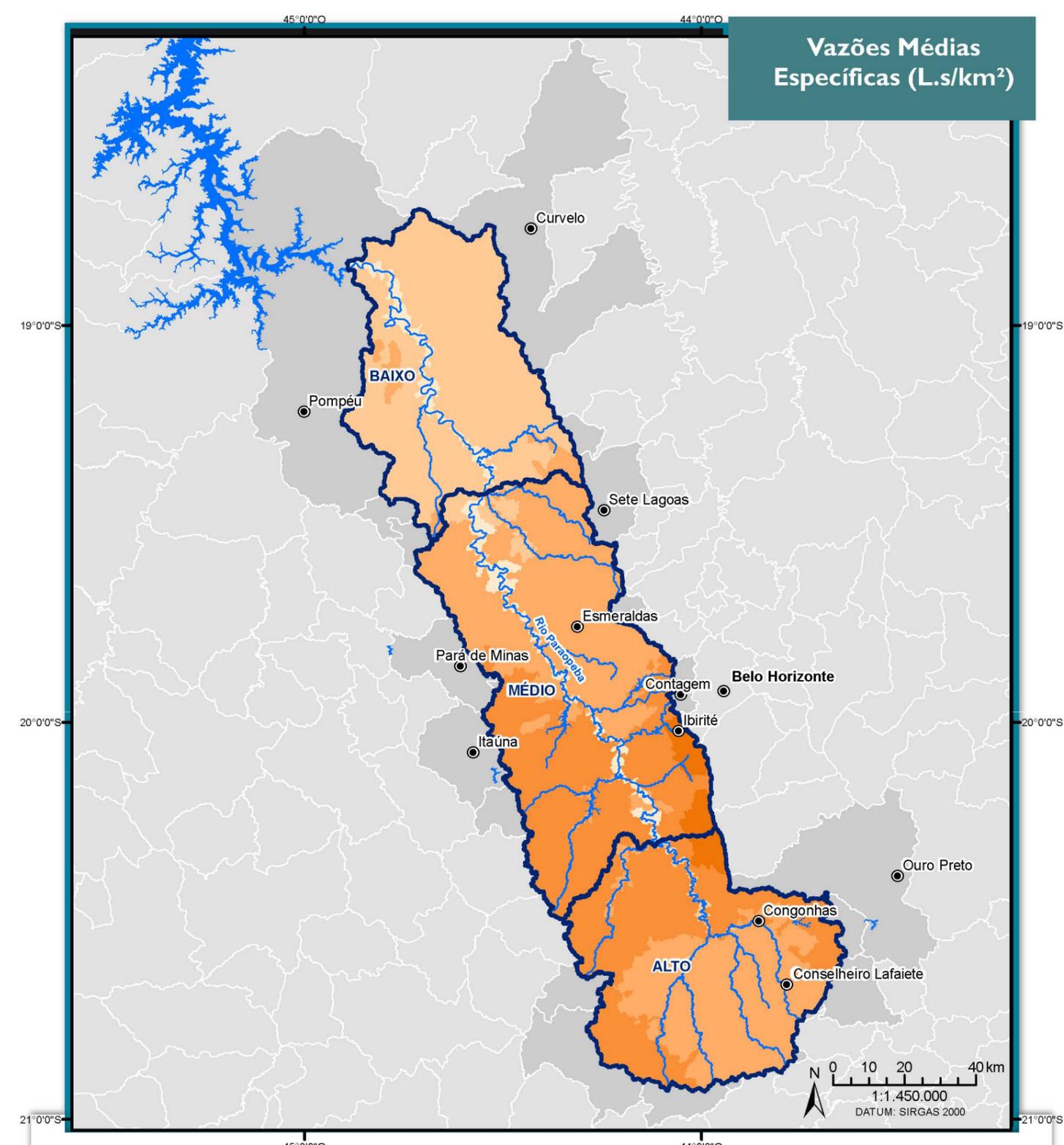
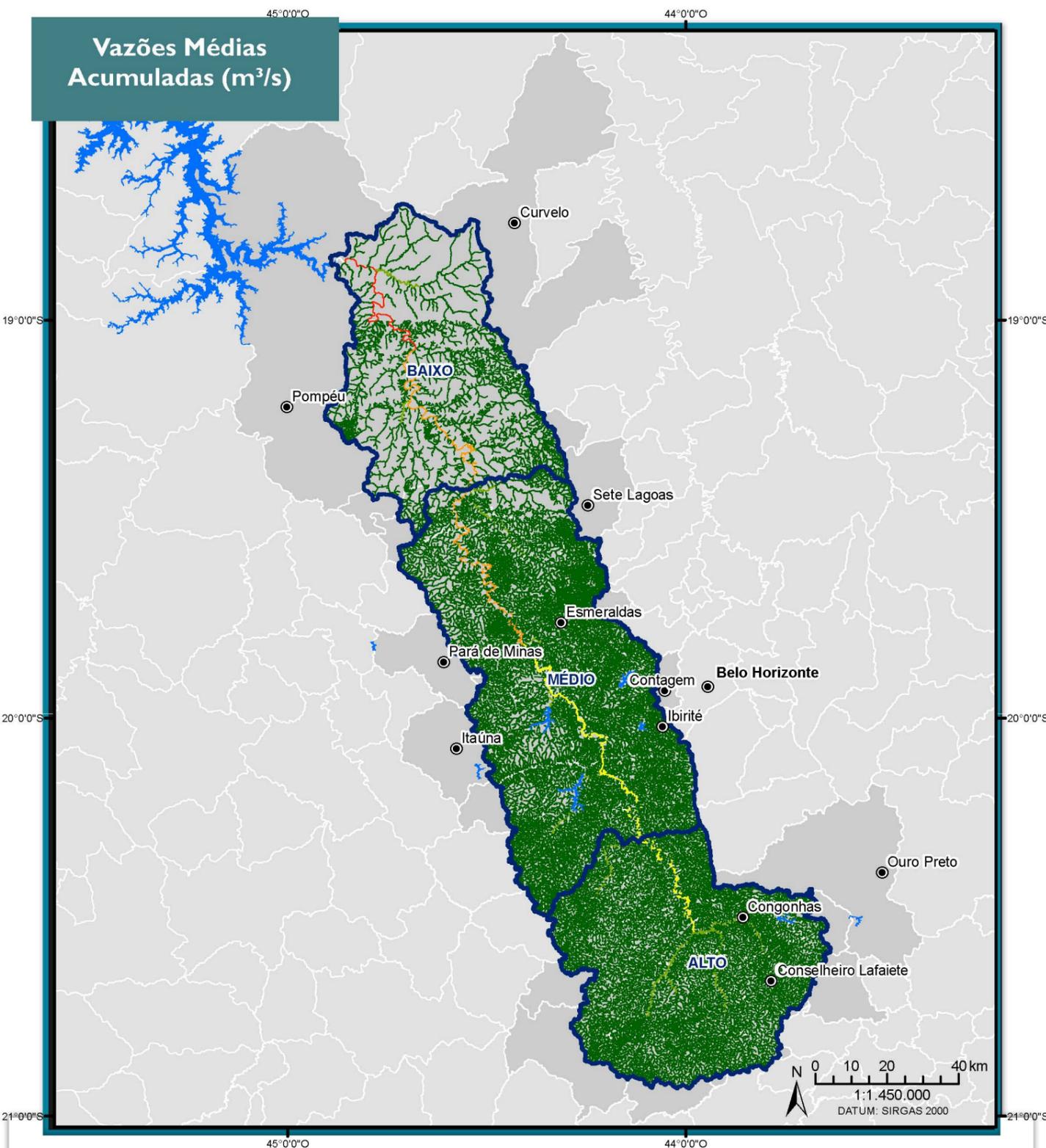
Q_{mld} = vazão média de longo termo, $m^3 s^{-1}$;

A = área de drenagem, km^2 .

Os resultados das vazões médias apresentam vazões específicas com valores que ficam aproximadamente entre 14 e 23 L.s/ km^2 (Figura 4.1). Esses resultados são compatíveis com a distribuição de precipitação e indicam uma produtividade alta em relação ao resto da Bacia do Rio São Francisco. Comparando com outros estudos, considerando “Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais” (COPASA, 1993); o Atlas Digital de Minas Gerais (2007); e a Base Físico-Territorial do Plano Nacional de Recursos Hídricos, de acordo com os dados apresentados no Plano Estadual de Recursos Hídricos (IGAM, 2011) os valores de vazões médias variam de 8 a 22 L.s/ km^2 , intervalo semelhante ao obtido pelo estudo no qual a metodologia de obtenção de vazões do presente Plano foi baseada.

Vazões Médias Acumuladas (m³/s)

Vazões Médias Específicas (L.s/km²)



- Legenda**
Vazões Médias Acumuladas (m³/s)
- 0,00 - 5,00
 - 5,00 - 25,00
 - 25,00 - 100,00
 - 100,00 - 150,00
 - 150,00 - 170,87

- Legenda**
Vazões Médias Específicas (L/s.km²)
- 14,24 - 16,00
 - 16,00 - 18,00
 - 18,00 - 20,00
 - 20,00 - 22,00
 - 22,00 - 23,07

- Convenções Cartográficas**
- Principais Sedes Municipais
 - Limite Municipal
 - Hidrografia Principal
 - Limite SF3: Rio Paraopeba
 - Reservatório
 - Municípios SF3: Rio Paraopeba

FONTE: UFV/IGAM, 2012.

FONTE: UFV/IGAM, 2012.

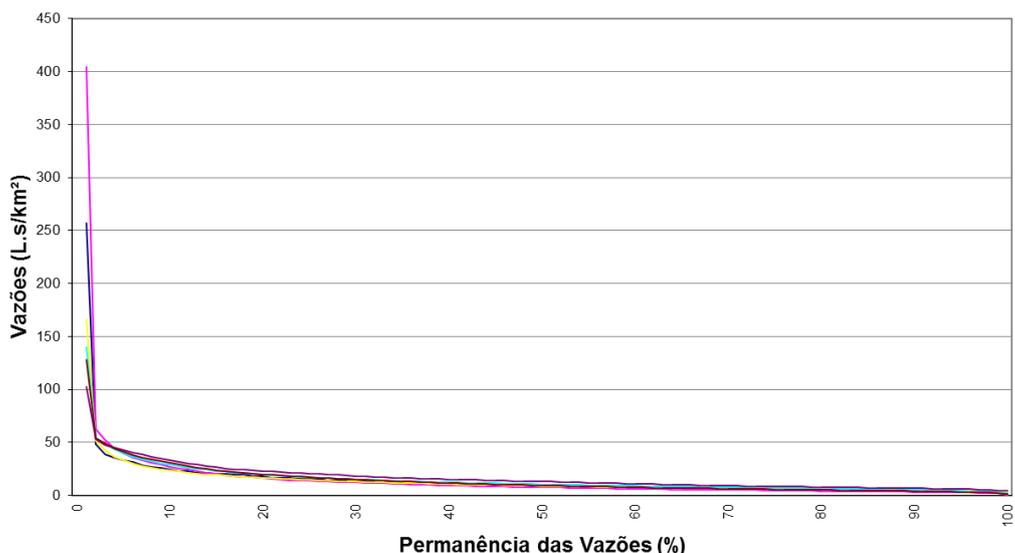
4.3. Vazões Mínimas

4.3.1. Curva de Permanência

A curva de permanência é a distribuição das frequências acumuladas de vazões. As frequências podem ser interpretadas como a porcentagem de tempo em que uma determinada vazão foi igualada ou superada no histórico de vazões. Para analisar o comportamento das curvas de permanência na bacia, as mesmas foram traçadas para vazões específicas diárias, para 28 estações fluviométricas, as quais possuíam mais e 20 anos de dados compreendidos entre os anos de 1965 e 2018. O traçado a partir das vazões diárias é mais preciso, pois ele demonstra melhor as variações de vazões ocorridas.

A partir dos valores, foram sobrepostas as curvas de permanência de todas as estações, destacando as três maiores e três menores áreas de drenagem. Observa-se com esta sobreposição que o comportamento da distribuição de vazões é muito similar em toda a bacia como mostra a Figura 4.2 abaixo:

Figura 4.2 - Sobreposição das Curvas de Permanência de Vazões



Da mesma forma que as vazões médias, o estudo UFV/IGAM (2012) foi o utilizado como resultado das vazões mínimas da curva de permanência, quais sejam: vazão média com permanência de 95% e vazão média com permanência de 90%.

Para a vazão média com permanência de 95%, o ajuste potencial também foi o que resultou um melhor coeficiente de determinação, e o coeficiente limitador retirado a partir dos dados das estações fluviométricas foi de 0,005488. Desta forma, a equação está apresentada a seguir:

$$Q_{95} = 0,00632232506055118 * A^{0,957788203263311},$$

onde:

Q_{95} = vazão com permanência de 95%, $m^3 s^{-1}$;

A = área de drenagem, km^2 .

Já para a vazão média com permanência de 90%, a equação também obtida pelo ajuste potencial é apresentada a seguir:

$$Q_{90} = 0,00812936618827924 * A^{0,948714929036166},$$

onde:

Q_{90} = vazão com permanência de 90%, $m^3 s^{-1}$;

A = área de drenagem, km^2 .

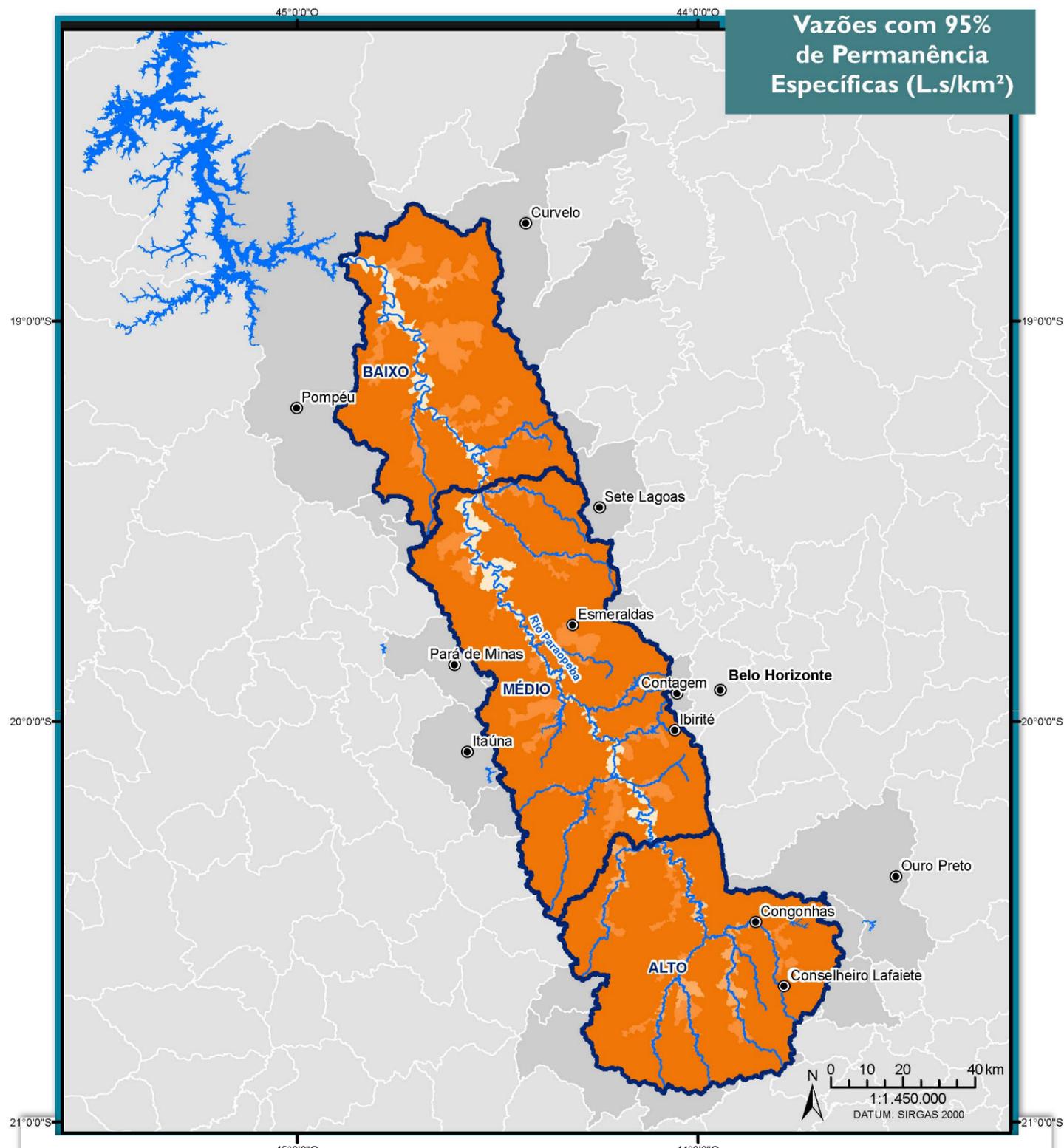
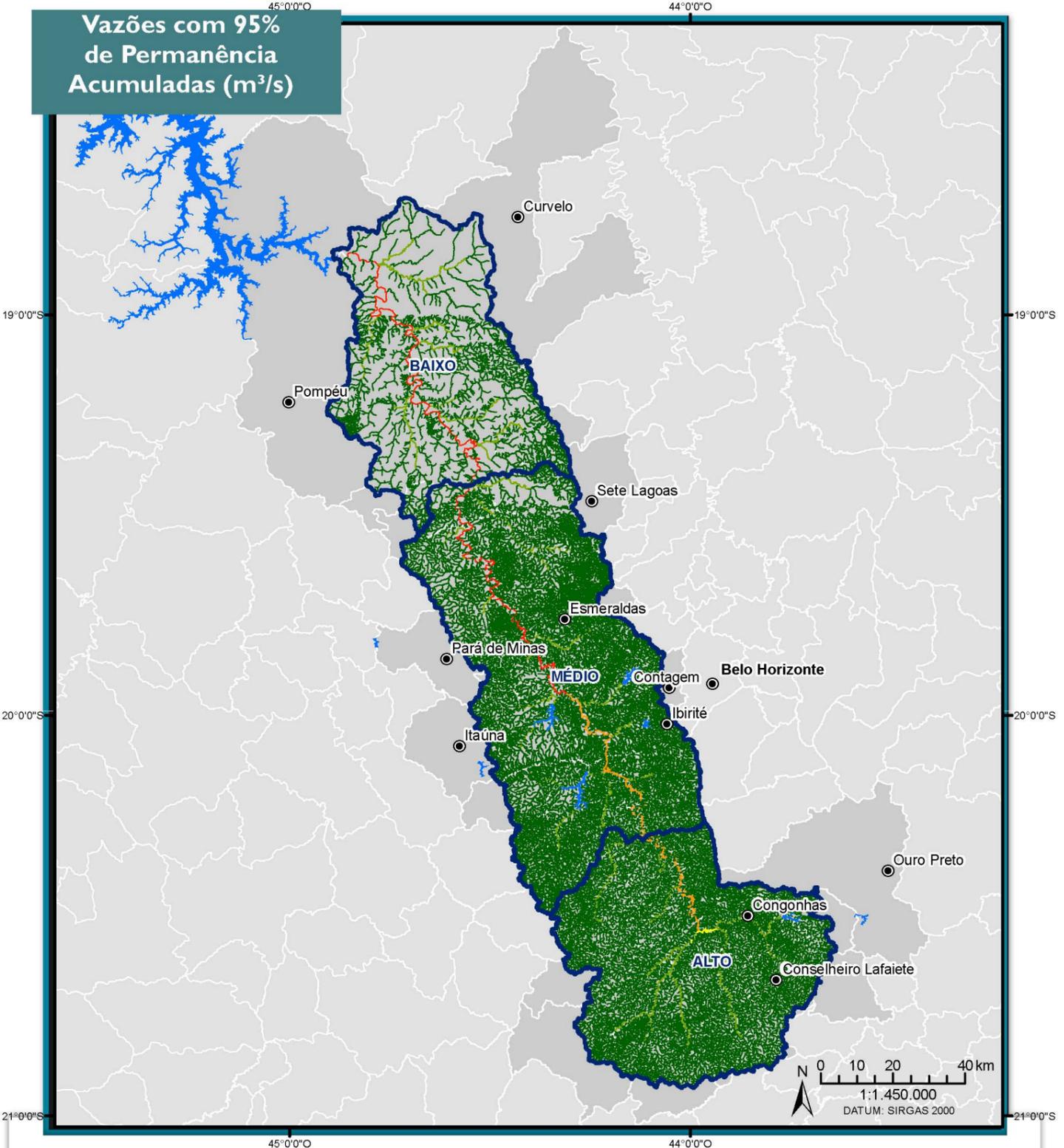
Para esta vazão, o coeficiente limitador retirado a partir dos dados das estações fluviométricas foi de 0,006627.

Os resultados das vazões com 95% de permanência apresentam vazões específicas com valores que ficam aproximadamente entre 4,2 e 5,5 L.s/ km^2 (Figura 4.3). Já os resultados das vazões com 90% de permanência, da Figura 4.4, apresentam vazões específicas ligeiramente maiores que as vazões com 95% de permanência, conforme esperado, com valores que ficam aproximadamente entre 5,0 e 6,5 L.s/ km^2 .

Novamente comparando com outros estudos, considerando “Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais” (COPASA, 1993); o Atlas Digital de Minas Gerais (2007); e a Base Físico-Territorial do Plano Nacional de Recursos Hídricos, de acordo com os dados apresentados no Plano Estadual de Recursos Hídricos (IGAM, 2011) os valores de vazões com 95% de permanência variam de 2,2 a 6,2 L.s/ km^2 . Considerando ainda o Diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (MMA, 2011), pode-se dizer essa vazão é alta se comparada ao restante da Bacia do Rio São Francisco.

Vazões com 95% de Permanência Acumuladas (m³/s)

Vazões com 95% de Permanência Específicas (L.s/km²)



- Legenda**
Vazões com 95% de Permanência Acumuladas (m³/s)
- 0,00 - 0,50
 - 0,50 - 5,00
 - 5,00 - 10,00
 - 10,00 - 25,00
 - 25,00 - 51,00

- Legenda**
Vazões com 95% de Permanência Específicas (L/s.km²)
- 4,25 - 4,50
 - 4,50 - 4,75
 - 4,75 - 5,00
 - 5,00 - 5,25
 - 5,25 - 5,49

- Convenções Cartográficas**
- Principais Sedes Municipais
 - Limite Municipal
 - Hidrografia Principal
 - Limite SF3: Rio Paraopeba
 - Reservatório
 - Municípios SF3: Rio Paraopeba

FONTE: UFV/IGAM, 2012.

FONTE: UFV/IGAM, 2012.