



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO



ESCOLA POLITÉCNICA

AVALIAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA DO PONTO DE VISTA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PIABANHA/RJ

Bianca Santos Molinari

Orientadores:

José Paulo Soares de Azevedo

Heloísa Teixeira Firmo

**Rio de Janeiro
2011**

**AVALIAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA DO PONTO DE VISTA DA QUALIDADE DAS
ÁGUAS NA BACIA DO RIO PIABANHA/RJ**

Bianca Santos Molinari

Projeto de Graduação de Curso submetido ao corpo docente do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Data da defesa: 8 de setembro de 2011

Examinado por:

Orientador: Prof. José Paulo Soares de Azevedo, D.Sc., UFRJ

Orientadora: Prof^a. Heloisa Teixeira Firmo, D.Sc., UFRJ

Avaliador: Prof. Marcelo Gomes Miguez, D.Sc., UFRJ

Rio de Janeiro
SETEMBRO de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Molinari, Bianca Santos

Avaliação da vazão ecológica do ponto de vista da qualidade das águas na Bacia do Rio Piabanha/RJ/Bianca Santos Molinari. – Rio de Janeiro:UFRJ / Escola Politécnica, 2011.

XI, 101 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo e Heloísa Teixeira Firmo

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica/
Curso de Engenharia Civil, 2011.

Referências Bibliográficas: p. 67-69.

1. Vazão Ecológica. 2. Demanda Bioquímica de Oxigênio. I. Azevedo, José Paulo *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À minha mãe, pelos tantos sacrifícios objetivando minha boa educação e todo o carinho e confiança. Ao meu Pai, por ser meu fã número 1, grande incentivador e patrocinador. Aos meus avôs, Hilza, Aparício *in memoriam* e Arlette pelo amor e paciência infinitos. A toda minha família pelo afeto e compreensão por todas as vezes que não pude estar presente por estar estudando para algum exame.

Aos meus amigos e os colegas pelo incentivo e apoio. Sem vocês tudo teria sido muito mais difícil e tortuoso.

Aos professores de toda Escola Politécnica pela transferência de conhecimento, principalmente aos professores do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente

Aos meus orientadores, Zé Paulo e Heloísa, por terem aceitado de imediato a minha orientação, pela amizade e por terem me instruído para alcançar o objetivo almejado.

Aos colegas do Projeto Vazão Ecológica por todos os dados disponibilizados e pelas discussões enriquecedoras e ao Ludmilson Mendes, por ter me disponibilizado sua dissertação.

Ao Thiago de Paula Pires, que contribuiu de maneira inestimável para a conclusão deste trabalho. Por sua imensurável ajuda e por todo o apoio e material que me foi confiado.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Civil.

AVALIAÇÃO DA VAZÃO ECOLÓGICA DO PONTO DE VISTA DA QUALIDADE DAS ÁGUAS NA BACIA DO RIO PIABANHA/RJ

Bianca Santos Molinari

Setembro / 2011

Orientador: José Paulo Soares de Azevedo

Co-orientador: Heloísa Teixeira Firmo

Curso: Engenharia Civil

As metodologias simplificadas presentes nas legislações estaduais brasileiras para cálculo da vazão ecológica não levam em consideração os possíveis impactos da redução de vazões na qualidade do corpo d'água. A redução da vazão em um trecho pode ter efeitos devastadores no ecossistema da região podendo impossibilitar os múltiplos usos da água. Este trabalho propõe a análise da qualidade da água adotando como parâmetro a Demanda Bioquímica de Oxigênio em um trecho do Rio Piabanha.

Este rio foi escolhido por fazer parte de uma sub-Bacia do Rio Paraíba do Sul, tendo grande importância social e econômica, na qual recentemente vêm sendo realizados diversos estudos. Foram analisados diferentes cenários, adotando a vazão de referência proposta na legislação do estado do Rio de Janeiro, com análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio, considerando o enquadramento do rio, ao longo de todo o ano e no mês mais seco correspondente a situação mais crítica de qualidade.

A escolha da DBO como parâmetro da análise se deve à constatação de que um dos mais graves problemas de qualidade de água nos corpos d'água brasileiros se deve à carga orgânica lançada nos rios devido à insuficiência no tratamento do esgoto doméstico.

Os resultados mostraram que o conceito adotado atualmente para vazão ecológica pode levar a situações futuras de colapso nas bacias brasileiras, sendo necessária uma discussão mais detalhada do tema no país.

Palavras-chave: Vazão Ecológica, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Civil Engineering.

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL FLOW FROM THE WATER QUALITY
PERSPECTIVE IN THE PIABANHA WATERSHED/RJ

Bianca Santos Molinari

September / 2011

Advisors: José Paulo Soares de Azevedo

Heloísa Teixeira Firmo

Course: Civil Engineering

The simplified methodologies adopted in the Brazilian state laws to calculate an ecological discharge do not consider the possible impacts of flow reduction in the water quality. The flow reduction of the flow can cause devastating effects on the ecosystem of the region and also render the multiple uses of this resource impossible. This study proposes to analyze water quality by adopting the parameter of biological oxygen demand in the Piabanha's river.

This watershed was chosen because it is an important part of a sub-basin of the Paraíba do Sul watershed, which has a great social and economic importance, where several studies have been conducted recently. Several scenarios were analyzed, taking the reference flow proposed in the water resources law of the state of Rio de Janeiro, with analysis of BOD, considering the framework of the river throughout the year and at its driest month, where the most critical situation occurs in terms of water quality.

The choice of the BOD as a parameter of the analysis is due to the fact that one of the most serious problems of water quality in the Brazilian water bodies is the organic load discharged into the rivers due to inadequate treatment of sewage.

The results showed that the concept adopted today for the ecological discharge can lead to future situations of collapse in Brazilian basins requiring a more detailed discussion of the subject in the country.

Keywords: Environmental Flow, Biological Oxygen Demand, Piabanha Watershed

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 Representação esquemática da localização da Bacia do Rio Paraíba do Sul e da Sub-bacia do Rio Piabanha. Fonte: Adaptado do Caderno de Ações da Bacia do Rio Piabanha e Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2006.....	6
Figura 2-2 Bacia do Rio Piabanha: principais tributários e municípios. Adaptado do Plano de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul. (De Paula, 2011).	7
Figura 2-3 Gráfico do consumo de oxigênio pela degradação da matéria orgânica. Fonte: Sperling (2005).	23
Figura 3-1 Mapa da região contendo a localização dos postos fluviométricos localizados. Fonte: Lou, 2010.....	29
Figura 3-2 Estações de amostragem e pontos de coleta de qualidade de água. (De Paula, 2011).	30
Figura 3-3 Série dos dados de DBO ao longo de um trecho do Rio Piabanha. (De Paula, 2011).	32
Figura 3-4 Séries mensais de DBO no período seco (jul-out). (De Paula, 2011).....	32
Figura 3-5 Distribuição de Gumbel para Posto Petrópolis.....	37
Figura 3-6 Distribuição de Gumbel para Posto Pedro do Rio.....	41
Figura 3-7 Distribuição de Gumbel para Posto Areal.	44
Figura 3-8 Distribuição de Gumbel para Posto Moura Brasil.....	48
Figura 3-9 Relação entre as vazões $Q_{7,10}$ e as áreas de drenagem.	49
Figura 3-10 Relação entre as vazões $Q_{med,ago}$ e áreas de drenagem.....	54
Figura 3-11 Relação entre vazões e áreas de drenagem.....	51
Figura 3-12 Fluviograma (entrada do modelo) para Q_{95} . Fonte: Adaptado de De Paula, 2011..	53
Figura 3-13 Resultados de DBO para Q_{95} ao longo do trecho do Rio Piabanha.....	54
Figura 3-14 Fluviograma (entrada do modelo) para $Q_{med,ago}$	56
Figura 3-15 Resultados de DBO de agosto para $Q_{med,ago}$ ao longo do Rio Piabanha. ..	57
Figura 3-16 Fluviograma (entrada do modelo) para 50% da $Q_{7,10}$	59
Figura 3-17 Resultados de DBO para 50% da $Q_{7,10}$ ao longo do trecho do Rio Piabanha.	60
Figura 3-18 Comparação dos resultados de DBO ao longo do trecho do Rio Piabanha.	61
Figura 3-19 Fluviograma (entrada do modelo) para $Q_{7,10}$ e DBO mediana anual.....	63
Figura 3-20 Resultados de DBO mediana anual para $Q_{7,10}$ ao longo do trecho do Rio Piabanha.	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1 Parâmetros climáticos anuais da região. Fonte: INMET. Disponível em < http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa=evap >. Acesso em: 15 Jul. 2011 ..7	
Tabela 2-2 Tabela das vazões ecológicas por Estado. Fonte: Adaptado da tabela apresentada na Oficina de Vazão Ecológica de 24/11/08, ministrada pelo gerente de outorgas da ANA, Luciano Menezes e de Farias Júnior, 2006. 19	19
Tabela 2-3 Relação entre a vida aquática e os níveis de DBO. Fonte: Jordão, P. E & Pessoa, A. C (2005). 22	22
Tabela 2-4 Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO. Fonte: Sperling, 2007. 25	25
Tabela 3-1 Estações Fluviométricas (adaptado de HidroWeb)..... 29	29
Tabela 3-2 Estatísticas dos dados de monitoramento de DBO para o mês de agosto. Fonte: Fornecido por Thiago de Pires Paula.....32	32
Tabela 3-3 Valores Observados para o Posto Petrópolis. 35	35
Tabela 3-4 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Petrópolis..... 36	36
Tabela 3-5 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Petrópolis (observado). 36	36
Tabela 3-6 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Petrópolis (Gumbel). 37	37
Tabela 3-7 Valores Observados para o Posto Pedro do Rio. 38	38
Tabela 3-8 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Pedro do Rio..... 39	39
Tabela 3-9 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Pedro do Rio (observado). 39	39
Tabela 3-10 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Pedro do Rio (Gumbel)..... 40	40
Tabela 3-11 Valores Observados para o Posto Areal. 42	42
Tabela 3-12 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Areal. 42	42
Tabela 3-13 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Areal (observado). 43	43
Tabela 3-14 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Areal. 43	43
Tabela 3-15 Valores Observados para o Posto Moura Brasil..... 45	45
Tabela 3-16 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Moura Brasil..... 45	45
Tabela 3-17 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Moura Brasil. 46	46
Tabela 3-18 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Moura Brasil. ... 47	47
Tabela 3-19 Quadro resumo das vazões $Q_{7,10}$ obtidas nos Postos Fluviométricos. 48	48
Tabela 3-20 Quadro resumo das vazões $Q_{med,ago}$ obtidas nos Postos Fluviométricos. 50	50
Tabela 3-21 Quadro resumo das vazões obtidas nos Postos Fluviométricos..... 51	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD Área de Drenagem
AHE Aproveitamento Hidrelétrico
ANA Agência Nacional de Águas
APA Área de Proteção Ambiental
APP Área de Preservação Permanente
CNA RH Cadastro Nacional de Recursos Hídricos
CNRH Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPPE Coordenação dos Programas de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPRM Serviço Geológico do Brasil
DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNAEE Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
DNOCS Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ESWM Ecologically Sustainable Water Management
E.U.A. Estados Unidos da América
FEEMA Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente
HIDROWEB Sistema de Informações Hidrológicas
IEF Fundação Instituto Estadual de Florestas
IFIM InstreamFlow Incremental Methodology
INEA Instituto Estadual do Ambiente
MLT Média de Longo Termo
MMA Ministério do Meio Ambiente
MME Ministério de Minas e Energia
NT Norma Técnica
OD Oxigênio Dissolvido
PHABSIM - Physical Habitat Simulation System
PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos
USEPA United States Environmental Protection Agency
RJ Rio de Janeiro
SERLA Fundação Superintendência Estadual de Rios e Lagoas
U.S.F.W.S. United States Fish and Wildlife Service

LISTA DE VARIÁVEIS

m	Número de elementos da amostra
K_T	Fator de frequência
i	Posição do valor amostral considerado na série classificada em ordem crescente
p	Probabilidade de uma vazão não ser igualada ou superada em um ano qualquer
Q_7	Média da vazão mínima de 7 dias consecutivos de uma série histórica
Q_{7m}	Valor mínimo da série de vazões Q_7 de um ano hidrológico
$\overline{Q_{7m}}$	Média da série formada pelos valores de Q_{7m}
$Q_{7,T}$	Mínimo da vazão média de 7 dias consecutivos com período de retorno igual a T anos
$Q_{7,10}$	Vazão mínima média de 7 dias consecutivos com recorrência de 10 anos
$Q_{med,ago}$	Vazão média do mês de agosto
Q_P	Vazão de permanência disponível no tempo com garantia igual a P%
Q_{REF}	Vazão de referência para outorga
S_n	Desvio padrão amostral das variáveis reduzidas de Gumbel
S_q	Desvio padrão amostral das vazões Q_{7m}
T	Período de retorno ou recorrência, em anos
y	Variável reduzida de Gumbel
y_n	Média amostral das variáveis reduzidas de Gumbel

SUMÁRIO

Capítulo I – Introdução.....	1
1.1 Caracterização do Problema	1
1.2 Justificativa	3
1.3 Objetivos	3
1.4 Metodologia.....	4
Capítulo II - Contextualização Temática.....	5
2.1 Caracterização da Bacia do Rio Piabanha.....	5
2.1.1 Localização	5
2.1.2 Caracterização do Regime Climático	7
2.1.3 Caracterização do Regime Pluvial.....	8
2.1.4 Ocupação e Uso do Solo	8
2.1.5 Caracterização do Regime Fluvial.....	9
2.2 Caracterização da vazão ecológica	10
2.2.1 Métodos.....	12
2.2.2 Escolha do método	16
2.2.3 Legislação.....	17
2.3 Caracterização da qualidade das águas	20
2.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio.....	21
2.3.2 Modelo Matemático	26
Capítulo III- Resultados	28
3.1 Cálculo da Vazão Ecológica	28
3.1.1 Preparação dos dados.....	28
3.1.2 Obtenção da $Q_{7,10}$	32
3.1.3 Obtenção da Q_{95}	49
3.1.4 Obtenção da $Q_{med,ago}$	50
3.1.5 Análise dos Resultados de Vazão	51
3.2 Análise dos Cenários.....	52
3.2.1 Cenário reduzindo-se a vazão no trecho à Q_{95}	52
3.2.2 Cenário Atual.....	55
3.2.3 Cenário reduzindo-se a vazão no trecho à $Q_{7,10}$	57
3.2.4 Comparação dos cenários para o mês de agosto	61
3.2.5 Cenário reduzindo-se a vazão a 50% da $Q_{7,10}$ ao longo do ano.....	62
Capítulo IV – Considerações Finais	65
Capítulo V - Referências Bibliográficas.....	67

Capítulo I – Introdução

1.1 Caracterização do Problema

Acompanhando tendência mundial, os recursos hídricos no Brasil foram estabelecidos como bens públicos de domínio da União, Estados ou Distrito Federal e dotados de valor econômico.

Neste novo cenário de preocupação ambiental e hídrica, por ocasião da lei 9.433/97 foram estabelecidos os instrumentos da gestão dos recursos hídricos no país. São eles: planos de recursos hídricos, outorga de direito de uso dos recursos hídricos, cobrança pelo uso da água, enquadramento dos corpos de água em classes de usos preponderantes, sistema de informações sobre recursos hídricos e compensação financeira aos municípios.

Apesar de o Brasil possuir uma das legislações mais avançadas do mundo, sua aplicação ainda não é plenamente efetiva. Após quase 15 anos de criação dessa lei, ainda existem muitas bacias brasileiras nas quais os instrumentos de gestão ainda não foram implantados, em alguns casos por ausência de uma necessidade efetiva de aplicação, mas, na maioria dos casos, sua aplicação é apenas negligenciada.

Devido à abundância hídrica do nosso país, a água nunca foi tratada com o respeito que merece. Até os dias de hoje, poucos são os usuários que pagam pelo seu uso, não havendo preocupação com sua escassez, ou com as condições ambientais provocadas por sua retirada excessiva e/ou lançamento de efluentes.

Os maiores usuários de água no Brasil são os irrigantes. A irrigação é uma atividade que exige muita água e seu consumo é intensificado devido ao baixo ou nenhum valor cobrado pelo seu uso. Os agricultores fazem uso de métodos com níveis de eficiência baixíssimos, pois esses métodos são mais econômicos apesar do maior desperdício. Poucos são os usuários nesse setor que se preocupam com as questões ambientais, buscando adotar métodos mais modernos e adequados à realidade atual de preservação dos recursos hídricos.

No setor hidrelétrico, embora as usinas façam uso não-consuntivo da água, ao longo do Século XX foram construídas muitas barragens em todo o mundo, com objetivo de favorecer diferentes usos da água, como por exemplo, a construção de reservatórios que visam aumentar a disponibilidade de água durante a estiagem ou reduzir os problemas de inundação durante as cheias. Os maiores problemas encontrados em relação as alterações no hidrograma natural dos corpos d'água encontra-se nas usinas que retiram parte da vazão natural do leito do rio, nomeadamente as usinas com reservatório ou as usinas do tipo desvio.

No entanto, não só os aproveitamentos hidrelétricos ou a irrigação podem alterar o hidrograma natural do corpo hídrico, como também qualquer outro uso pode afetá-lo direta ou indiretamente. A precariedade do sistema de esgotamento sanitário é um dos principais causadores da deterioração da qualidade das águas nos corpos hídricos, o uso de água para diluição de efluentes e esgoto doméstico não pode ser negligenciado.

Nesse cenário, o instrumento de gestão outorga¹ se torna indispensável, sendo necessária sua correta implantação em todas as bacias brasileiras, em que a disponibilidade de água não é suficiente para atender as atuais e futuras demandas de água, nem em termos quantitativos, nem qualitativos.

Normalmente, este valor de referência tem sido fixado em função de métodos essencialmente estatísticos. No Rio de Janeiro, é utilizado um percentual da vazão mínima média, com 7 dias consecutivos de duração e tempo de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), tendo esse critério também sido utilizado em outras legislações estaduais, principalmente do sul e sudeste. Nas legislações estaduais do Norte e Nordeste, adota-se uma porcentagem da vazão na curva de permanência (90 e 95% do tempo).

¹A outorga é um instrumento que tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água; é a garantia de acesso à água, ou a habilitação para o seu uso, que se efetiva através do exercício da gestão integrada dos recursos hídricos em nível de bacia hidrográfica.

Por serem essencialmente estatísticas, estas vazões de referência não consideram aspectos ecológicos, como a qualidade da água. No Brasil, onde em muitas regiões os cursos de água encontram-se com a qualidade da água deteriorada, a aplicação desses métodos pode levar a resultados inadequados podendo ocasionar danos irreversíveis ao ecossistema.

Além disso, não há implantação do conceito de hidrograma ecológico, gerando desconforto entre os usuários que se limitam a captar ou lançar as mesmas vazões, ao longo do ano, tanto nos meses de cheia, como nos meses de estiagem.

1.2 Justificativa

A Legislação Brasileira não explicita claramente a vazão ecológica a ser adotada nos cursos d'água. As legislações estaduais, quando existentes, consideram uma vazão máxima outorgável baseada em métodos essencialmente estatísticos, desprezando os aspectos ecológicos como a qualidade da água. Faz-se necessária uma avaliação criteriosa desses métodos, analisando sua aplicabilidade e se os resultados obtidos quanto a sua adequação à realidade das bacias hidrográficas brasileiras.

Para avaliação deste problema, esse trabalho propõe a avaliação da qualidade da água, utilizando para isso um parâmetro típico de qualidade de água e adotando um trecho do Rio Piabanha como caso de estudo. Esse rio foi escolhido por fazer parte de uma Sub-bacia do Rio Paraíba do Sul, tendo grande importância social e econômica, na qual recentemente vêm sendo realizados diversos estudos.

Como parâmetro de qualidade da água, foi escolhida a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pois a mesma reflete principalmente os despejos predominantes de origem orgânica, sendo um importante método de avaliação da carga poluidora utilizada em todo mundo.

1.3 Objetivos

O objetivo principal desse trabalho é avaliar se a vazão mínima de permanência a ser escoada em um trecho do Rio Piabanha, determinada pela legislação estadual, garante os valores mínimos de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) para a classe do corpo d'água proposta no enquadramento do mesmo.

O objetivo secundário é o de confirmar a precariedade do método proposto, provando que, ao se manter a vazão mínima prevista pela legislação, não se mantêm condições adequadas para os múltiplos usos da água e para a sobrevivência do ecossistema. Objetiva-se levantar discussões que contribuam para o aperfeiçoamento do sistema de gestão dos recursos hídricos.

1.4 Metodologia

O trabalho é composto por quatro capítulos, que acompanham a sequência lógica de investigação sobre vazão ecológica e os aspectos qualitativos do corpo d'água. Muitos dos termos e expressões utilizados neste capítulo introdutório serão detalhados nos capítulos seguintes.

No segundo capítulo, intitulado "Contextualização Temática", será feita uma caracterização da bacia em estudo, uma descrição de vazão ecológica apresentando as metodologias e legislações existentes, além da incorporação do aspecto da qualidade das águas, com explicação do modelo computacional utilizado, proposto na dissertação "*Diagnóstico e modelagem matemática da qualidade da água em trecho do Rio Piabanha/RJ*" a ser defendida em outubro desse mesmo ano pelo estudante de Mestrado do Programa de Engenharia Civil da COPPE, Thiago Pires de Paula, e do parâmetro escolhido para análise, nomeadamente a DBO.

O terceiro capítulo apresenta os resultados obtidos, no qual diversos cenários foram propostos. Foi feita a avaliação de DBO considerando as medidas realizadas no mês de agosto, mês mais seco na bacia, no qual a qualidade das águas é mais crítica e também é realizada uma análise utilizando a DBO medida de toda série histórica. As vazões analisadas foram as vazões médias do mês de agosto de toda a série histórica, a vazão com 95% de permanência e a vazão ecológica utilizando a metodologia preconizada na legislação do estado do Rio de Janeiro. Serão

analisados diversos cenários, com combinações entre vazões e DBOs, seguido de uma avaliação crítica dos resultados obtidos.

O quarto capítulo apresenta as considerações finais do trabalho, tanto em relação aos cenários simulados quanto à metodologia avaliada para a determinação da vazão ecológica.

Capítulo II - Contextualização Temática

2.1 Caracterização da Bacia do Rio Piabanha

A Bacia do Rio Piabanha é uma das grandes sub-bacias formadoras do Rio Paraíba do Sul e foi escolhida para realização dos estudos propostos nesse projeto. Esta bacia está sendo utilizada para estudos e trabalhos de diversos autores e órgãos, possuindo uma boa quantidade de dados disponíveis, o que favoreceu a sua escolha.

O Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, aprovado pelo CEIVAP (Comitê de Integração da Bacia do Paraíba do Sul), foi um dos trabalhos utilizados como fonte de informações. Teses e dissertações que abordam e contextualizam a Bacia do Rio Piabanha sob diferentes enfoques, também foram consultadas. Dentre elas, podem-se citar: GONÇALVES (2008), LOU (2010) e KLING (2005). Foram utilizados também dados do INEA (Instituto Estadual do Ambiente), CPRM (Serviço Geológico Brasileiro) e CETEM (Centro de Pesquisas Minerais), entre outras referências.

2.1.1 Localização

A Sub-bacia do Rio Piabanha faz parte da Bacia do Rio Paraíba do Sul, que possui área de drenagem com cerca de 55.500 km² e estende-se pelos estados de São Paulo (13.900 km²), Rio de Janeiro (20.900 km²) e Minas Gerais (20.700 km²). A Bacia do Rio Piabanha tem uma área de drenagem de 2.065 km², e está totalmente contida no estado do Rio de Janeiro, abrangendo quatro municípios fluminenses – Areal, Petrópolis, Teresópolis e São José do Vale do Rio Preto, onde vivem cerca de 488 mil pessoas segundo IBGE, 2007.

Nas Figuras 2-1 e 2-2 é possível observar a localização da Bacia do Rio Paraíba do Sul e da Sub-bacia do Rio Piabanha, além dos principais tributários e municípios desta última.



Figura 2-1 Representação esquemática da localização da Bacia do Rio Paraíba do Sul e da Sub-bacia do Rio Piabanha. Fonte: Adaptado do Caderno de Ações da Bacia do Rio Piabanha e Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, 2006.

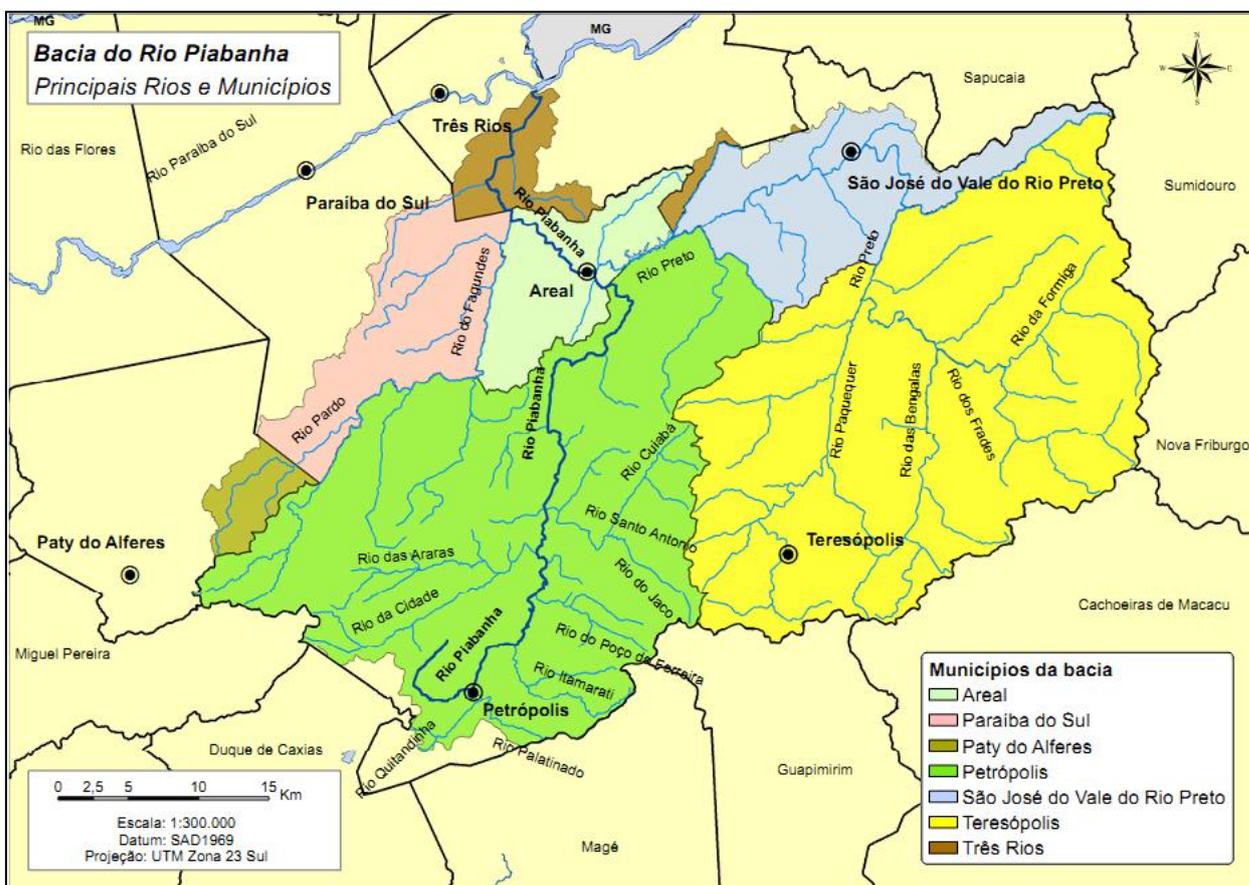


Figura 2-2 Bacia do Rio Piabanha: principais tributários e municípios. (De Paula, 2011)

2.1.2 Caracterização do Regime Climático

A tabela 2-1 reúne os principais parâmetros climáticos da região obtidos através das normais climatológicas disponibilizadas pelo INMET (dados obtidos de 1961 a 1990).

Tabela 2-1 Parâmetros climáticos anuais da região. Fonte: INMET. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/html/clima/mapas/?mapa=evap>>. Acesso em: 15 Jul. 2011

Temperatura Máxima	27°C
Temperatura Mínima	16°C
Evaporação	800 mm
Insolação	1900 h
Umidade Relativa do	80%

A bacia, de acordo com a classificação Climática de Köppen-Geiger² apresenta um clima tropical de altitude, do tipo Cwb. Os verões, de um modo geral, são quentes e úmidos e os invernos brandos.

2.1.3 Caracterização do Regime Pluvial

Existe uma elevada pluviosidade na região devido à orientação da Serra do Mar, pela localização da bacia em região tropical e pela proximidade da superfície oceânica. Nas encostas íngremes, a pluviosidade média anual ultrapassa os 2.500 mm, como nas cidades de Petrópolis e Teresópolis. Nas proximidades dos municípios de Areal e São José do Vale do Rio Preto, a média pluviométrica decresce abruptamente para 1.300 mm, com períodos secos e déficits hídricos bastante pronunciados (LOU, 2010; GONÇALVES, 2008).

Em relação à distribuição das precipitações ao longo do ano, identifica-se, analisando os postos fluviométricos existentes, um período chuvoso de novembro a março. O mês mais seco em termos pluviométricos é julho, sendo que as chuvas voltam a ocorrer no início do mês de agosto.

2.1.4 Ocupação e Uso do Solo

A sua ocupação remonta ao período colonial do início do Século XIX. Os principais núcleos urbanos, Petrópolis e Teresópolis, mais recentemente, apresentaram um acentuado crescimento urbano devido a sua proximidade com a capital. A bacia

²Mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizado em geografia, climatologia e ecologia. A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen. Na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger são considerados a sazonalidade, bem como os valores médios anuais e mensais da temperatura do ar e da precipitação. Cada grande tipo climático é denotado por um código, constituído por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação denota os tipos e subtipos considerados.

apresenta uma área urbana de 2,1% que corresponde principalmente aos municípios de Petrópolis e Teresópolis, importantes pólos da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (GONÇALVES,2008).

Apesar dos recentes problemas com desmatamento e mau uso do solo, devido ao crescimento desordenado, dentre as grandes sub-bacias formadoras do Rio Paraíba do Sul, a Bacia do Rio Piabanha é a que apresenta a maior cobertura florestal, estimada em mais de 40% de suas terras (ZEERJ, 2008). Isso se deve à existência de inúmeras unidades de conservação dentro da bacia, tanto de uso sustentável quanto de proteção integral, como a Área de Proteção Ambiental (APA)³ de Petrópolis, a Reserva Biológica do Tinguá, entre outras. Este aspecto é bastante positivo, no sentido de proteção da nascente do Rio Piabanha, que encontra-se em área protegida.

As áreas agrícolas também são bastante representativas, ocupando 12,4% da área total, localizadas em diversas sub-bacias, como as dos Rios Bonfim, Jacó e Caxambu, entre outros. Predominam as culturas de ciclo curto (verduras e legumes) e não se verifica o uso de técnicas de conservação de solo, como terraceamento e plantio em curva de nível, apesar das fortes declividades e do potencial de erosão hídrica da região. Em geral, as áreas cultivadas se localizam nas margens dos rios e córregos, ocupando Áreas de Preservação Permanente (APP)⁴. Observa-se uso abusivo de agrotóxicos, comprometendo a qualidade das águas (GONÇALVES, 2008).

A Bacia do Rio Piabanha é a que possui o maior número de indústrias dentre as sub-bacias do trecho fluminense do Paraíba do Sul, contando atualmente com 57 indústrias, com mais de 50 empregados cada uma delas. As principais tipologias industriais no âmbito da bacia são as indústrias de bebidas, de produtos

³ Unidade de conservação destinada a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, para a melhoria da qualidade de vida da população local e para a proteção dos ecossistemas regionais. Estabelecida pela Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981.

⁴ Áreas de grande importância ecológica, cobertas ou não por vegetação nativa, que têm como função preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas. Estabelecidas pela Lei Federal nº 4.771/65 (alterados pela Lei Federal nº 7.803/89).

alimentícios, têxtil, moveleira, de equipamentos de uso industrial e confecções (ZEERJ, 2008).

2.1.5 Caracterização do Regime Fluvial

O ano hidrológico na Bacia do Piabanha coincide com o da Bacia do Paraíba do Sul. As maiores vazões ocorrem de dezembro a março e as mínimas de julho a setembro.

Seu principal curso d'água é o Rio Piabanha, que nasce na serra do mar a 1546 metros de altitude na Pedra do Retiro, em Petrópolis (KLING, 2005) e possui 80 km de extensão, banhando os municípios de Petrópolis, Areal e Três Rios, drenando para vale médio do Rio Paraíba do Sul.

2.2 Caracterização da vazão ecológica

O conceito de vazão ecológica surgiu na segunda metade do Século XX, quando os problemas associados ao manejo da água começaram a ser percebidos no meio ambiente (COLLISCHONN *et al*, 2005). Porém o efetivo desenvolvimento de estudos relativos ao tema deu-se a partir da década de 1970.

Inicialmente, considerava-se que a vazão ecológica poderia ser representada por um único valor para todos os meses do ano. No entanto, atualmente, percebe-se nesta premissa uma deficiência, pois os rios têm seus cursos bem diferentes ao longo do ano, o que modifica todo o ecossistema a ele ligado. Então, uma primeira evolução conceitual de vazão ecológica deu-se com a determinação de vazões variáveis ao longo do ano, caracterizando o conceito de hidrograma ecológico. Porém, a legislação de recursos hídricos brasileira ainda adota um valor fixo para todo o ano.

Apesar de ser um tema altamente discutido e publicado no cenário acadêmico nacional de gestão dos recursos hídricos, não há legislação federal brasileira que defina o que é a vazão ecológica (fica a cargo das legislações estaduais e municipais estabelecerem parâmetros e termos). Segundo BERNARDO, 1996 *apud* J. GONDIM, 2006, vazão ecológica: é a demanda necessária de água a ser mantida

num rio de forma a assegurar a manutenção e conservação dos ecossistemas aquáticos naturais, aspectos da paisagem, de interesse científico ou cultural.

Em diversos países, metodologias diferentes são aplicadas para encontrar os valores de vazão mínimos de restituição do corpo hídrico que viabilizem as atividades humanas como geração de energia, abastecimento, irrigação, arrefecimento industrial, recreação, entre outras, de forma a garantir a sobrevivência do ecossistema.

Existem algumas barreiras na implantação de uma vazão ecológica adequada. Uma delas está na resistência por parte das empresas geradoras de energia de adotar uma vazão que reflita as reais necessidades do corpo d'água. Como já dito anteriormente, a construção de reservatórios ou o desvio do rio são os aspectos mais impactantes do hidrograma natural e, portanto, as preocupações com a definição correta desta vazão são ainda maiores para os usuários.

Ao manter a vazão ecológica, há redução da energia passível de ser gerada nas usinas, despertando um interesse de minimizar a vazão de restituição. Uma forma de minimizar os prejuízos na geração, que vem sendo utilizada para o caso das usinas de desvio é o turbinamento desta vazão com geração de energia através de pequenas centrais hidrelétricas. No entanto, essa solução nem sempre é viável, visto que estas vazões, geralmente pequenas, proporcionam pequeno lucro na geração, sendo o mesmo superado facilmente pelos gastos com transmissão. Alguns exemplos da geração de energia com a vazão de restituição são o AHE de Simplício, que turбина as águas de desvio através da PCH de Anta, o projeto do complexo de Belo Monte e a UHE em operação Ponte de Pedra.

Alguns estudos estudam a possibilidade do uso de pulsos de vazões maiores, de duas ou três vezes do ano. Esse pulso já gera significativa melhora ecológica nos rios visto que quebra a monotonia ocasionada pela utilização de uma vazão fixa. Esses pulsos podem ser facilmente absorvidos pelas usinas hidrelétricas, visto que reduzem minimamente a perda de energia.

Há resistência por parte dos usuários devido também à adoção de uma vazão fixa ao longo do ano, já que há uma limitação excessiva do uso dos recursos hídricos. A constatação de que a vazão dos rios supera o valor máximo outorgável em quase todo o tempo desperta nos usuários a sensação de desperdício de água. (LANNA et al., 1997 apud MENDES, 2007)

Outra barreira está ligada à aplicabilidade dos métodos existentes para determinação da vazão ecológica. Os métodos aplicados podem ser inadequados à região de estudo, levando a resultados errôneos ou exigir dados de difícil disponibilidade. Há ainda, grande dificuldade de obtenção de dados. Essa carência é ainda maior nas pequenas e médias bacias dos estados brasileiros do Norte-Nordeste. A ausência de dados leva à dificuldade de aplicação, até mesmo de métodos simples, como os hidráulicos e hidrológicos, exigindo considerações que podem falsear os resultados.

Além do problema quantitativo, há também de ser analisado o aspecto qualitativo dos dados disponíveis, visto que a confiabilidade dos mesmos é, por vezes, duvidosa. As séries históricas de vazões, pluviosidade e nível d'água são medidas em campo com instrumentos variados e níveis de precisão diferentes, operados por pessoas com capacitações técnicas e metodologias diversas, além de serem registrados com frequências raramente coincidentes.

2.2.1 Métodos

Os métodos utilizados para a determinação da vazão ecológica podem ser divididos, basicamente, em quatro grandes categorias (KLING et al., 1999 apud FARIAS JÚNIOR, 2006):

- i) Métodos baseados nos registros históricos de vazão;
- ii) Métodos baseados na relação entre parâmetros hidráulicos e a vazão;
- iii) Métodos baseados na relação entre habitat e a vazão;
- iv) Métodos holísticos;

Métodos baseados em registros históricos de vazão

Estes métodos são basicamente estatísticos, baseados em séries históricas, fazendo uso apenas de dados fluviais, desprezando as características físicas do rio e os ecossistemas. Isso não restringe a sua aplicação, porém torna indispensável a análise de compatibilidade das características do método escolhido com a região em estudo, podendo exigir considerações para sua aplicação.

A simplicidade de aplicação é a principal virtude destes métodos, já que se podem determinar as vazões ecológicas, desde que exista uma quantidade razoável de registros históricos, com uma maior agilidade do que outros métodos que necessitam de visitas a campo e/ou mais informações sobre a região em estudo.

No entanto, devido à sua simplicidade, é preciso muito cuidado com a avaliação das informações disponíveis, com devida análise de consistência. O registro histórico deve ser representativo, portanto não deve haver qualquer mudança significativa nas características do escoamento, só sendo aplicável em cursos de águas naturais ou onde as alterações realizadas já tenham sido feitas há muito tempo.

Um grande obstáculo é justamente em relação aos aspectos qualitativos do curso d'água, como já dito anteriormente, visto que tais métodos não levam em consideração aspectos ecológicos.

Existem muitos métodos disponíveis e cada um se baseia em diferentes dados hidrológicos para estimar a vazão ecológica. Alguns destes métodos são: Método de $Q_{7,10}$, método de Tennant ou Montana, método Nova Inglaterra ou Aquatic Base Flow, método do Northern Great Plains Resource Program(NGPRP), método de Hope, método de Arkansas, método de Texas, método da vazão base, método baseado na curva de permanência (Q_{90} e Q_{95}).

As legislações estaduais brasileiras, quando definem critérios para cálculo das vazões máximas outorgáveis, utilizam para esse cálculo uma porcentagem das vazões obtidas através desses métodos, nomeadamente o método de $Q_{7,10}$ e o

método baseado na curva de permanência (Q_{90} e Q_{95}), que serão explicados mais detalhadamente neste trabalho.

Método de Q7,10

Este método foi desenvolvido por Chiang & Jonhson, na década de 1970, com o intuito de determinar uma vazão mínima de referência que permitisse manter condições adequadas de qualidade da água. Posteriormente, começou a ser utilizado para determinação de vazão ecológica, principalmente na região leste e sudeste dos Estados Unidos, em cursos de águas que possuíam problemas de qualidade da água.

É observada a vazão média mínima móvel durante um intervalo de 7 dias consecutivos ao longo de um ano hidrológico. O processo é repetido para cada ano da série histórica. Em seguida, é feito um ordenamento, no sentido de magnitude crescente, e aplicação de uma distribuição probabilística. Usualmente utilizam-se as distribuições de Gumbel ou Weibull, para determinação da vazão mínima de 7 dias do período de retorno desejado, ou seja, 10 anos.

Fixou-se a duração de 7 dias para análise por ser este um intervalo de tempo que leva em conta as variações de consumo dos dias úteis e dos finais de semana, o que possibilitaria a operação dos reservatórios absorver o impacto das variações intra-semanais. O período de retorno de 10 anos foi escolhido por ser considerado um risco adequado à localidade em estudo, ou seja, julgou-se aceitável que em todo ano houvesse 10% de chance da vazão ficar abaixo do valor mínimo exigido para o suprimento urbano. (ONO, 2006 apud MENDES, 2007)

No Brasil, as legislações principalmente das regiões Sul e Sudeste, utilizam percentual desta vazão de referência para estimação da vazão ecológica. Os estados que utilizam essa vazão estão mostrados na tabela 2-2.

Método baseado na curva de permanência (Q_{90} e Q_{95})

As vazões de permanência são obtidas através de curvas de permanência, que relacionam a vazão com a porcentagem do tempo em que ela é igualada ou superada. Essas curvas podem ser elaboradas através de registros diários, mensais ou anuais de vazão ao longo do período histórico considerado. (CRUZ, 2001 *apud* MENDES, 2007).

A vazão de 95% da curva de permanência significa que, durante 95% do tempo, a vazão assume valores iguais ou maiores que o valor de Q_{95} (ou um risco de não acontecer em 5% do tempo). Da mesma forma, a Q_{90} corresponde à permanência durante 90% do tempo (ou um risco de não ocorrer em 10% do tempo).

Assim como no caso do método $Q_{7,10}$, esse método é muito utilizado no Brasil, principalmente nas regiões norte e nordeste, onde as legislações utilizam um percentual da Q_{90} ou Q_{95} para a definição da vazão ecológica. Os estados que utilizam essa vazão estão mostrados na tabela 2-2.

Atualmente são utilizados valores da curva de permanência para estabelecimento da vazão ecológica em uma base anual, com uma vazão fixa para todos os meses do ano. Portanto, são prescritos os mesmos valores para meses de estiagem e chuvosos. A utilização de vazões variáveis com os meses, seguindo, portanto uma base mensal é de suma importância, principalmente para cursos hídricos onde a precipitação tem forte interferência na composição da vazão. O ideal seria a construção de 12 curvas de permanência, uma para cada mês, utilizando apenas os dados dos respectivos meses, seguindo o conceito, portanto, de hidrograma ecológico. Tendência esta ainda não incorporada no Brasil.

Métodos baseados na relação entre parâmetros hidráulicos e a vazão

Os métodos hidráulicos incorporam uma análise mais concreta da morfologia do rio, baseando-se na relação entre a vazão e os parâmetros hidráulicos (perímetro molhado, profundidade máxima, velocidade, área molhada, entre outros), para uma ou mais seções transversais representativas.

A principal característica desses métodos é a possibilidade de seleção de uma ou mais variáveis físicas que sejam afetadas pela variação da vazão, que, por sua vez, constitua um fator limitante para as espécies piscícolas e/ou outras espécies aquáticas. Admite-se que a garantia de um valor mínimo para essas variáveis permitirá a manutenção dessas espécies.

Além disso, há possibilidade de seleção de seções transversais representativas dos vários tipos de habitats existentes, ou seções consideradas críticas para uma determinada espécie. Para isso, as variáveis físicas devem ser sensíveis à variação de vazão.

Alguns dos métodos que compõem essa categoria são: Método do perímetro molhado, Método do Colorado ou da região 2 do U. S. F. W. S., método de Idaho e método da Região 4 do U.S.F.W.S. (FARIAS JÚNIOR, 2006)

Métodos baseados na relação entre habitat e a vazão

Esses métodos fundamentam-se na relação entre habitat e vazão, combinando as características hidráulicas de um trecho de rio com as preferências de habitat de uma espécie em uma determinada fase do seu ciclo de vida, o que possibilita estimar a variação do habitat disponível em função da vazão.

Alguns dos métodos que compõem essa categoria são: método do “WRRRI Cover”, método de Washington, método da Califórnia, método de Oregon e metodologia incremental (Instream Flow Incremental Methodology- IFIM). (FARIAS JÚNIOR, 2006)

Métodos holísticos

Os métodos holísticos surgiram no início da década de 90, visando contribuir de modo efetivo para a mitigação da degradação ambiental proveniente da regularização de vazão provocada por grandes obras hidráulicas, destacando-se as hidroelétricas.

Esses métodos têm como pressuposto a manutenção do regime hidrológico natural do curso hídrico. O grau de manutenção do regime hidrológico é estabelecido a partir da análise de todos os interesses existentes, avaliando os aspectos econômicos, sociais e ambientais. (FARIAS JÚNIOR, 2006)

Alguns dos métodos que compõem essa categoria são: método de construção de blocos (Building Block Methodology) e método do manejo ecologicamente sustentável da água (Ecologically Sustainable Water Management - ESWM). Alguns dos países que utilizam esses métodos são Austrália e África do Sul. (FARIAS JÚNIOR, 2006)

2.2.2 Escolha do método

Não existe uma metodologia mais correta, no entanto alguns métodos podem ser mais adequados a uma determinada região de interesse. Alguns métodos podem estar adaptados a uma região e desconexos a outra. A escolha do método a ser utilizado depende do grau de incertezas que se queira trabalhar e do nível de conservação do ambiente natural que se deseje preservar. Cada caso deve ser analisado cuidadosamente.

Os principais aspectos que devem ser considerados antes da escolha do método a ser aplicado são: interferência da precipitação no escoamento; avaliação do clima da região; tipo do leito do rio, encaixado ou não, e a sua composição; grau de conservação existente e desejado na bacia em estudo; e principais usos para atividades humanas. (FARIAS JÚNIOR, 2006)

2.2.3 Legislação

Até meados do Século XX, quando uso das águas no Brasil ainda era essencialmente agrícola, o aproveitamento dos recursos hídricos permaneceu a

cargo do Ministério da Agricultura. A partir da década de 1950, em virtude da expansão do setor industrial brasileiro e da crescente urbanização, o atendimento às demandas energéticas passou a ser prioritário, e a concessão de outorgas para captação e derivação de águas, para qualquer finalidade, tornou-se atribuição do Ministério de Minas e Energia (MME), exceção feita para o uso destinado à irrigação, que permaneceu no Ministério da Agricultura. Na década de 1960, o Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), vinculado ao MME, assumiu grande parte da responsabilidade sobre o gerenciamento dos recursos hídricos, deixando a cargo do Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) apenas a gestão nas regiões semi-áridas para combate à escassez de água (ONO, 2006 *apud* MENDES, 2007).

A Constituição Federal promulgada em 1988 criou condições para que se introduzisse no país a gestão integrada e participativa dos recursos hídricos. Ela extinguiu o domínio privado das águas, colocando-as sob domínio público – federal ou estadual – e atribuiu à União competência para instituir um sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) propiciou a implantação dos instrumentos de gerenciamento, que a partir de então passou a ocorrer de forma mais incisiva, uma vez que seus objetivos e suas regras de funcionamento foram estabelecidos, bem como as responsabilidades de cada um dos atores envolvidos no sistema – governos, empresas e sociedade civil.

A outorga de direito de uso constitui um dos principais instrumentos de gestão dos recursos hídricos, na medida em que todos os demais se articulam através dela. Tal articulação entre os instrumentos de gestão é comentada no Art. 13 da Lei Federal nº. 9.433/97. Seu objetivo é assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

Uma vez que é objetivo da outorga assegurar o direito de acesso à água e à preservação dos usos múltiplos, deve-se atentar para que a emissão das outorgas não esgote a quantidade de água dos mananciais, nem comprometa sua qualidade.

Tornou-se comum, então, estabelecer um teto para as derivações consuntivas baseados em valores fixos denominados vazões de referência, adotadas na legislação de recursos hídricos de vários estados brasileiros como critério para estabelecer a vazão outorgável máxima. (MENDES, 2007)

Neste sentido, em junho de 2000, o Ministério do Meio Ambiente (MMA) na Instrução Normativa nº 004, Anexo I, Art. 2º, a qual aprova os procedimentos administrativos para a emissão de outorga de direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, define o conceito de vazão ecológica como sendo a vazão mínima necessária para garantir a preservação do equilíbrio natural e a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos.

Já na Resolução Nº 16 de 2001 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), esse conceito é alterado. No Art.21, no item III, apresenta a vazão mínima como sendo aquela necessária à prevenção da degradação ambiental, à manutenção dos ecossistemas aquáticos e à manutenção de condições adequadas ao transporte aquaviário, quando couber, entre outros usos.

Em nível nacional, a ANA (Agência Nacional das Águas), no dia 30 de outubro de 2006, criou a resolução nº 467 que dispõe sobre critérios técnicos a serem observados na análise dos pedidos de outorga em lagos, reservatórios e rios fronteirizos e transfronteirizos. Nessa resolução, admitiu-se que a vazão máxima instantânea outorgável nestes corpos de água será considerada como 70% da vazão de referência, porém não estabelece a vazão de referência. Nas concessões de outorgas mais recentes utilizou-se, em boa parte delas, a curva de permanência com 95% garantia (Q_{95}) (FARIAS JÚNIOR, 2006).

Alguns estados estabeleceram recomendações, através de leis ou decretos complementares, para o cálculo da vazão ecológica. Algumas legislações Estaduais são apresentadas na tabela 2-2.

Tabela 2-2 Tabela das vazões ecológicas por Estado. Fonte: Adaptado da tabela apresentada na Oficina de Vazão Ecológica de 24/11/08, ministrada pelo gerente de outorgas da ANA, Luciano Menezes e de Farias Júnior, 2006.

Região	Estado	Vazão de referência	Valores máximos outorgáveis	Previsão legal
NORTE	AP	não há	não há	não há
	AC	não há	não há	não há
	RO	não há	não há	não há
	RR	não há	não há	não há
	AM	não há	não há	não há
	PA	não há	não há	não há
	TO	Q90	75 % Q90 (fio d'água) 90 % Q90 (reservatórios) 95 % Q90 (rios intermitentes) 25 % Q90 (usuário único)	Decreto nº2.432/05 (NATURATINS)
NORDESTE	SE	Q90	100% da Q 90 30% da Q 90 para cada usuário individual	Resolução 01/01 do CONERH
	AL	Q90	não há	não há
	BA	Q90	80% Q 90 20% Q 90 (usuário único)	Decreto 6.296/97
	CE	Q90	90 % da Q 90	Decreto nº23.067/94
	MA	não há	não há	não há
	PB	Q90	90% da Q 90 reg. Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3	Decreto nº19.260/97
	PE	não há	não há	não há
	PI	não há	não há	não há
	RN	Q90	90% da Q 90	Decreto nº 13.283/97
	CENTRO-OESTE	DF	Q90 e Q7,10	80% Q7,10 ou Q90 (captações) 0,8 x QR90 (lagos naturais ou barramentos implantados em mananciais perenes) 0,90 x Q7,10 (abastecimento humano)
GO		não há	não há	não há
MT		não há	não há	não há
MS		não há	não há	não há
SUDESTE		RJ	Q7,10	50% Q7,10
	ES	não há	não há	não há
	SP	Q7,10	50% da Q 7,10 por bacia. Individualmente nunca ultrapassar 20% da Q 7,10	Lei 9.034/94
	MG	Q90	30% da Q 7,10 para captações a fio d'água 70% da Q 7,10 (reservatórios)	Portarias do IGAM nº 49/2010
SUL	PR	Q95	50% da Q 95	Decreto nº4646/2001
	RS	não há	não há	não há
	SC	não há	não há	não há

Como visto na tabela 2-2, para o Estado do Rio de Janeiro, a portaria da extinta Fundação Superintendência de Rios e Lagoas (SERLA)⁵, estabelece critérios gerais e procedimentos técnicos e administrativos, para emissão de outorga de direitos de uso de recursos hídricos;

⁵A SERLA, o IEF e a FEEMA foram extintos com a criação do INEA, no ano de 2009.

em seu Art. 5º, determina que para fins de vazão de referência, será utilizado um percentual de 50% da $Q_{7,10}$. O estado determina como uso insignificante⁶ 0,4 l/s para uso superficial e 5m³/dia, subterrâneo, e não faz outorgas de obras hidráulicas.

A escolha da metodologia pelos estados não considerou aspectos importantes para manutenção do ecossistema existente, como a interferência das ações antrópicas na fauna e flora aquática.

A escolha da metodologia seria mais acertada se o comportamento hidrológico da bacia fosse o ponto de partida técnico para a fixação das quantidades outorgáveis de água, segundo critérios que contemplassem as especificidades sociais, econômicas e políticas da região. (MENDES, 2007)

2.3 Caracterização da qualidade das águas

O estado do Rio de Janeiro não possui legislação específica de classificação das águas e enquadramento dos seus corpos hídricos utilizando, portanto, o sistema de classificação e as recomendações da resolução CONAMA 357.

O artigo 42 desta resolução estabelece que enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas como Classe 2. Dessa forma, como ainda não foi realizado o enquadramento dos rios fluminenses da Bacia do rio Paraíba do Sul, dentre eles o Rio Piabanha, o mesmo foi enquadrado nessa classe que se destina à irrigação, criação de espécies para alimentação humana, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário e abastecimento doméstico, mediante tratamento adequado.

Nas localidades com maior densidade de população (Petrópolis e Teresópolis), o crescimento da população não foi acompanhado do aumento da infraestrutura de saneamento, com coleta e tratamento adequado destes efluentes. Com isso, apenas 58% das populações urbanas são atendidas com rede coletora de esgotos e apenas 22% contam com o tratamento de seus efluentes domésticos. Ao longo de toda a

⁶ Uso cuja sua decorrente derivação não cause alterações mensuráveis na quantidade, na qualidade ou no regime do curso d'água, ou mesmo caso o procedimento da outorga implicar em um ônus que se mostre desnecessário ao outorgado ou ao órgão gestor (FUNDAÇÃO COPPETEC, 2002 apud Mendes, 2007).

bacia, os esgotos são lançados majoritariamente in natura, contribuindo de forma significativa para o aumento da matéria orgânica no corpo d'água.

As vazões naturais dos rios são muito baixas para a diluição das cargas lançadas, resultando em altos índices de poluição (GONÇALVES, 2008). Com uma redução destas vazões aos valores mínimos preconizados, a expectativa é de que a situação se torne ainda mais crítica.

2.3.1 Demanda bioquímica de oxigênio

A matéria orgânica presente nos corpos d'água e nos esgotos é uma característica de primordial importância, sendo a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo do oxigênio dissolvido pelos microorganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização da mesma. Os principais componentes orgânicos são os compostos de proteínas, os carboidratos, a gordura e os óleos, além da uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros em menor quantidade. (SPERLING, 2005)

A DBO configura-se como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbias, avaliando a quantidade de oxigênio dissolvido, em mg/l, que será consumida pelos organismos aeróbios ao degradarem a matéria orgânica. A resolução do CONAMA estabelece um limite máximo para a DBO, que para a Classe 2 é de 5,0 mg/l.

O ensaio para determinação da DBO é realizado através da diluição e inoculação, com uma quantidade fixa de microorganismos, de uma amostra da água a ser analisada. Mede-se a concentração de oxigênio dissolvido (OD inicial) na amostra. Em seguida, a amostra é selada (para evitar a dissolução de oxigênio adicional) e é mantida em estufa durante cinco dias, a 20°C, em frasco âmbar (para evitar que haja fotossíntese, o que resultaria na produção de oxigênio adicional) e com o pH ajustado entre 6,5 e 8,5. Ao fim dos cinco dias, repete-se a medida do oxigênio dissolvido (OD final). A DBO será a diferença entre o OD final e o OD inicial. Admite-se que nestas condições 80% da matéria orgânica carbonada já estejam mineralizados e começando a nitrificação. Uma oxidação total, em geral, leva cerca de 20 dias. (NBR 12614, 1992)

A DBO reflete principalmente os despejos predominantes de origem orgânica, sendo um importante parâmetro para avaliação da carga poluidora. A queda nos níveis de oxigênio tem impacto estendido a toda comunidade aquática, e cada redução nos teores de oxigênio dissolvido é seletiva para determinadas espécies (SPERLING, 2005). A presença de alto teor de matéria orgânica pode induzir até mesmo à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e outras formas de vida.

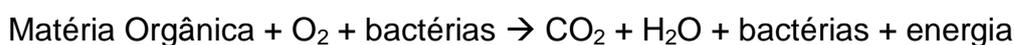
Uma relação entre a DBO e a vida aquática pode ser vista na tabela 2-3.

Tabela 2-3 Relação entre a vida aquática e os níveis de DBO. Fonte: Jordão, P. E & Pessoa, A. C (2005).

Condições do Rio	DBO ₅ 20° C, mg/L	Aspecto estético	OD,% saturação	Vida peixes
Muito Limpo	1	Bom	80%	Vida aquática
Limpo	2	Bom	80%	Vida aquática
Relat. limpo	3	Bom	80%	Vida aquática
Duvidoso	5	Turvo	50%	Só os mais resistentes
Pobre	7,5	Turvo	50%	Só os mais resistentes
Mau	10	Mau	Quase nulo	Difícil
Péssimo	20	Mau	Quase nulo	Difícil

Segundo Sperling (2005), a matéria orgânica nos esgotos se apresenta em duas formas: em suspensão e dissolvida. A matéria em suspensão (ou particulada) tende a sedimentar no corpo d'água, formando o lodo de fundo. A matéria dissolvida (ou solúvel), conjuntamente com a matéria suspensa de pequenas dimensões (dificilmente sedimentável) permanece na massa líquida sujeita a oxidação pelos microorganismos decompositores, principalmente as bactérias heterotróficas aeróbias.

A equação simplificada da estabilização da matéria orgânica é:



A equação acima pode ser descrita também como uma reação de oxidação, pelo fato de o estado de oxidação do carbono ter se elevado na conversão da matéria orgânica em gás carbônico. As bactérias, na presença de oxigênio, convertem a matéria orgânica em compostos simples e estáveis, como água e gás carbônico. Com isto, elas tendem a crescer e se reproduzir, gerando mais bactérias, enquanto houver disponibilidade de alimento (matéria orgânica) e oxigênio no meio.

O conceito da DBO, representando tanto a matéria orgânica, quanto o consumo de oxigênio, pode ser entendido por dois ângulos distintos, ambos tendo como unidade massa de oxigênio por unidade de volume (ex: mgO_2/l):

- DBO remanescente: concentração de MO remanescente na massa líquida em um dado instante;

-DBO exercida: oxigênio consumido para estabilizar a matéria orgânica até este instante.

Na Figura 2-3 é possível observar o aumento do consumo de oxigênio dissolvido à medida que a matéria orgânica vai sendo degradada.

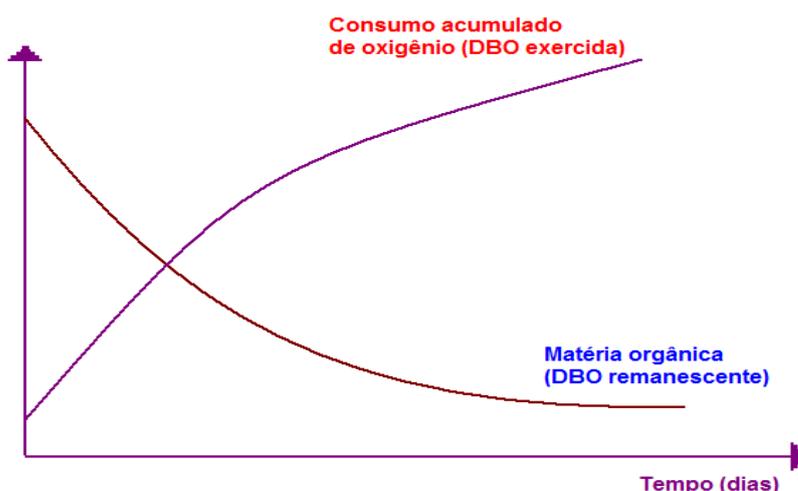


Figura 2-3 Gráfico do consumo de oxigênio pela degradação da matéria orgânica. Fonte: Sperling (2005).

Podemos observar na figura 2-3 que as duas curvas apresentadas são simétricas, em imagem de espelho. No tempo igual a zero, a MO se apresenta em sua concentração total, enquanto o oxigênio consumido é zero. Com o passar do tempo, a MO remanescente vai se reduzindo, implicando no aumento do consumo acumulado de oxigênio. Após um período de vários dias, a matéria orgânica está praticamente toda estabilizada (DBO remanescente igual a zero).

Foi visto ao longo desse item, que existem duas formas principais de decaimento da DBO, sua oxidação e sedimentação. Existe ainda um terceiro fator que pode influenciar na concentração de DBO, que é a carga difusa, mas que foi desconsiderado nesse trabalho por ser considerado desprezível.

A equação final utilizada para determinar a acumulação da DBO é:

$$\frac{\partial L}{\partial T} = -K_d L - K_s L + L_{rd}$$

Obs. $-K_d L - K_s L = -(K_d + K_s) \times L = -K_r \times L$

Onde:

$\frac{\partial L}{\partial T}$: parcela corresponde a acumulação de DBO no tempo T;

$-K_d L$: parcela corresponde ao decaimento devido a oxidação da MO, K_d é o coeficiente de decomposição da DBO;

$-K_s L$: parcela corresponde à sedimentação da MO, K_s é o coeficiente de remoção de DBO por sedimentação;

L_{rd} : parcela corresponde à carga difusa;

K_r é o coeficiente de remoção de DBO por decomposição e sedimentação.

A parcela correspondente à carga difusa apresentou valores desprezíveis e não foi considerada nesse trabalho.

Os valores típicos destes coeficientes podem ser encontrados na tabela 2-4.

Tabela 2-4 Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO. Fonte: Sperling, 2007.

Valores típicos dos coeficientes de remoção de DBO (K_1 , K_2 , K_d e K_r) (base e, 20°C)							
Origem	K_1 (laborat)	Rios rasos			Rios profundos		
		Decomp. K_d	Sediment. K_2	Remoção K_r (= K_2+K_d)	Decomp. K_d	Sediment. K_2	Remoção K_r (= K_2+K_d)
Curso d'água recebendo esgoto bruto concentrado	0,35-0,45	0,50-1,00	0,10-0,35	0,60-1,35	0,35-0,50	0,05-0,20	0,40-0,70
Curso d'água recebendo esgoto bruto de baixa concentração	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,25	0,45-1,05	0,30-0,45	0,00-0,15	0,30-0,60
Curso d'água recebendo efluente primário	0,30-0,40	0,40-0,80	0,05-0,10	0,45-0,90	0,30-0,45	0,00-0,05	0,30-0,50
Curso d'água recebendo efluente secundário	0,12-0,24	0,12-0,24	-	0,12-0,24	0,12-0,24	-	0,12-0,24
Curso d'água com águas limpas	0,08-0,20	0,08-0,20	-	0,08-0,20	0,08-0,20	-	0,08-0,20

Nota: rios rasos: profundidade inferior a cerca de 1,0 ou 1,5 m; rios profundos: profundidade superior a cerca de 1,0 ou 1,5 m

Com as captações, lançamentos, tributários e poluição difusa é preciso conhecer o efeito dessa mistura para quantificação da DBO. Para isso, em todos os trechos do curso d'água foi aplicada a equação de Streeter – Phelps:

$$DBO = \frac{DBO_{trib.} \times Q_{trib.} + DBO_{lanç.} \times Q_{lanç.} + DBO_{inc.} \times Q_{inc.} + DBO_{ant.} \times Q_{ant.} - DBO_{capt.} \times Q_{capt.}}{Q_{trib.} + Q_{lanç.} + Q_{inc.} + Q_{ant.} - Q_{capt.}}$$

Onde:

$DBO_{trib.}$ e $Q_{trib.}$ são respectivamente as DBOs e a vazões dos tributários;

$DBO_{lanç.}$ e $Q_{lanç.}$ são respectivamente as DBOs e a vazões dos lançamentos;

$DBO_{inc.}$ e $Q_{inc.}$ são respectivamente as DBOs e a vazões incrementais;

$DBO_{ant.}$ e $Q_{ant.}$ são respectivamente as DBOs e a vazões anteriores;

$DBO_{capt.}$ e $Q_{capt.}$ são respectivamente as DBOs e a vazões das captações.

2.3.2 Modelo Matemático

O modelo computacional utilizado neste trabalho foi desenvolvido pelo aluno de mestrado do programa de engenharia civil da COPPE, Thiago Pires de Paula. Este modelo é baseado nas descrições de Rosman et al. (1997) e de Sperling (2007). É um modelo de qualidade de água unidimensional e estacionário para diversos parâmetros, cujas equações, coeficientes e a estrutura geral são semelhantes aos do QUAL2E⁷, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Algumas hipóteses simplificadoras foram assumidas a fim de adequar o modelo aos propósitos da dissertação do autor. Entende-se que os fenômenos representados no modelo bem como as simplificações assumidas são adequados para atender às demandas e ao escopo deste trabalho.

Os fenômenos enfocados neste modelo são o consumo do oxigênio dissolvido (OD) e a autodepuração das cargas poluidoras (carbonáceas, nitrogenadas e fosfatadas) que ocorrem ao longo do Rio Piabanha.

O modelo matemático proposto para a desoxigenação da matéria orgânica carbonácea (DBO) e para o oxigênio dissolvido (OD) é baseado no modelo de Streeter-Phelps conforme explicado no item anterior. Originalmente, este modelo considerava apenas os fenômenos da reaeração e da desoxigenação da DBO no balanço do oxigênio dissolvido. Algumas adaptações nos coeficientes do modelo e a inclusão do fenômeno da nitrificação foram feitas para tornar o modelo mais realista. Adicionalmente, o modelo desenvolvido incorpora a influência dos lançamentos e captações pontuais existentes ao longo do trecho escolhido, bem como a contribuição de tributários e a contribuição por drenagem direta e difusa.

⁷ Foi desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) na década de 80, porém continua sendo amplamente utilizado em diversos estudos. O modelo é unidimensional e simula as principais reações do ciclo de nutrientes, a produção de algas, as demandas bentônica e carbonácea, a reaeração atmosférica e seus efeitos no balanço de OD.

Algumas premissas e características gerais adotadas pelo modelo são:

- Regime estacionário ou permanente;
- Unidimensional;
- Mistura completa instantânea na transversal e na vertical;
- Desconsidera na modelagem do OD, DBO, fósforo e nitrogênio, a influência das algas e da demanda bentônica usualmente adotado na modelagem de rios, para fins de planejamento e alocação de cargas poluidoras;
- Utiliza equações de regressão pra estimar velocidade e profundidade a partir das vazões;

O modelo foi elaborado utilizando como plataforma o programa Microsoft Excel.

O primeiro passo para implantação do modelo foi o conhecimento dos usuários da água⁸ no trecho do rio estudado, além dos dados de DBO bruta e tratada declaradas pelos próprios usuários que foram utilizados como dados de entrada no modelo. Para isso, utilizou-se o CNARH. O CNARH (Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos) é o primeiro passo e pré-requisito para a solicitação de outorga pelo uso da água e das certidões ambientais de reserva hídrica e uso Insignificante de recurso hídrico em bacias federais e em bacias fluminenses. Ele inclui informações sobre a vazão utilizada, local de captação, denominação e localização do curso d'água, empreendimento do usuário, sua atividade ou a intervenção que pretende realizar, como derivação, captação ou lançamento de efluentes.

Os dados de usuários foram obtidos e fornecidos por Mariana Villas Boas, engenheira do CPRM.

No Anexo 1 encontra-se uma tabela contendo os usuários do trecho do estudo, sua localização e os valores de DBO bruta e tratada.

Os dados de vazão inicial foram obtidos através da análise dos diversos postos fluviométricos existentes na bacia, além das equações de regionalização propostas pela CPRM (CPRM, 2003), como será explicado no capítulo de resultados.

⁸Todos que dependem das águas dos cursos d'água do Estado do Rio de Janeiro. Basta captar água de rios ou lagoas, extrair água de poço ou lançar esgotos de forma direta ou indireta em corpo hídrico.

A análise da DBO foi feita para o mês de agosto, mês em que a pluviosidade é baixa, levando o corpo hídrico a situações mais críticas. E também foi realizada uma análise da DBO mediana medida ao longo do ano. No anexo 2, encontram-se os dados utilizados de DBO fornecidos pelo INEA, CPRM e CETEM.

Capítulo III- Resultados

3.1 Cálculo da Vazão Ecológica

3.1.1 Preparação dos dados

Dados Fluviométricos

O trecho escolhido para determinação da vazão ecológica está localizado entre as cidades de Petrópolis e Areal, no estado do Rio de Janeiro. Portanto, para cálculo da vazão ecológica foi aplicada a legislação vigente para o Estado do Rio de Janeiro, local onde está localizado o trecho considerado para o estudo. De acordo com a portaria nº 567 da SERLA, de 07 de maio de 2007, a vazão de referência nesse estado é considerada igual a um percentual de 50% da $Q_{7,10}$.

As informações das estações fluviométricas existentes ao longo do rio Piabanha e utilizadas nesse estudo estão descritas na tabela 3-1. Na figura 3-1 é possível localizar as estações no mapa da região. As séries históricas para os postos em questão foram obtidas no HidroWeb⁹ - Sistemas de Informações hidrológicas, desenvolvido pela ANA.

⁹ Disponível em <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 15 jul. 2011



Figura 3-1 Mapa da região contendo a localização dos postos fluviométricos localizados.
Fonte: Lou, 2010.

Tabela 3-1 Estações Fluviométricas (adaptado de HidroWeb)

Código	Nome	Município	Lat	Long	Área (km ²)
58400000	PETRÓPOLIS	PETRÓPOLIS	22:31:00	43:11:00	43,1
58405000	PEDRO DO RIO	PETRÓPOLIS	22:19:56	43:08:01	413
58409000	AREAL - RN	PETRÓPOLIS	22:14:02	43:06:03	510
58440000	MOURA BRASIL	TRÊS RIOS	22:08:30	43:09:27	2049

Apenas os dados consistidos foram utilizados neste nesse trabalho, uma tabela com a disponibilidade dos dados consistidos se encontra no anexo 3.

Os anos que não possuíam dados consistidos pela ANA ao longo de todo o ano hidrológico, ou seja, possuíam falhas ou apenas dados brutos (não consistidos), não foram considerados nesse estudo visto que estas falhas impossibilitariam a obtenção da vazão média móvel. Uma tabela com os anos hidrológicos utilizados efetivamente se encontra no anexo 4.

Dados de qualidade de água

Todos os dados fornecidos nesse item foram obtidos e tratados por Thiago de Pires Paula para calibração do modelo matemático implementado por ele no âmbito de sua dissertação de mestrado.

Os dados dos parâmetros de qualidade da água foram disponibilizados pelo INEA, CETEM e CPRM através dos biólogos Leonardo Daemon, Marco Antonio Ribeiro Pessoa e Silvia Egler e da engenheira Mariana Villas Boas.

A localização dos postos pode ser vista na figura 3-2.

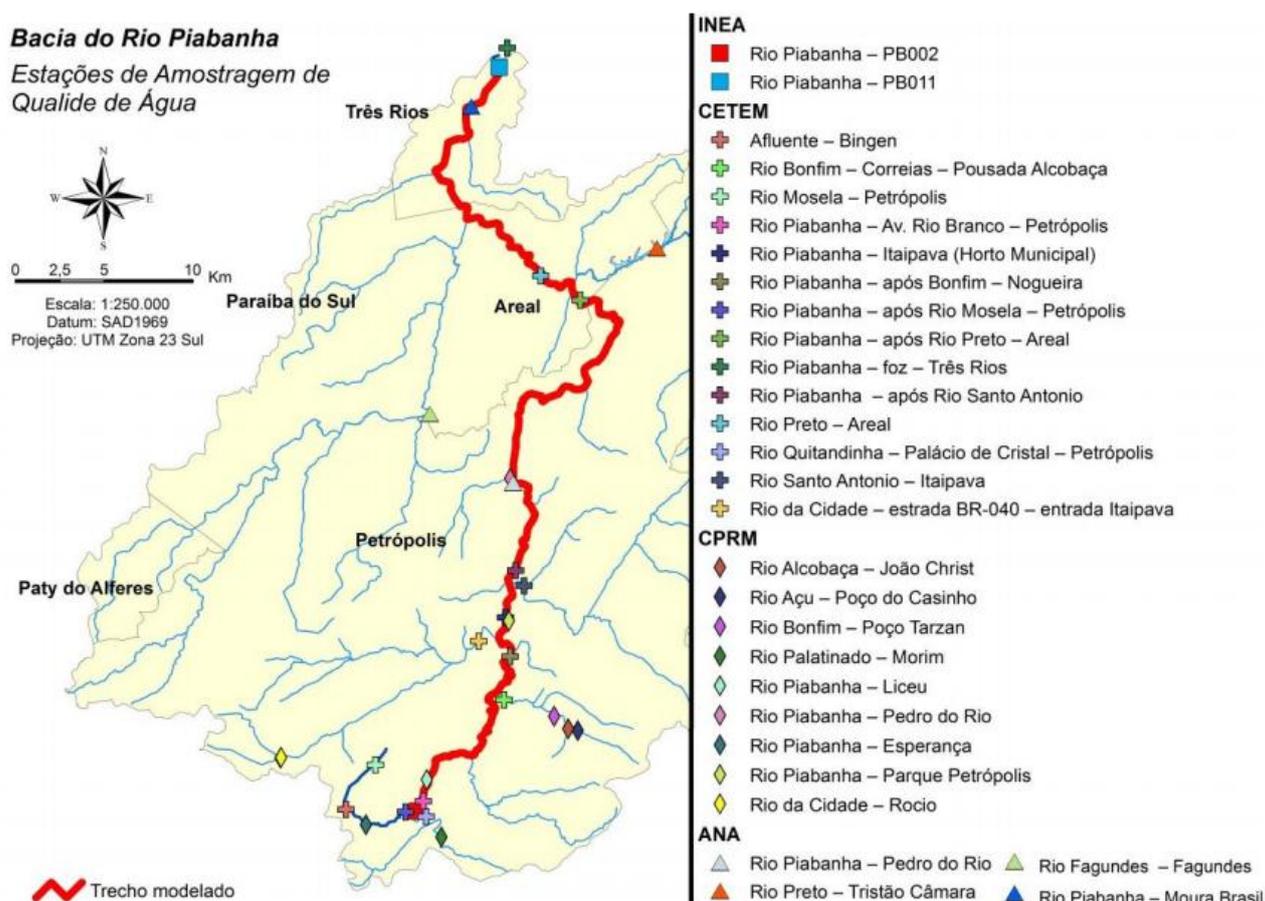


Figura 3-2 Estações de amostragem e pontos de coleta de qualidade de água. (De Paula, 2011)

Foram utilizados também os dados fornecidos pelo CNARH, onde, como já explicado no capítulo anterior, os usuários declaram a carga orgânica que estão despejando no corpo d'água.

Com isso, obteve-se uma distribuição da DBO ao longo de um trecho do Rio Piabanha, conforme pode ser visto na figura 3.3 abaixo.

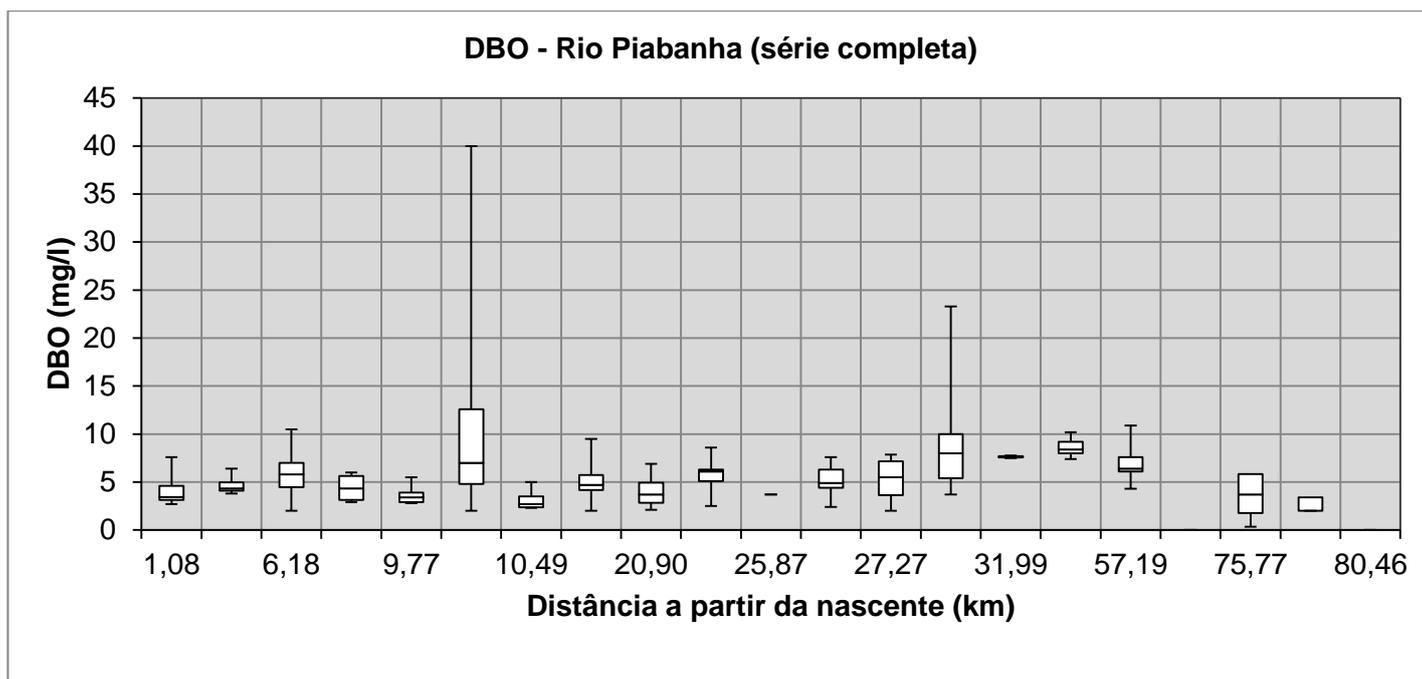


Figura 3-3 Série dos dados de DBO ao longo de um trecho do Rio Piabanha. (De Paula, 2011)

Para calibração do modelo, foi utilizada a mediana dos dados, por apresentarem menor distorção em relação à utilização da média dos dados. Como nosso objetivo é avaliar a qualidade das águas em sua situação mais crítica, foram analisados os meses mais secos com os dados que podem ser observados na figura 3.4.

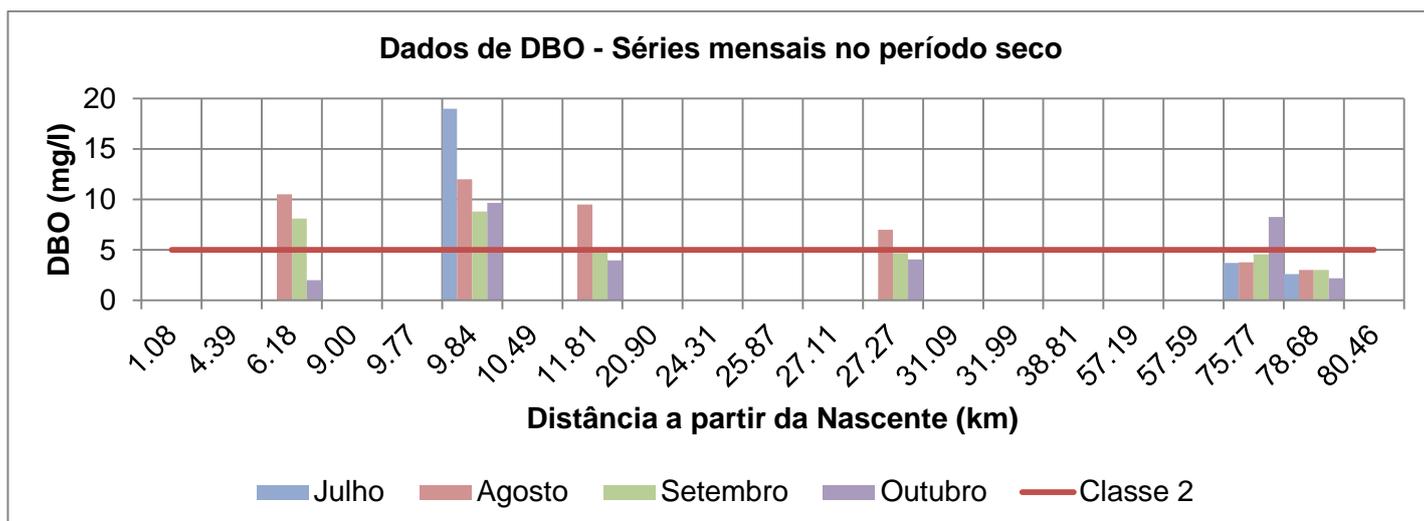


Figura 3-4 Séries mensais de DBO no período seco (jul-out). (De Paula, 2011)

Conforme podemos perceber na figura 3.4, o mês de agosto é o mais crítico, no qual ocorre o maior número de violações da DBO (valores superiores ao máximo permitido: 5mg/L para classe 2). Por isso, tal mês foi escolhido para análise mais detalhada, e esses dados foram utilizados na calibração do modelo.

Os dados para o mês de agosto se encontram no anexo 2 e na tabela 3-2 é possível observar as estatísticas e os dados utilizados para calibração: DBO estiagem.

Tabela 3-2 Estatísticas dos dados de monitoramento de DBO para o mês de agosto. (De Paula, 2011)

DBO (mg/l) - DADOS DE MONITORAMENTO (SÉRIES DO MÊS DE AGOSTO)					
	DISTÂNCIA À NASCENTE (km)				
ESTATÍSTICAS	6,18	9,84	11,81	27,27	78,68
Média	10,5	14,7	9,5	7,0	3,2
Min	10,5	4,0	9,5	7,0	2,0
Mediana	10,5	12,0	9,5	7,0	3,0
Max	10,5	34,0	9,5	7,0	8,0
Classe 2	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
DBO estiagem	10,5	12,0	9,5	7,0	3,0

3.1.2 Obtenção da $Q_{7,10}$

O cálculo será feito baseado em na dissertação de Mestrado de Mendes, 2007.

Para o cálculo da média móvel histórica das vazões mínimas de 7 dias consecutivos com intervalo de 10 anos de recorrência ($Q_{7,10}$), deve-se dispor de uma série histórica de registros diários; por intermédio dela procede-se o cálculo da média-móvel de sete dias consecutivos (Q_7), o que fornecerá, para cada ano da série, 365 médias-móveis de 7 dias. Seleciona-se, então, a menor Q_7 de cada ano, chamada Q_{7m} , formando assim uma nova

série de dados, que contará com n elementos do tipo (mín Q_7), sendo n o número de anos cobertos pela série inicial.

Para se obter a mínima vazão Q_7 correspondente ao período de retorno de 10 anos, a série de n valores de Q_{7m} é ajustada a uma distribuição de probabilidades. Para cada período de retorno T desejado, a vazão $Q_{7,T}$ será expressa pela média dos Q_{7m} subtraída da variação dada pelo produto do desvio padrão S_q por um fator de frequência K_T , isto é:

$$Q_{7,T} = \overline{Q_{7m}} - S_q \cdot K_T$$

Onde $\overline{Q_{7m}}$ e S_q são, respectivamente, a média e o desvio padrão amostrais e K_T o fator de frequência.

A adequação do ajuste probabilístico pode ser avaliada visualmente, comparando-se a curva ajustada aos pontos observados. Com esse fim também pode ser medido o índice de correlação entre as vazões observadas e vazões calculadas. Além destas verificações, deve-se levar em consideração se a distribuição probabilística utilizada respeita a realidade física da bacia hidrográfica em estudo.

Na determinação da $Q_{7,10}$, podem ser utilizadas diferentes distribuições de probabilidades, as quais diferem pelas premissas adotadas e pela complexidade associada à quantidade de parâmetros envolvidos. Algumas distribuições frequentemente utilizadas para ajustes de eventos extremos, como é o caso da vazão mínima, são Gumbel, Log-Gumbel, Log-Normal e Weibull. Nesse estudo, será empregada a distribuição de Gumbel por ser bastante utilizada em estudos hidrológicos apresentando resultados coerentes para a bacia em estudo.

Para cálculo do tempo de retorno, foi utilizada a fórmula de Cunnane, que segundo Tucci (2004), é uma fórmula que apresenta bons resultados para a maioria das distribuições utilizadas na prática hidrológica. (FARIAS JÚNIOR, 2006)

$$T_R = \frac{i - 0,4}{n + 0,2}$$

Onde n é o tamanho da amostra e i é a ordem do valor ordenado do menor valor de vazão para o maior, nesse caso de série de mínimos.

A seguir, são expostos os procedimentos de cálculo da Distribuição de Gumbel que será a distribuição de probabilidades empregada.

Baseado na teoria dos extremos de amostras ocasionais, Gumbel demonstrou que, se o número de vazões máximas anuais tende para infinito, a probabilidade “P” de uma dada descarga ser superada por certo valor da variável aleatória é dada pela equação seguinte, para um número infinito de elementos:

$$P(x) = e^{-e^{-y}}$$

e

$$T_R = \frac{1}{1 - P(x)}$$

Onde y é a variável reduzida de Gumbel, dada por:

$$y = \frac{Q_{7m} - \overline{Q_{7m}} + 0,45S_q}{0,7797S_q}$$

ou

$$y = \frac{Q_{7m} - \mu}{\alpha}$$

$$\alpha = 0,7797S_q$$

e

$$\mu = \overline{Q_{7m}} - 0,5772 \times \alpha$$

sendo Q_{7m} o valor amostral da série formada pelo mínimo Q_7 de cada ano observado, e $\overline{Q_{7m}}$ e S_q , respectivamente, a média e o desvio padrão da série dos Q_{7m} .

A variável reduzida pode ser calculada pela expressão:

$$y = -\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] = -\ln \left[\ln \left(\frac{1}{T} \right) \right]$$

O fator de frequência K_T é calculado como:

$$K_T = \frac{y}{S_n} - \frac{y_n}{S_n}$$

Onde y é a variável reduzida de Gumbel, e y_n e S_n são, respectivamente, a média e o desvio padrão dos diversos y da amostra da série histórica analisada.

Obtenção da $Q_{7,10}$ para o Posto Petrópolis

Através da série de dados obtida no Hidroweb, conforme explicado no capítulo anterior, foi calculado o Q_7 de cada ano histórico utilizado. Muitos anos apresentavam falhas e/ou possuíam dados não consistidos (brutos) e por isso não foram utilizados neste trabalho. Os dados consistidos e os anos hidrológicos utilizados podem ser observados nos anexos III e IV. Os valores de Q_7 encontrados podem ser observados na tabela 3-3..

Tabela 3-3 Valores Observados para o Posto Petrópolis.

Ano	Q_7 m ³ /s
1939	0,64
1940	0,55
1960	0,64
1961	0,55
1962	0,88
1963	0,44
1964	0,99
1965	0,83
1967	0,72
1968	0,93
1969	0,80
1970	0,59
1971	1,05
1972	0,88
1973	0,73
1974	0,51
1975	0,65
1976	0,03
1977	0,76
1978	1,05
1979	1,17
1980	0,73
1981	0,60
1982	0,08
1983	0,89
1985	0,73
1986	0,55

A partir destes valores, calculou-se a Q_7 máxima, média e mínima, além do desvio padrão e das variáveis α e μ conforme mostrado na tabela 3-4.

Tabela 3-4 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Petrópolis.

Nºde anos sem falhas	27
Q_7 Máxima	1,170
Q_7 Média	0,702

Q ₇ Mínima	0,034
Desvio Padrão	0,261
α =	0,20
μ =	0,6

Aplicou-se a distribuição de Gumbel a esses dados, utilizando as fórmulas descritas no item anterior nos levando aos resultados explicitados nas tabelas 3-5 e 3-6 e na figura 3-5.

Tabela 3-5 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Petrópolis (observado).

i	Q ₇ m ³ /s	TR (Cunnanne)	Variável Reduzida - Y= -ln(ln(1/TR))
1	0,03	0,02	-1,34
2	0,08	0,06	-1,04
3	0,44	0,10	-0,85
4	0,51	0,13	-0,70
5	0,55	0,17	-0,58
6	0,55	0,21	-0,46
7	0,55	0,24	-0,35
8	0,59	0,28	-0,24
9	0,60	0,32	-0,14
10	0,64	0,35	-0,04
11	0,64	0,39	0,06
12	0,65	0,43	0,16
13	0,72	0,46	0,26
14	0,73	0,50	0,37
15	0,73	0,54	0,47
16	0,73	0,57	0,59
17	0,76	0,61	0,71
18	0,80	0,65	0,83
19	0,83	0,68	0,97
20	0,88	0,72	1,12
21	0,88	0,76	1,28
22	0,89	0,79	1,47
23	0,93	0,83	1,69
24	0,99	0,87	1,95
25	1,05	0,90	2,30
26	1,05	0,94	2,80
27	1,17	0,98	3,80

Tabela 3-6 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Petrópolis (Gumbel).

TR anos	1-1/TR	Q ₇ m ³ /s	Kt
1	0,00990	0,273	-1,642
2	0,50000	0,659	-0,164
5	0,80000	0,890	0,719

10	0,90000	1,043	1,305
20	0,95000	1,189	1,866
25	0,96000	1,236	2,044
50	0,98000	1,379	2,592
100	0,99000	1,521	3,137
200	0,99500	1,662	3,679
500	0,99800	1,849	4,395
1.000	0,99900	1,990	4,936
5.000	0,99980	2,318	6,191
10.000	0,99990	2,459	6,731

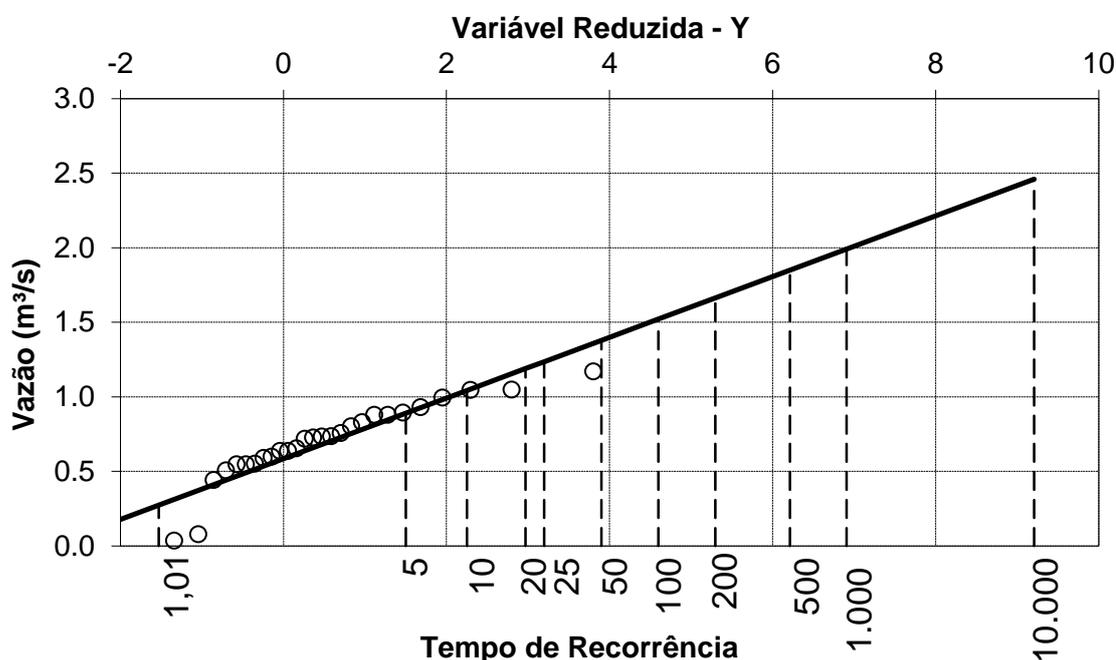


Figura 3-5 Distribuição de Gumbel para Posto Petrópolis.

A distribuição de Gumbel para o posto Petrópolis se mostrou com boa aderência para quase todo o período estudado, apresentando distorções para valores extremos de tempo de recorrência (tanto baixos quanto mais elevados). Para projeção para o tempo de recorrência de 10 anos os resultados foram coerentes, no entanto para maiores valores de tempo de recorrência seria adequada a comparação com outras distribuições probabilísticas.

Obteve-se para este posto fluviométrico a vazão $Q_{7,10}$ de 1,04 m³/s.

Obtenção da $Q_{7,10}$ para o Posto Pedro do Rio

Através da série de dados obtida no Hidroweb, conforme explicado no capítulo anterior, foi calculado o Q_7 de cada ano histórico utilizado. Muitos anos apresentavam falhas e/ou possuíam dados não consistidos (brutos) e por isso não foram utilizados neste trabalho. Os dados consistidos e os anos hidrológicos utilizados podem ser observados nos anexos III e IV. Os valores de Q_7 encontrados podem ser observados na tabela 3-7.

Tabela 3-7 Valores Observados para o Posto Pedro do Rio.

Ano	Q m ³ /s	Ano	Q m ³ /s
1932	3,27	1976	2,47
1933	2,89	1977	3,70
1934	2,94	1978	2,41
1935	3,42	1979	3,80
1936	2,89	1980	3,22
1937	2,89	1981	2,42
1938	4,79	1982	3,57
1939	2,89	1983	5,13
1940	3,27	1984	1,07
1958	3,05	1985	1,56
1959	3,05	1986	1,10
1960	2,92	1988	4,10
1961	2,82	1989	3,96
1962	3,05	1992	3,35
1963	1,90	1993	3,26
1964	2,55	1994	3,49
1965	3,36	1995	3,39
1966	4,36	1996	2,85
1967	3,41	1997	3,36
1968	3,82	1998	3,86
1969	3,01	1999	3,73
1970	2,59	2000	5,03
1971	2,72	2001	4,21
1972	2,17	2002	3,72
1973	2,96	2003	4,30
1974	2,44	2004	4,21
1975	3,19	2005	4,55

A partir dos valores anuais de Q_7 , calculou-se a Q_7 máxima, média e mínima, além do desvio padrão e das variáveis a e m conforme mostrado na tabela 3-8.

Tabela 3-8 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Pedro do Rio.

Nº de anos sem falhas	54
Q_7 Máxima	5,126
Q_7 Média	3,231
Q_7 Mínima	1,067
Desvio Padrão	0,852
$\alpha =$	0,66

$\mu =$	2,8
---------	-----

A partir destes dados, aplicou-se a distribuição de Gumbel utilizando as fórmulas descritas no item anterior dando origem aos resultados explicitados nas tabelas 3-9 e 3-10 e na figura 3-6.

Tabela 3-9 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Pedro do Rio (observado).

i	Q₇ m³/s	TR (Cunanne)	Variável Reduzida Y= -ln(ln(1/TR))
1	1,07	0,01	-1,50
2	1,10	0,03	-1,26
3	1,56	0,05	-1,11
4	1,90	0,07	-1,00
5	2,17	0,08	-0,90
6	2,41	0,10	-0,82
7	2,42	0,12	-0,74
8	2,44	0,14	-0,68
9	2,47	0,16	-0,61
10	2,55	0,18	-0,55
11	2,59	0,20	-0,49
12	2,72	0,21	-0,43
13	2,82	0,23	-0,38
14	2,85	0,25	-0,32
15	2,89	0,27	-0,27
16	2,89	0,29	-0,22
17	2,89	0,31	-0,17
18	2,89	0,32	-0,12
19	2,92	0,34	-0,07
20	2,94	0,36	-0,02
21	2,96	0,38	0,03
22	3,01	0,40	0,08
23	3,05	0,42	0,13
24	3,05	0,44	0,18
25	3,05	0,45	0,24
26	3,19	0,47	0,29

Continuação da Tabela 3-9 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Pedro do Rio (observado).

i	Q₇	TR (Cunanne)	Variável Reduzida Y= -ln(ln(1/TR))
28	3,26	0,51	0,39
29	3,27	0,53	0,45
30	3,27	0,55	0,50
31	3,35	0,56	0,56
32	3,36	0,58	0,62
33	3,36	0,60	0,68
34	3,39	0,62	0,74
35	3,41	0,64	0,80
36	3,42	0,66	0,87
37	3,49	0,68	0,93
38	3,57	0,69	1,01
39	3,70	0,71	1,08

40	3,72	0,73	1,16
41	3,73	0,75	1,24
42	3,80	0,77	1,33
43	3,82	0,79	1,42
44	3,86	0,80	1,52
45	3,96	0,82	1,64
46	4,10	0,84	1,76
47	4,21	0,86	1,89
48	4,21	0,88	2,04
49	4,30	0,90	2,22
50	4,36	0,92	2,42
51	4,55	0,93	2,68
52	4,79	0,95	3,01
53	5,03	0,97	3,51
54	5,13	0,99	4,50

Tabela 3-10 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Pedro do Rio (Gumbel).

TR (anos)	1-1/TR	Q ₇ m ³ /s	Kt
1	0,00990	1,831	-1,642
2	0,50000	3,091	-0,164
5	0,80000	3,844	0,719
10	0,90000	4,342	1,305
20	0,95000	4,821	1,866
25	0,96000	4,972	2,044
50	0,98000	5,440	2,592
100	0,99000	5,903	3,137
200	0,99500	6,366	3,679
500	0,99800	6,975	4,395
1.000	0,99900	7,436	4,936
5.000	0,99980	8,506	6,191
10.000	0,99990	8,966	6,731

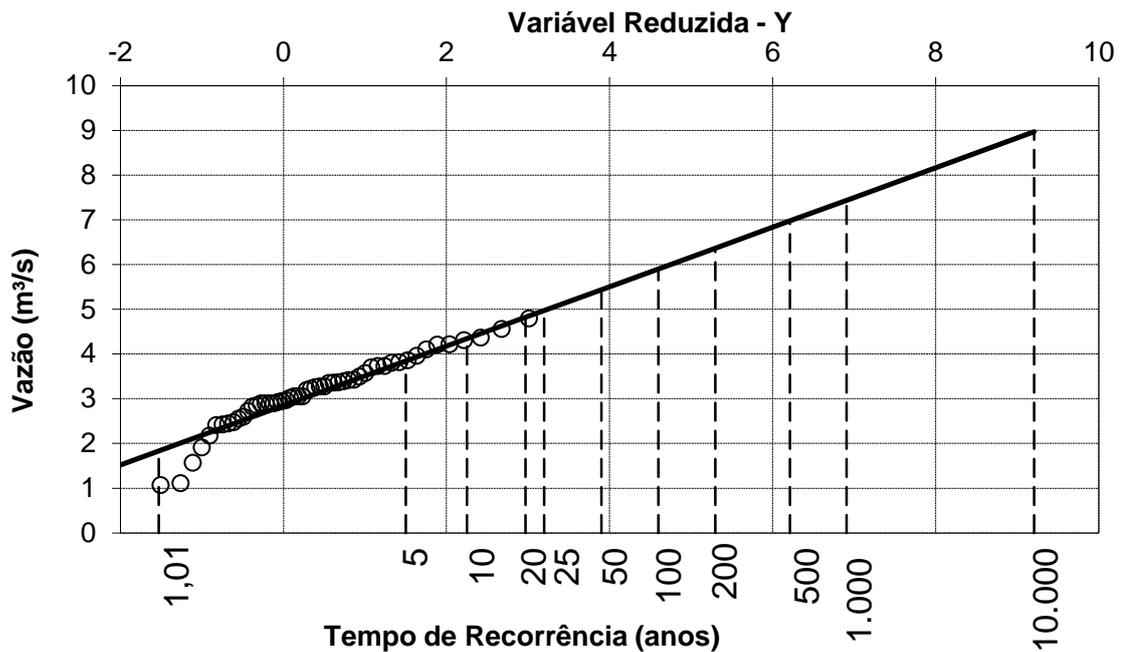


Figura 3-6 Distribuição de Gumbel para Posto Pedro do Rio.

A distribuição de Gumbel para o posto Pedro do Rio se mostrou com boa aderência para quase todo o período estudado, apresentando distorções para pequenos tempos de recorrência. Para projeção para o tempo de recorrência de 10 anos os resultados foram coerentes, no entanto para menores valores seria adequada a comparação com outras distribuições probabilísticas.

Obteve-se para este posto fluviométrico a vazão $Q_{7,10}$ de 4,34 m³/s.

Obtenção da $Q_{7,10}$ para o Posto Areal

Através da série de dados obtida no Hidroweb, conforme explicado no capítulo anterior, foi calculado o Q_7 de cada ano histórico utilizado. Muitos anos apresentavam falhas e/ou possuíam dados não consistidos (brutos) e por isso não foram utilizados neste trabalho. Os dados consistidos e os anos hidrológicos utilizados podem ser observados nos anexos III e IV. Os valores de Q_7 encontrados podem ser observados na tabela 3-11.

Tabela 3-11 Valores Observados para o Posto Areal.

Ano	Q_7 m ³ /s
1934	3,63
1935	3,90

1936	3,47
1937	3,42
1938	6,04
1939	3,48
1956	3,13
1958	4,02
1959	3,64
1960	4,15
1961	3,23
1962	3,69
1963	2,06
1964	2,92
1965	4,71
1966	5,36
1973	2,91
1975	2,68

A partir desses dados, calculou-se a Q7 máxima, média e mínima, além do desvio padrão e das variáveis α e μ conforme mostrado na tabela 3-12.

Tabela 3-12 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Areal.

Nº de anos sem falhas	18
Q ₇ Máxima	6,041
Q ₇ Média	3,692
Q ₇ Mínima	2,064
Desvio Padrão	0,949
$\alpha =$	0,74
$\mu =$	3,3

A partir destes dados, aplicou-se a distribuição de Gumbel utilizando as fórmulas descritas no item anterior dando origem aos resultados explicitados nas tabelas 3-13 e 3-14 e na figura 3-7.

Tabela 3-13 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Areal (observado).

i	Q ₇ m³/s	TR (Cunanne)	Variável Reduzida Y= -ln(ln(1/TR))
1	2,06	0,03	-1,23
2	2,68	0,09	-0,89
3	2,91	0,14	-0,67
4	2,92	0,20	-0,48
5	3,13	0,25	-0,32
6	3,23	0,31	-0,16
7	3,42	0,36	-0,01
8	3,47	0,42	0,14
9	3,48	0,47	0,29
10	3,63	0,53	0,45
11	3,64	0,58	0,62
12	3,69	0,64	0,80

13	3,90	0,69	1,00
14	4,02	0,75	1,23
15	4,15	0,80	1,51
16	4,71	0,86	1,87
17	5,36	0,91	2,39
18	6,04	0,97	3,40

Tabela 3-14 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Areal.

TR anos	1-1/TR	Q ₇ m ³ /s	Kt
1	0,00990	2,134	-1,642
2	0,50000	3,536	-0,164
5	0,80000	4,375	0,719
10	0,90000	4,930	1,305
20	0,95000	5,462	1,866
25	0,96000	5,631	2,044
50	0,98000	6,151	2,592
100	0,99000	6,668	3,137
200	0,99500	7,182	3,679
500	0,99800	7,861	4,395
1.000	0,99900	8,374	4,936
5.000	0,99980	9,565	6,191
10.000	0,99990	10,078	6,731

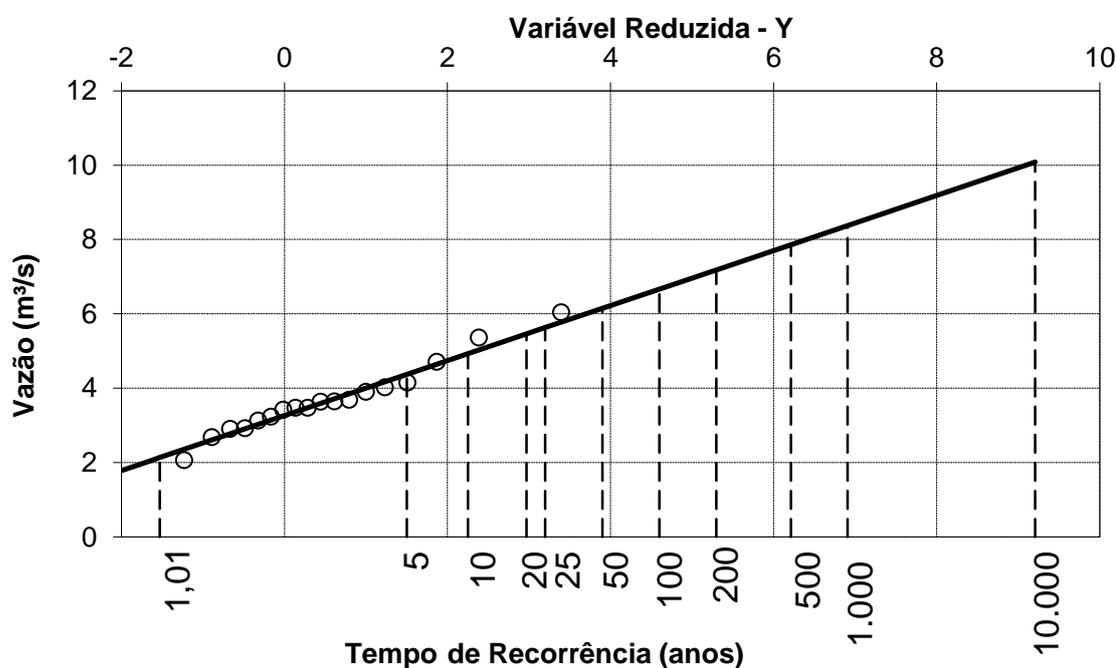


Figura 3-7 Distribuição de Gumbel para Posto Areal.

A distribuição de Gumbel para o posto Areal se mostrou com boa aderência para quase todo o período estudado. Para projeção para o tempo de recorrência de 10 anos os resultados foram adequados, próximos ao esperado. Obteve-se para este posto fluviométrico a vazão $Q_{7,10}$ de 4,93 m³/s.

Obtenção da $Q_{7,10}$ para o Posto Moura Brasil

Através da série de dados obtida no Hidroweb, conforme explicado no capítulo anterior, foi calculado o Q_7 de cada ano histórico utilizado. Muitos anos apresentavam falhas e/ou possuíam dados não consistidos (brutos) e por isso não foram utilizados neste trabalho. Além disso, os anos de 1945, 1947, 1957, 1973 e 1976 foram excluídos deste estudo por apresentarem resultados inesperados, com a vazão média de agosto superando os valores mínimos de Q_7 .

Os dados consistidos e os anos hidrológicos utilizados podem ser observados nos anexos III e IV. Os valores de Q_7 encontrados podem ser observados na tabela 3-15

Tabela 3-15 Valores Observados para o Posto Moura Brasil.

Ano	Q7 m³/s	Ano	Q7 m³/s
1934	9,12	1970	5,30
1935	11,97	1971	6,06
1936	12,01	1972	8,45
1937	10,75	1974	5,74
1938	19,89	1975	6,21
1939	11,63	1977	6,22
1940	12,34	1978	7,78
1941	14,11	1979	15,65
1942	16,59	1980	5,92
1943	17,29	1982	16,73
1944	13,69	1984	12,02
1946	12,10	1985	8,03
1948	16,70	1986	9,93
1949	16,99	1987	6,76
1950	13,10	1988	10,01
1951	10,95	1989	10,43
1952	15,40	1990	8,07
1954	6,34	1991	6,39
1955	4,73	1992	5,03
1956	9,35	1993	6,00
1958	8,82	1994	7,18
1959	6,92	1995	4,76
1960	10,16	1996	7,68
1961	9,30	1997	7,26
1962	8,40	1998	8,10
1963	4,19	1999	7,31
1964	7,88	2000	8,23
1965	11,66	2001	8,03
1966	12,49	2002	5,56

1967	13,44	2003	5,23
1968	9,41	2004	7,23
1969	7,69	2005	7,87

Com isso calculou-se a Q_7 máxima, média e mínima, além do desvio padrão e das variáveis a e m conforme mostrado na tabela 3-16.

Tabela 3-16 Estatísticas e Parâmetros para o Posto Moura Brasil

Nº de anos sem falhas	64
Q_7 Máxima	19,89
Q_7 Média	9,63
Q_7 Mínima	4,194
Desvio Padrão	3,725
$\alpha =$	2,90
$\mu =$	8,0

A partir destes dados, aplicou-se a distribuição de Gumbel utilizando as fórmulas descritas no item anterior dando origem aos resultados explicitados nas tabelas 3-17 e 3-18 e na figura 3-8.

Tabela 3-17 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Moura Brasil.

i	Q m³/s	TR (Cunanne)	Variável Reduzida $Y = -\ln(\ln(1/TR))$
1	4,19	0,01	-1,54
2	4,73	0,02	-1,31
3	4,76	0,04	-1,17
4	5,03	0,06	-1,06
5	5,23	0,07	-0,97
6	5,30	0,09	-0,89
7	5,56	0,10	-0,82
8	5,74	0,12	-0,76
9	5,92	0,13	-0,70
10	6,00	0,15	-0,64
11	6,06	0,17	-0,59
12	6,21	0,18	-0,54
13	6,22	0,20	-0,49
14	6,34	0,21	-0,44
15	6,39	0,23	-0,39
16	6,76	0,24	-0,35
17	6,92	0,26	-0,30
18	7,18	0,27	-0,26
19	7,23	0,29	-0,21
20	7,26	0,31	-0,17
21	7,31	0,32	-0,13
22	7,68	0,34	-0,09
23	7,69	0,35	-0,04
24	7,78	0,37	0,00
25	7,87	0,38	0,04
26	7,88	0,40	0,08
27	8,03	0,41	0,13

28	8,03	0,43	0,17
29	8,07	0,45	0,21
30	8,10	0,46	0,26
31	8,23	0,48	0,30
32	8,30	0,49	0,34
33	8,40	0,51	0,39
34	8,45	0,52	0,43
35	8,82	0,54	0,48
36	9,12	0,55	0,53
37	9,30	0,57	0,58
38	9,35	0,59	0,63
39	9,41	0,60	0,68
40	9,93	0,62	0,73
41	10,01	0,63	0,78
42	10,16	0,65	0,83
43	10,30	0,66	0,89
44	10,43	0,68	0,95

Continuação da tabela 3-17 Variáveis reduzidas e Tempos de Retorno para o Posto Moura Brasil.

i	Q	TR (Cunanne)	Variável Reduzida $Y = -\ln(\ln(1/TR))$
46	10,95	0,71	1,07
47	11,04	0,73	1,14
48	11,63	0,74	1,21
49	11,66	0,76	1,28
50	11,97	0,77	1,35
51	12,01	0,79	1,44
52	12,02	0,80	1,52
53	12,10	0,82	1,61
54	12,34	0,83	1,71
55	12,49	0,85	1,82
56	13,10	0,87	1,94
57	13,44	0,88	2,07
58	13,69	0,90	2,22
59	14,11	0,91	2,39
60	14,74	0,93	2,60
61	15,40	0,94	2,85
62	15,65	0,96	3,19
63	16,59	0,98	3,68
64	16,70	0,99	4,67

Tabela 3-18 Tempos de Retorno e Fator de Frequência para o Posto Moura Brasil.

TR anos	1-1/TR	Q m ³ /s
1	0,00990	3,52
2	0,50000	9,02
5	0,80000	12,31
10	0,90000	14,49
20	0,95000	16,58
25	0,96000	17,25

50	0,98000	19,29
100	0,99000	21,32
200	0,99500	23,34
500	0,99800	26,01
1.000	0,99900	28,02
5.000	0,99980	32,70
10.000	0,99990	34,71

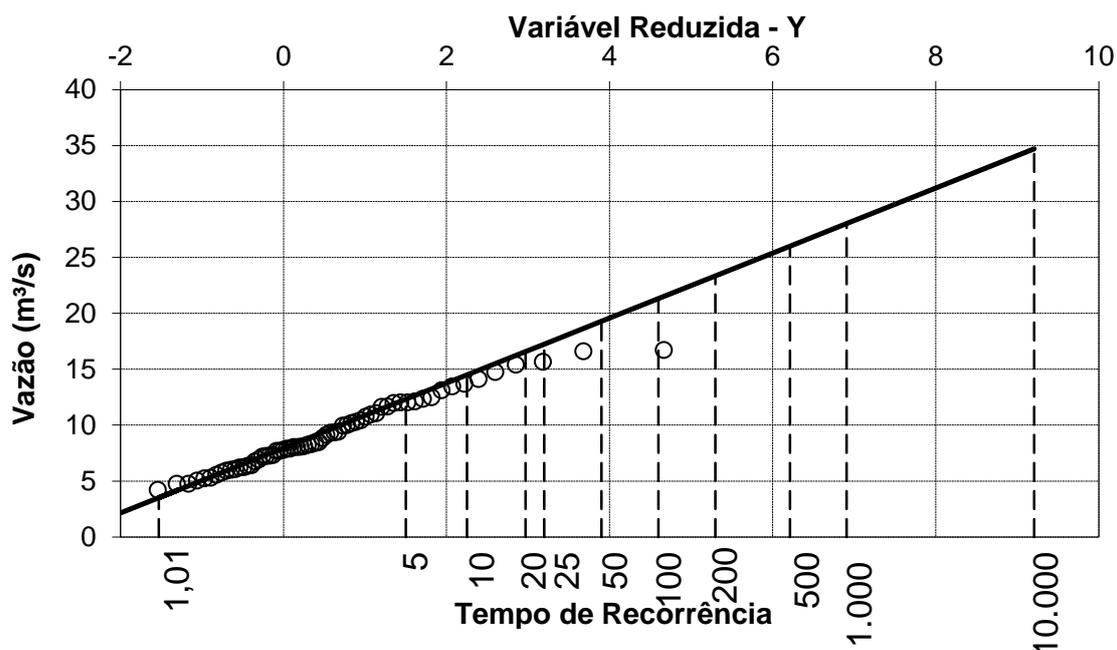


Figura 3-8 Distribuição de Gumbel para Posto Moura Brasil.

A distribuição de Gumbel para o posto Moura Brasil se mostrou com boa aderência para todo o período estudado. Para projeção para o tempo de recorrência de 10 anos os resultados foram aceitáveis, próximos ao esperado. Pode-se observar apenas um pequeno desvio para valores mais extremos de tempo de recorrência. Obteve-se para este posto fluviométrico a vazão $Q_{7,10}$ de 14,49 m^3/s .

Análise dos resultados das vazões $Q_{7,10}$

Um quadro resumo dos resultados obtidos para cálculo das vazões médias mínimas de 7 dias consecutivos com recorrência de 10 anos está apresentado na tabela 3-19.

Tabela 3-19 Quadro resumo das vazões $Q_{7,10}$ obtidas nos Postos Fluviométricos.

Código	Nome	Ad (km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	50% $Q_{7,10}$ (m ³ /s)
58400000	PETRÓPOLIS	43,1	1,04	0,52
58405000	PEDRO DO RIO	413	4,34	2,17

58409000	AREAL - RN	510	4,93	2,47
58440000	MOURA BRASIL	2049	14,49	7,25

A figura 3-9, apresenta a relação entre a vazão $Q_{7,10}$ e a área de drenagem a partir dos valores nos postos apresentados na tabela 3-19.

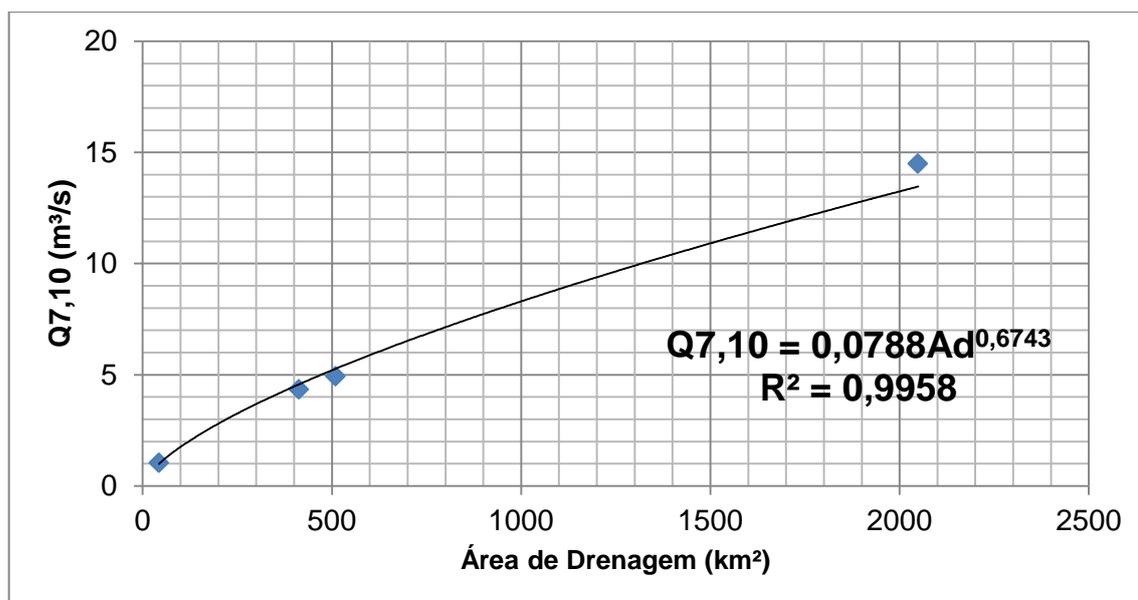


Figura 3-9 Relação entre as vazões $Q_{7,10}$ e as áreas de drenagem.

Pode-se observar que os dados obtidos se encontram com adequado nível de consistência visto que a relação entre as vazões e a área de drenagem apresenta bom ajuste com R^2 igual a 0,9958. Observou-se através das distribuições de Gumbel que para menores vazões temos maiores distorções para tempos de retorno extremos, no entanto, no tempo de retorno estudado (10 anos), os valores se mostraram confiáveis.

A equação obtida para linha de tendência será utilizada para simular toda a bacia.

3.1.3 Obtenção da Q_{95}

O valor de Q_{95} foi calculado através das equações de regionalização para o Rio Piabanha, obtidas no estudo realizado por CPRM, 2003.

A equação utilizada foi:

$$Q_{95} = 0.0721 \times A^{0.6298}$$

3.1.4 Obtenção da $Q_{med,ago}$

Como o modelo de qualidade de água utilizará dados de DBO para o mês de agosto, foi calculada a vazão média deste mesmo mês ao longo de toda a série histórica. O objetivo deste cálculo é simular a realidade atual da bacia nos meses secos.

Na tabela 3-20 podem-se observar os valores encontrados para os postos fluviométricos estudados. Na figura 3-10, observa-se que os dados obtidos se encontram com adequado nível de consistência, visto que a relação entre as vazões e a área de drenagem apresenta bom ajuste, com R^2 igual a 0,994. A equação obtida para a linha de tendência será utilizada para simular a realidade da bacia.

Tabela 3-20 Quadro resumo das vazões $Q_{med,ago}$ obtidas nos Postos Fluviométricos.

Código	Nome	Ad (km ²)	$Q_{med,ago}$ (m ³ /s)
58400000	PETRÓPOLIS	43,1	1,42
58405000	PEDRO DO RIO	413	4,96
58409000	AREAL - RN	510	5,48
58440000	MOURA BRASIL	2049	14,66

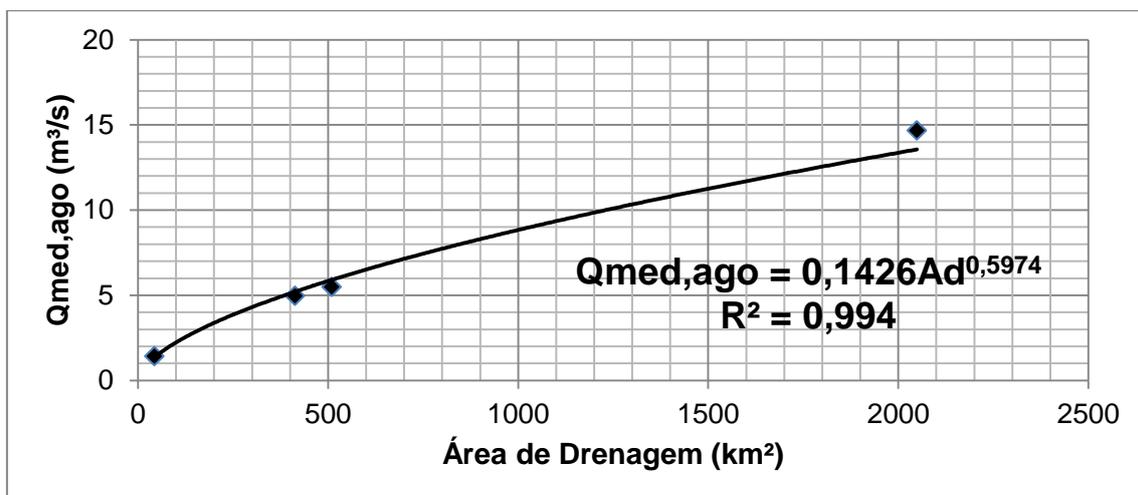


Figura 3-10 Relação entre as vazões $Q_{med,ago}$ e áreas de drenagem.

3.1.5 Análise dos Resultados de Vazão

Os resultados das vazões médias mínimas de 7 dias consecutivos com tempo de recorrência de 10 anos, de permanência disponível no tempo com garantia igual a 95% e médias do mês de agosto estão reunidas na tabela 3-21 a seguir.

Tabela 3-21 Quadro resumo das vazões obtidas nos Postos Fluviométricos.

Código	Nome	Ad (km ²)	Q7,10 (m ³ /s)	50% Q7,10 (m ³ /s)	Q95 (m ³ /s)	Qmed,ago (m ³ /s)
58400000	PETRÓPOLIS	43,1	1,04	0,52	0,77	1,42
58405000	PEDRO DO RIO	413	4,34	2,17	3,20	4,96
58409000	AREAL - RN	510	4,93	2,47	3,66	5,48
58440000	MOURA BRASIL	2049	14,49	7,25	8,78	14,66

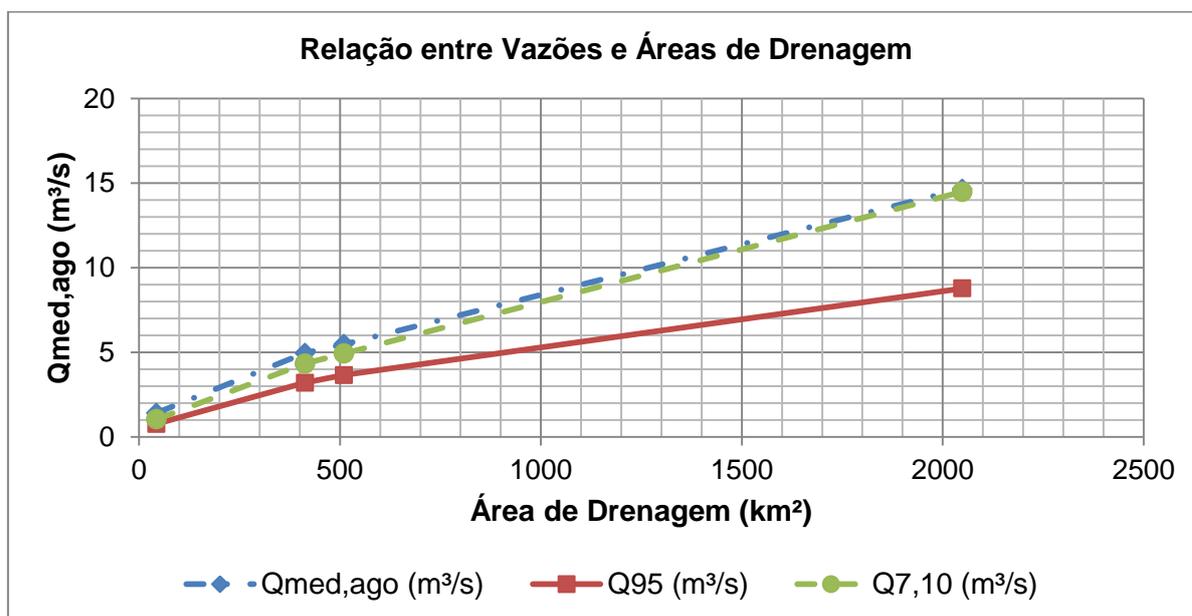


Figura 3-11 Relação entre vazões e áreas de drenagem

Através da figura 3-11, é possível observar uma boa relação entre as vazões calculadas, o que é coerente, visto que as menores vazões são encontradas no mês de agosto e as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{95} expressam vazões mínimas.

3.2 Análise dos Cenários

Serão analisados quatro cenários: o cenário atual do rio no mês de agosto (3.2.1), os cenários reduzindo-se a vazão do trecho à $Q_{7,10}$ (3.2.2) e à Q_{95} (3.2.3) considerando os valores de DBO obtidos para o mês de agosto e um último cenário com a vazão do trecho reduzida à $Q_{7,10}$ e utilizando os valores anuais de DBO (3.2.4).

3.2.1 Cenário reduzindo-se a vazão no trecho à Q_{95}

Nesse cenário, foi utilizada a vazão Q_{95} como dado de entrada do modelo. Utilizando para isso as equações de regionalização propostas pelo estudo feito pela CPRM (ver item 3.1.3).

Foram utilizados os dados de DBO obtidas no mês de agosto, conforme explicado no item 3.1.1.. Através da fórmula de mistura e de degradação da DBO foi possível calcular o valor de DBO em cada ponto do rio.

A figura 3-12 apresenta o fluviograma com os dados de entrada do modelo. Este modelo de fluviograma mostra as contribuições dos afluentes com sua respectiva DBO além de detalhar trechos do rio principal.

O fluviograma não mostra as captações e lançamentos feitos pelos usuários da água, uma relação dos usuários se encontra no anexo 1. Além disso, foi considerada uma vazão incremental associada a uma carga incremental de DBO relativa às populações do entorno do rio.

Outra significativa retirada de água não representada neste fluviograma é a presença da Usina de Hidrelétrica Piabanha, que desvia parte da vazão através de canais, e foi considerada no modelo como uma retirada de 50% da vazão no leito natural sendo restituída de forma homogênea à jusante do barramento. A usina se encontra aproximadamente a 60 km da nascente do rio.

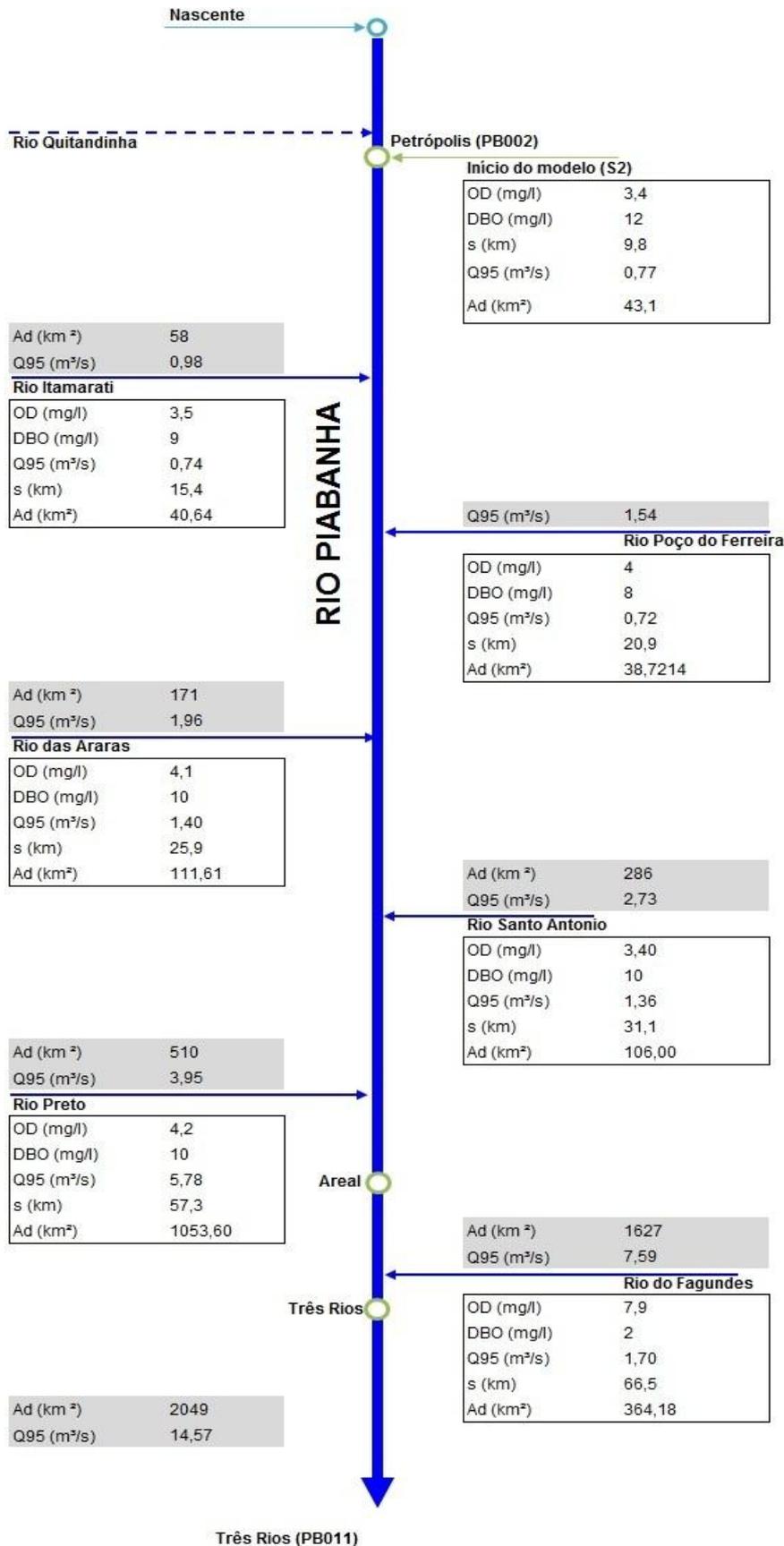
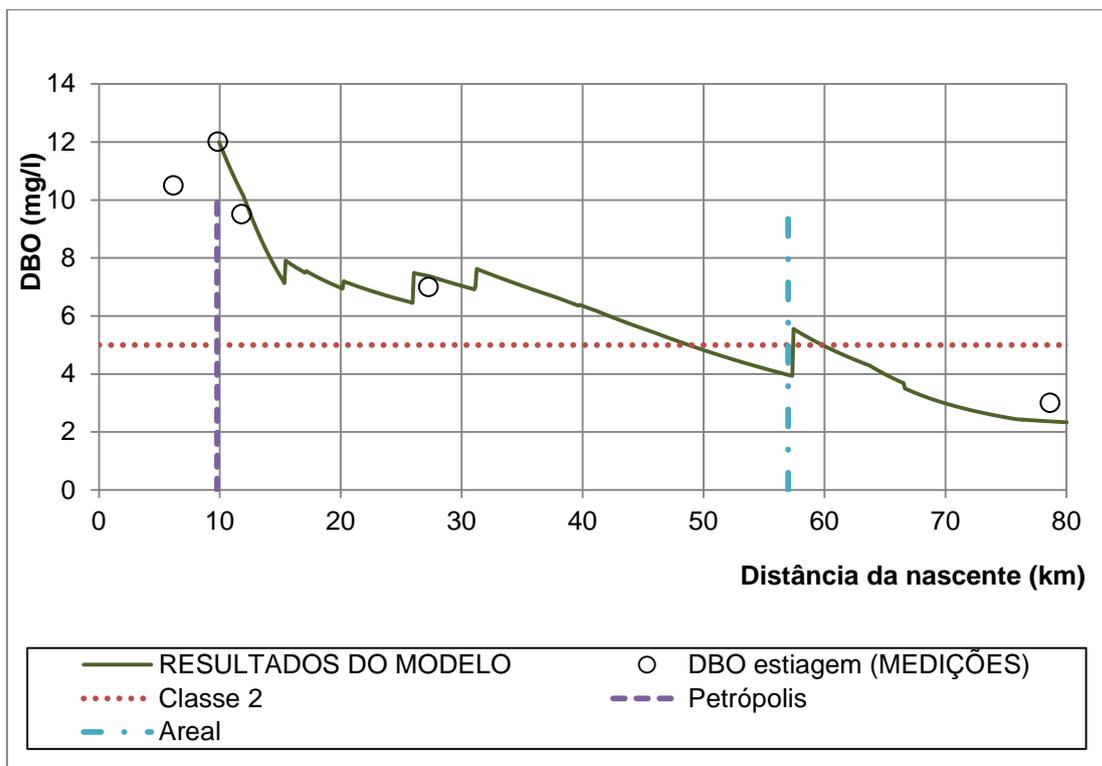


Figura 3-12 Fluviograma (entrada do modelo) para Q_{95} . Fonte: Adaptado de De Paula, 2011.



Figura

3-13 Resultados de DBO para Q_{95} ao longo do trecho do Rio Piabanha.

Através da figura 3-13, percebe-se que para a Q_{95} , temos uma situação bem crítica no mês de agosto, com violação da classe do rio (DBO maior que 5 mg/l) ao longo de quase todo seu comprimento.

Os resultados do modelo são coerentes, pois próximo aos centros urbanos há um aumento da carga de matéria orgânica lançada no rio, o que era esperado visto que devido à insuficiência do sistema de esgotamento sanitário, o esgoto é lançado *in natura* no corpo d'água, aumentando assim os valores de DBO. Quando há algum usuário pontual ou um afluente o valor de DBO se eleva novamente. Ao longo do trecho, a matéria orgânica vai sendo degradada e os valores de DBO vão decaindo, mas apenas no trecho final do rio os valores encontrados se encontram inferiores ao máximo permitido.

Há também coerência do modelo com relação às medições realizadas, percebendo-se um bom ajuste do gráfico aos pontos de medição.

3.2.2 Cenário Atual

Para análise do cenário atual, foram consideradas as vazões médias do mês de agosto. Para os afluentes nos quais não foi feito o cálculo da vazão média do mês de agosto, utilizou-se a relação baseada na área de drenagem encontrada no item 3.1.4:

$$Q_{med,ago} = 0,1426A_d^{0,5974}$$

Onde:

$Q_{med,ago}$ = Vazão Média do mês de agosto (m^3/s);

A_d = Área de drenagem (km^2).

Foram utilizados os dados de DBO obtidas no mês de agosto conforme explicado no item 3.1.1.. Através da fórmula de mistura e de decaimento da DBO foi possível calcular o valor de DBO em cada ponto do rio.

A figura 3-14 mostra o fluviograma com os dados de entrada do modelo.

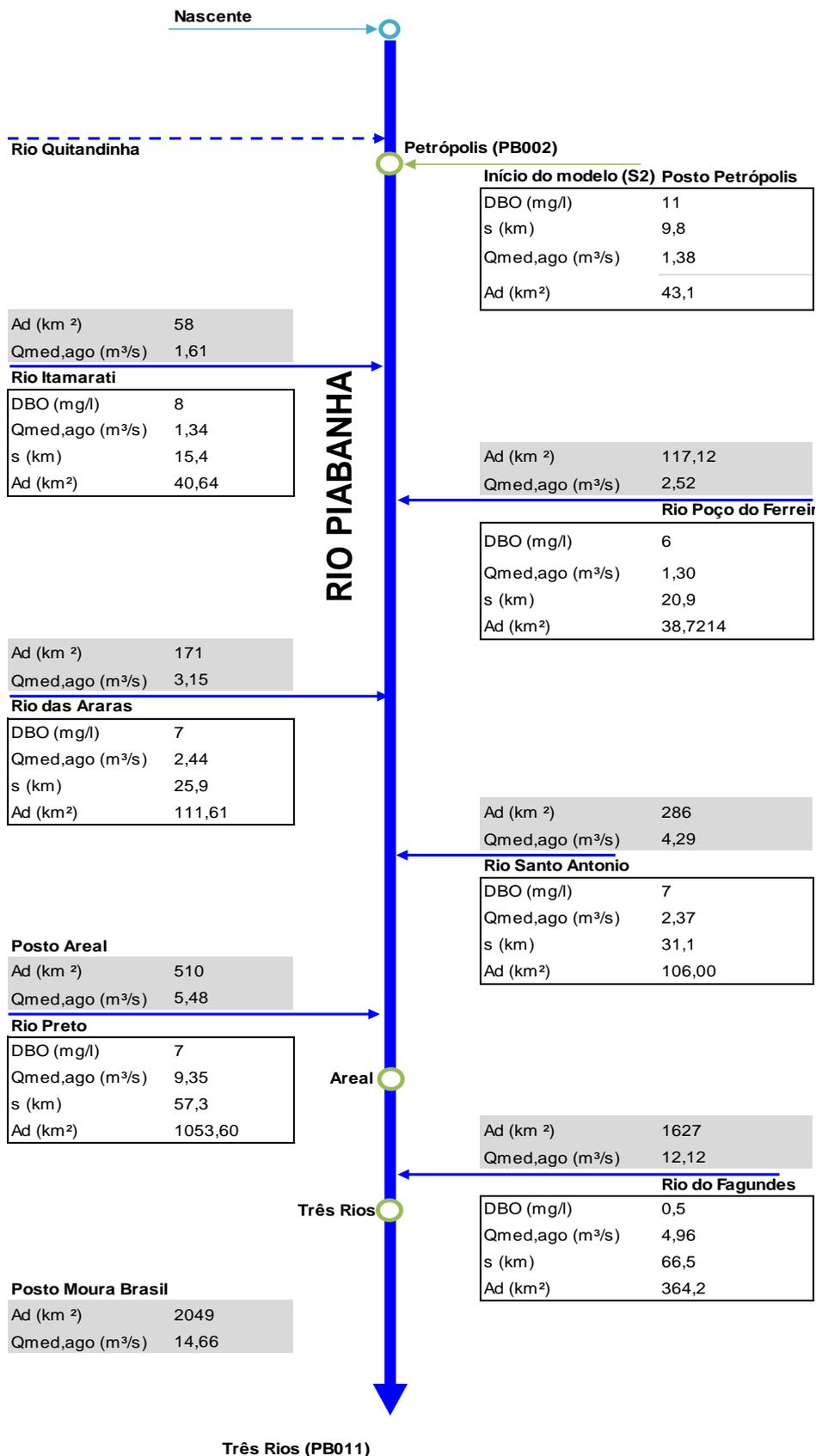


Figura 3-14 Fluviograma (entrada do modelo) para $Q_{med,ago}$.

O resultado da concentração de DBO para $Q_{med,ago}$ obtido através do modelo encontra-se na figura 3-15.

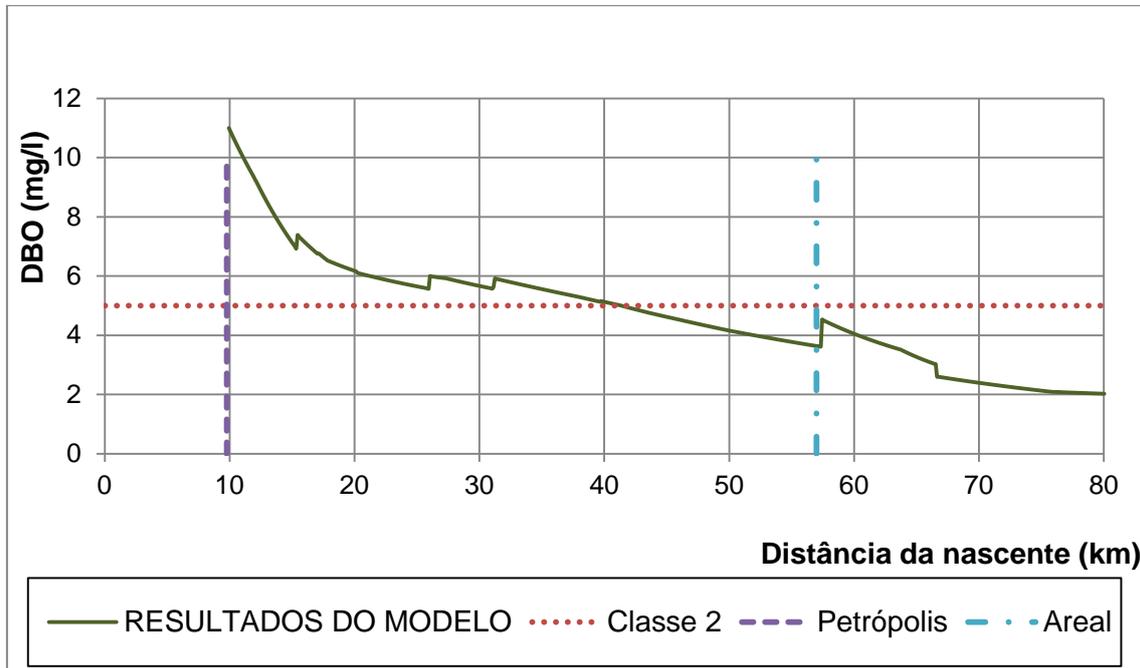


Figura 3-15 Resultados de DBO para $Q_{med,ago}$ ao longo do trecho do Rio Piabanha.

É possível perceber que a situação atual do rio Piabanha já é crítica no mês de agosto, mês mais seco do ano. Há violação da classe do rio (DBO maior que 5 mg/l) ao longo de quase todo seu comprimento.

Observa-se a mesma coerência nos resultados obtidos com elevação da DBO após os centros urbanos e usuários pontuais ou afluentes. Como nos cenários anteriores, ao longo do trecho, a matéria orgânica vai sendo degradada e os valores de DBO vão decaindo, mas apenas no trecho final do rio os valores encontrados se encontram inferiores ao máximo permitido.

3.2.3 Cenário reduzindo-se a vazão no trecho à Q7,10

Para análise do cenário atual foram consideradas as vazões médias móveis com 7 dias de duração para um tempo de retorno de 10 anos.

Para os locais onde não foi feito o cálculo da $Q_{7,10}$, utilizou-se 50% da vazão encontrada através da relação baseada na área de drenagem encontrada no item 3.1.2.:

$$Q_{7,10} = 0,0788A_d^{0,6743}$$

Onde:

Ad= Área de drenagem (km²).

Foram utilizados os dados de DBO obtidas no mês de agosto, como explicado no item 3.1.1. Através da fórmula de mistura e do decaimento da DBO foi possível calcular o valor de DBO em cada ponto do rio.

Com isso, de forma ilustrativa, na figura 3-16 observa-se o fluviograma com os dados de entrada do modelo.

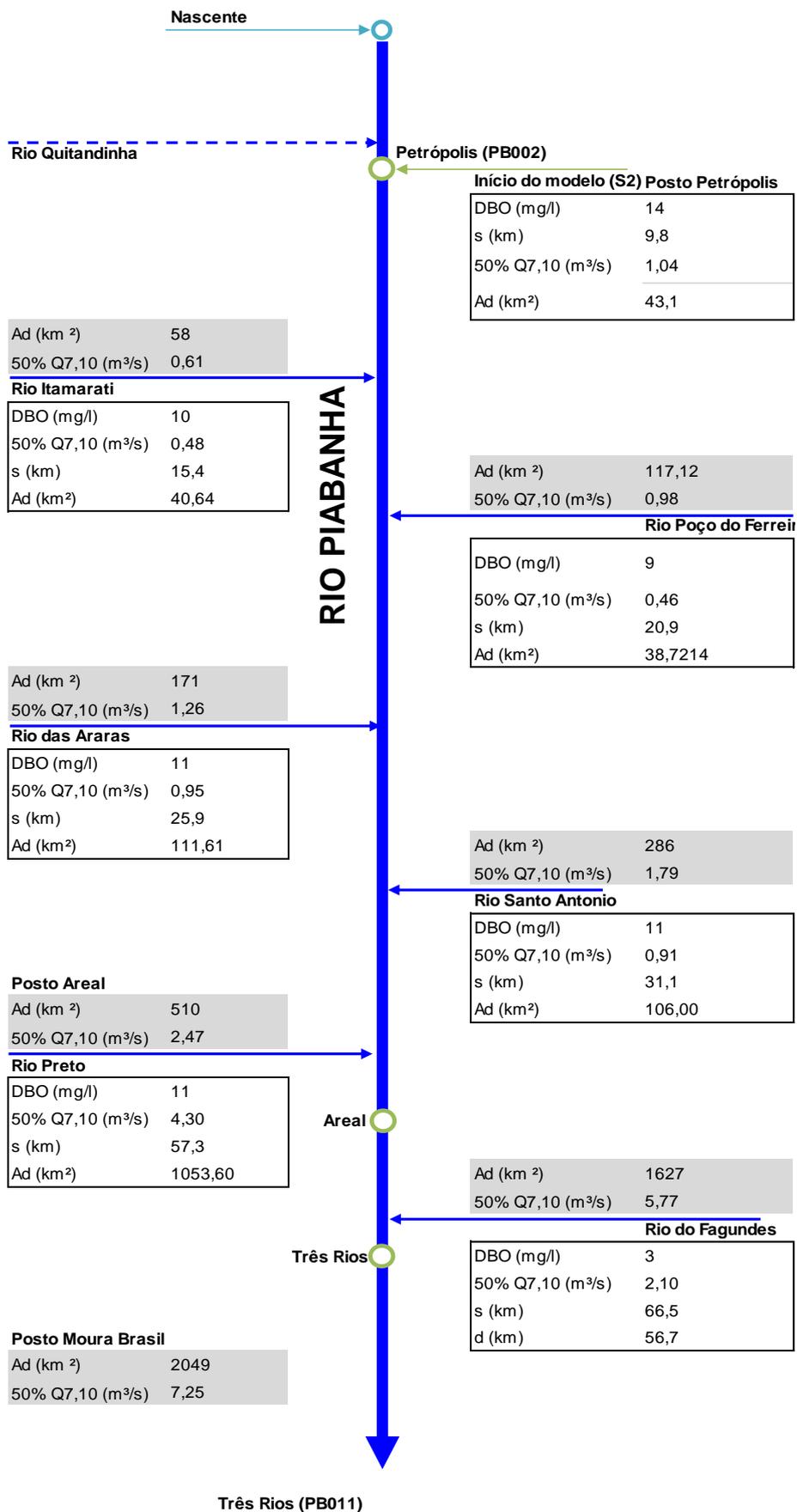


Figura 3-16 Fluviograma (entrada do modelo) para 50% da Q_{7,10}.

O resultado obtido através do modelo encontra-se na figura 3-17.

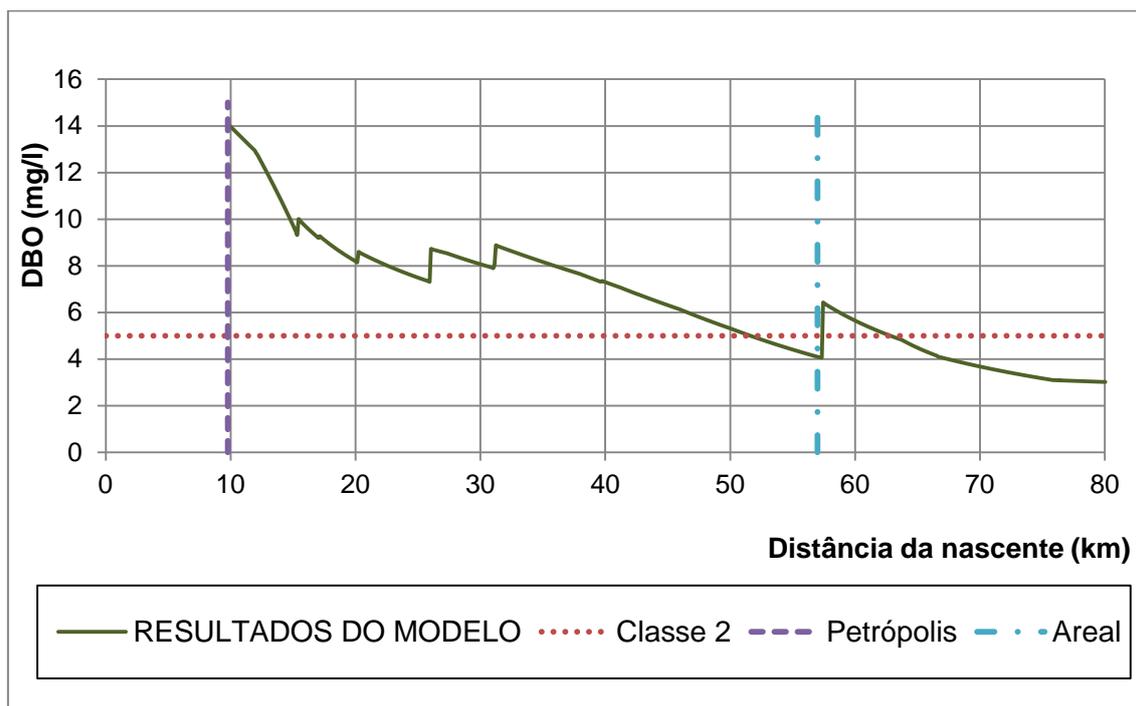


Figura 3-17 Resultados de DBO de agosto para 50% da $Q_{7,10}$ ao longo do trecho do Rio Piabanha.

Para 50% da $Q_{7,10}$ uma situação bem crítica no mês de agosto, com violação da classe do rio (DBO maior que 5 mg/l) ao longo de quase todo seu comprimento.

Observa-se a mesma coerência nos resultados obtidos com elevação da DBO após os centros urbanos e usuários pontuais ou afluentes. Como no cenário anterior, ao longo do trecho, a matéria orgânica vai sendo degradada e os valores de DBO vão decaindo, mas apenas no trecho final do rio os valores encontrados se encontram inferiores ao máximo permitido.

3.2.4 Comparação dos cenários para o mês de agosto

A Figura 3-18 exibe os resultados obtidos para os três cenários utilizando-se os valores de DBO medidos no mês de agosto.

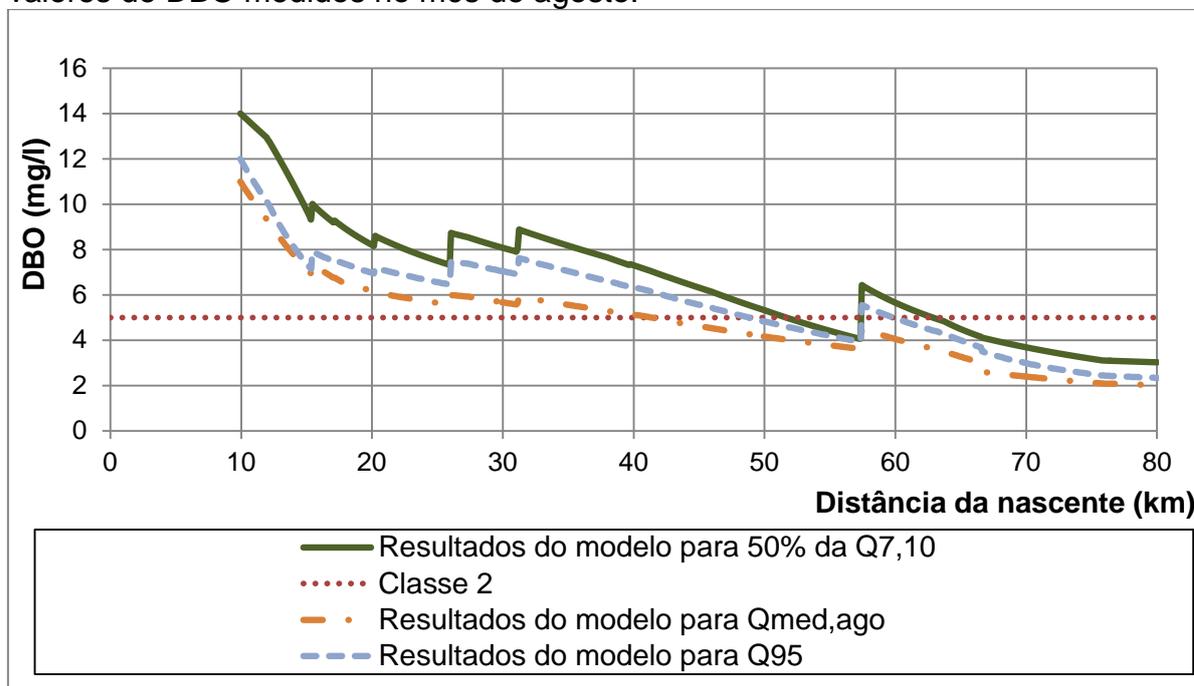


Figura 3-18 Comparação dos resultados de DBO ao longo do trecho do Rio Piabanha.

Percebe-se através da figura 3-18 que não existe grande variação de DBO, visto que a variação de vazões também é muito pequena. Observa-se que para as menores vazões, obtêm-se maiores valores de DBO, o que era o resultado esperado, que com a redução da vazão, observa-se uma situação mais crítica de qualidade, com aumento da DBO visto que existe menor volume disponível para diluição da matéria orgânica.

Isso comprova que reduzindo a vazão aos valores mínimos prescritos na legislação, a qualidade de água é deteriorada podendo atingir valores limites nos quais a sobrevivência das espécies e dos ecossistemas se torna impossível e há impedimento dos múltiplos usos da água.

3.2.5 Cenário reduzindo-se a vazão a 50% da $Q_{7,10}$ ao longo do ano

Para análise do cenário atual considerou-se as vazões médias móveis com 7 dias de duração para um tempo de retorno de 10 anos.

Para os locais onde não foi feito o cálculo da $Q_{7,10}$, utilizou-se 50% da vazão encontrada através da relação baseada na área de drenagem encontrada no item 3.1.2.:

$$Q_{7,10} = 0,0748A_d^{0,6852}$$

Onde:

A_d = Área de drenagem (km^2).

Foram utilizados os dados de DBO de toda série histórica, utilizando os valores de mediana conforme explicado no item 3.1.1.. Através da fórmula de mistura e de degradação da DBO foi possível calcular o valor de DBO em cada ponto do rio.

Com isso, na figura 3-19 observa-se o fluviograma com os dados de entrada do modelo.

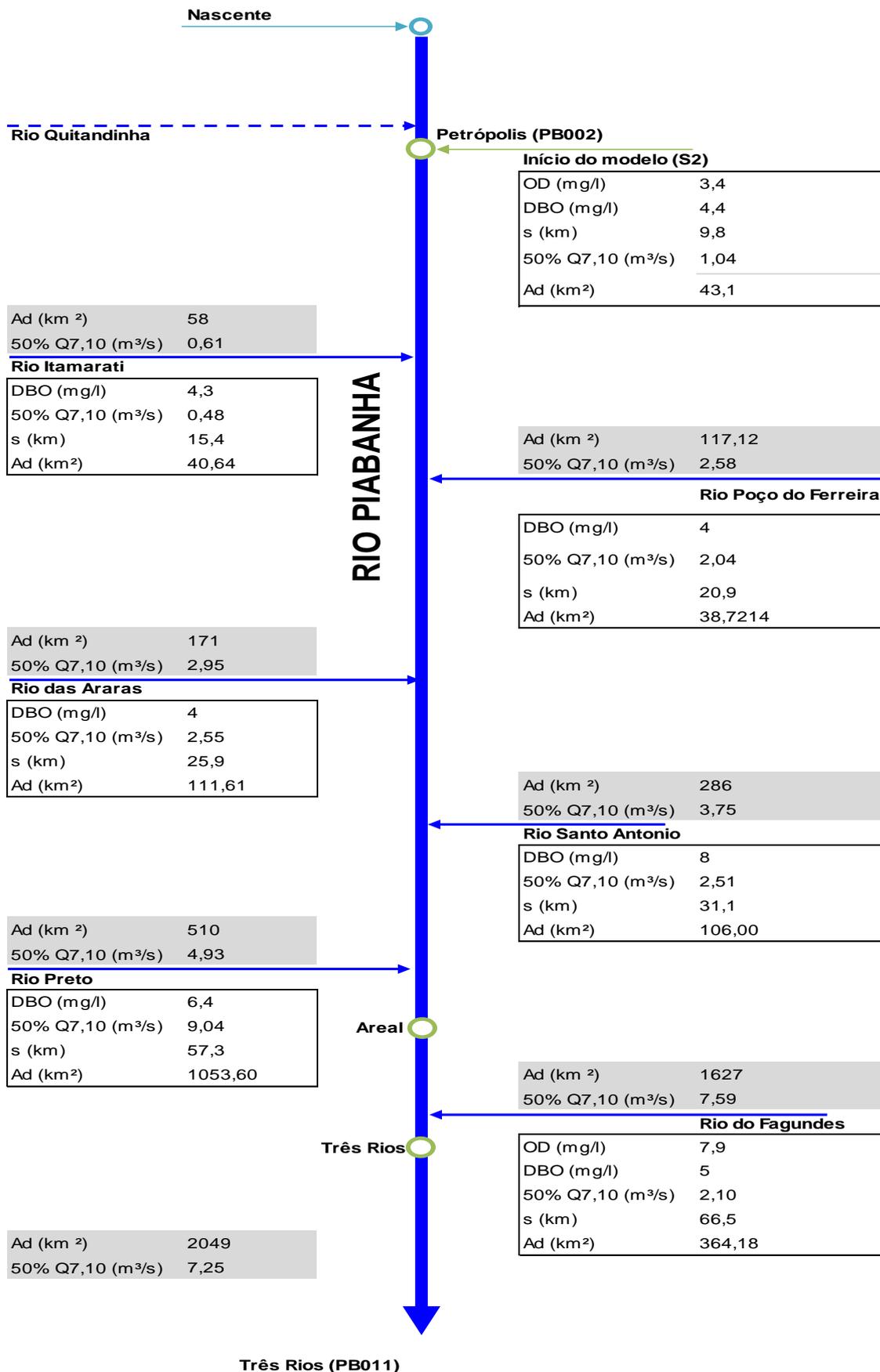


Figura 3-19 Fluviograma (entrada do modelo) para Q_{7,10} e DBO mediana anual.

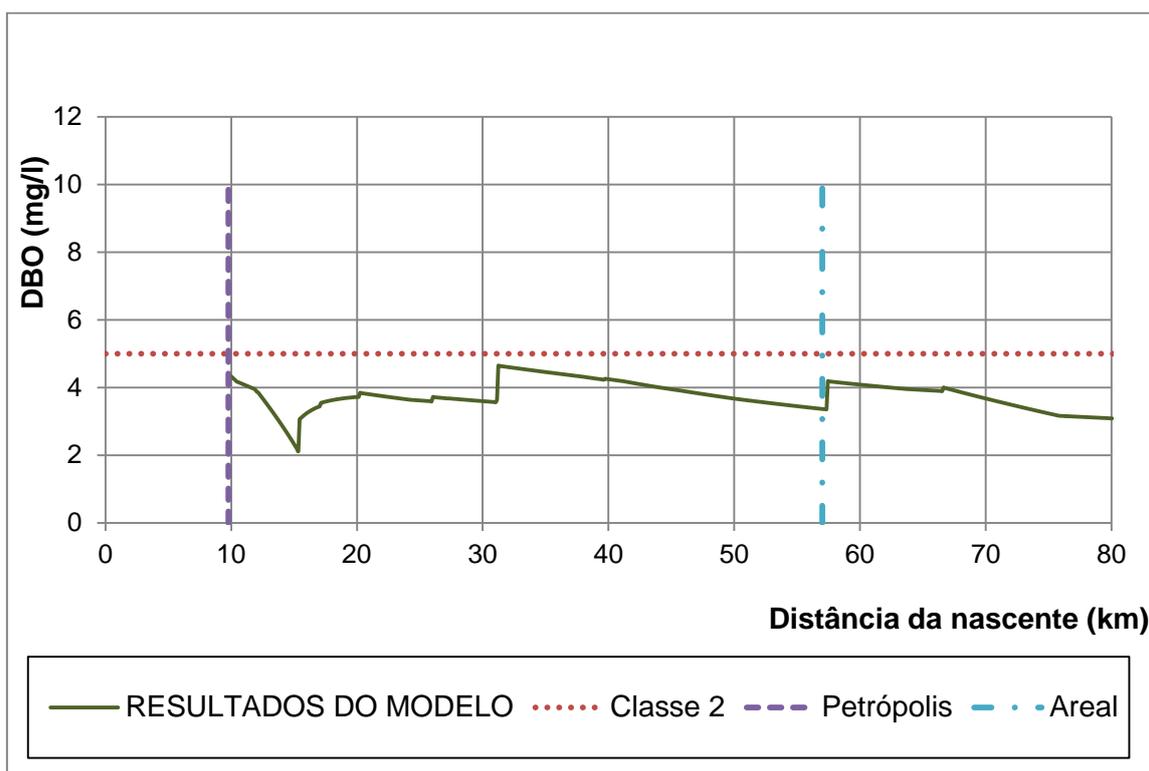


Figura 3-20 Resultados de DBO mediana anual para $Q_{7,10}$ ao longo do trecho do Rio Piabanha.

Através da figura 3-20, percebe-se que os valores de DBO ao longo de todo o trecho do rio Piabanha se encontram inferiores ao máximo permitido, alcançando um máximo de 4,54 mg/l, o que garante a sobrevivência do ecossistema e os múltiplos usos da água previstos para essa classe de rio.

Esse resultado era esperado e ressalta a necessidade de implantação de um hidrograma ecológico, visto que na época de cheia, as vazões são altas garantindo a manutenção do ecossistema, o que permitiria maiores captações e lançamentos, no entanto, isto não pode ser feito devido à limitação de uma vazão ecológica fixa ao longo do ano.

Capítulo IV – Considerações Finais

Os avanços ocorridos na área ambiental, quanto aos instrumentos técnicos, políticos e legais, são inegáveis. Nos últimos anos, tem-se percebido a consolidação de práticas e formulação de diretrizes que tratam a questão ambiental de forma sistêmica e integrada.

O código das águas visa a multiplicidade dos usos da água, visto que a mesma é um recurso finito e seu uso é comum. Para isso, a PNRH implantou os instrumentos de gestão que auxiliam a preservação dos recursos hídricos.

Um desses instrumentos é a outorga dos recursos hídricos que regulariza os usuários de água. Através desse instrumento, é limitado o valor máximo outorgável nos corpos d'água. A vazão ecológica no Brasil, atualmente, vem sendo adotada como a vazão remanescente que permanece no rio quando retirado o máximo permitido. No entanto, esse conceito não é regra no mundo, e diversos países têm diferentes métodos para determinar esta vazão.

Os métodos mais utilizados mundialmente são: métodos hidrológicos (análises estatísticas das séries históricas de vazões), métodos hidráulicos (estudo e correlação entre parâmetros físicos e bióticos do corpo hídrico), métodos de manutenção de habitats e até mesmo métodos holísticos, que consideram todos estes aspectos.

Os estados brasileiros utilizam em suas legislações, quando existentes, métodos hidrológicos, que como já dito anteriormente são essencialmente estatísticos e exigem uma análise cuidadosa dos resultados obtidos. A aplicação simplesmente de uma porcentagem da vazão de referência pode ser danosa, podendo levar os parâmetros de qualidade à níveis baixíssimos, por vezes inferiores aos níveis exigidos para a manutenção do ecossistema e múltiplos usos da água.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que o conceito de vazão ecológica adotado atualmente é, por vezes, inadequado, podendo levar as bacias brasileiras a situações de colapso. Durante os meses de seca os resultados deste trabalho mostraram que os valores de DBO são muito altos, muito acima do máximo

permitido pela legislação, o que no caso da bacia em estudo na qual as condições de vida são mínimas, o uso da água se torna restrito assim como a sobrevivência do ecossistema.

Ao adotar a vazão mínima prescrita na legislação do Estado do Rio de Janeiro (considerando os valores máximos de outorga), os resultados desse trabalho demonstraram uma clara deterioração do curso d'água em relação à qualidade das águas analisando o parâmetro de DBO. Isso só confirma a precariedade dos métodos adotados atualmente nas legislações estaduais brasileiras.

Maiores ainda são os problemas nos estados brasileiros que não possuem legislação nesse sentido, e nos quais os instrumentos de gestão ainda não foram implantados, gerando conflitos pelo uso da água e podendo causar danos irreversíveis ao meio ambiente.

Outra situação mostrada pelos resultados deste trabalho é a necessidade da adoção do conceito de hidrograma ecológico. Os valores máximos outorgáveis baseados em vazões mínimas faz com que em boa parte do ano, principalmente na época de cheias, as vazões sejam altas o que possibilitaria uma retirada maior de vazão e/ou maiores lançamentos de efluentes, o que não pode ser feito, levando a uma situação de insatisfação por parte dos usuários.

Esse trabalho relacionou os principais problemas encontrados relacionados à obtenção e aplicação da vazão ecológica atualmente visando aumentar a divulgação do tema no país para que haja a necessária conscientização dos usuários para um uso parcimonioso dos recursos hídricos.

Capítulo V - Referências Bibliográficas

AGRAI, Sidnei Gusmão; Souza, Christopher Freire; Silva, Luciano Meneses Cardoso da – *Inserindo o hidrograma ecológico no SINGREH*, Artigo apresentado no XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

ALVES, M. H.. “*Métodos de determinação do caudal ecológico*”, Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 1993, p.162.

ANA, Hidroweb. Sistemas de informações hidrológicas. Agência Nacional de Águas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 26 jul. 2011.

COLLISCHONN, W.; AGRA, S. G.; FREITAS, G. K. *Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico*. In: VIII Congresso da Água, 2006, Figueira da Foz. Água, sede de sustentabilidade. Lisboa: Associação Portuguesa de Recursos Hídricos, 2006.

CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília - DF, de 8 de março de 2005, nº 53, Seção 1, páginas 58-63. CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

COPPE/UFRJ, Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul – Caderno de Ações da Bacia do Rio Piabanha. In: Relatório Contratual R-10, elaborado como parte dos documentos que compõem o Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul, ANA, LabHid COPPE/UFRJ, Fundação COPPETEC, 2006.

CPRM, *Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 58*. In: Regionalização de Vazões da Sub-bacia 58 – ANEEL/CPRM, 2003.

CRIADO, M. C. G. “*El régimen de caudales medio ambientales. Su cálculo en La cuenca del Guadiana*”. LA GESTIÓN DEL AGUA, vol. 2, Nº 51, 2000.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT). Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. 2 ed., Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/51044288/8/METODO-DE-GUMBEL>>. Acesso em 20 jul. 2011.

De Paula, Thiago Pires. *Diagnóstico e Modelagem Matemática da Qualidade da Água em Trecho do Rio Piabanha/RJ*. Tese de M. Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.

FARIAS JÚNIOR, J. E. F., *Análise das metodologias utilizadas para a determinação da vazão ecológica. Estudo de caso: Rio Coruripe/AL e Rio Solimões/AM*. Tese de M. Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2006.

GONÇALVES, R.C, *Modelagem hidrológica do tipo chuva-vazão via SMAP e TOPMODEL - Estudo de Caso: Bacia do Rio Piabanha/RJ*. Dissertação de M.Sc, Curso de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

Hidrologia: ciência e aplicação / organizado por Carlos E. M. Tucci et al.- 3.ed., primeira reimpressão - Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2004.

IBGE, Contagem da população. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística em 2007.

Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem.pdf>>.

Acesso em: 15 mar. 2011, 11:30:31.

J. GONDIM. Apresentação na 51ª Reunião da CTAP – Câmara Técnica de Análise de Projetos do CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2006.

JORDÃO, E. P. e Pessoa, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 4ed. ABES-RJ. 2005.

KLING, A.S.M. *Aplicação do Método Battelle na avaliação do impacto ambiental na bacia hidrográfica do rio Piabanha*. Dissertação de M.Sc, Curso em Ciências da Área de Saúde Pública da Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca. Fiocruz, Rio de Janeiro, Brasil, 2005.

LOU, R.F. *Modelagem hidrológica chuva-vazão e hidrodinâmica aplicada na Bacia Experimental do Rio Piabanha/RJ*. Dissertação de M.Sc, Curso de Engenharia Civil – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2010.

Mendes, L. A., *Análise dos critérios de outorga de direito de usos consuntivos dos recursos hídricos baseados em vazões mínimas e em vazões de permanência*. Dissertação de M.Sc, Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, Brasil. 2007.

NBR 12614: Águas - Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Método de incubação (20°C, cinco dias). ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1992.

PAULO, Robélia Gabriela Firmiano de. *Ferramenta para a determinação de vazões ecológicas em trechos de vazão reduzida: Destaque para aplicação do método do perímetro molhado no caso de Capim Branco I*, Belo Horizonte 2007.

ROSMAN, P. C. C., MASCARENHAS, F. C. B., MIGUEZ, M. G., CAMPOS, R.O. G., EIGER, S. *Subsídios para modelagem de sistemas estuarinos*. In: Métodos numéricos em recursos hídricos, 1 ed., capítulo 3. Rio de Janeiro, Brasil, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1997.

SARMENTO, Robson. *Termo de referência para a elaboração de estudos sobre vazão ecológica na Bacia do Rio São Francisco*, Produto 3. Referência: Edital n. 05 do ano de 2006, PROJETO 704BRA2041 da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura – UNESCO- Junho de 2007.

SOUSA, Daniel Villela Runkel de. *Vazão ambiental em Belo Monte: Análise do estudo de impactos ambientais e aplicação do método do perímetro molhado para comparação crítica*. Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2010.

SPERLING, M. V. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 3 ed., vol. 1. Belo Horizonte, Brasil, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.

ZEERJ. *Análise e qualificação socioambiental do Estado do Rio de Janeiro (escala 1:100.000): subsídios ao ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico*. Relatório da Etapa

VI. Fase 02: Regiões Hidrográficas Médio Vale do Paraíba do Sul (RH-III), Piabanha (RH-IV), Dois Rios (RH-VII). Vol. 03. Rio de Janeiro, Nov. 2008.

Anexo I: Usuários do rio Piabanha

NOME	TIPO	FINALIDADE	CORPO D'ÁGUA	TRATAMENTO	Vazão (m³/ano)	DBO MÉDIO BRUTO (mg/l)	DBO MÉDIO TRATADO (mg/l)	CARGA ORG (kg/d)
CETEM 02	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Moinho Verde Alimentos Ltda	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	(Sem Tratamento)	10512,00	69,60	0,00	2,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Lançamento	mineração	Rio Piabanha	Lodos Ativados Convencional	1080,40	57,00	10,00	0,03
S1	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
CETEM 08	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Ge Celma Ltda	Lançamento	outro	Rio Piabanha	Lodos Ativados - Aeração Prolongada	150672,00	919,64	47,60	19,65
Dentsply indústria E Comércio Ltda	Lançamento	indústria	-	Precipitação Primária (Alta Dosagem)+Biológico	14784,00	616,00	79,00	3,20
Carl Zeiss Vision Brasil indústria Óptica Ltda	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	outro - Tratamento Biologico Físico Químico	0,80	243,00	243,00	0,00
Ge Celma Ltda	Lançamento	outro	Rio Piabanha	Precipitação Primária (Alta Dosagem)	24361,90	0,00	0,00	0,00
CPRM 02	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Werner Fábrica De Tecidos S/A.	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	outro - Tratº Físico Quím./Biolog. (Lodo Ativado)	372556,80	815,00	17,00	17,35
Werner Fábrica De Tecidos S/A.	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	outro - Tratº Físico Quím./Biológ.(Lodo Ativado)	19578,20	815,00	17,00	0,91
Fernando Madeira Gomes Coelho	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	322,00	0,00	0,00	0,26
CETEM 03	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Auto Posto Montecaseros Ltda	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	350,40	0,00	0,00	0,29
ANA1	Monitoramento	estação fluviométrica	Rio Quitandinha					0,00
CETEM 04	Monitoramento	estação de qa	Rio Quitandinha					0,00
ete QUITANDINHA	Lançamento	ete	Rio Quitandinha	Tratamento secundário	7665000,00	300,00	15,00	315,00

ete PALATINATO	Lançamento	ete	Rio Palatinado	Tratamento secundário	4745000,00	300,00	15,00	195,00
Carl Zeiss Vision Brasil indústria Óptica Ltda.	Lançamento	indústria	Rio do Carmo	outro - Tratamento Biológico Mais Decantação	12588,10	2026,00	2026,00	48,91
Transporte Unica Petrópolis Ltda	Lançamento	outro	Rio Piabanha	(Sem Tratamento)	5343,60	101,00	0,00	1,48
Transporte Unica Petrópolis Ltda	Lançamento	outro	Rio Piabanha	(Sem Tratamento)	5343,60	101,00	0,00	1,48
Alps Auto Posto Ltda	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	1013,80	0,00	0,00	0,83
Condomínio Solar Das Hortencias	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	700,80	0,00	0,00	0,58
Museu Imperial	Lançamento	outro	Rio Quitandinha	(Sem Tratamento)	148,90	1,00	0,00	0,00
Museu Imperial	Lançamento	outro	Rio Quitandinha	(Sem Tratamento)	148,90	1,00	0,00	0,00
CPRM 04	Monitoramento	estação de qa	Rio Palatinado					0,00
INEA02	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Academia C.Água Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		1248,00			0,00
Albertino Cabral De Figueiredo	Captação	outro	Rio Piabanha		57,60			0,00
Alps Auto Posto Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		1267,20			0,00
Associação Faculdades Católicas Petropolitanas	Captação	outro	Rio Piabanha		3887,30			0,00
Associação Faculdades Católicas Petropolitanas	Captação	outro	Rio Piabanha		1806,80			0,00
Carl Zeiss Vision Brasil indústria Óptica Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		0,50			0,00
Carl Zeiss Vision Brasil indústria Óptica Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		0,50			0,00
Carl Zeiss Vision Brasil indústria Óptica Ltda.	Captação	indústria	Rio Piabanha		11212,80			0,00
Carl Zeiss Vision Brasil indústria Óptica Ltda.	Captação	indústria	Rio Piabanha		4522,40			0,00
Casa De Repouso Despertar S/C Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		547,50			0,00
Celso Rodrigues Teixeira	Captação	outro	Rio Piabanha		1401,60			0,00

Comunidade Evangélica De Confissão Luterana Em Petrópolis	Captação	outro	Rio Piabanha		438,00			0,00
Comunidade Evangélica De Confissão Luterana Em Petrópolis	Captação	outro	Rio Piabanha		182,50			0,00
Condominio Do Edifício Hotel Quitandinha	Captação	outro	Rio Piabanha		1241,00			0,00
Condominio Galeria Petropolis	Captação	outro	Rio Piabanha		5616,00			0,00
Condomínio Solar Das Hortencias	Captação	outro	Rio Piabanha		876,00			0,00
Confeitaria Pão Brasil Ltda Me	Captação	outro	Rio Piabanha		1752,00			0,00
Conjunto São José	Captação	outro	Rio Piabanha		6,50			0,00
Dentsply Indústria E Comércio Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		8640,00			0,00
Dentsply Indústria E Comércio Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		15600,00			0,00
Escolinha De Artes E Lazer Xameguinho Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		547,50			0,00
Fernando Madeira Gomes Coelho	Captação	outro	Rio Piabanha		405,60			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		7008,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		17520,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		700,80			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		10512,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		17520,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		7008,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		61320,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		33792,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		18585,60			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		20655,40			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		35040,00			0,00
Ge Celma Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		20655,40			0,00

Hotel York Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha	730,00		0,00
Ipi Center	Captação	outro	Rio Piabanha	255,50		0,00
Moinho Verde Alimentos Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha	5840,00		0,00
Museu Imperial	Captação	outro	Rio Piabanha	0,40		0,00
Museu Imperial	Captação	outro	Rio Piabanha	365,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	21900,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	13140,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	16425,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	25404,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	15768,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	3285,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	4599,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	7884,00		0,00
Nestle Waters Brasil - Bebidas E Alimentos Ltda	Captação	mineração	Rio Piabanha	7029,90		0,00
Posto De Serviços Ninos Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha	489,10		0,00
Posto Regente Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha	1497,60		0,00
Serviço Social Do Comércio - Adm. Reg. Rio De Janeiro	Captação	outro	Rio Piabanha	1248,00		0,00
Transporte Unica Petrópolis Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha	13286,00		0,00
Vep- Veiculos Especiais De Petropolis Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha	374,40		0,00
Werner Fábrica De Tecidos	Captação	indústria	Rio Piabanha	258065,30		0,00

S/A.								
Werner Fábrica De Tecidos S/A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		143953,90			0,00
Werner Fábrica De Tecidos S/A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		5258,90			0,00
S2	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
CETEM 05	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Xerium Technologies Brasil indústria E Comércio Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		9120,00			0,00
CPRM 03	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Xerium Technologies Brasil indústria E Comércio Ltda	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	Tratamento Primário Melhorado Quimicamente (Baixa Dosag.)+Biológico (Asp)	8400,00	92,00	92,00	2,12
S3	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S4	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
L3	Monitoramento	seção	Rio Itamarati					0,00
Transporte Unica Petrópolis Ltda	Captação	outro	Rio Itamarati		13286,00			0,00
S5	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
Zuleika Borges Torrealba	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	15321,60	0,00	0,00	12,59
Zuleika Borges Torrealba	Captação	outro	Rio Piabanha		16128,00			0,00
CETEM 06	Monitoramento	estação de qa	Rio do Poço da Ferreira					0,00
CPRM 05	Monitoramento	estação de qa	Rio do Bonfim					0,00
CPRM 06	Monitoramento	estação de qa	Rio do Bonfim					0,00
CPRM 07	Monitoramento	estação de qa	Rio do Bonfim					0,00
CPRM 09	Monitoramento	estação de qa	Rio do Bonfim					0,00
CPRM 10	Monitoramento	estação de qa	Rio do Bonfim					0,00
L5	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
CETEM 07	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
CETEM 09	Monitoramento	estação de qa	Rio das araras					0,00
CETEM 01	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
CPRM 01	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00

L4	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
Auto Posto Montecaseros Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		1752,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		36792,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		76650,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		76650,00			0,00
Condomínio Quinta Do Lago	Captação	outro	Rio Piabanha		54800,00			0,00
Condomínio Quinta Do Lago	Captação	outro	Rio Piabanha		109600,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		182500,00			0,00
Condominio Residencial Parque Das Flores	Captação	outro	Rio Piabanha		3650,00			0,00
CETEM 10	Monitoramento	estação de qa	Rio Santo Antonio					0,00
Cond. Parque Da Boa Vista	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	42310,80	0,00	0,00	34,78
Condomínio Vargem Alegre	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	40588,80	0,00	0,00	33,36
Lafarje Brasil S/A	Lançamento	indústria	-	(Sem Tratamento)	292,00	0,00	0,00	0,00
L2	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		21900,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		182500,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		32850,00			0,00
Cond. Parque Da Boa Vista	Captação	outro	Rio Piabanha		55676,20			0,00
Condominio Residencial Parque Das Flores	Captação	outro	Rio Piabanha		3650,00			0,00
Condomínio Vargem Alegre	Captação	outro	Rio Piabanha		40996,80			0,00
Itaipava Pneus Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		900,00			0,00
Lafarje Brasil S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		3358,00			0,00
Lafarje Brasil S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		438,00			0,00
Posto De Gasolina Alcatraz Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		22075,20			0,00
Posto De Gasolina Alcatraz Ltda	Captação	outro	Rio Piabanha		22075,20			0,00
CETEM 11	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00
Concreto Nova Estrela Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		3600,00			0,00

Concreto Nova Estrela Ltda	Lançamento	indústria	-	Tratamento Primário (Tanques Sépticos)	7200,00	1,50	1,70	0,03
S6	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
Concreto Nova Estrela Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		9600,00			0,00
S7	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
CPRM 08	Monitoramento	estação de qa	Ribeirão Retiro das Pedras					0,00
ANA2	Monitoramento	estação fluviométrica	Rio Piabanha					0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		36500,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		84680,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		59860,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		58400,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		134451,40			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		109427,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		227030,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		74116,90			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		109500,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		55136,90			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		87702,20			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		333712,20			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		109500,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		88768,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		182500,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		293562,20			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		256814,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		73000,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		146000,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		219073,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		365657,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		34616,60			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		109083,90			0,00

Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		27528,30			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		321200,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		31390,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		113296,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		55056,60			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		27528,30			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		99718,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		156293,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Captação	indústria	Rio Piabanha		231264,00			0,00
L1	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		26280,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		40150,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		24309,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		36500,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		35040,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		32850,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S/A	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	Uasb + Flotação Por Ar Dissolvido	613200,00	1120,00	14,00	23,52
Cervejaria Petrópolis S/A	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	Uasb + Flotação Por Ar Dissolvido	613200,00	1120,50	14,00	23,52
Cervejaria Petrópolis S.A.	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	Uasb + Flotação Por Ar Dissolvido	0,00	1120,50	14,00	0,00
P1	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		109500,00			0,00
Mauro Roberto Gomes De Mattos	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	1489,20	0,00	0,00	1,22
Maurício Teixeira Dos Santos	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	288,00	0,00	0,00	0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		43800,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		10220,00			0,00
Cervejaria Petrópolis S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		36500,00			0,00
Maurício Teixeira Dos Santos	Captação	outro	Rio Piabanha		144,00			0,00
Maurício Teixeira Dos Santos	Captação	outro	Rio Piabanha		108,00			0,00

Maurício Teixeira Dos Santos	Captação	outro	Rio Piabanha		108,00			0,00
Mauro Roberto Gomes De Mattos	Captação	outro	Rio Piabanha		1825,00			0,00
P2	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S8	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
P3	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S9	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
P4	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S10	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S11	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
P5	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S12	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
S13	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
ANA3	Monitoramento	estação fluviométrica	Rio Piabanha					0,00
Cervejaria Petrópolis As	Lançamento	indústria	Rio do Capim	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facult. + Lagoa De Maturação	3317587,20	1635,00	33,00	299,95
Cervejaria Petrópolis Sa	Lançamento	indústria	Rio do Capim	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facult. + Lagoa De Maturação	3317587,20	1635,00	33,00	299,95
Cervejaria Petrópolis Ltda	Lançamento	indústria	Rio do Capim	Uasb + Lagoa Aerada Mist. Compl. + Lagoa Decantação	732814,10	2500,00	50,00	100,39
Cervejaria Petrópolis Ltda	Lançamento	indústria	Rio do Capim	Uasb + Lagoa Aerada Mist. Compl. + Lagoa Decantação	732814,10	2500,00	50,00	100,39
Cope Construções Projetos E Engenharia Ltda.	Lançamento	outro	-	(Sem Tratamento)	5139,20	0,00	0,00	4,22
Concessionária Rio-Teresópolis S.A.	Lançamento	outro	-	Tratamento Primário	3504,00	0,00	0,00	2,02
Concessionária Rio-Teresópolis S.A.	Lançamento	outro	-	Tratamento Primário	581,80	0,00	0,00	0,33
CETEM 12	Monitoramento	estação de qa	Rio Preto					0,00
P6	Monitoramento	seção	Rio Piabanha					0,00
CETEM 13	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha					0,00

S14	Monitoramento	seção	Rio Piabanha						0,00
Advanced Nutrition indústria E Comércio De Alimentos E Cosméticos Ltda	Lançamento	indústria	Rio Piabanha	Tratamento Primário Melhorado Quimicamente (Baixa Dosagem)	6019,20	158,80	25,60		0,42
Advanced Nutrition indústria E Comércio De Alimentos E Cosméticos Ltda	Captação	indústria	Rio Piabanha		17424,00				0,00
Darrow Laboratórios S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		32400,00				0,00
Darrow Laboratórios S.A.	Captação	indústria	Rio Piabanha		4320,00				0,00
Darrow Laboratórios S.A.	Lançamento	indústria	-	Tratamento Primário	22560,00	15,00	2,00		0,12
S15	Monitoramento	seção	Rio Piabanha						0,00
UHE PIABANHA	BARRAGEM	outro	Rio Piabanha						0,00
S16	Monitoramento	seção	Rio Piabanha						0,00
S17	Monitoramento	seção	Rio Piabanha						0,00
ANA4	Monitoramento	estação fluviométrica	Rio Piabanha						0,00
INEA011	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha						0,00
CETEM 14	Monitoramento	estação de qa	Rio Piabanha						0,00

Anexo II: Dados de DBO

DATA	Distância a nascente (km)																					
	1,08	4,39	6,18	9,00	9,77	9,84	10,49	11,81	20,90	24,31	25,87	27,11	27,27	31,09	31,99	38,81	57,19	57,59	75,77	78,68	80,46	
09-01-1900																					9	
08-07-1980						22															2	

23-10-1980																				2		
27-10-1980																					4	
20-11-1980					16																3,2	
12-01-1981					9,6																	
22-01-1981					9,6																4,8	
08-04-1981					26																3,2	
06-05-1981					16																2,6	
04-06-1981					8																	
16-06-1981					13,6																	
09-08-1981					34																3,2	
09-08-1981					12																8	
20-10-1981					40																	
14-01-1982																					2,2	
17-02-1982					12,8																4	
15-03-1982																					2	
15-04-1982																					10,4	
15-06-1982																					7,2	
24-08-1982					24																2,4	
27-09-1982																					2	
11-10-1982																					2	
19-10-1982																					2,2	
05-12-1982																					9,4	
07-12-1982																					14,4	
14-12-1982																					2	
20-12-1982																						
28-03-1983																					2	
06-06-1983					8																2	

02-07-1983																				43		
08-09-1983																					2	
05-10-1983																					3,6	
17-10-1983																					2,4	
01-12-1983						3,2															4	
07-12-1983						10,6															2	
09-12-1983																					2	
22-12-1983																					3,4	
31-01-1984																					2	
29-03-1984																					2,4	
12-04-1984																					2	
11-06-1984																					3,4	
27-06-1984																					2,6	
05-08-1984																					3	
10-10-1984																					3	
09-11-1984																						
26-03-1985						6															2	
18-04-1985																					2	
11-05-1985						11,2															6	
15-05-1985						17,6															2	
07-08-1985																					3,6	
13-08-1985						16															3,2	
19-09-1985																					3	
21-10-1985																					2	
06-11-1985																					2,4	
27-11-1985																					4	
16-12-1985																					2	

12-02-1986					18														3		
26-02-1986																				2	
14-05-1986					3,2															2,4	
22-09-1986					28															11,6	
21-10-1986					34															2,6	
12-08-1987					22															6,4	
03-09-1987					10															3,2	
19-10-1987					14															5	
11-02-1988					2,4															8	
05-05-1988					8															2	
31-01-1989					8,8															2	
21-03-1989					5,6															2	
09-05-1989					20															3,2	
05-09-1989					8,8															4,8	
27-09-1989					14															6,8	
01-11-1989					10,5															2,8	
07-11-1989					22															2	
28-12-1989					7															2,4	
09-03-1990					16															5,6	
13-03-1990					30															3	
15-05-1990					2,4															7,2	
02-07-1990					18															4,8	
07-10-1990					30															2,8	
30-10-1990					6															2	
24-01-1991					5,6															2	
17-04-1991					8,8															2	
10-07-1991					8															2	

21-08-1991					20														2		
16-10-1991					7,2															2	
08-01-1992					8,4															2	
10-09-1992					8,8															3	
24-03-1993																				1,7	
24-03-1993																				1,7	
24-03-1993																				1,7	
28-04-1993																				1,48	
28-04-1993																				1,48	
02-06-1993																				1,85	
02-06-1993																				1,85	
29-06-1993					13																2
28-07-1993																				3,7	
28-07-1993																				3,7	
26-08-1993					30																3
23-09-1993																				0,35	
23-09-1993																				0,35	
29-09-1993																				5,33	
29-09-1993																				5,33	
26-10-1993					12																2,4
07-12-1993					11,2																3,2
10-02-1994																				3,69	
10-02-1994																				3,69	
24-03-1994					4,8																2
07-04-1994																				1,12	
07-04-1994																				1,12	
05-05-1994					4,8																2

12-05-1994																			5,9		
14-06-1994						6,8														2	
14-06-1994																			2,73		
21-06-1994																			1,35		
20-07-1994																			1,87		
11-08-1994																			3,88		
23-08-1994						8,8														2	
24-08-1994																			1,01		
06-10-1994																			2,84		
25-10-1994						8														2	
21-12-1994																			7		
22-03-1995																			1,4		
29-03-1995						8														2,4	
27-04-1995																			2,09		
11-05-1995						12														2	
28-06-1995						32														2	
20-07-1995																			5,75		
02-08-1995																			3,64		
12-09-1995																			22,3		
14-09-1995						13														7,2	
28-09-1995																			9,4		
10-10-1995						10,5														2	
26-10-1995																			9,2		
08-11-1995																			5		
12-12-1995						12														2	
13-12-1995																			2,24		
13-02-1996																			5,6		

10-12-1998					5														2	
07-04-1999																			240	
04-07-2001					20														5	
13-09-2001					9														7,6	
10-10-2001					6														2	
13-11-2001					6,4														2	
11-12-2001					3														2	
24-01-2002					7,2														2,4	
28-02-2002					2,6														2	
25-04-2002					7														5,8	
27-06-2002					3,2														2	
08-08-2002					4,4														3,8	
16-10-2002					8,8														5,4	
23-01-2003					4														2	
12-03-2003					2														2	
11-06-2003					3,6														2	
16-09-2003					4,6														2	
15-01-2004					6,4														2	
31-03-2004					4,4														2	
19-05-2004					5,6														2	
08-06-2004					7,2														2	
23-09-2004					8														2	
25-11-2004					6,8														2	
06-01-2005					2,6														2	
30-03-2005					3,8														2	
19-05-2005					4														2	
04-08-2005					6,2														2	

27-10-2005					5														2	
12-12-2005					6,2														3,8	
10-01-2006					2														2	
21-03-2006					2,2														2	
07-06-2006					4,4														2	
06-07-2006					6,4														2	
08-11-2006					2,8														2	
29-03-2007					3,4														2	
09-05-2007					6,2														2	
08-08-2007					4,8														2	
06-12-2007					6														2	
08-04-2008					6,4														4	
19-06-2008					7														2	
04-09-2008					5,4														2	
11-02-2009					2														2	
01-04-2009					2,6														2	
24-06-2009					5														5,8	
10-08-2009					4,6														2	
25-08-2009		10,5					9,5						7							
29-09-2009		8,11					4,82						4,69							
26-10-2009							2						3,51							
23-11-2009													2							
24-11-2009		6,4					4,4													
14-12-2009													2							
15-12-2009		2					5,3													
03-03-2010					2														2	
28-03-2010		5,8																		

29-03-2010							8,1													
01-04-2010												5,5								
09-06-2010					4														2	
22-06-2010			5,4									2								
23-06-2010							4,6													
18-08-2010					4														2	
06-10-2010					5,2														2	
25-10-2010			2																	
28-10-2010							5,9													
29-10-2010												4,6								
30-11-2010			7				4,1					3,8								

Anexo III: Disponibilidade de dados hidrológicos consistidos

	Posto Fluviométrico														
	1931			1932			1933			1934					
	j	f	m	j	f	m	j	f	m	j	f	m	j	f	m
Petrópolis															
Pedro do Rio															
Areal															
Moura Brasil															

	Posto Fluviométrico											
	1958			1959			1960			1961		
	j	f	m	j	f	m	j	f	m	j	f	m
Petrópolis												
Pedro do Rio												
Areal												
Moura Brasil												

	Posto Fluviométrico											
	1985			1986			1987			1988		
	j	f	m	j	f	m	j	f	m	j	f	m
Petrópolis												
Pedro do Rio												
Areal												
Moura Brasil												

1937	j	1935	j	1936	j	1935	j	1936	j	1937	m
	f		f		f		f		f		f
	m		m		m		m		m		m
	a		a		a		a		a		a
	m		m		m		m		m		m
	j		j		j		j		j		j
	j		j		j		j		j		j
	a		a		a		a		a		a
	s		s		s		s		s		s
	o		o		o		o		o		o
	n		n		n		n		n		n
	n		n		n		n		n		n

1964	j	1962	j	1963	j	1962	j	1963	j	1964	m
	f		f		f		f		f		f
	m		m		m		m		m		m
	a		a		a		a		a		a
	m		m		m		m		m		m
	j		j		j		j		j		j
	j		j		j		j		j		j
	a		a		a		a		a		a
	s		s		s		s		s		s
	o		o		o		o		o		o
	n		n		n		n		n		n
	n		n		n		n		n		n

1991	j	1989	j	1990	j	1989	j	1990	j	1991	m
	f		f		f		f		f		f
	m		m		m		m		m		m
	a		a		a		a		a		a
	m		m		m		m		m		m
	j		j		j		j		j		j
	j		j		j		j		j		j
	a		a		a		a		a		a
	s		s		s		s		s		s
	o		o		o		o		o		o
	n		n		n		n		n		n
	n		n		n		n		n		n

1945	m	1944	d	1943	d	1942	d	s
	a		d		d			
	m		f		f			
	f		j		j			
[Grid of 12 columns and 12 rows for each year, with alternating black and grey shaded cells]								

1972	m	1971	d	1970	d	1969	d	s
	a		d		d			
	m		f		f			
	f		j		j			
[Grid of 12 columns and 12 rows for each year, with alternating black and grey shaded cells]								

1999	m	1998	d	1997	d	1996	d	s
	a		d		d			
	m		f		f			
	f		j		j			
[Grid of 12 columns and 12 rows for each year, with alternating black and grey shaded cells]								

1950	m	1951	j	1952	j
	a		f		f
	m		m		a
	j		a		m
	j		s		j
	a		o		j
	s		n		a
	o		d		s
	n				o
	d				n

1977	m	1978	j	1979	j
	a		f		f
	m		m		a
	j		a		m
	j		s		j
	a		o		j
	s		n		a
	o		d		s
	n				o
	d				n

2004	m	2005	j	2006	j
	a		f		f
	m		m		a
	j		a		m
	j		s		j
	a		o		j
	s		n		a
	o		d		s
	n				o
	d				n

1957	a				
	s				
	o				
	n				
	d				
	j				
	f				
	m				
	a				
	m				
	j				
	j				
	a				
s					
o					
n					
d					

1984	a				
	s				
	o				
	n				
	d				
	j				
	f				
	m				
	a				
	m				
	j				
	j				
	a				
s					
o					
n					
d					

	a				
	s				
	o				
	n				
	d				

Anexo IV: Anos hidrológicos utilizados

	Petrópolis	Pedro do Rio	Areal	Moura Brasil
1931				
1932				
1933				
1934				
1935				
1936				
1937				

	Petrópolis	Pedro do Rio	Areal	Moura Brasil
1971				
1972				
1973				
1974				
1975				
1976				
1977				

1938				
1939				
1940				
1941				
1942				
1943				
1944				
1945				
1946				
1947				
1948				
1949				
1950				
1951				
1952				
1953				
1954				
1955				
1956				
1957				
1958				
1959				
1960				
1961				
1962				
1963				
1964				
1965				
1966				
1967				
1968				
1969				
1970				

1978				
1979				
1980				
1981				
1982				
1983				
1984				
1985				
1986				
1987				
1988				
1989				
1990				
1991				
1992				
1993				
1994				
1995				
1996				
1997				
1998				
1999				
2000				
2001				
2002				
2003				
2004				
2005				
2006				
2007				
2008				
2009				
2010				