



**Companhia Paranaense de Energia  
Eletrosul – Centrais Elétricas S.A.  
CONTRATO - CECS 23/2010**

**Previsão de Possíveis  
Impactos na Qualidade da  
Água do Rio Tibagi após a  
Construção da UHE Mauá**

**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**



**Outubro | 2011**

# RELATÓRIO TÉCNICO

## PREVISÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIBAGI APÓS A CONSTRUÇÃO DA UHE MAUÁ- PR

### RELATÓRIO TÉCNICO FINAL

*Preparado para:*  
CONSÓRCIO ENERGÉTICO CRUZEIRO DO SUL - CECS  
Curitiba - PR

*Preparado por*  
STYMMULAB S.A Consultoria em Recursos Hídricos e Restauração Ambiental  
Porto Alegre - RS

Distribuição:

01 cópia Consórcio Energético Cruzeiro do Sul – CECS

01 cópia COPEL

01 cópia Stymmulab S.A.

#### NOTA

Este Relatório foi preparado pela Stymmulab S.A., a partir das normas técnicas recomendadas para trabalhos desta natureza, em estreita observação aos ditames da Legislação vigente e dos termos e condições contratuais firmados com o Cliente. Considerada esta premissa, a Stymmulab S.A. se isenta de quaisquer responsabilidades perante o Cliente ou terceiros pela utilização dos dados e conteúdos contidos neste Relatório, ainda que parcialmente, fora do contexto citado no Contrato de Prestação de Serviços. Reitera-se, que todo o conteúdo é confidencial e destinado à utilização exclusiva do Cliente, de forma que a Stymmulab S.A. não se responsabiliza pela utilização do material, ainda que parcialmente, por terceiros. Cópias do conteúdo ou a utilização dos dados para outros fins somente poderão ser efetuadas a partir da obtenção da autorização formal do Cliente ou da Stymmulab S.A. A impressão ou reprodução deste documento sem autorização torna a cópia não controlada.

**A primeira via deste documento contém todas as páginas devidamente rubricadas pelo(a) Responsável pela elaboração do Relatório.**

Mês/Ano	Ordem Serviço	Contrato	Pág.	Código Documento
Fevereiro, 2011	OS 2011-002	CECS N° 23/2010	160	OSA_2011_001_CECS_MODELAGEM TIBAGI_RT.doc

Tipo de Relatório	Parcial	N° 4	Controle de Versões	Minuta Para Análise	
	Final	■		Revisão 1	
				Revisão 2	
				Versão Aprovada Cliente	■



**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**  
**Estudo de Modelagem da Qualidade da Água no rio Tibagi,**  
**no trecho sob influência da UHE-Mauá (PR)**



<b>Empresa responsável por este Relatório Técnico</b>	
<b>Razão Social</b>	STYMMULAB S.A. Consultoria em Recursos Hídricos e Restauração de Ambientes Aquáticos
<b>CNPJ</b>	01.486.607/0001-96
<b>Inscrição Estadual</b>	096/3271652 – RS
<b>Endereço</b>	Joaquim Nabuco 15/304, Porto Alegre, RS. CEP: 90050-340.
<b>Telefone</b>	55 51 30627549 ou 55 51 93640138
<b>E-mail</b>	<a href="mailto:contato@phoslock.com.br">contato@phoslock.com.br</a>
<b>Contato</b>	Tiago Finkler Ferreira

<b>Responsáveis Técnicos/ Titulação/ Atividades</b>			
Tiago Finkler Ferreira	Biól/ MsC/PhD	CRBIO 41024-03	Coordenador: limnologia & modelagem de qualidade da água
Rafael Siqueira Souza	Eng °Civil/ MsC	CREA RS 123041	Modelagem da qualidade de água
Agustin Sanchez	Hidrotécnico		Responsável técnico Batimetria

## APRESENTAÇÃO

O presente relatório técnico final apresenta os resultados obtidos durante os meses de março a outubro de 2011, referentes às atividades realizadas no âmbito do trabalho intitulado Previsão de Possíveis Impactos na Qualidade da Água do Rio Tibagi após a Construção da UHE Mauá – Modelagem da Qualidade da Água.

Os serviços relativos a esse trabalho são regidos pelo contrato CECS nº 023/10, firmado entre a empresa Stymmulab S.A. (doravante denominada Stymmulab) e o contratante Consórcio Energético Cruzeiro do Sul (CECS), iniciado em 18 de fevereiro de 2011 (contagem de prazo) e com duração total de trabalho de 240 dias (08 meses). No âmbito geral, o trabalho contratado abrangeu os seguintes serviços:

- S1 – Levantamento de Seções Batimétricas
- S2 – Monitoramento da Qualidade da Água
- S3 – Modelagem da Qualidade da Água

Os estudos desenvolvidos abrangem o trecho de 120 km do rio Tibagi que se estende da UHE Mauá até a captação de água bruta da SANEPAR no município de Londrina.

A seguir, no presente relatório são apresentados os resultados das atividades relacionadas aos três serviços apresentados acima: levantamento de seções, monitoramento da qualidade da água e modelagem da qualidade da água

## SUMÁRIO

### ESTUDO DE MODELAGEM DA QUALIDADE DA ÁGUA NO RIO TIBAGI, NO TRECHO SOB INFLUÊNCIA DA UHE-MAUÁ (PR)

<b>APRESENTAÇÃO</b>		<b>02</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b>		<b>04</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDO</b>		<b>06</b>
2.1. Situação e Localização		06
2.2. Disponibilidade Hídrica e Qualidade da água		11
<b>3. METODOLOGIA</b>		<b>13</b>
3.1. Monitoramento da Qualidade da Água		13
3.2. Modelagem Matemática da Qualidade da água		28
<b>4. RESULTADOS</b>		<b>47</b>
4.1. Monitoramento da Qualidade da Água		47
4.2. Modelagem Matemática da Qualidade da água		74
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>		<b>105</b>
<b>6. RECOMENDAÇÕES</b>		<b>108</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>109</b>
ANEXO A.1. Levantamento Topobatimétrico		
ANEXO A.2. Levantamento Fotográfico – Campanha Abril - Vazão Média		
ANEXO A.3. Levantamento Fotográfico – Campanha Junho - Vazão Baixa		
ANEXO A.4. Levantamento Fotográfico – Campanha Agosto - Vazão Elevada		

## 1. INTRODUÇÃO

A Usina Hidrelétrica de Mauá (UHE-Mauá), instalada no Rio Tibagi, entre os municípios de Telêmaco Borba e Ortigueira, está em fase final de construção pelo Consórcio Energético Cruzeiro do Sul. Estudos prévios foram realizados para avaliar a qualidade da água do Rio Tibagi e prever a possibilidade de impactos significativos sobre os aspectos qualitativos do recurso hídrico a jusante da barragem, principalmente no trecho que compreende a captação de água bruta da SANEPAR que abastece a população do município Londrina.

Estes estudos compõem o Relatório intitulado “Previsão de Possíveis Impactos na Qualidade da Água do Rio Tibagi após a Construção da UHE Mauá – Modelagem da Qualidade da Água, de 2009”, doravante denominado Estudo Anterior. Nesta avaliação, considerou-se a influência do reservatório da UHE Mauá sobre a qualidade da água até o ponto de captação de Londrina, 122 Km a jusante da usina, com base em uma campanha de levantamento limnológico e simulação do cenário de vazões baixas (estiagem) do rio Tibagi.

No entanto, foram levantados questionamentos do Ministério Público Federal quanto à utilização de apenas uma campanha de campo para calibração do modelo, conforme relatado no âmbito da Câmara Técnica de Qualidade de Água e Usos Múltiplos do Reservatório do GEM-Mauá. Em função disto, complementações ao estudo anterior se fizeram necessárias. Dentre as complementações gerais, destaca-se a obtenção de novos dados topobatimétricos e limnológicos para aprimorar e consolidar a calibração e validação da modelagem matemática do recurso hídrico, bem como as simulações de novos cenários de vazão do rio Tibagi, além do cenário de estiagem previamente simulado no Estudo Anterior.

Neste contexto, o objetivo deste projeto foi complementar o Estudo Anterior com a realização de um estudo de modelagem de qualidade da água para avaliar a influência da Usina Hidrelétrica Mauá sobre o Rio Tibagi, desde a UHE até o ponto de captação de água em Londrina, considerando diferentes cenários de vazão (estiagem, cheias e vazão média). Para tanto, foram realizados levantamentos topobatimétricos ao longo de 122,0 km na calha do rio Tibagi, área considerada sob influência da UHE-

Mauá; e levantamentos de campo para análises de qualidade da água e componentes biológicos em pontos de amostragem distribuídos ao longo deste mesmo trecho de estudo e tributários. Estas etapas de campo serviram para estabelecer as condições de contorno e iniciais das simulações matemáticas, bem como para realizar a calibração e validação da modelagem de qualidade da água.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

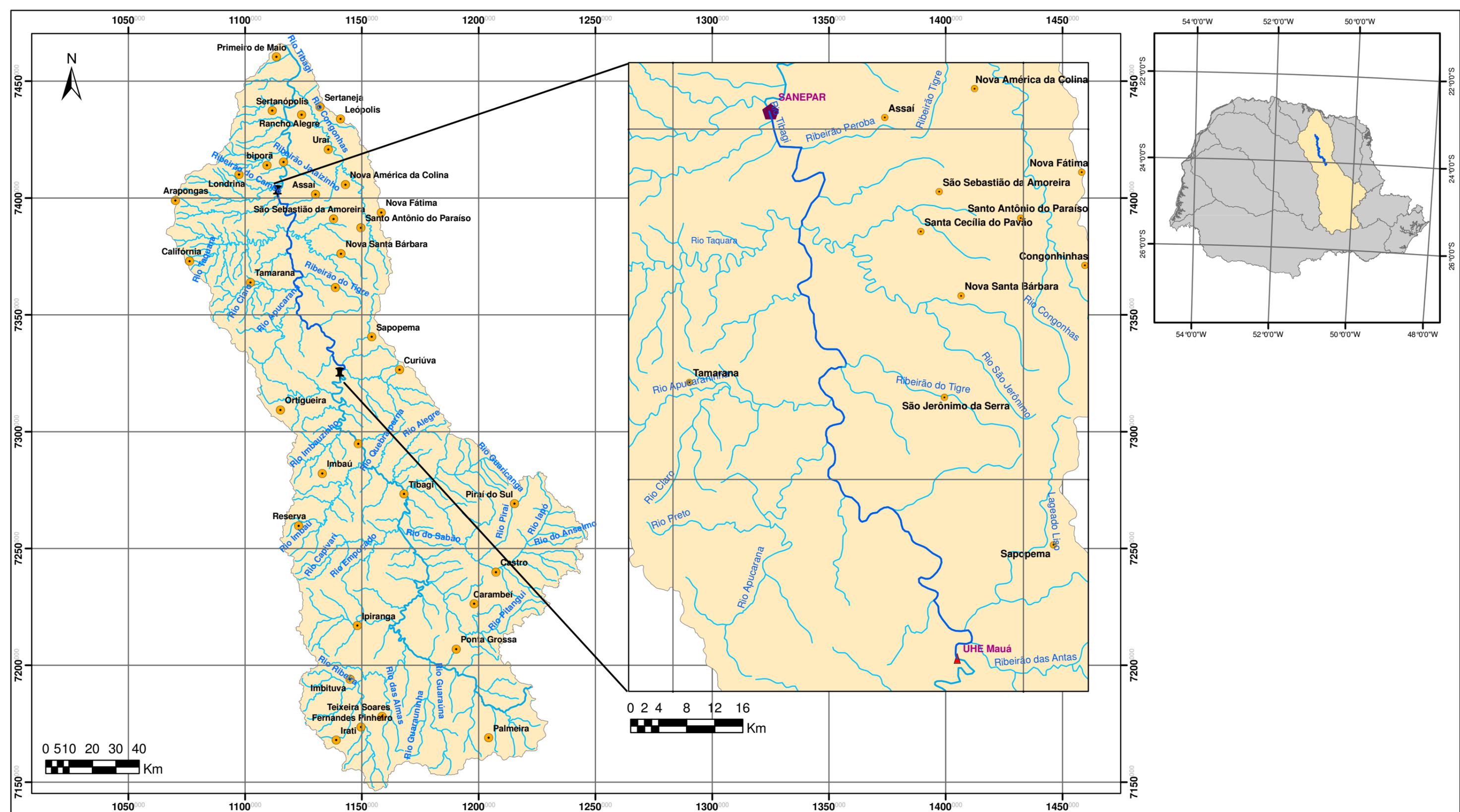
### 2.1. Situação e Localização

A área de estudo está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi (BHT). A BHT desenvolve-se no sentido sudeste-noroeste, e está compreendida entre os paralelos 22º46' a 25º40' S e 49º38', a 51º28' W. De acordo com o Regimento Interno do Comitê da bacia hidrográfica do rio Tibagi de 07 de agosto de 2002, a BHT possui uma área total de 24.711 Km<sup>2</sup>. Esta bacia possui um comprimento médio de 320,0 km e uma largura média de 78,0 km (Prancha 2.1.1).

Segundo a divisão hidrográfica nacional, instituída pela Resolução CNRH nº 32, de 25 de junho de 2003, a BHT está situada na região hidrográfica do Paraná (Figura 2.1). No âmbito estadual, de acordo com a Resolução CERH/PR nº 49 de 20 de dezembro de 2006 o estado do Paraná está dividido em 16 bacias hidrográficas, sendo que a BHT equivale a 13% de seu território, considerada a terceira maior bacia hidrográfica do estado. Esta bacia limita-se ao sul com a bacia do rio Iguaçu, a leste com as bacias dos rios Cinzas e Itararé, a sudeste com a bacia do rio Ribeira, a oeste com a bacia do rio Ivaí, a noroeste com a bacia do rio Pirapó e ao norte com as bacias denominadas Paranapanema II e Paranapanema III.

As nascentes do rio Tibagi localizam-se na Serra das Almas, entre os municípios de Palmeira e Ponta Grossa. Seu curso principal desenvolve-se na direção noroeste, desde a nascente até a confluência com o rio Guarda Velho (afluente da margem esquerda); em seguida, toma a direção nordeste até a confluência com o rio Pitangui (afluente da margem direita); a partir deste ponto retorna a seguir predominantemente na direção noroeste até sua foz na confluência com o rio Paranapanema a, aproximadamente, 275,0 m de altitude.

Os principais afluentes da margem direita, de montante para jusante, do rio Tibagi são: Pitangui, Iapó, Ribeirão das Antas e Congonhas. Já os afluentes da esquerda, de montante para jusante, são: Imbituva, Capivari, Imbaú, Apucarana, Apucarantina, Taquara, Apertados e Três Bocas.



**LEGENDA**

- Bacia Rio Tibagi
- Sedes Municipais
- Recursos Hídricos
- Rio Tibagi
- Trecho simulado



**PREVISÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIBAGI APÓS A CONSTRUÇÃO DA UHE MAUÁ**



Unidade:	METRO	ASSUNTO	Prancha
Data:	MAI/2011		<b>2.1.1</b>
		<b>SITUAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO</b>	Escala: Indicada



Figura 2.1 – Localização da BHT no contexto da Bacia Hidrográfica do Paraná (Fonte: SEMA/SUDERHSA, 2009).

A Resolução CERH/PR nº 49 de 20 de dezembro de 2006 define as Unidades Hidrográficas da BHT, como sendo:

- Unidade Hidrográfica do Alto Tibagi - compreende a Bacia Hidrográfica do Alto Tibagi das nascentes do Rio Tibagi até imediatamente a jusante da foz do Ribeirão das Antas, no município de Curiúva e,

- Unidade Hidrográfica do Baixo Tibagi - compreende a Bacia Hidrográfica do Baixo Tibagi, a jusante da foz do Ribeirão das Antas no município de Curiúva.

O trecho de interesse de 122,0 km tem início pouco a montante do trecho denominado Baixo Tibagi na seção de barramento da UHE Mauá e estende-se até a captação de água bruta da SANEPAR no município de Londrina.

Na cabeceira do trecho ou no local de barramento a área de drenagem é de 16.089 km<sup>2</sup>, representando cerca de 65% da área total da BHT. Considerando somente o trecho de interesse (122 km) área de contribuição abrange 5.692 km, equivalente à 23% da área total da BHT.

Os principais afluentes ao longo do trecho de interesse são: Ribeirão das Antas, Lajeado Liso, Apucarana, Apucarantina, Ribeirão do Tigre, Ribeirão Taquara, Ribeirão de São Jerônimo e Apertados.

Segundo a divisão da bacia hidrográfica em Áreas Estratégicas de Gestão (AEG) definidas no Plano de Bacia do rio Tibagi, o trecho de interesse abrange as seguintes unidades (SEMA /SUDERHSA, 2009):

- AEG 14 - Barra Ribeirão das Antas – compreende uma superfície de 2.055,83 km<sup>2</sup>, no entanto, a estação Barra Ribeirão das Antas monitora uma área de 16.090,53 km<sup>2</sup>. A Área 14 está ocupada por pastagens artificiais e campos naturais, reflorestamento e uma grande área classificada como mista. Nela também existe a área urbana do município de Ortigueira.
- AEG 15 - Rio Apucarana – a superfície desta AEG é de 571,83 km<sup>2</sup>, sendo coincidente com a área monitorada pela estação Rio Apucarana. A ocupação territorial desta superfície está classificada como uso misto, existindo também uma área de cobertura florestal.
- AEG 16 - Porto Londrina – esta AEG possui uma superfície expressiva, 2.057,36 km<sup>2</sup>, sendo que a estação de monitoramento denominada Porto Londrina monitora uma área de 18.719,72 km<sup>2</sup>. A ocupação territorial da

AEG está classificada como uso misto, existindo também uma pequena área de cobertura florestal e outra de agricultura.

- AEG 17 - Sítio Pau Dalho – trata-se de uma superfície com três pequenos centros urbanos, Nova Santa Bárbara, São Sebastião da Amoreira e Santa Cecília do Pavão, sendo que a maior parte desta AEG é ocupada por agricultura, seguida de uma área classificada como de uso misto. Sua área total é de 601,95 km<sup>2</sup>, sendo monitorada uma área de 568,34 km<sup>2</sup> com a estação Sítio Pau Dalho. A estação de monitoramento situa-se no rio São Jerônimo.
- AEG 18 - Sítio Igreja – a estação de monitoramento está localizada na margem esquerda do rio Taquara. A superfície desta AEG é de 895,40 km<sup>2</sup>, sendo monitorada uma área de 819,31 km<sup>2</sup> pela estação de Sítio Igreja. Nesta superfície há parte das áreas urbanas dos municípios de Apucarana e Califórnia. Cabe destacar o predomínio da agricultura intensiva além da presença da cobertura florestal e de pastagem artificial e campos naturais.
- AEG 19 - Cebolão – nesta AEG, cuja área é de 441,76 km<sup>2</sup>, há predominância de agricultura intensiva e uso misto. Dentro desta área, está inserida a estação fluviométrica Cebolão, a qual monitora uma superfície de drenagem de 20.658,83 km<sup>2</sup>.
- AEG 20 - Apertados – a AEG denominada Apertados possui uma superfície de 332,66 km<sup>2</sup>, sendo esta área monitorada pela estação denominada Apertados. Esta área possui predominância de agricultura, no entanto existem áreas classificadas como cobertura florestal, uso misto e pastagem artificial e campos naturais. A estação de monitoramento localiza-se nas margens do rio Apertados.

## 2.2. Disponibilidade Hídrica e Qualidade da Água

Conforme estudos desenvolvidos no âmbito do Plano de Bacia do rio Tibagi (SEMA/SUDERHSA, 2009), a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica possui uma relação linear com a área de drenagem para as seguintes vazões características: QMLT (vazão média de longo termo) e Q95% (vazão com frequência igual a 95% da curva de permanência). Nesta avaliação foram consideradas 20 estações de medição ao longo da bacia hidrográfica. A Figura 2.2 apresenta a relação entre vazão (QMLT e Q95%) e área de drenagem obtida para a BHT.

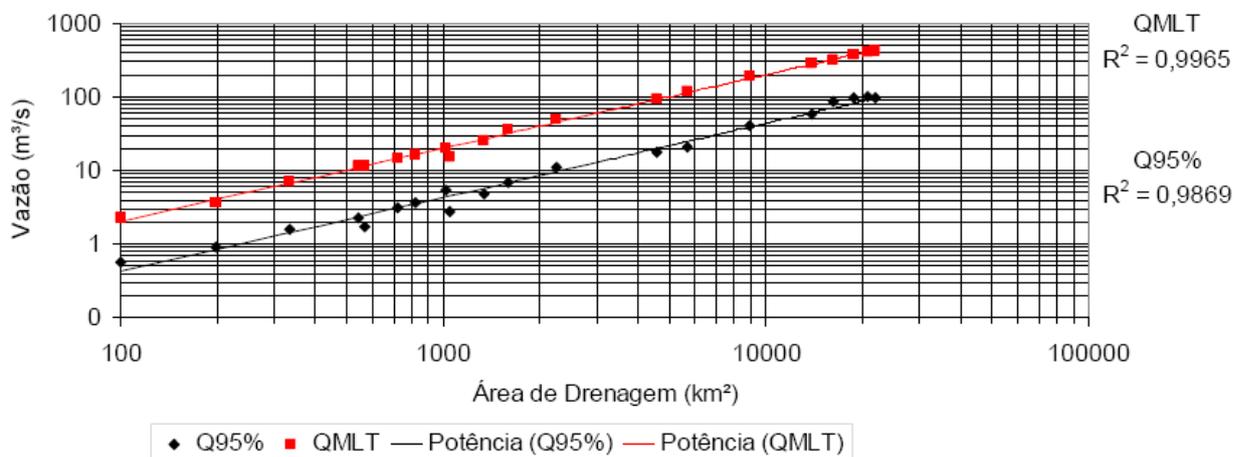


Figura 2.2 – Disponibilidade hídrica superficial para a BHT com base nas variáveis hidrológicas QMLT e Q95% (Fonte: SEMA/SUDERHSA, 2009).

Do ponto de vista qualitativo, a compilação de informações de qualidade da água realizada no âmbito do Plano de Bacia do Rio Tibagi evidencia o predomínio de uma boa a ótima qualidade da água segundo o critério do Índice de Qualidade das Águas – IQA da SEMA/SUDERHSA (2009) (Figura 2.3). As estações de Barra Ribeirão das Antas, Porto Londrina e Chácara Ana Cláudia representam, respectivamente, seções no início, meio e fim do trecho de interesse do presente estudo.

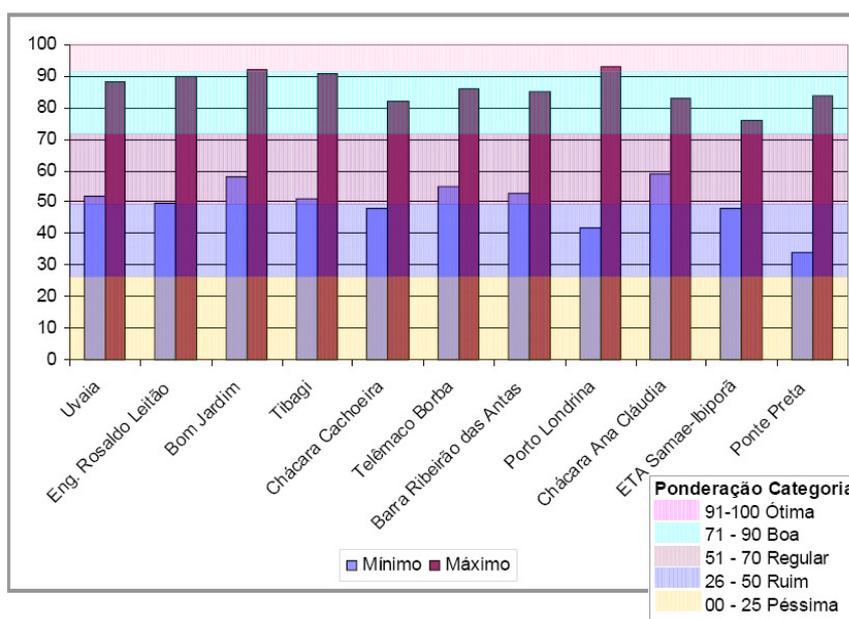


Figura 2.3 – Faixa de variação do Índice de Qualidade da Água (IQA) nas estações de monitoramento (Fonte: SEMA/SUDERHSA, 2009).

Na sequência, a Tabela 2.1 mostra os resultados segundo uma abordagem de permanência das concentrações dentro dos limites da classe 2 preconizados pela resolução nº 357/05 do CONAMA. Estes resultados sugerem que o rio Tibagi enquadra-se como classe 2, durante a maior tempo, para as variáveis avaliadas, com exceção da concentração de fósforo total, cuja concentração já é naturalmente elevada na bacia, e coliformes fecais. Ambas variáveis estiveram dentro dos limites da Classe 2 do CONAMA apenas em 75% e 71% do tempo monitorado, respectivamente.

Tabela 2.1 – Permanência com que os parâmetros atendem a classe 2 da resolução CONAMA Nº 357/05 nas estações de monitoramento da BHT (Fonte: SEMA/SUDERHSA, 2009).

Código	Nome	Nº amostras	Permanência (%)					
			OD	DBO	pH	Turbidez	Fósforo total	Coliformes Fecais
64444000	Uvaia	85	100	100	100	97	84	79
64447000	Eng. Rosaldo Leitão	60	100	97	100	97	75	77
64460000	Bom Tibagi	35	100	97	100	99	96	99
64465000	Tibagi	106	100	96	99	96	75	71
64477600	Chácara Cachoeira	61	99	97	99	100	75	25
64482600	Telêmaco Borba	33	100	97	100	94	73	67
64490900	Barra Ribeirão das Antas	51	100	98	100	97	83	71
64507000	Porto Londrina	36	100	95	99	98	76	97
64506000	Chácara Ana Cláudia	18	100	84	100	95	89	92
64507100	ETA SAMAE Ibiporã	20	100	90	100	80	64	25
64508500	Ponte Preta	35	100	99	100	89	57	99

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Monitoramento da Qualidade da Água

##### 3.1.1. Pontos Amostrais

A Prancha 3.2.1 e a Tabela 3.1.1 apresentam a localização dos pontos de amostragem neste estudo ao longo da área de drenagem do trecho de 122 km no rio Tibagi, que se estende da seção de barramento da UHE Mauá até a captação de água bruta da SANEPAR no município de Londrina. Da rede de monitoramento apresentada, 4 pontos estão localizadas no rio Tibagi e 7 pontos estão localizados em tributários. Em relação ao Estudo Anterior, este monitoramento contou com 2 novos pontos amostrais no rio Tibagi, o P00, na Pequena Central Hidrelétrica Presidente Vargas, e o P10, nas proximidades do município de Sapopema, a 21 Km a jusante da UHE-Mauá.

Tabela 3.1.1 Pontos amostrais, localização e datas de coleta da campanha de amostragem 01.

Ponto	Coordenadas		Localização
P 00	S 24° 03' 47"	W 50° 42' 58"	Rio Tibagi (PCH P. Vargas)
P 01	S 24° 02' 08"	W 50° 41' 27"	Rio das Antas
P 02	S 24° 00' 38"	W 50° 42' 02"	Rio Lajeado Liso
P 03	S 23° 45' 03"	W 50° 54' 08"	Rio Apucarantina
P 04	S 23° 42' 14"	W 50° 49' 22"	Rio Tigre
P 05	S 23° 32' 46"	W 50° 53' 01"	Rio São Jerônimo
P 06	S 23° 33' 43"	W 51° 01' 53"	Rio Taquara
P 07	S 23° 29' 11"	W 50° 56' 08"	Rio Tibagi (Cebolão)
P 08	S 23° 23' 26"	W 50° 59' 47"	Rio Apertados
P 09	S 23° 22' 23"	W 50° 59' 59"	Rio Tibagi (Captação SANEPAR)
P 10	S 23° 56' 34"	W 50° 43' 52 "	Rio Tibagi (Sapopema)

#### ***Campanha de reconhecimento***

Durante o período de 16 a 18 de março realizou-se uma campanha de reconhecimento da área de estudo com o objetivo não somente de avaliar o acesso aos pontos de monitoramento de qualidade da água, mas inclusive de iniciar as atividades de levantamento de seções no trecho de interesse do rio Tibagi. Também utilizou-se este período para a realização de coletas de água em quatro pontos

amostrais no rio Tibagi: dois pontos no início do trecho de interesse, próximos à UHE Mauá; e dois próximos à captação de água bruta da cidade de Londrina, no final do trecho de interesse (Tab. 3.1.2).

Tabela 3.1.2. Pontos amostrais, localização e datas de coleta da campanha realizada para o reconhecimento do trecho de estudo.

Ponto	Coordenadas		Localização	Data	Hora
P00	S 24° 03' 46,8"	W 50° 42' 57,5"	Rio Tibagi (PCH P. Vargas)	17/03/11	09:40
P01	S 24° 02' 08,0"	W 50° 41' 27,0"	Rio das Antas	17/03/11	14:30
P07	S 23° 29' 50,0"	W 50° 56' 51,0"	Rio Tibagi (Fazenda Jaboticabal)	18/03/11	11:40
P09	S 23° 22' 19,9"	W 51° 00' 04,6"	Rio Tibagi (Captação SANEPAR)	18/03/11	10:45

### *Condições Climáticas Antecedentes*

A Figura 3.1.1 apresenta as condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de reconhecimento. São mostradas as seguintes variáveis: temperatura do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e precipitação.

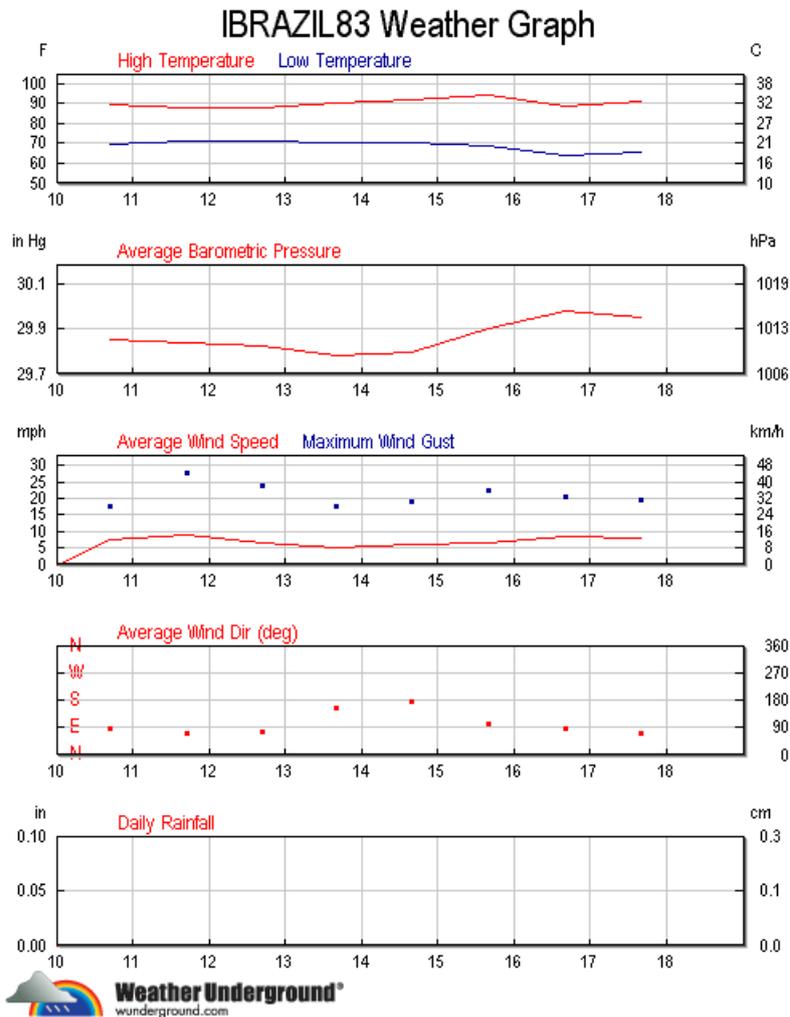


Figura 3.1.1. Condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de reconhecimento (Estação Apucarana – cod. 86801600) (Fonte: Weather Underground).

### Condições Hidrológicas

A Figura 3.1.2 abaixo apresenta o nível d'água observado na régua localizada na captação da SANEPAR em Londrina durante o período que compreende a campanha de reconhecimento.

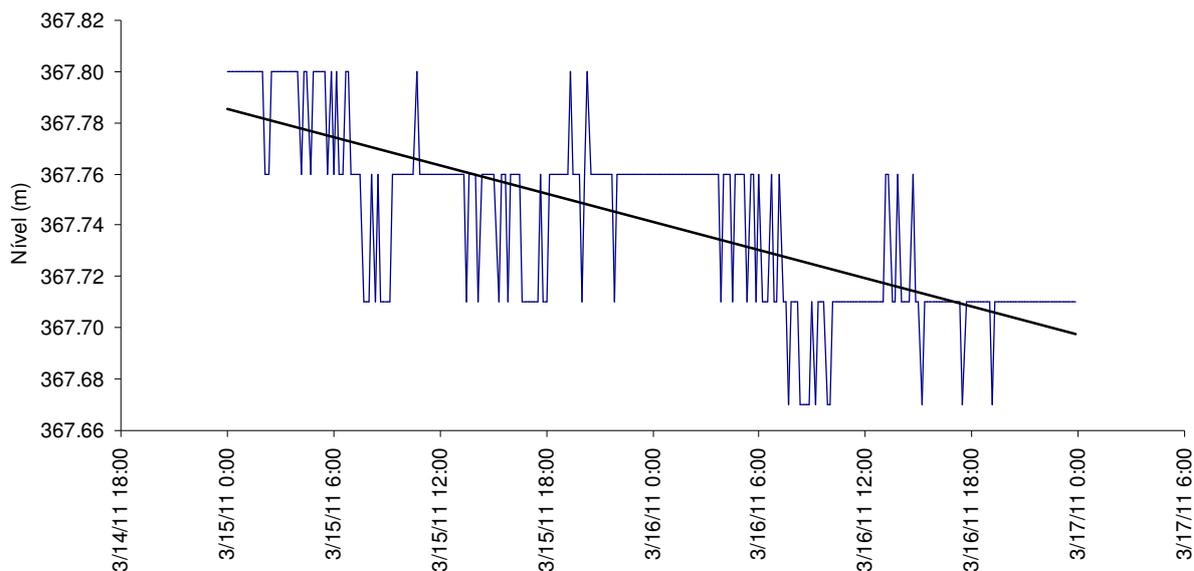


Tabela 3.1.2. Níveis do rio Tibagi observados na régua da seção de captação de água bruta da SANEPAR durante a campanha de reconhecimento.

O nível médio durante o período foi de 367,74 m. Para este valor médio, a curva-chave da seção de medição (Fig. 3.1.3) resulta numa vazão de 428,25 m<sup>3</sup>/s.

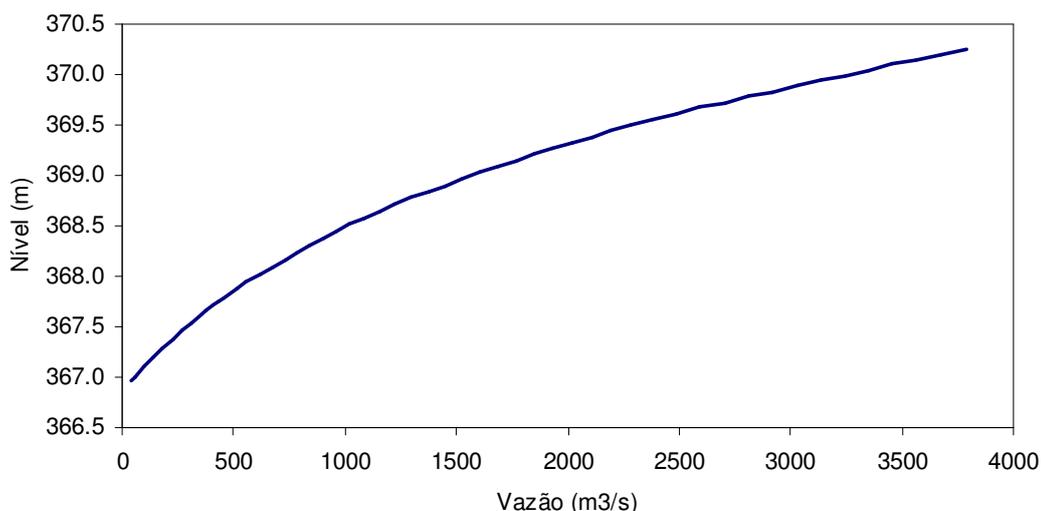


Figura 3.1.3. Curva-chave da seção localizada na captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina. (Fonte: SANEPAR)

Segundo a série de vazões medidas no período 1931-2009 na estação fluviométrica de Jataizinho – localizada no rio Tibagi próxima a cidade de Jataizinho, cód: 64507000 (Figura 3.1.10) - a vazão durante a campanha de reconhecimento corresponde a uma permanência cerca de 27%. Em relação à média de longo período, a vazão é cerca de 10% superior. Estes valores demonstram que a vazão durante a campanha de reconhecimento equivale a vazão média do rio Tibagi naquela seção de medição.

### **Campanha limnológica de abril 2011**

Durante o período de 14 a 16 de abril de 2011 foi realizada a primeira campanha de levantamento limnológico contemplando os 11 pontos amostrais apresentados na Tabela 3.1.1.

#### *Condições Climáticas Antecedentes*

A Figura 3.1.5 apresenta as condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de abril. São mostradas as seguintes variáveis: temperatura do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e precipitação.

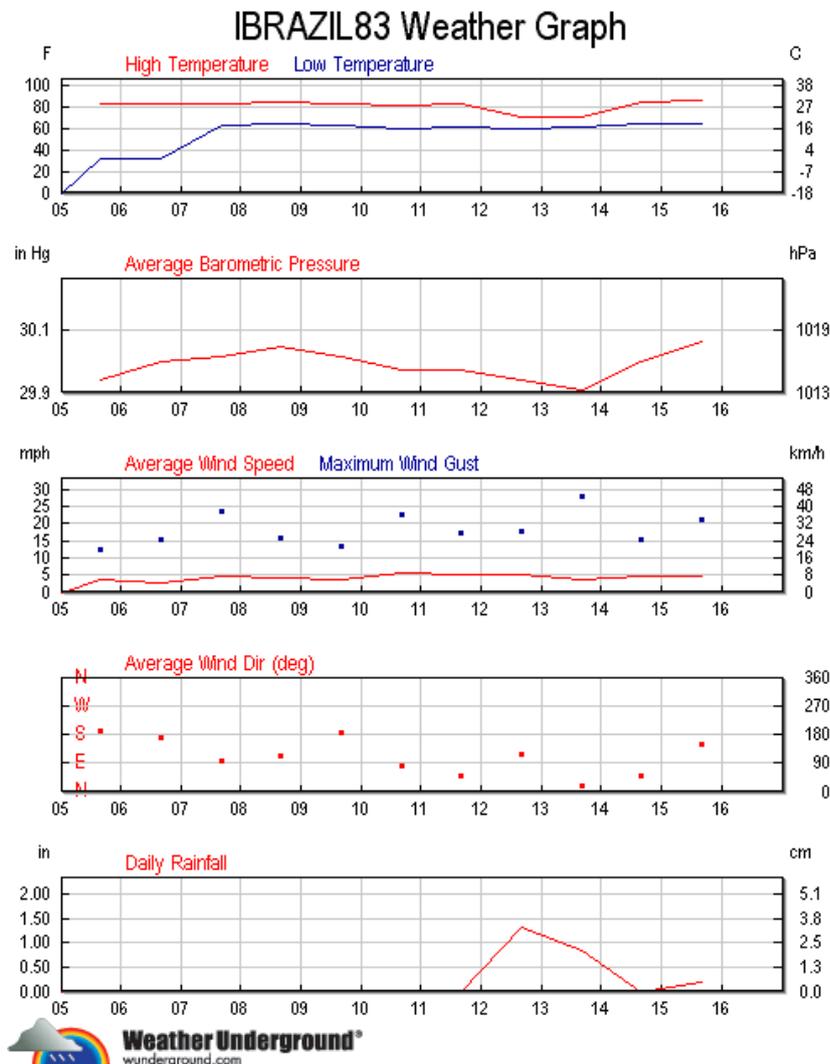


Figura 3.1.5. Condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de limnológica de abril (Estação Apucarana – cod. 86801600) (Fonte:Weather Underground).

### Condições Hidrológicas

A Figura 3.1.6 apresenta os dados de nível do Rio Tibagi durante o período de amostragem da campanha 01 (abril), registrados na régua da SANEPAR na seção de captação de água bruta de Londrina.

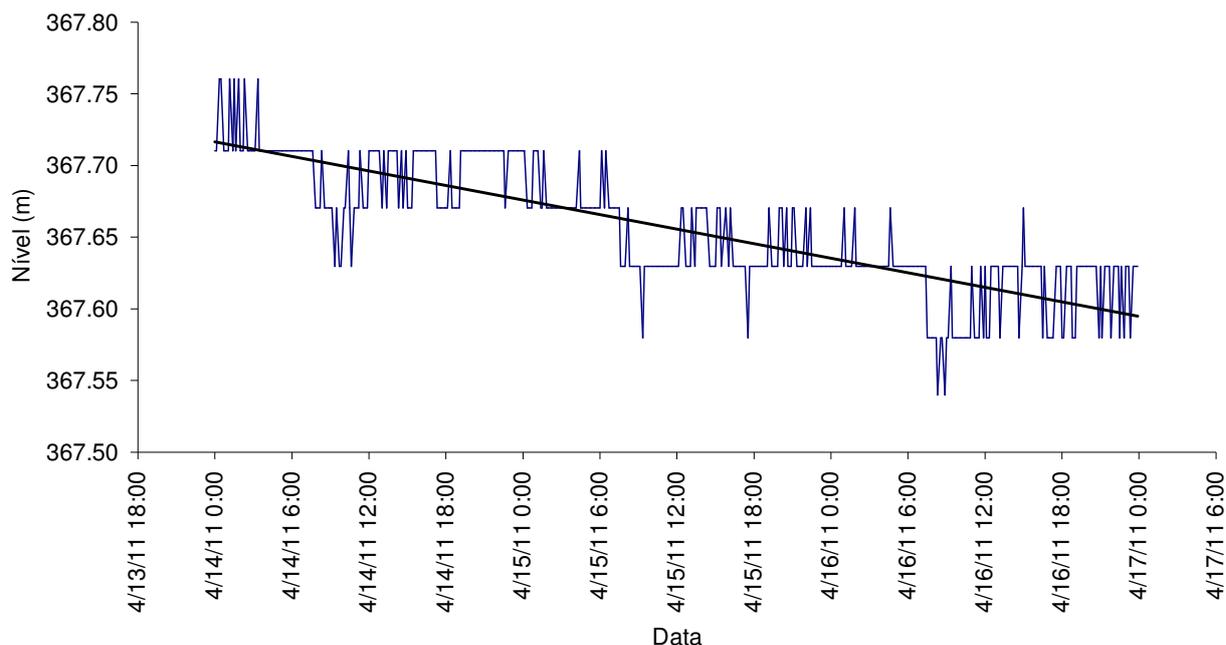


Figura 3.1.6. Níveis do rio Tibagi observados na régua da seção de captação de água bruta da SANEPAR durante a campanha 01.

O nível médio durante o período foi de 367,65 m. Para o valor médio a curva-chave da seção de medição (Fig. 3.1.3) resulta em uma vazão de 376,34 m<sup>3</sup>/s.

Com base na série de vazões medidas na estação fluviométrica de Jataizinho (Fig. 3.1.10), a vazão durante a campanha 01 corresponde a uma permanência cerca de 32%. Em relação à média de longo período, a vazão na campanha de abril representa 97.8% da QMLT. Estes valores mostram que a campanha foi realizada durante uma disponibilidade hídrica equivalente a média de longo período no Rio Tibagi nesta seção de medição.

Na estação fluviométrica de Barra Ribeirão das Antas, a vazão durante a campanha 01 (abril) foi de 234,6 m<sup>3</sup>/s. Esta vazão corresponde a uma permanência de aproximadamente 45% (Fig. 3.1.9).

### Campanha limnológica de junho 2011

Durante os dias 02 e 03 de junho de 2011 foi realizada a segunda campanha de levantamento limnológico abrangendo os mesmos 11 pontos amostrais contemplados na campanha de abril de 2011 (Tabela 3.1.1).

#### Condições Climáticas Antecedentes

A Figura 3.1.7 mostra as condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de junho. São mostradas as seguintes variáveis: temperatura do ar, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento e precipitação.

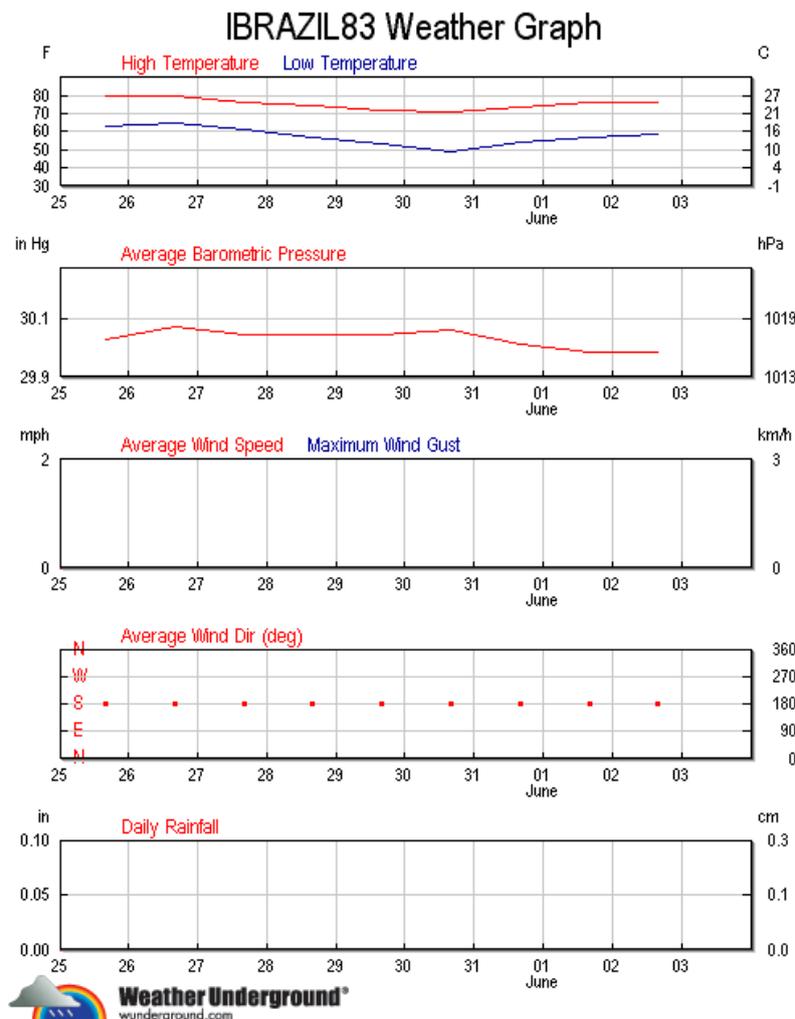


Figura 3.1.7. Condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de limnológica de junho (Estação Apucarana – cod. 86801600) (Fonte: Weather Underground).

### *Condições Hidrológicas*

Durante a campanha de amostragem de junho, a vazão na seção de medição Barra Ribeirão das Antas, localizada a jusante da UHE-MAUÁ, registrava a vazão de 78,5 m<sup>3</sup>/s. Nesta seção do rio Tibagi esta vazão equivale a uma permanência de 95% (Fig. 3.1.9), caracterizando uma condição de vazão baixa na bacia hidrográfica.

Na seção de captação da SANEPAR, a vazão foi de 183,0 m<sup>3</sup>/s. Com base na série de vazões medidas na estação fluviométrica de Jataizinho, a vazão durante a campanha 01 corresponde a uma permanência cerca de 75% (Fig. 3.1.10).

### **Campanha limnológica de agosto 2011**

Durante os dias 05 e 07 de agosto de 2011 foi realizada a terceira campanha de levantamento limnológico, durante o evento de cheia no rio Tibagi, a qual abrangeu os mesmos 11 pontos amostrais contemplados nas campanhas anteriores (Tabela 3.1.1).

#### *Condições Climáticas Antecedentes*

A Figura 3.1.8 apresenta as condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de reconhecimento. Anteriormente ao período de vazão elevada, a precipitação na bacia foi bastante baixa. A precipitação medida anteriormente ao período de vazão elevada na estação Apucarana (cod. 86801600) foi baixa devido à sua localização em uma área muito a montante na bacia do Tibagi e, portanto, não atendida pelas chuvas que ocasionaram esta vazão.

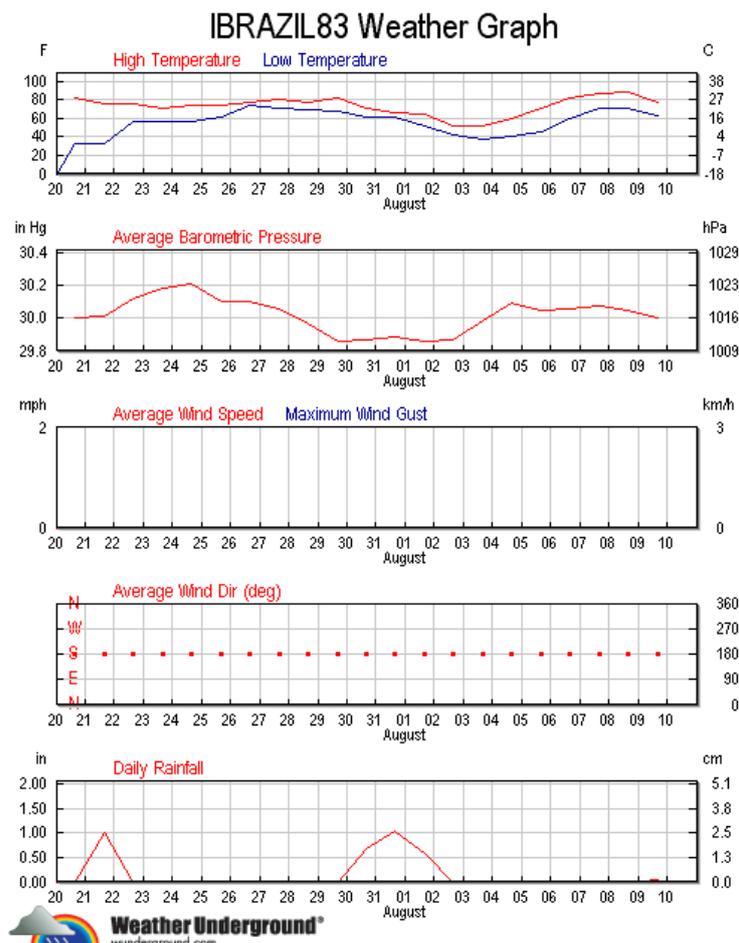


Figura 3.1.8. Condições meteorológicas antecedentes e durante a campanha de limnológica de agosto (Estação Apucarana – cod. 86801600) (Fonte:Weather Undreground).

### Condições Hidrológicas

Durante a campanha de amostragem de agosto, a vazão na seção de medição Barra Ribeirao das Antas, localizada a jusante da UHE-MAUÁ, registrava a vazão de 1666,0 m<sup>3</sup>/s. Nesta seção do rio Tibagi esta vazão equivale a uma permanência de 0,5% (Fig. 3.1.9), caracterizando uma condição de vazão elevada na bacia hidrográfica.

Na seção de captação da SANEPAR, a vazão foi de 1947,0 m<sup>3</sup>/s. Com base na série de vazões medidas na estação fluviométrica de Jataizinho, a vazão durante a campanha 01 corresponde a uma permanência inferior a 5,0% (Fig. 3.1.10).

A seguir, as Figuras 3.1.9 e 3.1.10 apresentam as curvas de permanência nas seções de medição de Barra do Ribeirão das Antas e Jataizinho, respectivamente. São indicadas nas curvas de permanência as vazões durante as 3 campanhas de monitoramento.

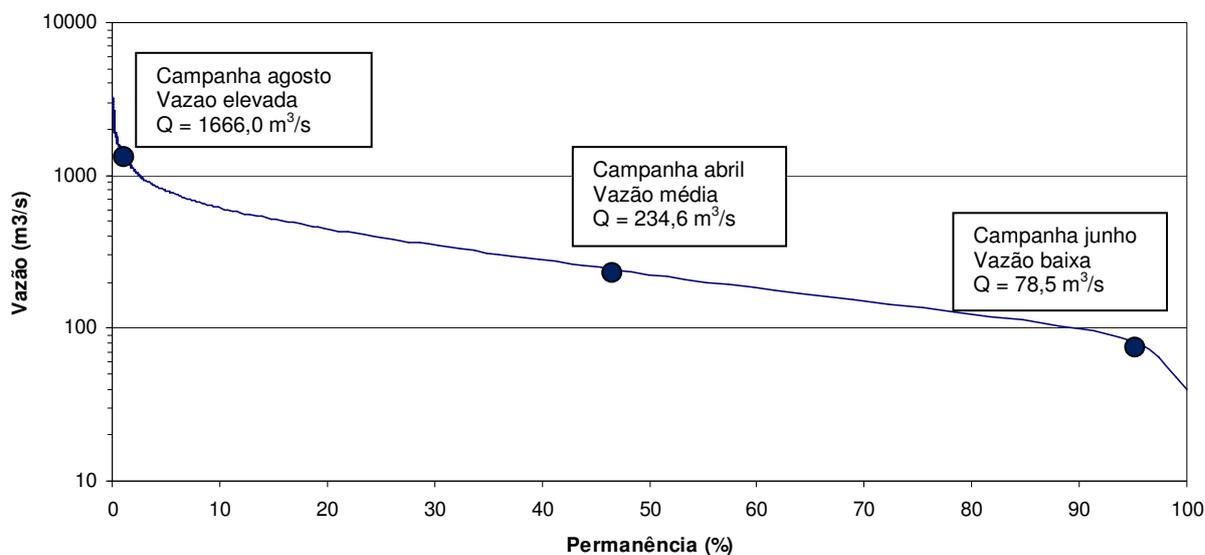


Figura 3.1.9. Curva de permanência no posto fluviométrico Barra Ribeirão das Antas, período 1942-2010, cód: 64491000.

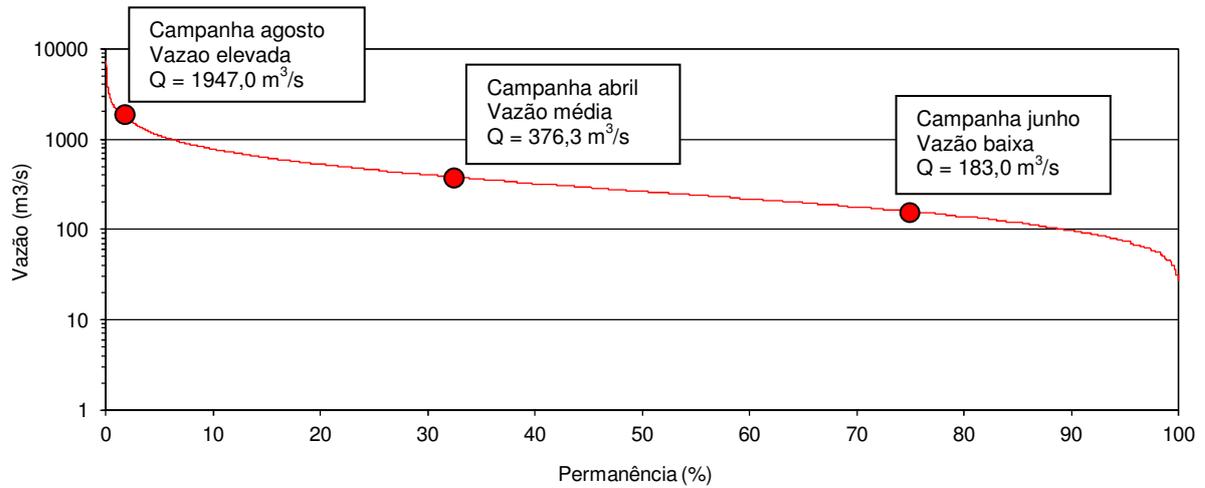
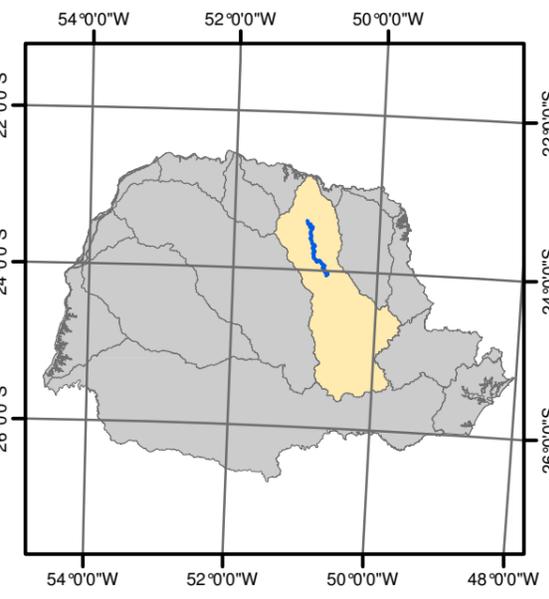
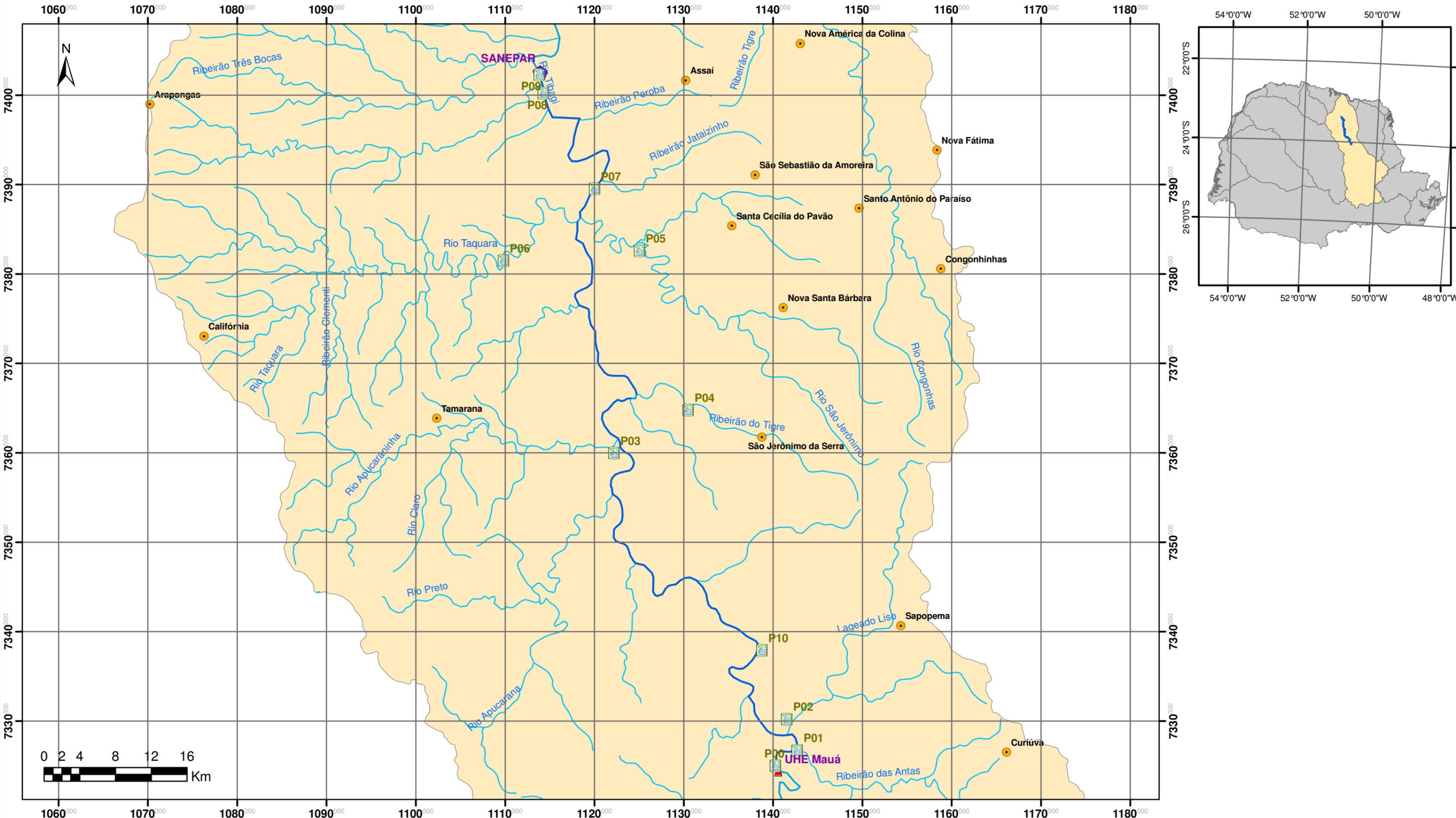


Figura 3.1.10. Curva de permanência de vazões diárias no posto fluviométrico de Jataizinho, período 1931-2009, cód: 64507000.



**LEGENDA**

-  **Bacia Rio Tibagi**
-  **Sedes Municipais**
-  **Pontos de monitoramento**
-  **Recursos Hídricos**
-  **Rio Tibagi**
-  **Trecho simulado**



**PREVISÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIBAGI APÓS A CONSTRUÇÃO DA UHE MAUÁ**



Unidade:	METRO	<b>ASSUNTO</b>	Prancha
Data:	MAI/2011		<b>3.2.1</b>
		<b>LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA</b>	Escala: Indicada

### 3.1.2. Procedimentos de coleta e analíticos

Em cada ponto amostral do levantamento limnológico, foram realizadas medidas das variáveis físico-químicas pH, OD, condutividade e temperatura. Para estas medidas foram utilizados equipamentos específicos, conforme descrito na Tabela 3.1.3, os quais foram devidamente calibrados de acordo com seu protocolo de utilização, previamente a cada amostragem.

Na ocasião, em cada ponto amostral, foram realizadas coletas de água para determinação, em laboratório, para determinação das seguintes variáveis: DQO, DBO<sub>5</sub>, turbidez, sólidos dissolvidos totais, fósforo total, fósforo inorgânico, fósforo orgânico, nitrato e nitrito, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, silicato, coliformes totais e termotolerantes, clorofila-a e fitoplâncton. A lista das variáveis físico-químicas e biológicas analisadas em campo e laboratório, bem como seus respectivos métodos de coleta, conservação e análise estão descritos abaixo.

Tabela 3.1.3. Lista de variáveis físico-químicas e biológicas e respectivos métodos de coleta, conservação e análise.

Variáveis	Local da Análise	Equipamento/Método Analítico	Unidade	Conservação
Temperatura da água	<i>in situ</i>	Termômetro digital de campo	°C	Análise imediata
Oxigênio Dissolvido	<i>in situ</i>	Sensor óptico – Oxímetro ICEL AOD 4000	mg/L	Análise imediata
pH	<i>in situ</i>	Sensor óptico – pHTEK 100	-	Análise imediata
Condutividade elétrica	<i>in situ</i>	Sensor óptico pH TEK CD 203	µS/cm	Análise imediata
Turbidez	Laboratorial	Turbidímetro de bancada	NTU	Refrigerar a 4°C. 28 dias refrigerada
Sólidos Totais	Laboratorial	Método gravimétrico (APHA, 1998)	mg/L	Refrigerar a 4°C. 28 dias refrigerada
Sólidos Totais Dissolvidos	Laboratorial	Filtração (0.45 µm) e pesagem do filtro após secagem a 105 °C (APHA, 1998)	mg/L	Refrigerar a 4°C. 28 dias refrigerada
Silicato	Laboratorial	Método espectrofotométrico – Kit para análise de silicato da Merck	mg/L	Refrigerar a 4°C. - 28 dias refrigerada
Nitrogênio Total	Laboratorial	Digestão prévia da amostra e segundo	mg/L – N	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2). Refrigerar a 4°C.

Tabela 3.1.3. Lista de variáveis físico-químicas e biológicas e respectivos métodos de coleta, conservação e análise.

Variáveis	Local da Análise	Equipamento/Método Analítico	Unidade	Conservação
Nitrogênio Amoniacal	Laboratorial	redução em coluna de cádmio a APHA (1998) Método do fenato com destilação prévia segundo a APHA (1998)	mg/L – N-NH <sub>3</sub>	- 28 dias refrigerada H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2). Refrigerar a 4°C. - 28 dias refrigerada
Nitrato	Laboratorial	Método por redução em coluna de cádmio (APHA, 1998)	mg/L – N-NO <sub>3</sub>	Adição de 2ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Refrigerar a 4°C
Nitrito	Laboratorial	Método espectrofométrico (APHA, 1998)	mg/L – N-NO <sub>2</sub>	Adição de 2ml de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Refrigerar a 4°C
Fósforo Total	Laboratorial	Método de redução com persulfato ácido e posterior leitura espectrofotométrica, segundo APHA (1992) e NBR 12772 – 1992	mg/L – P	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2). Refrigerar a 4°C. - 28 dias refrigerada
Orto-fosfato	Laboratorial	Método de redução com ácido ascórbico e posterior leitura espectrofotométrica, segundo APHA (1992) e NBR 12772 – 1992	mg/L – P-PO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (pH<2). Refrigerar a 4°C. - 28 dias refrigerada
DQO	Laboratorial	Digestão e análise com da Kit Merck	mg/L	Refrigerar a 4°C (análise imediata até 72h)
DBO <sub>5</sub>	Laboratorial	Método manométrico-OXITOP	mg/L	Refrigerar a 4°C (análise imediata até 72h)
Coliformes totais e termotolerantes	Laboratorial	Análise com KIT COLILERT	Nº provável de indivíduos	Refrigerar a 4°C (análise imediata até 24)
Clorofila-a	Laboratorial	Extração com etanol 90% NUSCH (1980)	µg/L	Garrafa plástica envolta em alumínio para proteger contra luz- Manter congelado-análise em até 2 meses
Fitoplâncton	Laboratorial	Identificação em microscópio	Quali-quantitativo	Preservação com lugol - análise em até seis meses

Para as coletas foram utilizados frascos de polietileno devidamente preparados com conservantes específicos para as análises, conforme descrito na Tabela 3.2.3. As coletas foram realizadas na camada superficial dos rios, aproximadamente a 30 cm de profundidade. Após a coleta, os frascos foram seguramente vedados com tampa rosca para evitar vazamentos. Foram coletados diferentes volumes de água para a análise de cada variável.

Para o fitoplâncton, em cada ponto amostral, são coletados 250mL de água, conservados imediatamente com adição de lugol. Para clorofila-a, frascos com 1L de amostra são embalados em papel alumínio para proteger da luz, sendo posteriormente congelados. Para análise de nutrientes entre outras variáveis (fósforo total, nitrogênio, silicato, DQO, DBO, sólidos totais e dissolvidos, etc.) foram coletados 2L de água conservados em frascos de 1L com adição de conservante (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). As amostras para coliformes foram coletadas em frascos de 150 mL providos pelo laboratório INTERPARTNER, localizado no município de Pontas Grossa, responsável para realização desta análise.

Para transporte ao laboratório, as amostras foram refrigeradas em caixas térmicas, com gelo. No caso da análise de coliformes, o tempo entre coleta e análise foi de 24 h. Para DBO e DQO, o tempo percorrido foi de 48 a 72h. As análises restantes foram realizadas em até 14 dias.

### 3.2. Modelagem Matemática de Qualidade da Água

#### 3.2.1 Modelo Qual-2k (Chapra & Pelletier, 2001)

O modelo QUAL-2K (Q2K) é a continuidade da série de modelos de qualidade da água aplicados a rios e arroios: QUAL-I (1960), QUAL-II, QUAL2e (Q2E) e QUAL2E-UNCAS. Desta forma, possui uma vasta aplicabilidade ao longo dos anos em diversos cursos d'água ao redor do mundo, sendo utilizado principalmente como ferramenta suporte na tomada de decisão no gerenciamento integrado dos recursos hídricos no âmbito de bacia hidrográfica. Além disso, pela credibilidade adquirida ao longo dos anos o modelo vem sendo atualizado, não somente no que se refere às modificações inerentes às técnicas computacionais, mas principalmente, no sentido de disponibilizar o “estado da arte” da teoria do modelo de qualidade da água. Esta versão foi desenvolvida originalmente por CHAPRA, S.C., da Universidade de Tufts, e é uma versão melhorada do modelo de QUAL2E.

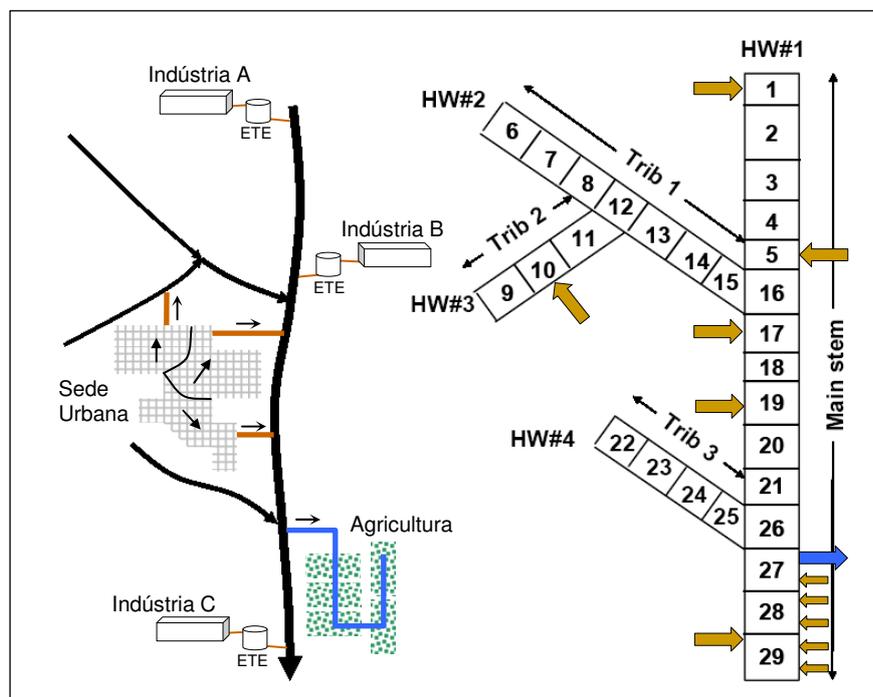


Figura 3.2.1 – Ilustração da adequação das condições reais no modelo QUAL-2K.

O modelo se baseia nas equações de transporte de quantidade de movimento e massa para sistemas unidimensionais e de regime permanente, podendo ser utilizado para simular o comportamento de diversas variáveis de qualidade da água.

O modelo permite a discretização de afluentes do canal principal, bem como de afluentes de ordem secundária, conforme ilustrado na figura 3.2.1. Além disso, o modelo possibilita simular entradas e retiradas de origem pontual e/ou difusa.

Quanto à etapa de ajuste, o modelo inclui um algoritmo genético para facilitar sua calibração aos dados medidos. O algoritmo genético é usado para encontrar a combinação de parâmetros e de constantes cinéticas do corpo d'água em questão, o qual resulta em um melhor ajuste para uma aplicação do modelo comparado com os dados observados (Kannel et al, 2007).

As hipóteses assumidas na estrutura de funcionamento do modelo QUAL-2K partem dos seguintes pressupostos:

- **Modelo Unidimensional:** o canal é considerado completamente misturado verticalmente e lateralmente. Considerando somente os gradientes longitudinais de concentração.
- **Fluxo Constante:** as condições de contorno de vazão e concentração são consideradas constantes.
- **Balanço diurno do calor:** o balanço e a temperatura do calor são simulados em função da meteorologia em condições diurnas.
- **Cinética das reações da qualidade da água diurna:** todas as variáveis da qualidade da água também são simuladas em uma escala de tempo diurna.
- **Entradas dos dados de calor e massa:** as cargas pontuais e não pontuais, bem como as retiradas são simuladas.
- **Modelo segmentado:** o QUAL-2K segmenta o corpo d'água em trechos igualmente espaçados. Os carregamentos múltiplos e as saídas podem ser inseridos em todo o segmento em qualquer alcance.

- Distinção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO): o QUAL-2K usa duas formas de DBO para representar o carbono orgânico, uma de oxidação lenta (DBO lento) e uma oxidação rápida (DBO rápido).
- Ambientes anóxicos: o QUAL-2K engloba situações anóxicas reduzindo as reações de oxidação a zero em níveis baixos do oxigênio. Além disso, a desnitrificação é modelada como uma reação de primeira ordem que ocorre em concentrações de oxigênio baixas.
- Algas no sedimento: o modelo simula diretamente o agrupamento de algas no sedimento. Estas algas têm a estequiometria variável de N e de P.
- Redução da luz: a redução da luz é calculada em função do fitoplâncton, dos detritos, e dos sólidos inorgânicos.
- pH: a alcalinidade e o carbono inorgânico total são simulados, sendo o pH do rio simulado com base nestas duas quantidades.
- Patógenos: a biomassa de um grupo patógeno genérico é simulada. A remoção é determinada em função da temperatura, da luz, e da sedimentação.

Por outro lado, conforme é verificado através das hipóteses simplificadoras, o modelo QUAL-2K não é indicado principalmente na avaliação de gradientes verticais e transversais das variáveis de estado e avaliação da qualidade da água sob condições de regime não-permanente.

A tabela 3.2.1 apresenta algumas variáveis possíveis de serem simuladas pelo modelo QUAL-2K.

Tabela 3.2.1. Variáveis de qualidade da água simuladas.

Variável	Unidade
Condutividade	µmhos
Sólidos Inorgânicos Suspensos	mgD/L
Oxigênio Dissolvido	mgO <sub>2</sub> /L
DBO rápida	mgO <sub>2</sub> /L
DBO lenta	mgO <sub>2</sub> /L
Nitrogênio Orgânico	mgN/L
Nitrogênio Amoniacal	mgN/L

Tabela 3.2.1 – Variáveis de qualidade da água simuladas (continuação).

Variável	Unidade
Nitrato	mgN/L
Fósforo Orgânico	mgP/L
Fósforo Inorgânico	mgP/L
Fitoplâncton	µgA/L
Detritos	mgD/L
Patógenos	NMP/100 mL
Constituinte genérico (definido pelo usuário)	Variável
Alcalinidade	mgCaCO <sub>3</sub> /L
pH	-
Carbono Inorgânico Total	mg/L

Equações do Balanço Hidráulico

A figura 3.2.2 apresenta a discretização utilizada para o esquema numérico de diferenças finitas utilizado no modelo. Conforme mostrado na figura 3.2.2, o volume armazenado em cada segmento é resultante do balanço entre entradas e saídas pontuais ou difusas em cada segmento, além das condições impostas a montante.

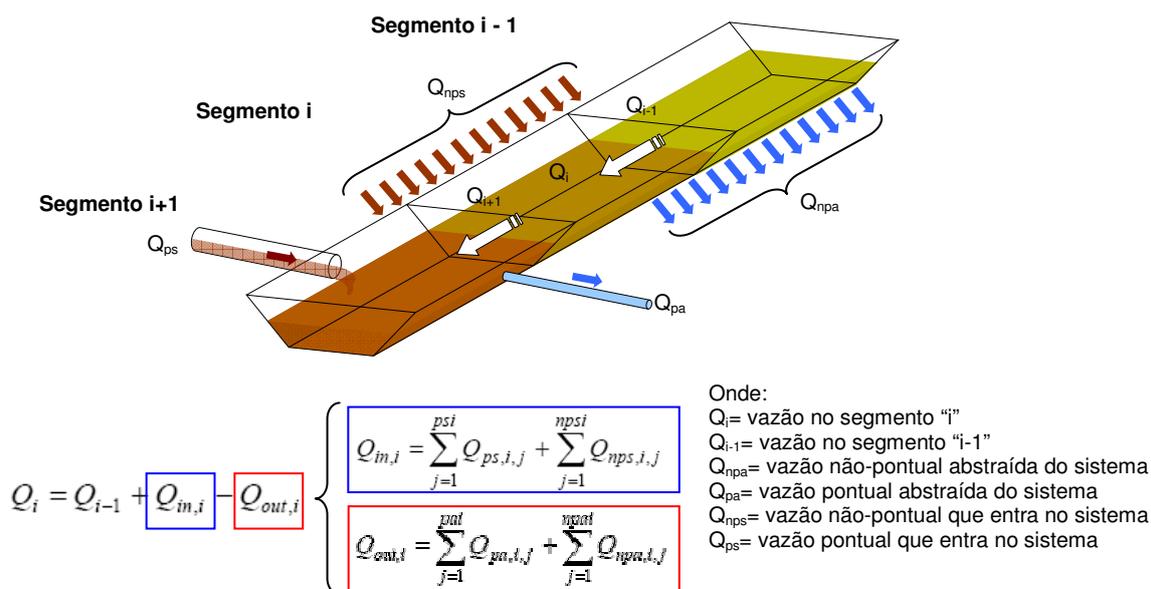


Figura 3.2.2 – Esquema da discretização assumida no modelo QUAL-2K.

O transporte de quantidade de movimento ou do fluxo de água, propriamente dito, basicamente, por conta da simplificação imposta pela condição de regime permanente, é equacionado pela relação de Manning, conforme mostrado na figura 3.2.3.

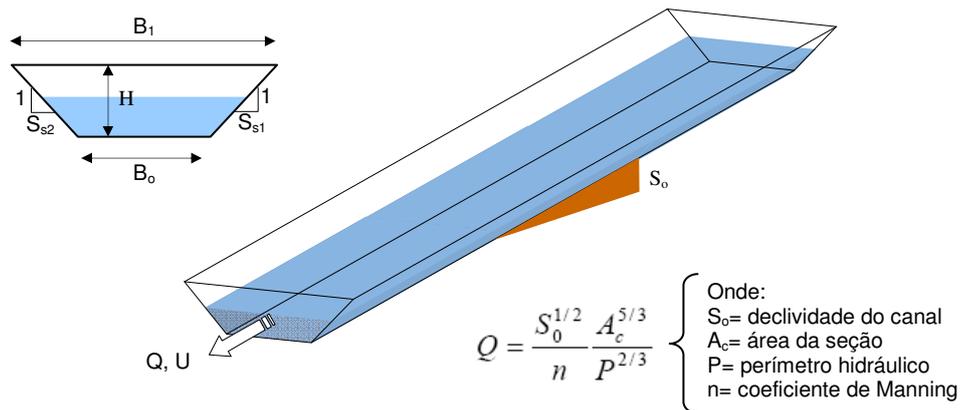


Figura 3.2.3 – Características hidráulicas do modelo QUAL-2K.

Outra hipótese que pode ser assumida para estabelecer o balanço hídrico em cada segmento é através do uso de relações empíricas entre as variáveis hidráulicas de uma determinada seção (curvas-chave), conforme equações (1) e (2) mostradas abaixo.

$$U = aQ^b \tag{1}$$

$$H = \alpha Q^\beta \tag{2}$$

Uma vez definido o balanço hídrico em cada segmento contemplado pelo modelo e, portanto, calculados níveis, velocidades e vazões nos segmentos, é realizado o balanço e transporte de massa dos parâmetros de qualidade da água.

### Equações do Transporte de Massa

O transporte de massa, segundo o esquema apresentado na figura 3.2.2, é realizado através da equação mostrada abaixo.

$$\frac{dc_i}{dt} = \frac{Q_{i-1}}{V_i} c_{i-1} - \frac{Q_i}{V_i} c_i - \frac{Q_{out.i}}{V_i} c_i + \frac{E'_{i-1}}{V_i} (c_{i-1} - c_i) + \frac{E'_i}{V_i} (c_{i+1} - c_i) + \frac{W_i}{V_i} + S_i \tag{3}$$

- C = concentração ( $\text{g}/\text{m}^3$ )
- Q = vazão ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- V = volume ( $\text{m}^3$ )
- E = coeficiente de dispersão longitudinal ( $\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )
- W = fluxos laterais ( $\text{g}/\text{m}^3/\text{s}$ )
- S = termo fonte ( $\text{g}/\text{m}^3/\text{s}$ )

A equação acima é resolvida para cada segmento e para cada parâmetro de qualidade da água que se deseja simular. Neste sentido, “ci” pode ser qualquer uma das variáveis definidas no quadro 3.2.1. A diferença entre as equações de cada variável é definida não somente pelas condicionantes de contorno, mas também, e principalmente, pelas interações assumidas no modelo para cada constituinte dissolvido, as quais são agrupadas no termo fonte “Si”, conforme pode ser visto na Figura 3.2.4 para o parâmetro oxigênio dissolvido.

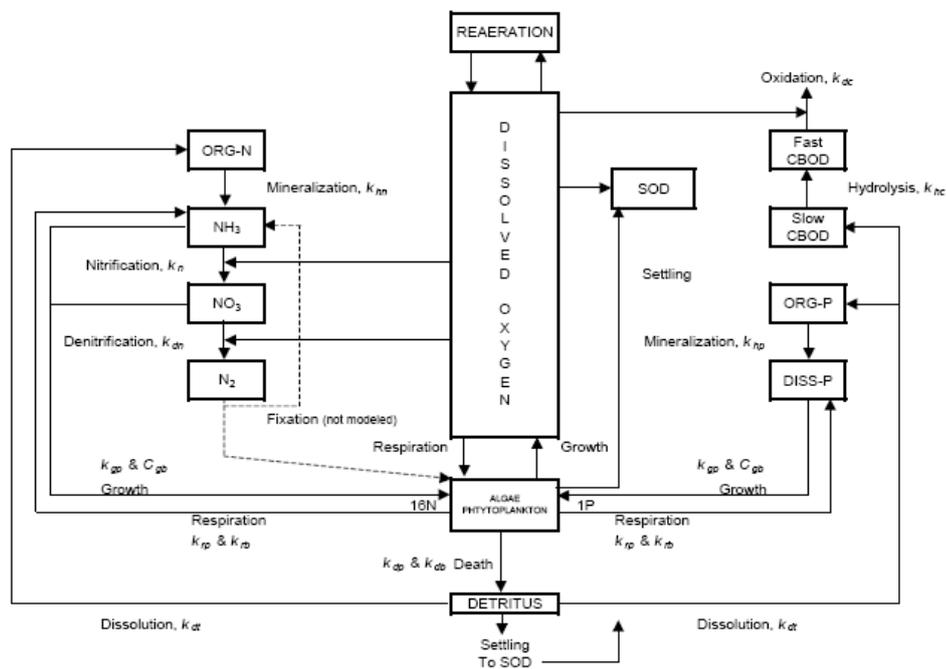


Figura 3.2.4 – Interações consideradas no modelo Q2K para oxigênio dissolvido (Chapra *et al.*, 2005).

O termo “ $W_i$ ” da equação (3) estabelece o balanço de massa no segmento  $i$ , segundo as fontes e/ou abstrações de origem pontual e/ou difusa impostas. O equacionamento do termo é mostrado abaixo.

$$W_i = \sum_{j=1}^{psi} Q_{ps,i,j} C_{ps,i,j} + \sum_{j=1}^{npsi} Q_{nps,i,j} C_{nps,i,j} \quad (4)$$

Demais informações a respeito do modelo Q2K podem ser obtidas em Chapra et al. (2006) e Kannel et al. (2007).

### 3.2.2 Discretização do modelo

O trecho de 122 km no rio Tibagi entre a seção do barramento da UHE Mauá até a seção de captação de água bruta da SANEPAR no município de Londrina foi dividido em elementos computacionais de 3,0 km, totalizando 41 células no modelo unidimensional QUAL-2K. Este comprimento foi adotado com o objetivo de compatibilizar os requisitos de estabilidade numérica e as seções disponíveis para a modelagem matemática do trecho de interesse.

Tabela 3.2.2. Características geométricas das seções transversais levantadas pela empresa Stymmulab – seção tipo trapezoidal do modelo QUAL-2K.

Código	Distância da UHE (km)	Altitude (m)	Largura (m)	Talude margem esquerda	Talude margem direita
S1	0	507.0	41.2	0.4261	0.2817
S2	3	503.0	195.2	0.3225	0.2000
S3	8	497.0	195.8	0.3250	0.3534
S4	13	492.5	125.0	0.2270	0.2957
S5	17	482.5	80.0	0.3036	0.1304
S6	21	480.0	100.0	0.3205	0.3805
S7	30	457.0	100.0	0.2167	0.1984
S8	39	440.0	15.1	0.2167	0.4460
S9	42	430.0	18.7	0.3798	0.2356
S10	48	426.0	54.7	0.3021	0.1733
S11	57	414.5	16.3	0.4388	0.3566
S12	62	419.0	150.0	0.2784	0.4395
S13	68	408.0	40.0	0.2857	0.5007
S14	74	413.5	120.0	0.3681	0.5693
S15	80	412.0	160.0	0.4769	0.3547
S16	86	409.0	218.9	0.2343	0.3393
S17	92	398.0	130.0	0.2833	0.3456
S18	98	381.0	70.0	0.3778	0.0918
S19	104	375.0	235.0	0.2791	0.1807
S20	110	370.0	180.0	0.6499	0.3687
S21	115	359.0	100.8	0.4490	0.3450

Os dados topobatimétricos necessários para a simulação com o modelo QUAL-2K, tais como, declividades do canal principal e geometria das seções transversais, foram obtidos de duas fontes de informação: dados secundários disponíveis (Tabela 3.2.2) e levantamento topobatimétricos realizado neste projeto pela Empresa Stymmulab S.A. (Tabela 3.2.3). No Anexo A.1. é apresentado o detalhamento das seções transversais levantadas no presente projeto. Todas as seções transversais disponíveis foram processadas para adequação à seção transversal padrão (tipo trapezoidal) do modelo QUAL-2K. As características geométricas de cada seção são apresentadas nas Tabelas 3.2.2 e 3.2.3. As Figuras 3.2.5 a 3.2.7 apresentam as características das seções transversais disponíveis ao longo do perfil longitudinal do trecho de interesse.

Tabela 3.2.3. Características geométricas das seções transversais levantadas – Dados secundários disponibilizados pela Contratante – seção tipo trapezoidal do modelo QUAL-2K.

<b>Código</b>	<b>Distância da UHE (km)</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Largura (m)</b>	<b>Talude margem esquerda</b>	<b>Talude margem direita</b>
SJ11	0.00	508.5	80	0.7743	0.3426
SJ10	0.29	508.0	95	0.7026	0.8779
SJ9	1.65	508.0	47	0.4806	0.2396
SJ8	2.85	500.0	340	0.5309	1.0258
SJ7	7.07	498.0	75	0.263	0.2427
SJ6	11.15	489.5	240	0.4249	0.2049
SJ5	14.35	477.0	95	0.3808	0.4516
SJ4	18.00	484.6	252	0.8615	0.7855
SJ3	23.85	480.0	177	0.3473	0.6474
SJ2	33.12	454.0	113	0.4435	0.6336
SJ1	43.80	441.0	145	0.3257	0.4347
ESJ1	61.95	419.5	105	0.228	0.4175
C18	62.05	419.0	66	0.4711	0.4817
C17	62.27	416.0	58	0.6102	0.3489
C16	63.01	420.0	44	0.6251	0.6566
C15	63.85	417.0	100	0.3605	0.2468
C14	64.35	418.0	98	0.2959	0.5854
C13	64.76	418.3	58	1.3659	0.478
C12	66.43	418.4	33	0.2919	0.3564
C11	68.27	419.1	95	0.3659	0.3913
C10	71.10	419.0	115	0.3978	0.2842
C9	77.77	408.0	130	0.2361	0.2227
C8	87.60	412.0	115	0.2942	0.4014
C7	92.44	401.0	95	0.357	0.5525
C6	94.77	404.0	140	0.2292	0.3732
C5	97.11	404.5	55	0.3858	0.3858
C4	100.27	397.5	115	0.4800	0.4800
C3	103.11	393.0	250	0.2094	0.5889
C2	106.11	382.5	140	0.2055	0.2055
C1	107.11	383.0	150	0.3702	0.0483
ECM	108.61	382.5	90	0.071	0.6308
J16	108.89	382.0	166	0.0757	0.2951
J15	110.05	380.0	315	0.3313	0.3313

Tabela 3.2.3. Características geométricas das seções transversais levantadas – Dados secundários disponibilizados pela Contratante – seção tipo trapezoidal do modelo QUAL-2K.

Código	Distância da UHE (km)	Altitude (m)	Largura (m)	Talude margem esquerda	Talude margem direita
J14	110.55	379.0	320	0.1696	0.2521
J13	111.89	378.0	184	0.8839	0.3315
J12	112.72	375.3	220	0.4165	0.2568
J11	114.56	371.0	295	0.135	0.119
J10	115.72	396.0	250	0.1638	0.2402
J9	116.39	367.0	180	0.1894	0.3209
J8	117.05	370.0	150	0.6508	0.4202
J7	120.22	358.0	190	0.2834	0.6271
J6	120.72	366.0	317	0.1979	0.2891
J5	120.88	359.0	88	0.3813	0.5364

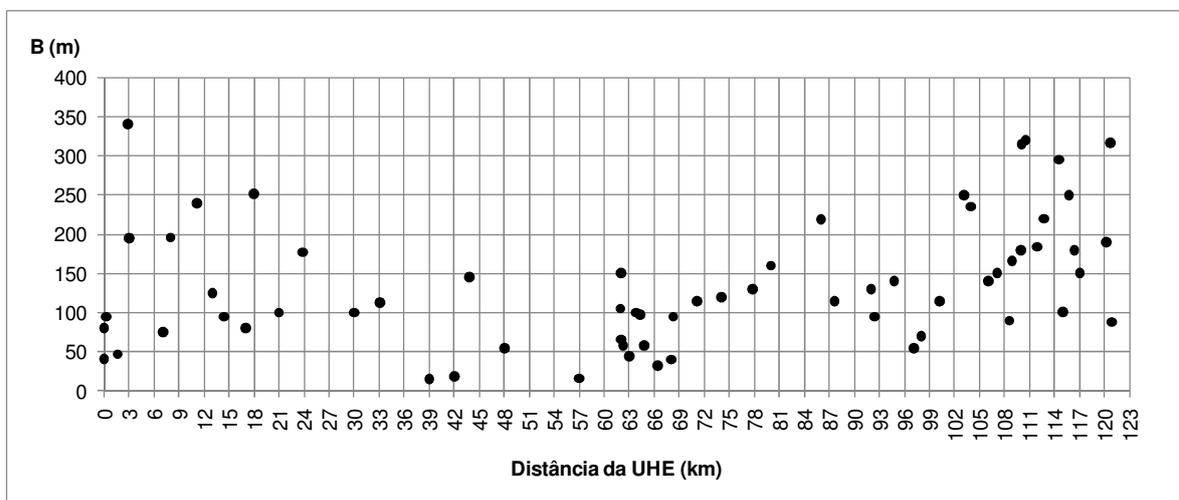


Figura 3.2.5. Variabilidade da largura (m) das seções transversais ao longo do trecho de interesse – dados gerados e disponíveis.

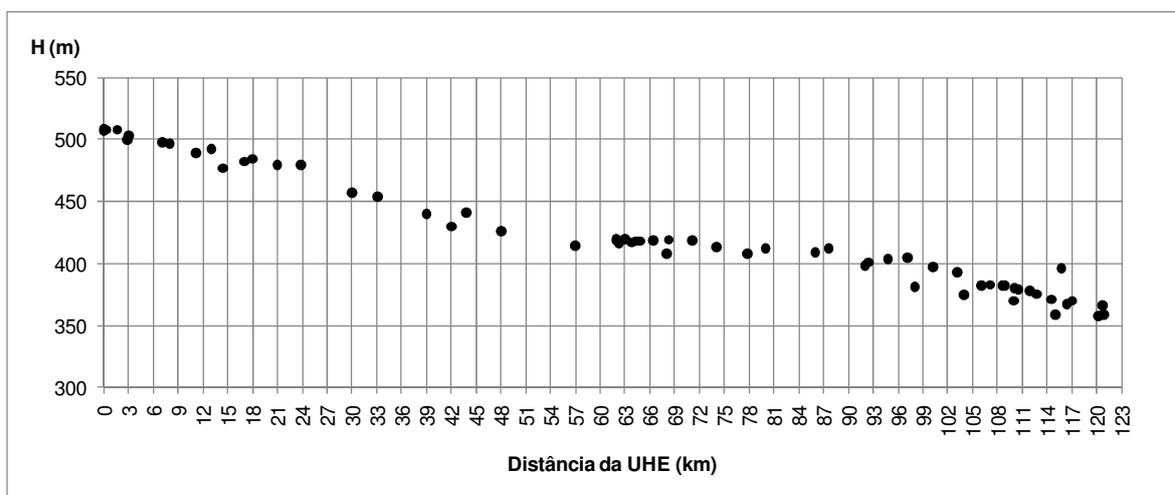


Figura 3.2.6. Altimetria do trecho de interesse – dados gerados e disponíveis.

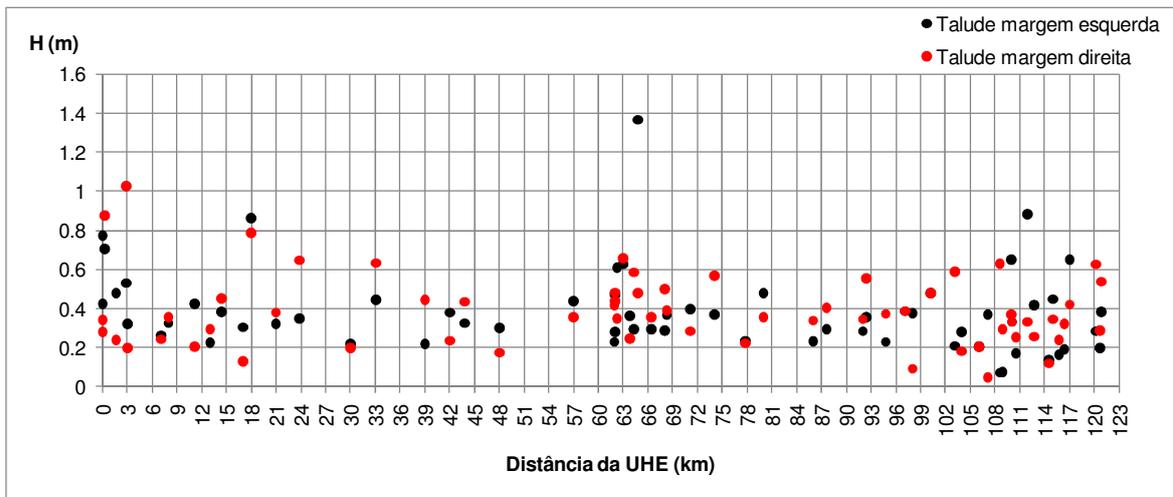


Figura 3.2.7. Variabilidade da inclinação dos taludes das seções transversais ao longo do trecho de interesse – dados gerados e disponíveis.

### 3.2.3 Condições de contorno

As condições de contorno para vazão e variáveis de qualidade da água utilizadas no modelo dizem respeito às sub-bacias contribuintes ao longo do trecho simulado e à condição de montante na seção de barramento da UHE-MAUÁ.

Foram considerados tributários pontuais e distribuídos ao longo do rio Tibagi. Os tributários pontuais considerados no modelo são os seguintes: Ribeirão Lajeado Liso (SB-2), Rio Apucarana (SB-11), Rio Apucarantina (SB-10), Ribeirão do Tigre (SB-4), Rio São Jerônimo (SB-5), Rio Taquara (SB-5) e Rio dos Apertados (SB-8) (Figura 3.2.9). As áreas de drenagem intermediárias foram consideradas como contribuições difusas ao longo do rio Tibagi. Foram definidas três regiões que podem ser simplificadas em contribuições difusas ou distribuídas, por conta da uniformidade das contribuições laterais existentes.

A obtenção das áreas de drenagem das sub-bacias no trecho de interesse foi realizada através do processamento Modelo Numérico do Terreno (MNT) mostrado na Figura 3.2.8. A definição das áreas de drenagem é importante para a transferência de informações hidrológicas para bacias ausentes de dados de vazão. A Tabela 3.2.4 apresenta as áreas de drenagem das contribuições pontuais e difusas consideradas no modelo QUAL-2K. Os tributários pontuais e distribuídos apresentados na referida tabela são os utilizados no estudo anterior (LACTEC, 2009). Na sequência, a Figura 3.2.10 apresenta o diagrama unifilar do trecho de interesse no modelo QUAL-2K.

Tabela 3.2.4. Áreas de drenagem das sub-bacias no modelo QUAL2K.

<b>Sub-Bacias</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
SB-1 – Ribeirão das Antas	682.3
SB-2 – Lajeado Liso	351.0
SB-3 – Difusa I	712.5
SB-4 – Tigre	198.4
SB-5 – São Jerônimo	593.5
SB-6 – Difusa II	421.5
SB-7 – Difusa III	409.7
SB-8 – Apertados	322.5
SB-9 – Taquara	886.1
SB-10 – Apucarantina	543.5
SB-11 – Apucarana	571.2

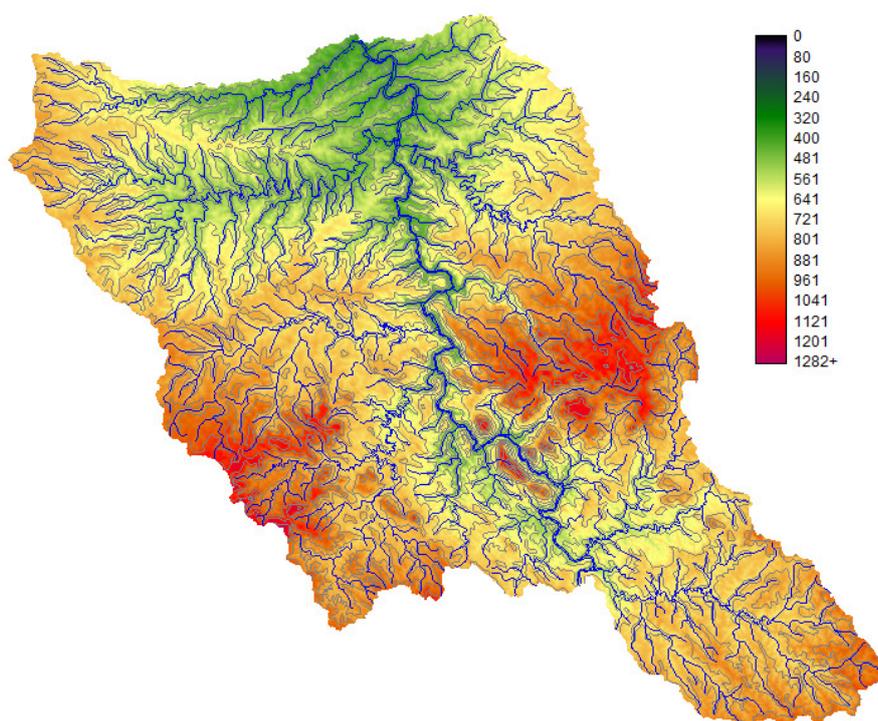


Figura 3.2.8. Modelo Numérico do Terreno (MNT) da área contribuinte ao trecho de interesse.

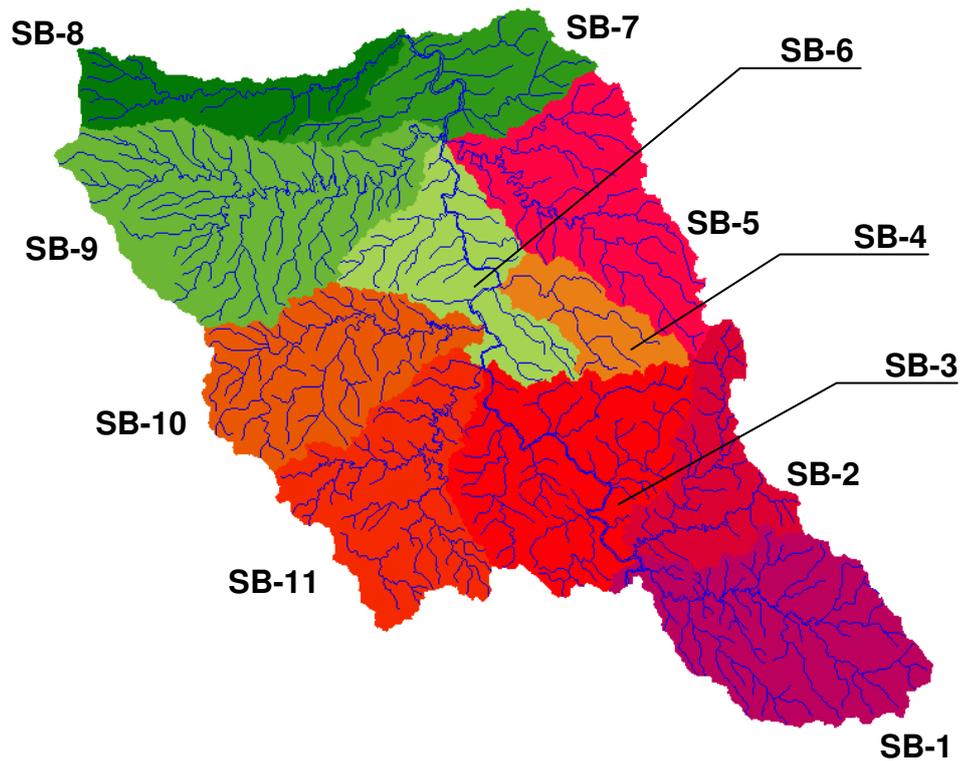


Figura 3.2.9. Delimitação das sub-bacias no trecho de 120,0 km do rio Tibagi.

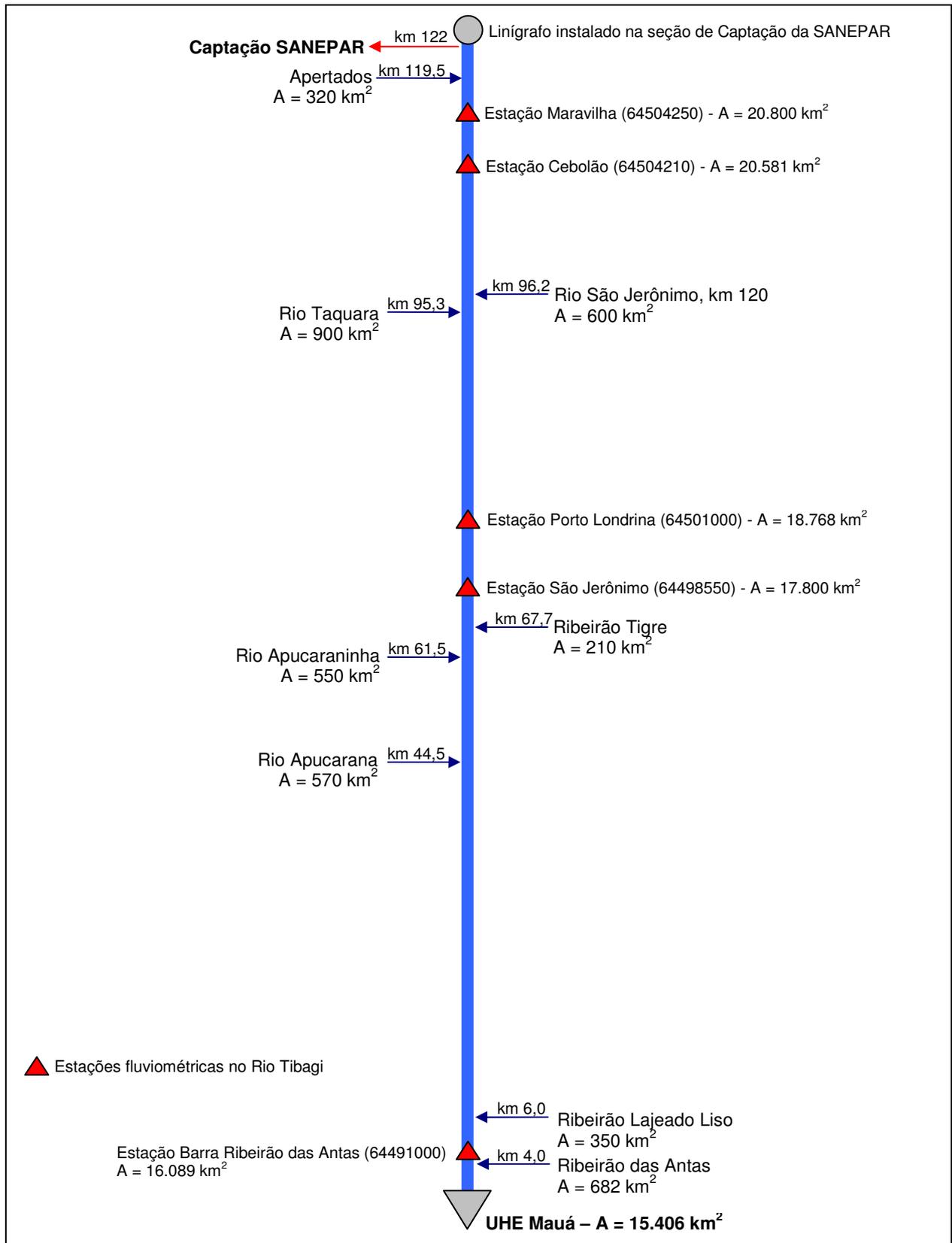


Figura 3.2.10 – Diagrama unifilar do trecho de 122,0 km no Rio Tibagi utilizado no modelo QUAL-2K.

### 3.2.4. Calibração do modelo – Condições atuais

A etapa de calibração teve por objetivo não somente ajustar os parâmetros cinéticos do modelo, mas, sobretudo, avaliar o cenário atual do trecho de interesse para as três condições de vazão registradas.

As vazões de entrada do modelo para o cenário atual foram estimadas com base nas vazões observadas nos postos fluviométricos com dados disponíveis localizados no trecho de interesse. A vazão para as bacias hidrográficas não monitoradas situadas entre seções de medição foi estimada através de regionalização pela área de drenagem como sugerido em SEMA /SUDERHSA (2009) e exemplificado na Figura 3.3.11, abaixo, para as vazões média ( $Q_{MLT}$ ) e  $Q_{95\%}$ .

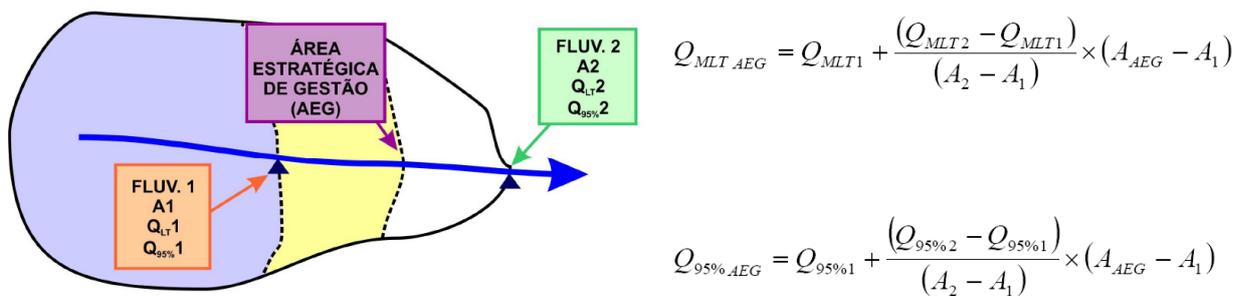


Figura 3.3.11 – Metodologia de transferência da vazão para bacias não monitoradas (Fonte: SEMA /SUDERHSA, 2009).

As condições de contorno para as variáveis de qualidade da água referem-se aos próprios resultados das campanhas de amostragem realizadas no ano de 2011 pela empresa Stymmulab S.A., para a condição de vazão baixa (junho), vazão média (abril) e vazão elevada (agosto). Para o cenário de calibração ou atual, a condição de montante para qualidade da água foi definida com base nos resultados obtidos no monitoramento. Para vazão, a condição na cabeceira do trecho refere-se à vazão observada na estação da Barra Ribeirão das Antas, descontada a vazão estimada para a sub-bacia do Ribeirão das Antas.

### 3.2.5 Cenários

Para a avaliação dos cenários influenciados pela construção da UHE-MAUÁ, as contribuições laterais ao longo do trecho de interesse foram assumidas tal qual

realizado para o cenário atual ou de calibração tanto para vazão, quanto para as variáveis de qualidade da água simuladas.

Por outro lado, para a condição de montante, foram simulados cenários que representassem as características qualitativas e quantitativas esperadas para o fluxo efluente da UHE-MAUÁ. Neste sentido, para os cenários de vazão baixa, considerou-se a vazão ecológica prevista para UHE-MAUÁ como o único fluxo efluente da barragem. Para os cenários de vazão média, adotou-se o valor de 279,0 m<sup>3</sup>/s, vazão que representa a vazão média de longo período na seção do barramento. Por fim, para os cenários de vazão elevada, foi adotada a vazão com permanência de 5,0%, que equivale a 753,0 m<sup>3</sup>/s, segundo a curva de permanência para o posto fluviométrico de Barra do Ribeirão das Antas. A Tabela 3.2.5 apresenta, em síntese, as vazões de montante utilizadas tanto para calibração da modelagem quanto para a simulação de cenários, comparadas as vazões registradas durante as campanhas de monitoramento (cenário atual).

Tabela 3.2.5. Comparação entre as vazões (m<sup>3</sup>/s) registradas e simuladas para o cenário atual (calibração) e considerados nos cenários influenciados pela UHE-MAUÁ.

	<b>Cenário Atual</b>	<b>Cenários Influenciados pela UHE</b>
Vazão baixa	78,5*	18,8
Vazão média	234,6*	279,0
Vazão elevada	1666,0*	753,0**

\* Vazões registradas no posto fluviométrico de Barra do Ribeirão das Antas na ocasião de cada campanha de amostragem da qualidade da água. \*\* Vazão com 5% de permanência segundo a série de dados do posto fluviométrico de Barra do Ribeirão das Antas.

Para cada condição de vazão simulada foram considerados 6 (seis) cenários de qualidade da água da vazão de saída da UHE-MAUÁ. As concentrações para as variáveis avaliadas na simulação (OD, DBO, fósforo total, nitrogênio amoniacal e nitrato) tiveram como referência o Índice de Qualidade da Água em Reservatórios (IQAR).

Este índice foi criado pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP para verificar a degradação da qualidade da água dos reservatórios. A metodologia se baseia em uma matriz que apresenta seis classes de qualidade da água, as quais foram estabelecidas a partir do cálculo dos percentis 10%, 25%, 50%, 75% e 90% de cada uma das variáveis selecionadas (Tabela 3.2.6).

Tabela 3.2.6. Matriz de qualidade da água do IQAR para os parâmetros simulados nos cenários com o modelo QUAL-2K.

Variáveis	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV
Déficit de oxigênio (%)	<5	6-20	21-35	36-50
Fósforo total (mg/L)	<0,010	0,010-0,025	0,026-0,040	0,041-0,085
Nitrog. Inorg. total (mg/L)	<0,15	0,16-0,25	0,26-0,60	0,61-2,00
Clorofila a (mg/m3)	<1,5	1,5-3,0	3,1-5,0	5,1-10,0
DQO (mg/L)	<3	3-5	6-8	9-14

Portanto, cada cenário de qualidade da água considerada na cabeceira do trecho simulado é representada por uma classe da matriz do IQAR. Este conjunto de cenários de qualidade da água na saída do reservatório, em combinação com as três faixas de vazões consideradas, resultaram na avaliação geral de 12 cenários.

Em relação aos valores de concentração com base na matriz da Tabela 3.2.6, salienta-se que foram adotados os valores médios para cada parâmetro segundo o intervalo definido para a classe. Para DBO, considerou-se uma parcela da concentração de DQO da matriz. A proporção utilizada foi de 20%, representando a relação média DBO/DQO obtida no monitoramento. Esta mesma hipótese também foi assumida para estimar os compartimentos de N-NH<sub>4</sub> e N-NO<sub>3</sub> a partir da concentração de nitrogênio inorgânico da matriz do IQAR.

A COPEL realiza periodicamente o monitoramento da qualidade da água de seus reservatórios no Paraná. Os valores dos IQAR's destes reservatórios servem como referência para definir os cenários esperados para a UHE -Mauá. O reservatório de Foz do Areia apresenta características similares ao de Mauá: um centro urbano desenvolvido a montante, área do lago na mesma ordem de grandeza e inexistência de outros reservatórios a montante. Pelo monitoramento da Copel, a média do índice classifica o reservatório Foz de Areia como Classe 3, com o valor de 3,34, na estação mais próxima à barragem. Para garantir uma margem de segurança conservadora à modelagem do rio Tibagi, a condição de IAQR da UHE-Mauá foi simulada até Classe 4, o que caracteriza um cenário pessimista, altamente degradado, improvável de ocorrer, haja visto os resultados do monitoramento de qualidade apresentados no item 4.1 deste relatório.

Os procedimentos para o cálculo do IQAR, bem como os procedimentos adotados em campo e laboratório são bastante detalhados e extensos, e podem ser encontrados no relatório denominado “Metodologia Aplicada para Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais em Reservatórios da COPEL e Corpos Hídricos relacionados” de RIBEIRO et al. (2006).

Para melhor compreensão, cabe salientar que a classificação dos reservatórios, segundo o IQAR, segue os critérios do IAP (2004). Neste sentido, são seis classes de qualidade da água, definidas conforme segue:

- **Classe I - não impactado a muito pouco degradado.** Corpos de água saturados de oxigênio, baixa concentração de nutrientes, concentração de matéria orgânica muito baixa, alta transparência das águas, densidade de algas muito baixa, normalmente com pequeno tempo de residência das águas e/ou grande profundidade média;
- **Classe II - pouco degradado.** Corpos de água com pequeno aporte de nutrientes orgânicos e inorgânicos e matéria orgânica, pequena depleção de oxigênio dissolvido, transparência das águas relativamente alta, baixa densidade de algas, normalmente com pequeno tempo de residência das água e/ou grande profundidade média;
- **Classe III - moderadamente degradado.** Corpos de água que apresentam um déficit considerável de oxigênio dissolvido na coluna d' água, podendo ocorrer anoxia na camada de água próxima ao fundo, em determinados períodos, médio aporte de nutrientes e matéria orgânica, grande variedade e densidade de algumas espécies de algas, sendo que algumas espécies podem ser predominantes, tendência moderada a eutrofização, tempo de residência das águas, considerável;
- **Classe IV - criticamente degradado a poluído.** Corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, aporte de consideráveis cargas de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas e/ou cianobactérias, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente a alta

turbidez biogênica. A partir desta classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado déficit de oxigênio dissolvido;

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Monitoramento Limnológico

Os resultados das variáveis físico-químicas e biológicas de qualidade de água analisadas nas campanhas de março, abril, junho e agosto de 2011 constam na Tabela 4.1.1. A seguir, os resultados das variáveis abordadas são descritos contemplando os pontos amostrais inseridos na área de interesse do monitoramento.

#### 4.1.1. Temperatura

A temperatura da água é influenciada pela latitude, altitude, sazonalidade, hora do dia, circulação de ar, nebulosidade, correntes hidrodinâmicas e profundidade do corpo da água. Por sua vez, esta variável afeta os processos físicos, químicos e biológicos inerentes do ecossistema aquático, além da concentração de variáveis termo-dependentes, como oxigênio dissolvido.

A temperatura da água do rio Tibagi variou de 25,1 °C (P09) no mês de março, a 12,4 °C (P01) no mês de agosto, o que corresponde a uma variação térmica de 12,3 °C entre os pontos amostrais considerando todo o período de monitoramento (Fig. 4.1.1). A média de temperatura do rio Tibagi decaiu de 24,8 a 17,9 °C de março a junho, com a mínima registrada em agosto de 2011, 14,87 °C.

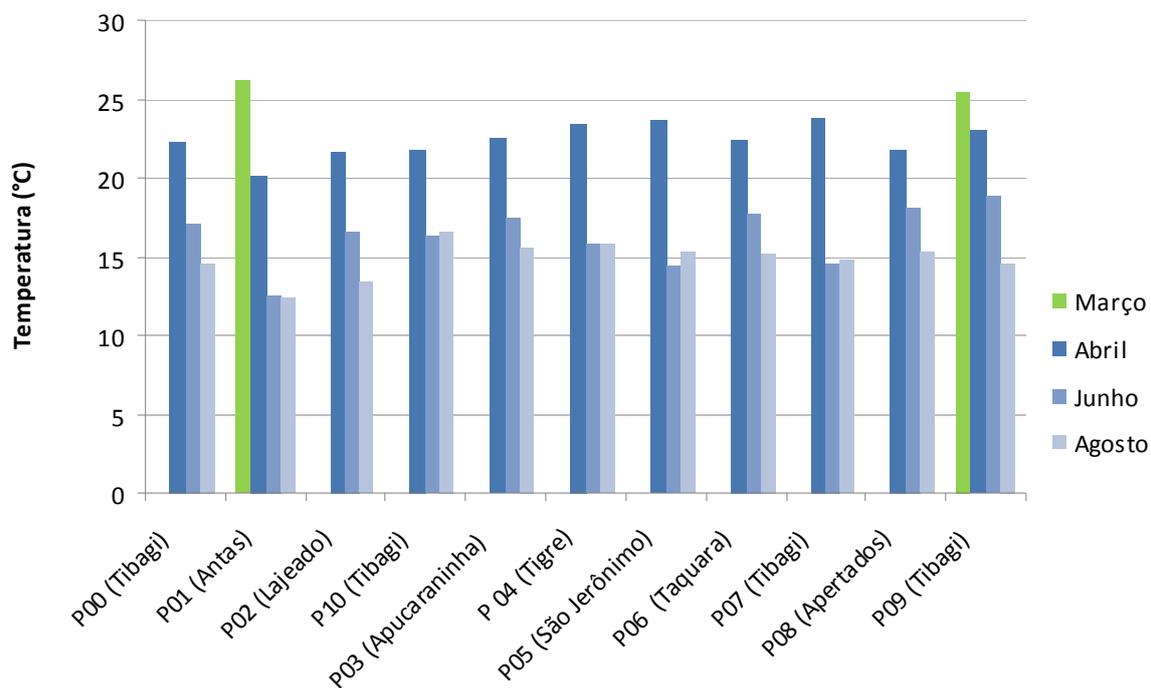


Figura 4.1.1. Série de temperatura da água (°C) registrada no rio Tibagi e afluentes nos meses de março, abril, junho e agosto de 2011.

Tabela 4.1.1. Resultados das campanhas de monitoramento limnológico realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

Pontos de Coleta	T (°C)	OD (mg/L)	Cond (µS/cm)	pH	SDT (mg/L)	Turb. (UNT)	NT (mg/L)	N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	N-NO <sub>2</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	PT (mg/L)	P-PO <sub>4</sub> (mg/L)	P <sub>org</sub> (mg/L)	Clorofila-a (µg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	CT (NMP/100ml)	CF (NMP/100ml)
<b>Campanha de Reconhecimento</b>																		
PONTO 00	24,7	6,87	47	7,8	135	15	1,259	0,20	0,06	0,268	0,091	0,08	0,007	2,87	11,2	2,6	>2419,6	>2419,6
PONTO 01	26,2	6,71	48	7,2	84	14	0,741	0,11	0,05	0,388	0,020	0,01	0,010	2,07	8,20	0,8	>2419,6	547,5
PONTO 07	24,1	7,68	55	7,7	54	16	0,501	0,02	0,05	0,607	0,029	0,02	0,011	1,96	11,8	1,2	>2419,6	191,8
PONTO 09	25,5	7,22	55	7,7	89	19	1,090	0,04	0,05	0,677	0,030	0,02	0,013	2,08	12,1	1,4	>2419,6	261,3
<b>Campanha 01 (14 a 16 de abril 2011)</b>																		
PONTO 00	22,3	6,47	61	7,3	94,0	4,8	0,81	0,10	0,06	0,30	0,120	0,09	0,03	1,98	12,80	2,1	>2419,6	>2419,6
PONTO 01	20,1	6,9	52	7,6	110	26	0,63	0,08	0,07	0,21	0,080	0,06	0,02	2,13	7,60	1,1	>2419,6	579,4
PONTO 02	21,6	7,89	119	7,6	136	6,3	0,65	0,05	0,05	0,22	0,070	0,05	0,02	1,77	9,30	1,5	>2419,6	193,5
PONTO 03	22,5	6,97	30	7,4	82,0	13	0,64	0,05	0,04	0,23	0,050	0,04	0,01	2,10	6,70	1	>2419,6	235,9
PONTO 04	23,4	6,81	34	7,5	80,0	8,8	0,4	0,04	0,04	0,17	0,040	0,02	0,02	1,61	5,60	0,8	>2419,6	290,9
PONTO 05	23,7	6,32	52	7,7	96,0	14	0,68	0,06	0,04	0,32	0,050	0,04	0,01	1,50	7,40	1,2	>2419,6	488,4
PONTO 06	22,4	7,66	81	7,7	120	33	0,94	0,01	0,04	0,63	0,070	0,03	0,04	1,89	7,60	1,1	>2419,6	980,4
PONTO 07	23,8	7,31	56	7,7	84,0	43	1,15	0,01	0,05	0,64	0,090	0,05	0,04	2,43	5,60	0,9	>2419,6	547,5
PONTO 08	21,8	6,29	89	7,5	62,0	30	1,12	0,03	0,05	0,58	0,100	0,07	0,03	1,72	11,80	1,2	>2419,6	387,3
PONTO 09	23,1	7,07	60	7,4	64,0	10	1,06	0,03	0,05	0,56	0,090	0,04	0,05	2,30	11,00	1,3	>2419,6	325,5
PONTO 10	21,8	7,72	59	7,4	62,0	26	0,98	0,06	0,05	0,49	0,090	0,03	0,06	2,08	12,9	1,6	>2419,6	261,3

**Legenda:** T: temperatura, OD: oxigênio dissolvido, SDT: sólidos dissolvidos totais, Turb.: turbidez, NT: nitrogênio total, N-NH<sub>3</sub>: nitrogênio amoniacal, N-NO<sub>2</sub>: nitrito, N-NO<sub>3</sub>: nitrato, PT: fósforo total, P-PO<sub>4</sub>: fósforo dissolvido, P<sub>org</sub>: fósforo orgânico, DQO: demanda química de oxigênio, DBO: demanda bioquímica de oxigênio, CT: coliformes totais, CF: coliformes fecais.



**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**  
**Estudo de Modelagem da Qualidade da Água no rio Tibagi, no**  
**trecho sob influência da UHE-Mauá (PR)**



Tabela 4.1.1. cont.

<b>Campanha 02</b> <b>(2 a 3 de junho 2011)</b>	<b>T</b> <b>(°C)</b>	<b>OD</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Cond</b> <b>(µS/cm)</b>	<b>pH</b>	<b>SDT</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Turb.</b> <b>(UNT)</b>	<b>NT</b> <b>(mg/L)</b>	<b>N-NH<sub>3</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>N-NO<sub>2</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>N-NO<sub>3</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>PT</b> <b>(mg/L)</b>	<b>P-PO<sub>4</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>P<sub>org</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>Clorofila-a</b> <b>(µg/L)</b>	<b>DQO</b> <b>(mg/L)</b>	<b>DBO</b> <b>(mg/L)</b>	<b>CT</b> <b>(NMP/100ml)</b>	<b>CF</b> <b>(NMP/100ml)</b>
PONTO 00	17,1	6,41	84	7,45	64	9,01	0,455	0,04	0,01	0,253	0,075	0,025	0,032	2,06	11,1	1,8	>4839,2	2
PONTO 01	12,5	6,81	65	7,73	62	5,56	0,398	0,005	0,009	0,235	0,07	0,016	0,037	1,45	5,6	0,8	3972,6	122,6
PONTO 02	16,6	8,23	168	8,09	118	1,72	0,376	0,003	0,012	0,189	0,135	0,014	0,058	1,51	7,8	1,5	4839,2	46,6
PONTO 03	16,3	7,78	33	7,49	44	4,02	0,387	0,004	0,008	0,218	0,084	0,008	0,061	0,72	8,4	1,3	3465,8	33,2
PONTO 04	17,5	8,1	31	7,53	48	3,38	0,397	0,038	0,007	0,196	0,076	0,007	0,037	1,02	7,2	1,1	3972,6	73,8
PONTO 05	15,8	7,25	47	7,71	68	7,98	0,513	0,044	0,009	0,318	0,116	0,022	0,065	0,87	6,4	1,2	3972,6	67,2
PONTO 06	14,4	7,23	64	7,73	70	4,67	0,485	0,008	0,005	0,398	0,106	0,006	0,059	0,98	8,8	1,1	>4839,2	140,6
PONTO 07	17,7	6,91	73	7,53	67	8,34	0,593	0,007	0,006	0,415	0,086	0,009	0,053	1,46	6,3	0,9	>4839,2	46,6
PONTO 08	14,6	6,5	86	7,58	71	7,53	0,716	0,009	0,004	0,576	0,053	0,005	0,041	1,07	9,7	1,5	4839,2	247,2
PONTO 09	18,1	8,1	66	7,42	98	8,21	1,312	0,011	0,007	0,765	0,067	0,023	0,043	1,23	7,8	1,2	>4839,2	168,8
PONTO 10	18,8	8,2	63	7,62	54	8,2	0,956	0,015	0,008	0,673	0,06	0,021	0,038	1,73	12,4	1,8	3106,2	8,2
<b>Campanha 03</b> <b>(5 a 7 de agosto)</b>	<b>T</b> <b>(°C)</b>	<b>OD</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Cond</b> <b>(µS/cm)</b>	<b>pH</b>	<b>SDT</b> <b>(mg/L)</b>	<b>Turb.</b> <b>(UNT)</b>	<b>NT</b> <b>(mg/L)</b>	<b>N-NH<sub>3</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>N-NO<sub>2</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>N-NO<sub>3</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>PT</b> <b>(mg/L)</b>	<b>P-PO<sub>4</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>P<sub>org</sub></b> <b>(mg/L)</b>	<b>Clorofila-a</b> <b>(µg/L)</b>	<b>DQO</b> <b>(mg/L)</b>	<b>DBO</b> <b>(mg/L)</b>	<b>CT</b> <b>(NMP/100ml)</b>	<b>CF</b> <b>(NMP/100ml)</b>
PONTO 00	14,5	8,6	32	7,0	28	125	1,854	0,201	0,008	0,717	0,263	0,042	0,154	1,75	18,0	2,3	4839,2	922,2
PONTO 01	12,4	7,1	66	7,2	58	13,9	1,304	0,070	0,005	0,634	0,083	0,019	0,055	1,09	9,6	1,3	4839,2	181,6
PONTO 02	13,4	8,3	89	7,9	78	10,4	0,573	0,051	0,004	0,225	0,087	0,021	0,025	2,13	8,9	1,2	4839,2	92,4
PONTO 03	16,6	7,4	28	7,6	48	11,95	0,582	0,046	0,004	0,136	0,091	0,013	0,035	1,30	9,2	1,3	4839,2	74,6
PONTO 04	15,6	7,9	36	7,8	44	8,85	0,528	0,019	0,003	0,181	0,087	0,015	0,038	1,46	8,3	1,1	3972,6	45,6
PONTO 05	15,8	8,1	54	7,9	61	10,5	0,813	0,065	0,005	0,348	0,098	0,018	0,033	1,11	12,1	1,6	4839,2	108,0
PONTO 06	15,3	8,3	61	7,9	68	10,0	1,252	0,040	0,005	0,672	0,106	0,017	0,061	0,96	8,7	1,1	4839,2	89,6
PONTO 07	15,2	7,9	61	7,2	44	114	2,421	0,104	0,007	0,696	0,233	0,023	0,144	1,92	14,8	1,8	4839,2	456,4
PONTO 08	14,8	8,2	84	7,9	88	8,87	0,817	0,024	0,003	0,593	0,089	0,018	0,029	1,54	8,6	1,0	4839,2	210,0
PONTO 09	15,3	8,1	24	7,2	64	122	2,193	0,152	0,006	0,761	0,265	0,027	0,149	1,84	16,1	1,8	4839,2	870,4
PONTO 10	14,5	8,3	32	7,1	49	124	1,985	0,157	0,009	0,722	0,243	0,031	0,155	1,62	14,2	1,6	4839	976,8

#### 4.1.2. Oxigênio Dissolvido

Oxigênio dissolvido (OD) é um dos fatores ambientais mais críticos e limitantes para a sobrevivência das comunidades aquáticas. Os teores mínimos de OD devem ser superiores a 5,0 mg/L para águas da classe 2 (CONAMA 357/2005). A fonte de oxigênio de rios, lagos e reservatórios, além da difusão natural da atmosfera e produção primária de plantas aquáticas, principalmente fitoplâncton, podem provir de rios afluentes, se não eutrofizados. Por outro lado, as perdas deste gás ocorrem através do consumo bacteriano para decomposição da matéria orgânica alóctone ou autóctone e respiração de organismos aquáticos.

O oxigênio dissolvido no rio Tibagi apresentou valores sempre acima do limite preconizado pela CONAMA 357/2005 para classe 1 (>6mg/L), com uma variação entre 6,41 e 8,1 mg/L ao longo do período de coleta (março - junho), conforme pode ser visualizado na Figura 4.1.2. O menor valor foi constatado no ponto P00 no mês de junho, enquanto que o maior valor foi encontrado no ponto P10, também no mês de junho. A média de OD no rio Tibagi foi de 7,2 mg/L, em março, 7,1 mg/L em abril, 7,4 em junho e a máxima de 8,23 mg/L em agosto de 2011, no evento de cheia do rio.

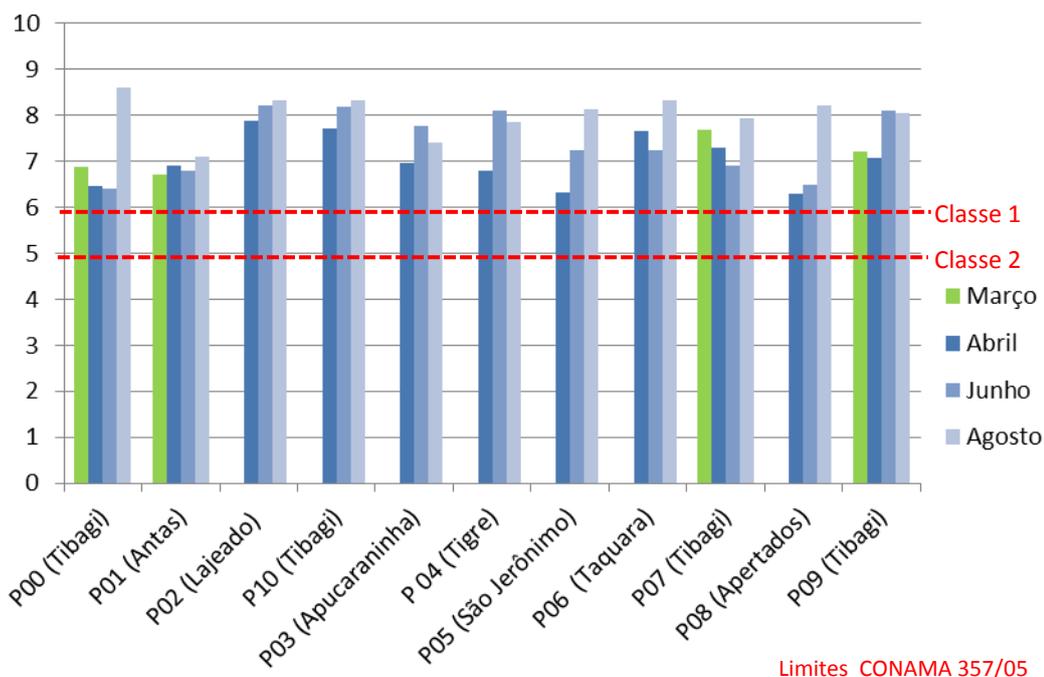


Figura 4.1.2. Série de oxigênio dissolvido na água (mg/L) registrada no rio Tibagi e afluentes nos meses de março, abril, junho e agosto de 2011.

### 4.1.3. Condutividade elétrica

A condutividade fornece informações importantes sobre características geoquímicas da bacia de inserção, condições climáticas e metabolismo do ecossistema, auxiliando na detecção de fontes poluidoras nos sistemas aquáticos.

Valores elevados indicam grau de decomposição acentuado, enquanto o inverso pode indicar maior produção primária (SIPAÚBA-TAVARES, 1995).

A condutividade da água entre pontos amostrais variou de 30 a 168  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Fig. 4.1.3). O valor mais elevado foi observado no P02 (em junho) no rio Lajeado Liso, enquanto que o menor valor foi registrado no rio Tibagi, 24 37  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (P09) em agosto de 2011. Os valores médios de condutividade no rio TIBAGI foram 52,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em março, 59  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em abril, 71,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em junho e 37,25  $\mu\text{S}/\text{cm}$  em agosto de 2011.

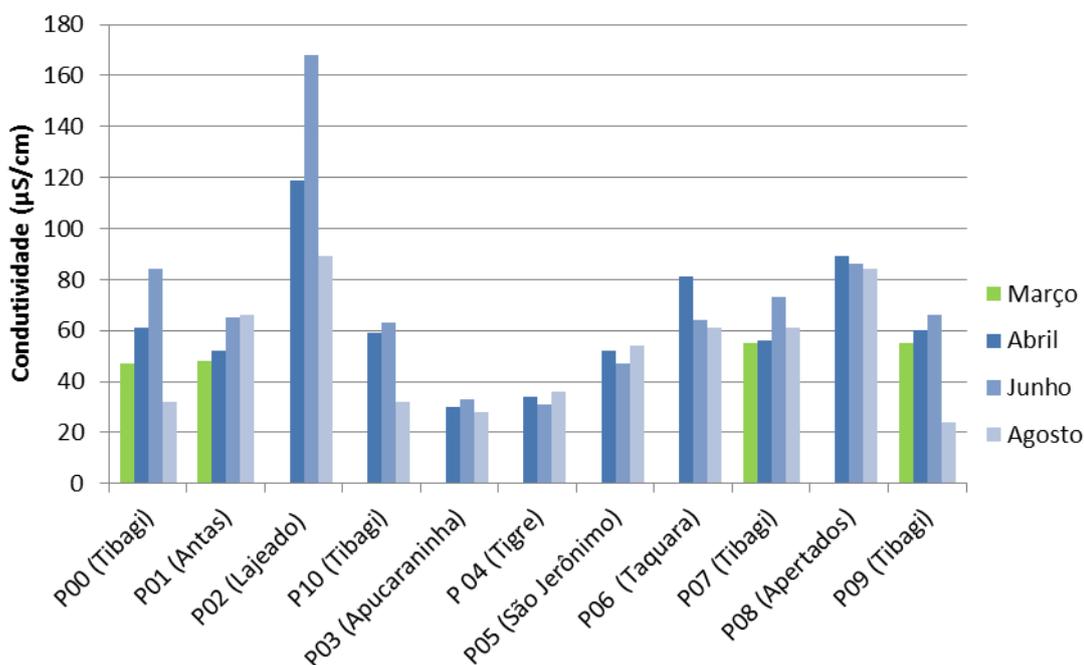


Figura 4.1.3. Série de condutividade elétrica no rio Tibagi e seus afluentes referentes às campanhas de campo realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.4. pH

O pH da maioria das águas naturais encontra-se entre 6,0 e 8,5, embora valores mais baixos possam ocorrer em águas contaminadas, com alto conteúdo orgânico; ou valores mais elevados, em bacias de formação calcária, águas subterrâneas, salobras, lagos salinos e inclusive águas eutróficas, em função de alta produção primária diurna pelo excesso de biomassa fitoplanctônica (SCHEFFER, 1998; WETZEL & LIKENS, 1999). Segundo BOYD (1990) apud GURGEL (2003), os valores letais de pH para os organismos são  $\text{pH} \leq 4$  e  $\text{pH} \geq 11$ . Os valores compreendidos entre 6,0 e 9,0 são correspondem aos limites estabelecidos pela legislação vigente (CONAMA 357/05). Segundo PERERA et al. (1997), águas alcalinas com pH maior que 8,0, potencializam a toxidez da amônia.

O pH entre os pontos amostrais variou de 7,2 a 8,09 (Fig. 4.1.4). O menor valor foi observado foi de 7,0 no P00 (em agosto) e o mais elevado foi de 8,1 em P02, em junho. A média geral de pH no rio foi de 7,5, dentro da faixa neutra e dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005 para águas de Classe 2.

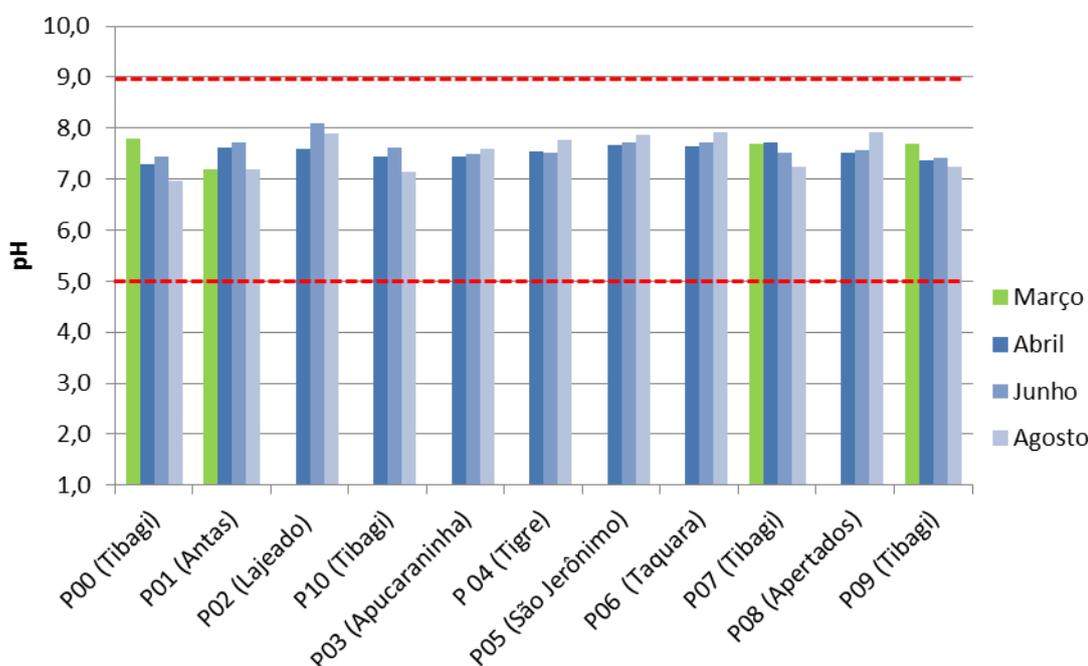


Figura 4.1.4. Série de concentrações de pH no rio Tibagi e seus afluentes referentes às campanhas de campo realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.5. Sólidos Totais Dissolvidos

Os sólidos totais dissolvidos (STD) abrangem o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas contidas na água sob formas moleculares, ionizadas ou microgranulares. Refletem a massa total dos constituintes minerais presentes na água. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece o limite de 500 mg/L para os sólidos totais dissolvidos.

Entre os pontos amostrais, a concentração de sólidos totais dissolvidos variou de 44 a 136 mg/L, conforme consta na Figura 4.1.5. A menor concentração de STD (44 mg/L) foi registrada no ponto P03 no mês de junho de 2011. Assim como a variável condutividade elétrica, a maior concentração de STD foi registrada no ponto P02, no rio Lajeado Liso, onde alcançou 136 mg/L no mês de abril. A média de STD no rio Tibagi foi 92,6 mg/L em março, 76 mg/L, em abril, 70,8 mg/L, em junho e 71,4 mg/L em agosto de 2011. Não foram registrados valores acima do permitido para águas de Classe 2 segundo Resolução CONAMA 357/05.

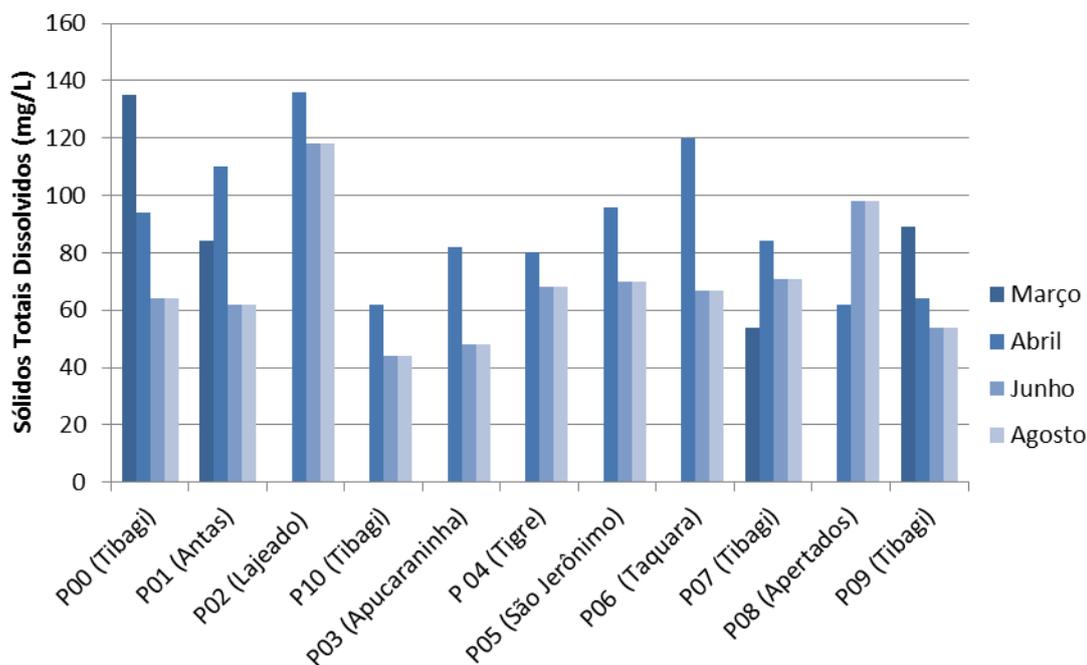


Figura 4.1.5. Série de concentrações de sólidos totais dissolvidos (mg/L) no rio Tibagi e seus afluentes referentes às campanhas de campo realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.6. Turbidez

A turbidez das águas expressa em NTU (Nephelometric Turbidity Units) ou JTU (Jackson Turbidity Units) é a medida de sua capacidade em dispersar a radiação incidente. Os principais responsáveis pela turbidez das águas são as partículas em suspensão (fitoplâncton, partículas orgânicas e inorgânicas) e, em menor proporção, compostos dissolvidos. Além disso, a erosão do solo, por meio do escoamento superficial, contribui de forma significativa para o aumento da turbidez da água, principalmente nos períodos de maiores precipitações. A Resolução CONAMA 357/05 estabelece o limite de 100 UNT para águas classe 2.

Foram observados valores de turbidez de 4,8 a 43 UNT entre os pontos amostrais considerando as duas campanhas realizadas (Fig. 4.1.6). A menor turbidez foi registrada no ponto P02 (1,72 UNT), em junho de 2011, e maior no ponto P07 (43 UNT) na campanha de abril. A média de turbidez no rio Tibagi foi de 16,66 UNT em março, 21 em abril, 8,4 em junho e 121,2 em agosto. Apesar deste rio não apresentar valores baixos de turbidez nas duas primeiras campanhas, pôde-se observar um aumento relativo da transparência em períodos de menor precipitação na bacia, como em junho de 2011. Porém, em períodos de elevada precipitação, como ocorrido em agosto de 2011, os quais resultaram em um evento de cheia na bacia, observou-se um aumento acentuado de turbidez em todos os pontos amostrais do rio Tibagi, ultrapassando o limite de 100 UNT, estabelecido para águas de Classe 2 pela resolução CONAMA 357/05. Isto demonstra o significativo carreamento de materiais particulados oriundos da bacia hidrográfica.

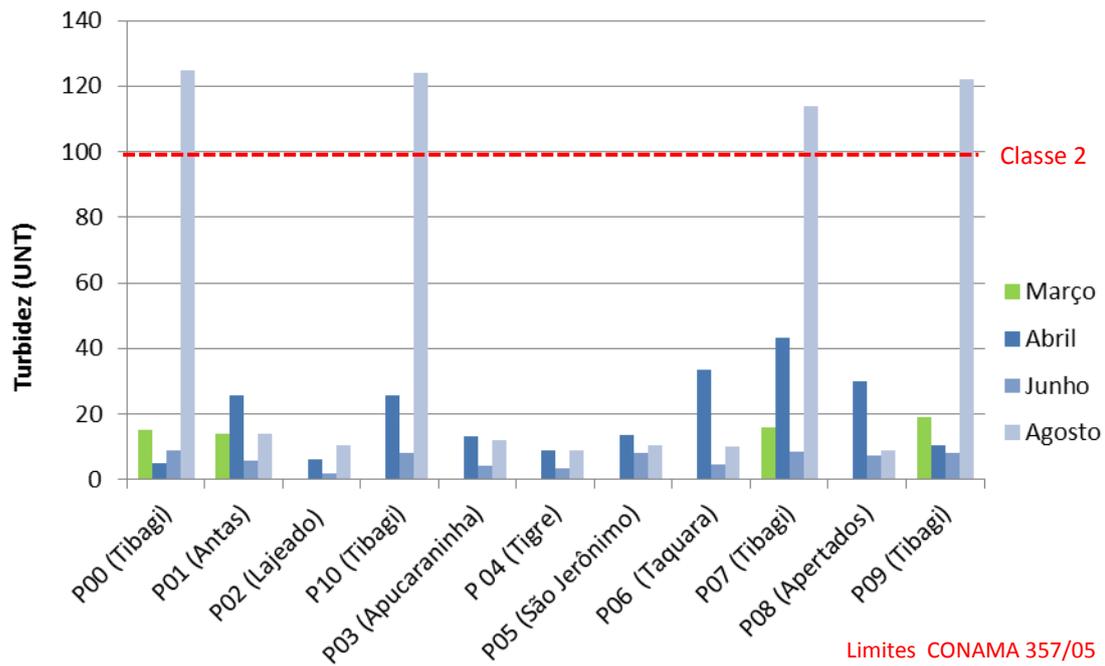


Figura 4.1.6. Série de valores de turbidez (UNT) no rio Tibagi e seus afluentes referentes às campanhas de campo realizadas em março e abril de 2011.

#### 4.1.7. Amônia

A amônia ocorre em duas formas:  $\text{NH}_3$ , forma não ionizada e tóxica aos peixes; e íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), forma ionizada, pouco tóxica. Quanto maior o pH, maior a porcentagem de amônia total presente na forma tóxica.

As concentrações de amônia no rio Tibagi e seus afluentes foram observadas entre 0,01 e 0,2 mg/L, conforme pode ser observado na Figura 4.1.7. Em março, a maior concentração de amônia (0,02mg/L) foi registrada no ponto P0 do rio Tibagi, próximo a UHE. Em abril, a maior concentração de amônia foi novamente observada neste ponto, com uma concentração de 0,1 mg/L. Na campanha de junho, houve uma redução na concentração neste ponto (0,04 mg/L). Porém, este valor ainda foi superior aos outros pontos amostrais, o que indica este ponto sofre influência de lançamentos de efluentes domésticos e/ou industriais provavelmente oriundos do município de Telêmaco Borba, localizado aproximadamente 35 Km a montante do barramento. Na campanha de cheia, em agosto, as concentrações de amônia se elevaram no rio Tibagi, indicando a entrada de cargas ou contribuição de matéria orgânica alóctone em decomposição, em função do carreamento pela chuva, como responsável por este aumento.

Apesar das maiores concentrações observadas no P 00 em todas as campanhas, e no rio Tibagi em agosto, os valores não foram ultrapassaram os limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/05, de 2,0 mg/L, para águas com pH entre 7,5 e 8. A média de amônia no rio Tibagi foi de 0,089 mg/L em março, 0,050 mg/L em abril, 0,018 mg/L em junho e 0,15 mg/L em agosto de 2011.

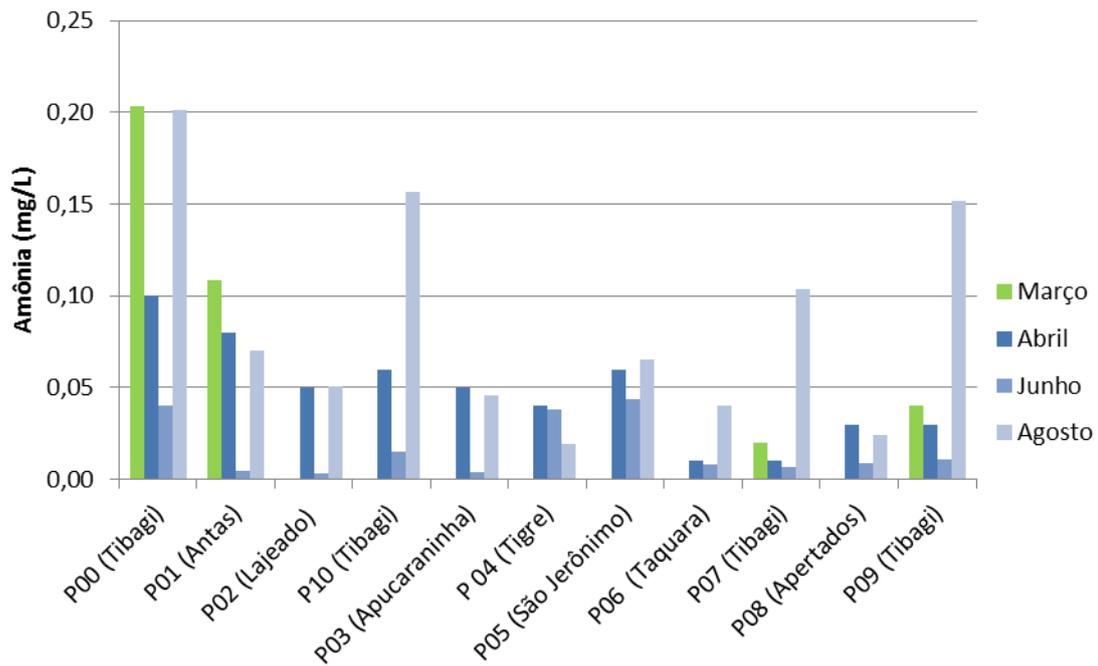


Figura 4.1.7 - Série de concentrações de amônia (mg/L) no rio Tibagi e seus afluentes referentes às campanhas de campo realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.8. Nitrogênio Total

O nitrogênio ocorre em águas continentais em numerosas formas: molecular dissolvido  $N_2$ , um grande número de compostos orgânicos desde aminoácidos e aminas até proteínas, amônia, nitrito e nitrato (WETZEL, 1997). Pelo fato dos compostos de nitrogenados serem nutrientes nos processos biológicos, seu lançamento em grandes quantidades nos corpos d'água, junto com outros nutrientes tais como o fósforo, causam a eutrofização do corpo hídrico. Existe ainda a fixação biológica do nitrogênio atmosférico por algumas espécies fitoplanctônicas e bactérias. Além disso, outros processos, tais como a deposição atmosférica pelas águas das chuvas também causam aporte de nitrogênio aos corpos d'água. Nas zonas de autodepuração natural em rios, distinguem-se as presenças de nitrogênio orgânico na zona de degradação, amoniacal na zona de decomposição ativa, nitrito na zona de recuperação e nitrato na zona de águas limpas (CETESB, 2009).

A concentração de nitrogênio entre os pontos amostrais variou de 0,376 a 2,41 mg/L. (Fig. 4.1.8). Os valores mais elevados foram observados no ponto P00, próximo a Usina UHE Mauá, em todas as campanhas, com exceção da última campanha, quando nos pontos a jusante no rio Tibagi P07 e P09, foram observados 2,19 e 2,41 mg/L de NT, respectivamente. Estes valores mais elevados, durante o evento de cheia, indicam a entrada de compostos nitrogenados ao longo da bacia em função da carreamento de materiais. A menor concentração foi registrada no afluente Lajeado Liso (P02), em junho. A média de NT no rio Tibagi foi de 0,95 mg/L em março, 1,00 em abril, 0,82 em junho e 2,11 em agosto de 2011.

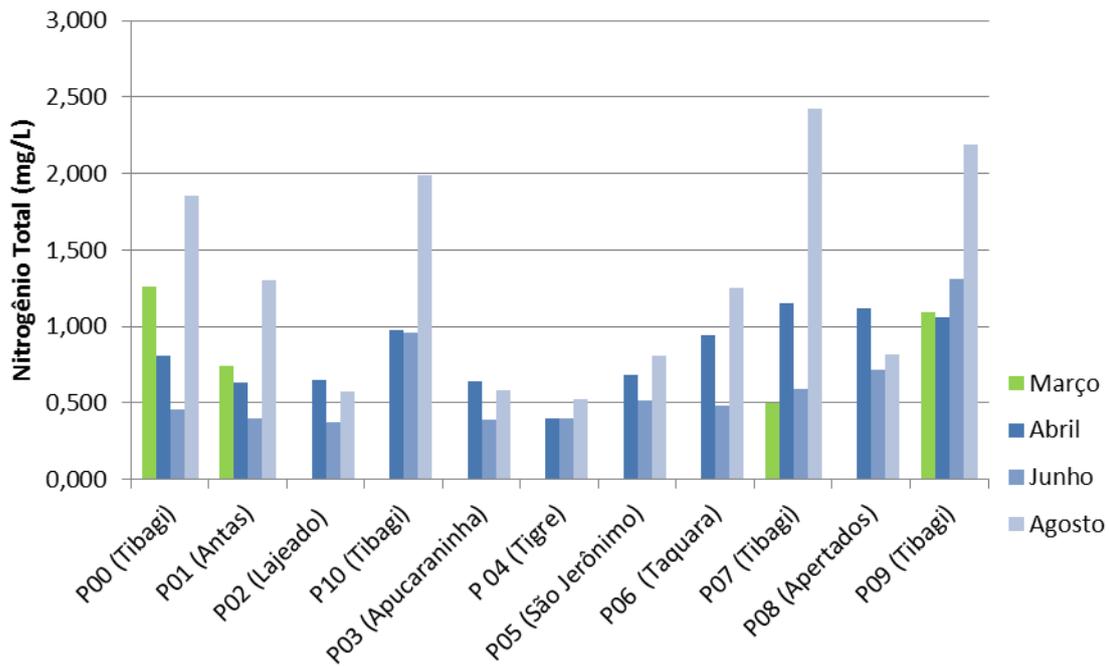


Figura 4.1.8 - Série de concentrações de nitrogênio total (mg/L) no rio Tibagi e seus afluentes referentes às campanhas de campo realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.9. Nitrito

A concentração de nitrito quando em níveis elevados pode se tornar um fator de estresse e mortalidade para comunidades aquáticas. A Resolução CONAMA 357/2005 preconiza o limite máximo de 1,0 mg/L de nitrito em águas classe 2.

A concentração nitrito variou de 0,004 a 0,07 mg/L entre os pontos amostrados (Fig 4.1.9). Observou-se uma distribuição homogênea dos valores de nitrito ao longo da área amostrada, sendo que concentrações mais baixas foram observadas na campanha de junho e agosto, quando o valores se mantiveram abaixo de 0,01 no rio Tibagi e afluentes. Os valores mais elevados foram observados nos pontos P00 e P01, com uma média de 0,06 mg/L para ambos os pontos, nos meses de março e abril. A média de nitrito no rio Tibagi foi de 0,053 mg/L em março, 0,0525 em abril, 0,0075 em junho e novamente 0,0075 em agosto de 2011. Todas as concentrações observadas estiveram abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05.

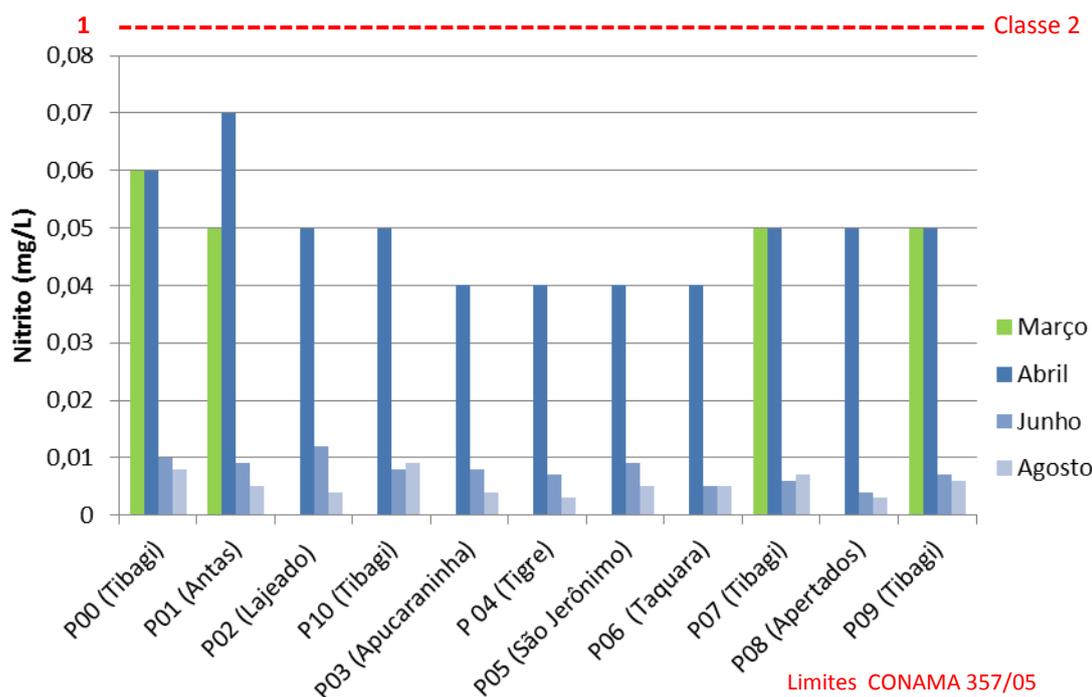


Figura 4.1.9. Série de concentrações de nitrito (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.10. Nitrato

Altos níveis de nitrato podem afetar a osmorregulação e o transporte de oxigênio nos organismos. Além disso, valores elevados de nitrato podem favorecer a eutrofização e crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas. A Resolução CONAMA 357/2005 limita a concentração de nitrato para águas classe 2 em 10 mg/L.

A concentração de nitrato nos pontos amostrados esteve bastante baixa em todo a bacia do rio Tibagi (Fig. 4.1.10). Na última campanha amostra, observou-se um aumento na concentração de nitrato em muitos afluentes e principalmente no rio Tibagi, novamente decorrente da entrada de compostos nitrogenados em função do carreamento de materiais derivado da elevada precipitação. Mesmo assim, os valores observados estiveram, durante todo o monitoramento, muito aquém do limite determinado pela Resolução CONAMA 357/05 para águas de Classe 2 (10 mg/L). A concentração média geral foi de 0,517 mg/L em março, 0,498 mg/L, em abril, 0,527 mg/L em junho e 0,724 em agosto de 2011.

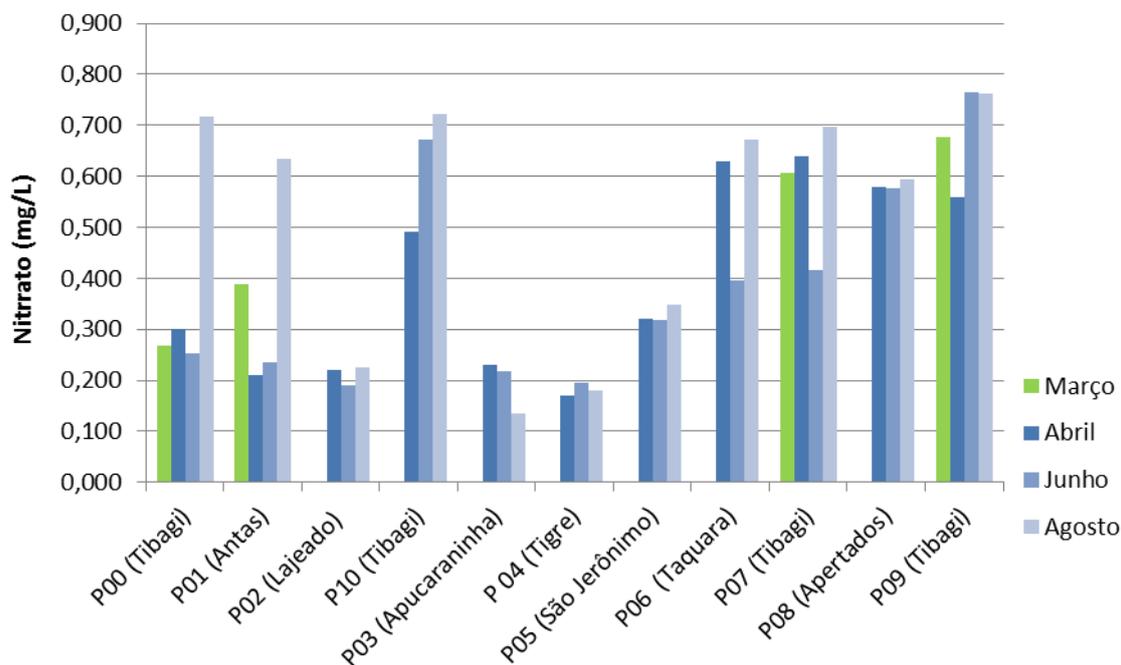


Figura 4.1.10. Série de concentrações de nitrato (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.11. Fósforo Total (PT)

Como o fósforo é um dos principais elementos responsáveis pela eutrofização, as concentrações nos corpos de água devem ser mantidas em níveis baixos. A Resolução CONAMA 357/2005 estabelece a concentração de 0,10 mg/L como limite para ambientes aquáticos lóticos de classe 2 e 0,15 mg/L para a classe 3.

A grande maioria dos pontos de amostragem nas duas primeiras campanhas de amostragem no rio Tibagi e seus afluentes apresentaram concentrações baixas de fósforo total, variando entre 0,02 mg/L no P01, no mês de março, e 0,135 mg/L, no P02 no mês de junho (Fig. 4.1.11). Na campanha de abril, somente o ponto P00 apresentou concentração acima do limite da classe 1 estabelecido pela resolução 357/2005 do CONAMA, de 0,1mg/L. Na campanha de junho, ao contrário do observado para as concentrações de nitrogênio, os valores de fósforo elevaram-se acima do limite supracitado em três tributários do rio Tibagi: Lajeado Liso, São Jerônimo e Taquara (P02, P05 e P06, respectivamente). Na campanha de agosto, durante o evento de cheia, as concentrações de PT foram superiores a 0,1 mg/L em todos os pontos do rio Tibagi, evidenciando, da mesma forma como observado com as variáveis nitrogenadas, o carreamento de materiais fosfatados, tanto minerais quanto orgânicos, da bacia de contribuição. A concentração média de PT no rio Tibagi foi de 0,050 mg/L em março, 0,098 mg/L em abril, 0,072 mg/L em junho e 0,251 mg/L em agosto de 2011.

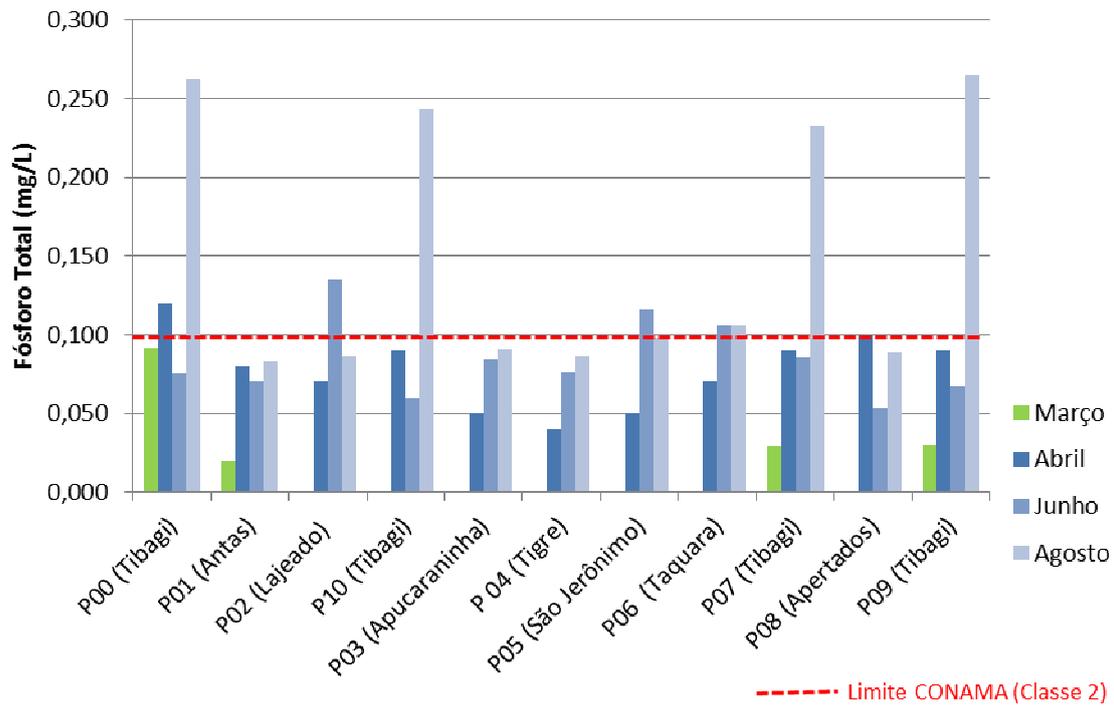


Figura 4.1.11. Série de concentrações de fósforo total (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.12. Ortofosfato

O fosfato inorgânico (presente nas formas  $H_3PO_4$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $H_2PO_4^{-2}$  e  $PO_4^{-3}$ ) é a principal forma assimilável pelos vegetais aquáticos. Portanto, sua quantificação é imprescindível (ESTEVES, 1998). Em contraste com as numerosas formas de nitrogênio em sistemas lagunares, a forma mais significativa de fósforo inorgânico é o ortofosfato (WETZEL, 2001).

A concentração superficial de ortofosfato ao longo do rio oscilou entre 0,005 mg/L, no ponto P08, durante a campanha de junho e 0,09 mg/L, no ponto P00, durante a campanha de abril, conforme observa-se na Figura 4.1.12. A concentração média no rio Tibagi foi de 0,0398, em março, 0,053 mg/L, em abril, 0,02 mg/L em junho e 0,03 mg/L em agosto de 2011.

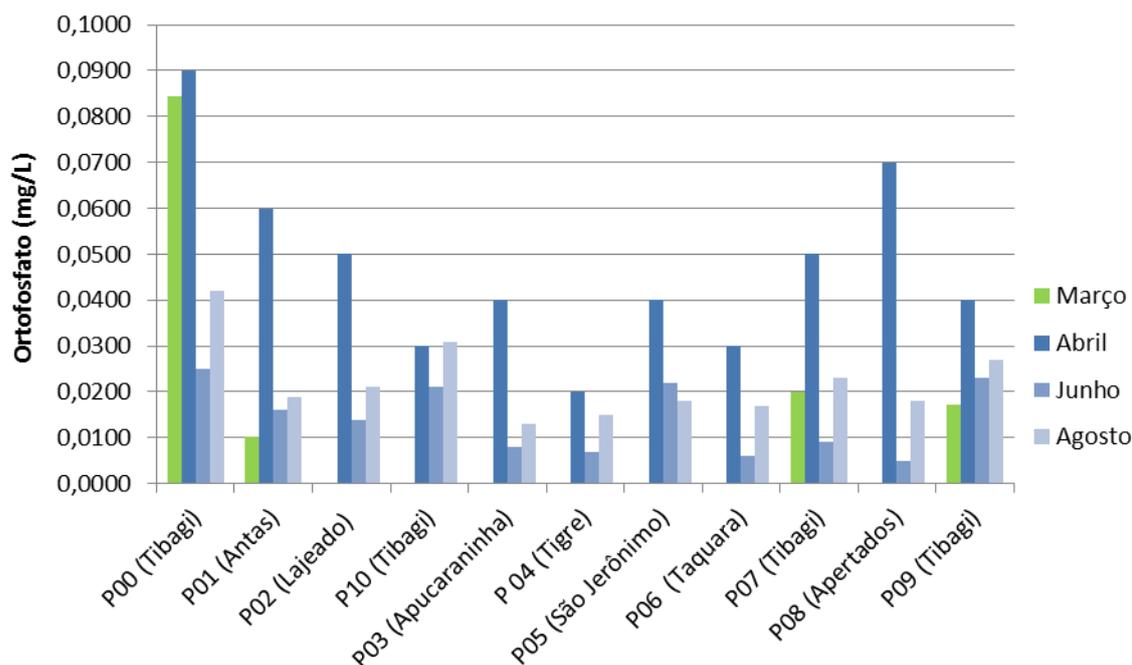


Figura 4.1.12. Série de concentrações de ortofosfato (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.13. Fósforo orgânico

A separação do fósforo total em frações orgânicas e inorgânicas em diversos estudos indica que a maior parte do fósforo está na fase orgânica. Do total deste fósforo orgânico, aproximadamente 70% ou mais está compreendido na matéria orgânica particulada.

As concentrações de fósforo orgânico variaram amplamente entre os pontos amostrais, com valores entre 0,007 mg/L (P01, campanha de março), 0,065 mg/L (P05, campanha de junho) e 0,155 mg/L no ponto 10, no rio Tibagi (Fig. 4.1.13). Em todos os pontos amostrais as concentrações de fósforo orgânico elevaram-se no mês de agosto. Esta elevação indica que a maior parte do aporte de fósforo da bacia provém de contribuições alóctones na forma orgânica, provavelmente de remanescentes da biomassa vegetal de matas ciliares (serapilheira) e lavouras. A média do fósforo orgânico no rio Tibagi foi 0,01 em março, 0,045 mg/L em abril, 0,042 mg/L em junho e 0,150 mg/L em agosto.

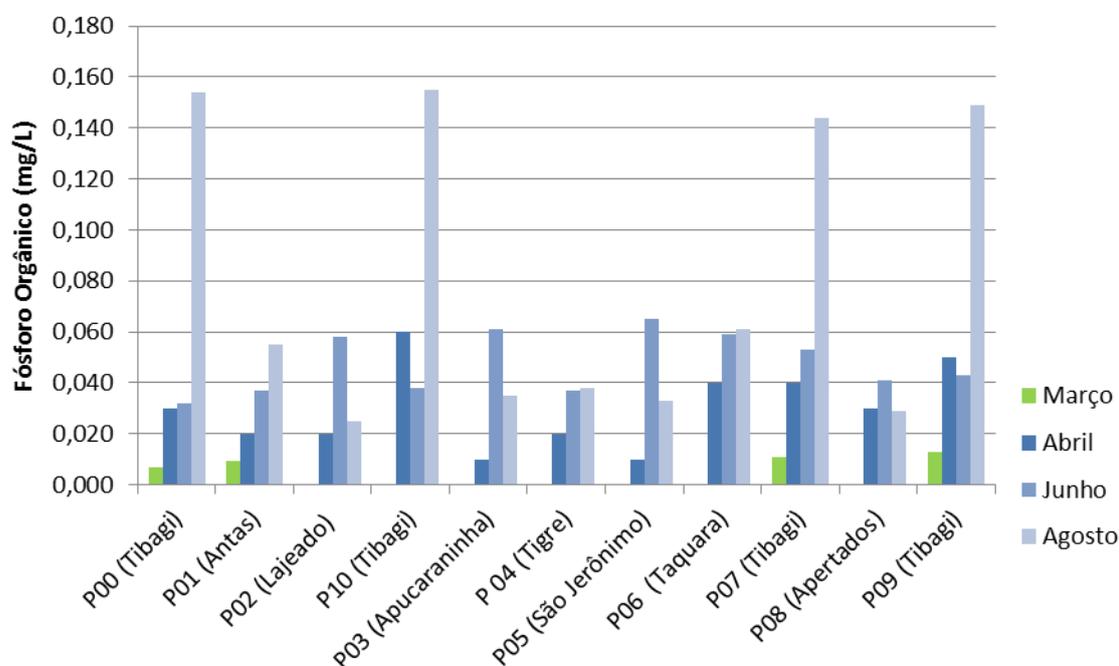


Figura 4.1.13. Série de concentrações de fósforo orgânico (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.14. Clorofila-a

A clorofila-a é a mais comum das clorofilas e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas, constituindo um indicador de biomassa algal (SCHRÖDER, 1991). Como fitoplâncton é uma dos primeiros grupos a assimilar cargas de nutrientes e, portanto, a refletir alterações ambientais, a clorofila-a é considerada uma das principais variáveis indicadoras de estado trófico dos ambientes aquáticos. O limite da concentração de clorofila preconizado pela Resolução CONAMA 357/2005 é de até 30  $\mu\text{g/L}$  para águas classe 2.

A concentração de clorofila-a no rio Tibagi e seus afluentes variou entre valores bastante baixos (0,72 a 2,87  $\mu\text{g/L}$ ), conforme pode ser observado na Figura 4.1.14. A concentração mais elevada foi observada no P00, no mês de março, e a concentração mais baixa no P03, em junho. Apesar de uma concentração levemente mais elevada no ponto 00, a concentração média geral para o rio Tibagi foi bastante baixa (1,98  $\mu\text{g/L}$ ), não ultrapassando o limite de 30  $\mu\text{g/L}$ , estabelecido para águas de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/2005.

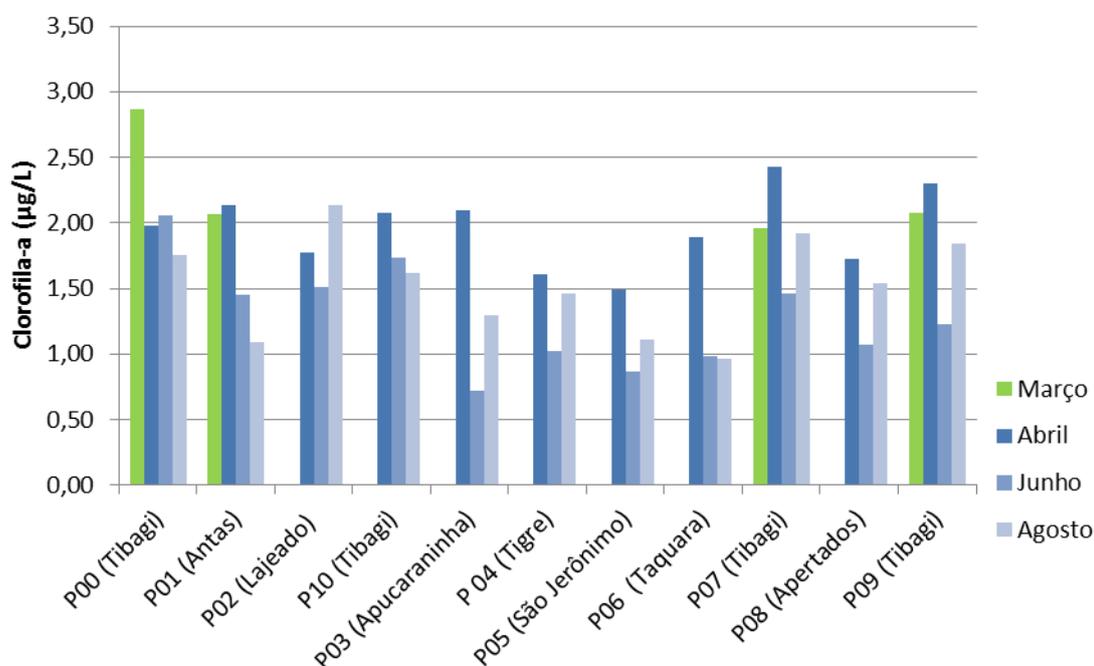


Figura 4.1.14. Série de concentrações de clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.15. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é a medida do total de oxigênio necessário para oxidar quimicamente a matéria orgânica na água, portanto, é uma estimativa do total de matéria orgânica e materiais redutores presentes na água. A avaliação da DQO em águas é particularmente importante por representar a presença de esgotos domésticos e industriais.

A DQO no rio Tibagi e seus afluentes variou de 5,6 mg/L a 18 mg/L, com o maior valor registrado no P10 no mês de abril, conforme se observa na Figura 4.1.15. Ao longo das campanhas amostrais, a média geral de DQO do rio Tibagi foi de 11,82 mg/L.

Os maiores valores de DQO encontrados foram nos pontos do rio Tibagi (P00, P09 e P10), o que indica o carreamento de materiais passíveis de oxidação da bacia hidrográfica.

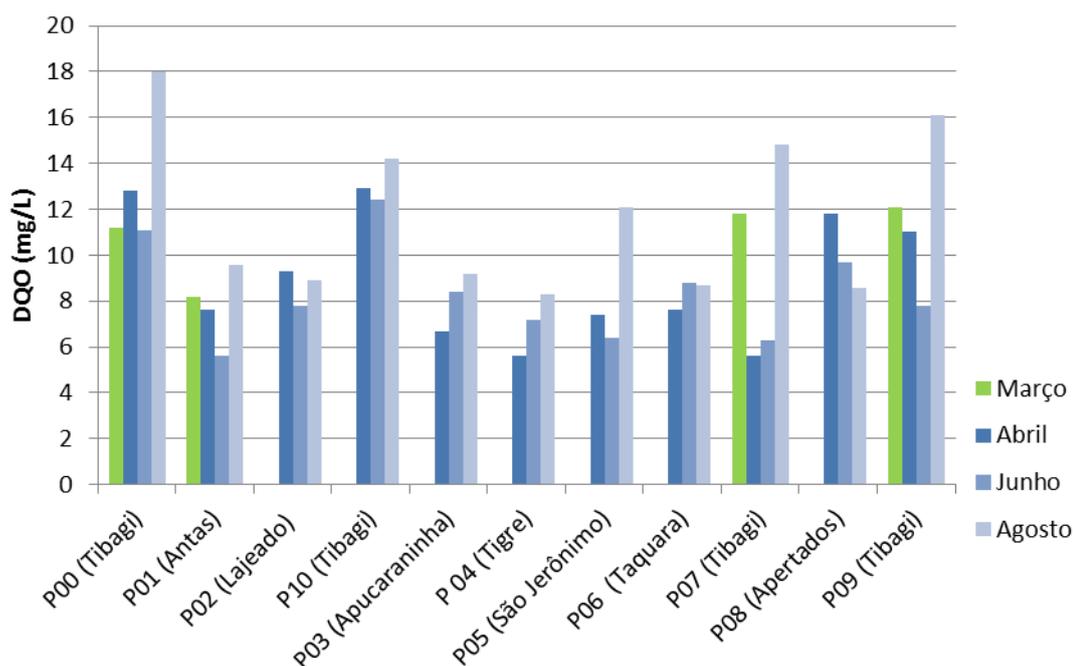


Figura 4.1.15. Série de concentrações de nitrito (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.16. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio representa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica presente na água através da decomposição microbiana aeróbia. A DBO5 é a quantidade de oxigênio consumido durante 5 dias em uma temperatura de 20°C. Valores altos de DBO num corpo d'água são provocados geralmente causados pelo lançamento de cargas orgânicas, principalmente esgotos domésticos. A ocorrência de altos valores deste parâmetro causa uma diminuição dos valores de oxigênio dissolvido na água, o que pode provocar mortandades de peixes e eliminação de outros organismos aquáticos.

No rio Tibagi e seus afluentes, foram registrados valores de DBO entre 0,8 mg/L (P01 e P04) e 2,6 mg/L (ponto P00), conforme pode ser visualizado na Figura 4.1.16. A concentração média no rio Tibagi foi de 1,63 mg/L. Apesar do ponto P00 apresentar valores de DBO mais elevados em relação aos demais pontos, nenhuma amostra ultrapassou o limite da classe 1 (3,0 mg/L), estabelecido pela Resolução CONAMA 357/2005, durante todo o período monitorado.

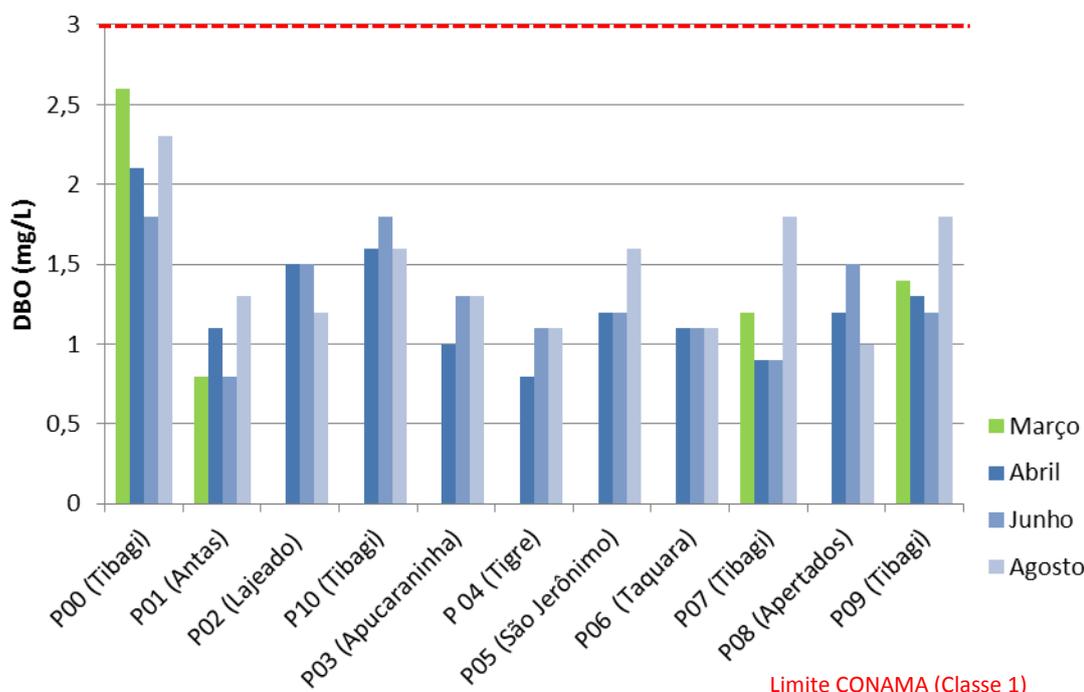


Figura 4.1.16. Série de concentrações de nitrito (mg/L) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.17. Colifomerme Totais

O "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1999" define o grupo coliforme como: "todas as bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas, gram negativas, não esporuladas e na forma de bastonete", as quais fermentam a lactose com formação de gás dentro de 48h a 35°C. Neste grupo incluem-se organismos que diferem nas características bioquímicas, sorológicas e no seu habitat. Podem ser classificadas em: Escherichia, Aerobacter, Citrobacter, Klebsiela e outros gêneros que quase nunca aparecem em fezes como a Serratia. (CETESB, 1997)

No rio Tibagi e seus afluentes, foram registrados valores acima do limite de detecção do método (2419,6 NMP/100mL). Durante a campanha de junho e agosto, a maioria dos pontos amostrais apresentaram valores acima do limite de detecção do método, que para estas campanhas foi ampliado para 4839,2 NMP/100mL por meio de diluição das amostras. Para uma avaliação mais detalhada da contaminação do corpo hídrico por esgotos domésticos, são apresentados, a seguir, os valores de Coliformes Fecais observados ao longo do rio Tibagi e seus afluentes.

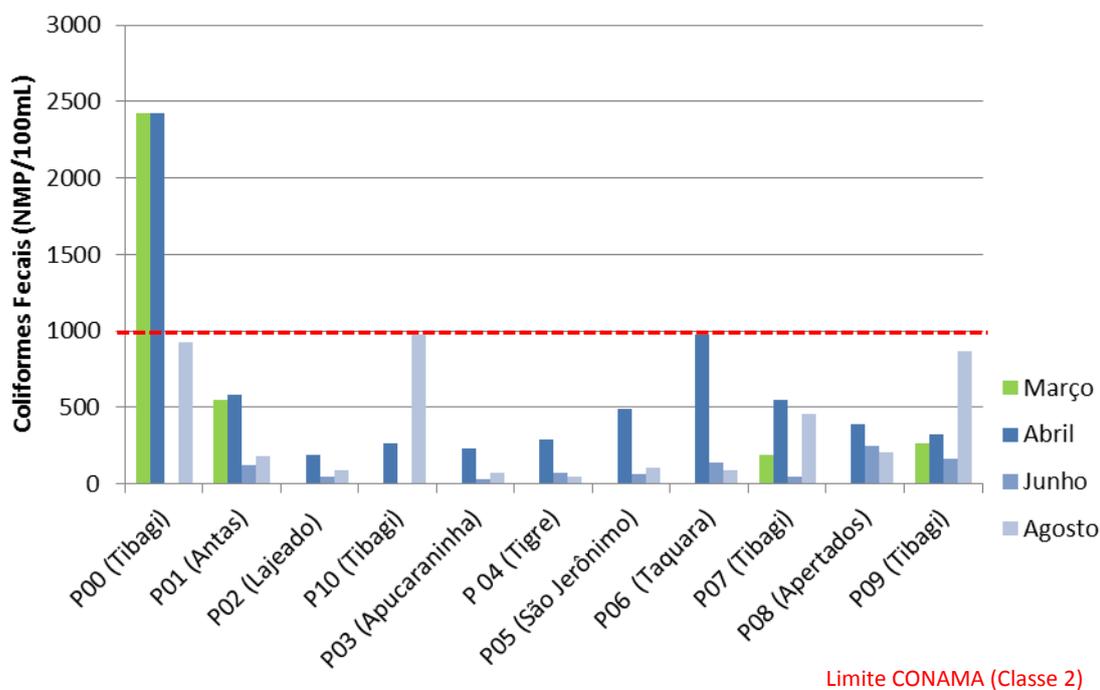
#### 4.1.18. Coliformes Fecais ou Termotolerantes

Os coliformes fecais ou termotolerantes são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase negativas, caracterizadas pela atividade da enzima  $\beta$ -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal.

No rio Tibagi e seus afluentes, foram encontrados desde 191,8 NMP/100mL, no ponto P10, em março, até valores acima de limite de detecção do método (2419 NMP/100mL) no ponto P00, tanto no mês de março quanto em abril.

Na maioria dos pontos amostrais, as concentrações de coliformes fecais situaram-se entre os limites da classe 1 (200 NMP/100ml) e 2 (1000 NMP/100ml) estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/2005, com exceção do ponto P00, que nas campanhas de março e abril apresentou densidades superiores ao limite da classe 2 (1000

NMP/100ml). Estas densidades elevadas podem estar relacionadas com a entrada de esgotos domésticos provenientes da cidade de Telêmaco Borba localizada a montante dos pontos amostrados. Porém, no mês de junho, no mesmo ponto amostral, observou-se uma redução drástica de coliformes fecais neste ponto, alcançando 2 NMP/100mL. Na campanha de agosto, observou-se um incremento nas densidades de coliformes fecais em todos os pontos do rio Tibagi, elevando a média do rio para 806,4 NMP/100 mL. Porém, o limite de 1000 NMP/100 mL, conforme CONAMA 357/05, não foi excedido. A média geral dos pontos amostrais no rio Tibagi ao longo das quatro campanhas amostrais realizadas foi de 366,8 NMP/100mL, igualmente acima do limite da resolução CONAMA 357/2005 (Figura 4.1.17).



Limite CONAMA (Classe 2)

Figura 4.1.17. Número provável de coliformes fecais (NMP/100mL) no rio Tibagi e afluentes obtidas nas campanhas amostrais realizadas em março, abril, junho e agosto de 2011.

#### 4.1.18. Fitoplâncton

No rio Tibagi e seus afluentes a comunidade fitoplanctônica foi representada por 77 táxons, assim distribuídos (Figura 3.2.22): Bacillariophyta (49); Chlorophyta (28); Euglenophyta (6); Cyanophyta (3), Cryptophyta (2); Chrysophyta (2) e Zygnemaphyceae (5).

O maior valor de riqueza de espécies (Figura 4.1.18) foi registrado no ponto P10 (rio Tibagi, Sapopema) (22 espécies). Os demais pontos de coleta apresentaram valores riqueza, entre 13 e 19 espécies.

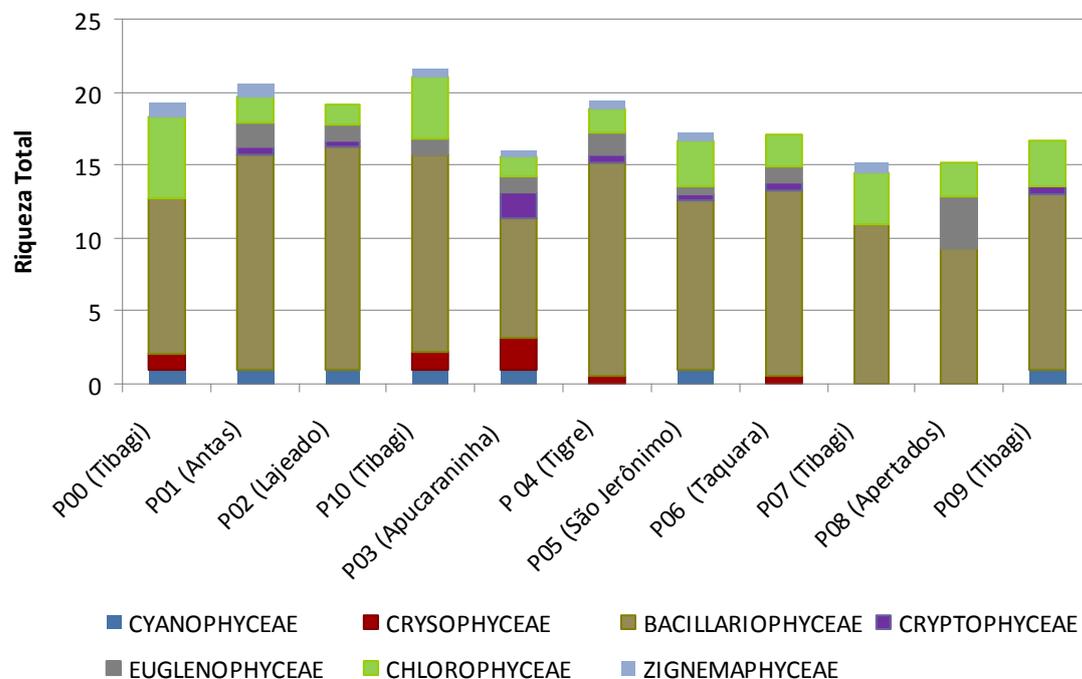


Figura 4.1.18. Riqueza média fitoplanctônica registrada nos pontos de coleta do rio Tibagi e seus afluentes nas coletas de abril, junho e agosto de 2011.

As clorofíceas estão entre os grupos fitoplanctônicos com maior ocorrência em águas continentais, sendo comum sua maior abundância e riqueza em relação aos demais grupos de microalgas (DA SILVA et al. 2008).

De modo geral, a densidade fitoplanctônica encontrada no rio Tibagi e seus afluentes foi baixa, como se observa na Figura 4.1.19. A densidade média total variou de 60 ind/mL no ponto P03 a 146 ind/mL no ponto P06.

As bacilariófitas destacaram-se como o grupo de maior importância quantitativa, dominante em todos os pontos de amostragem com uma densidade que variou de 39 ind/mL, no ponto P03, até 136 ind./mL no ponto P06, chegando a representar 96% da densidade fitoplânctonica total deste ponto.

Aa espécies *Navicula cryptocephala* e *Nitzschia palea* foram as bacilariófitas que apresentaram maiores densidades no mês de abril, ocorrendo em todos os pontos

amostrais. No mês de junho, a espécie *Melosira varians* apresentou as maiores densidades e esteve presente em todos os pontos amostrais.

As Clorofíceas foram o segundo grupo dominante, com uma média de 23 ind/mL no ponto P00, porém com baixas densidades nos pontos P02 e P05. O grupo esteve ausente no ponto P03, durante a campanha de maio, quando foi observada a maior ocorrência de criptofíceas. Porém, foi novamente constatado na coleta de junho, representando 10% da densidade total do ponto P03.

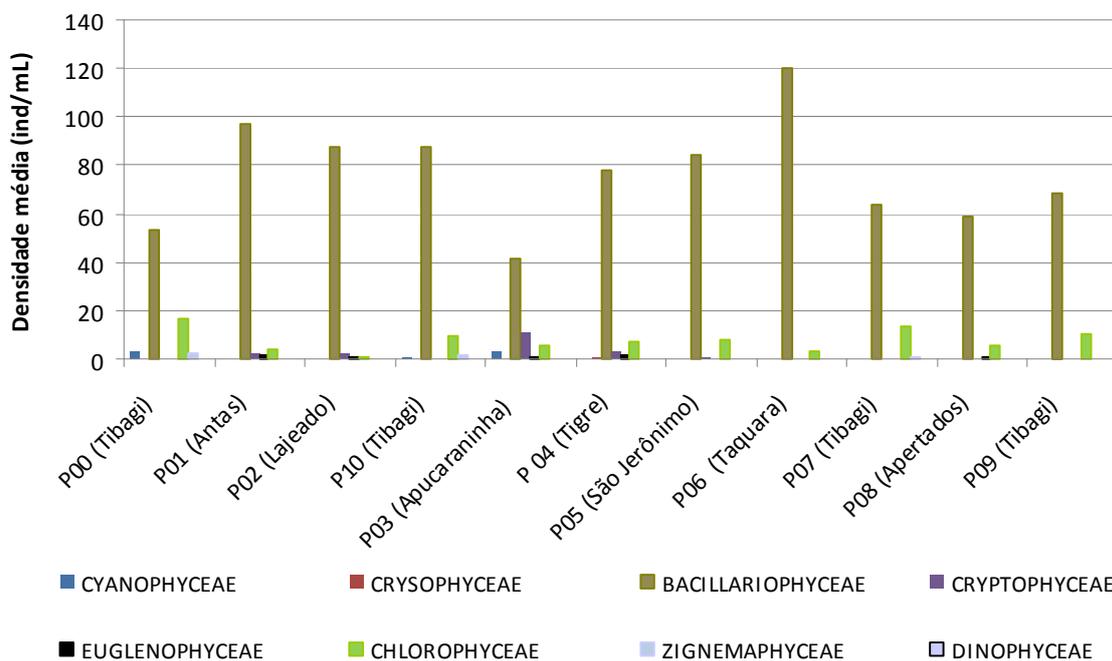


Figura 4.1.19. Densidade fitoplanctônica média registrada nos pontos de coleta no rio Tibagi e seus afluentes nos meses de abril, junho e agosto de 2011.

Em todos os pontos amostrais, a densidade de cianofíceas esteve bastante aquém do limite preconizado pela Portaria nº 518/2004 do Ministério da Saúde para águas potáveis, bem como da Resolução CONAMA 375/05, de 20.000 ind/mL. Entretanto, vale denotar que a espécie de cianobactéria potencialmente tóxica, *Cylindrospermopsis raciborskii* ocorreu em baixas densidades nos pontos P00, P03 e P10. As florações de cianobactérias, além de poderem causar drástica redução das concentrações de oxigênio dissolvido, podem ocasionar a morte de muitos organismos aquáticos em função da produção de cianotoxinas, as quais também oferecem sério risco à saúde humana.

## 4.2. Modelagem da Qualidade da água

### 4.2.1. Calibração do modelo QUAL-2K

As Figuras 4.2.1 a 4.2.6 apresentam os resultados da calibração do modelo QUAL-2K para as campanhas de amostragem de vazão baixa, média e elevada realizadas durante o período de vigência do projeto. São apresentados, a seguir, os ajustes do modelo para as seguintes variáveis simuladas: condutividade, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), fósforo total (PT), fósforo orgânico (Porg), ortofosfatos (P-PO<sub>4</sub>), nitrogênio orgânico (Norg), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), nitrato (N-NO<sub>3</sub>), fitoplâncton e coliformes fecais. Estes resultados correspondem, além da etapa de calibração do modelo, ao cenário atual do trecho de interesse não influenciado pela UHE-Mauá na sua cabeceira.

De uma maneira geral, o modelo obteve um bom desempenho para todas as variáveis de qualidade da água simuladas. O ajuste obtido do modelo QUAL2K para as três condições de disponibilidade hídrica registradas nas campanhas de amostragem foi considerado satisfatório, sobretudo, levando-se em conta a complexidade e abrangência do sistema simulado.

Os resultados das Figuras 4.2.1 a 4.2.6 mostram uma boa concordância entre os dados observados e simulados para o trecho de interesse no rio Tibagi. Os dados observados correspondem, de montante para jusante, aos seguintes pontos de monitoramento: Sapopema, Cebolão e Captação-Sanepar.

O modelo conseguiu reproduzir a magnitude das concentrações observadas nas campanhas de amostragem realizadas. Conforme apresentado no capítulo anterior, a baixa variabilidade espacial evidenciada pelos dados monitorados no rio Tibagi, ao longo do trecho de interesse, foi representada no modelo por meio de perfis simulados ausentes de gradientes longitudinais significativos.

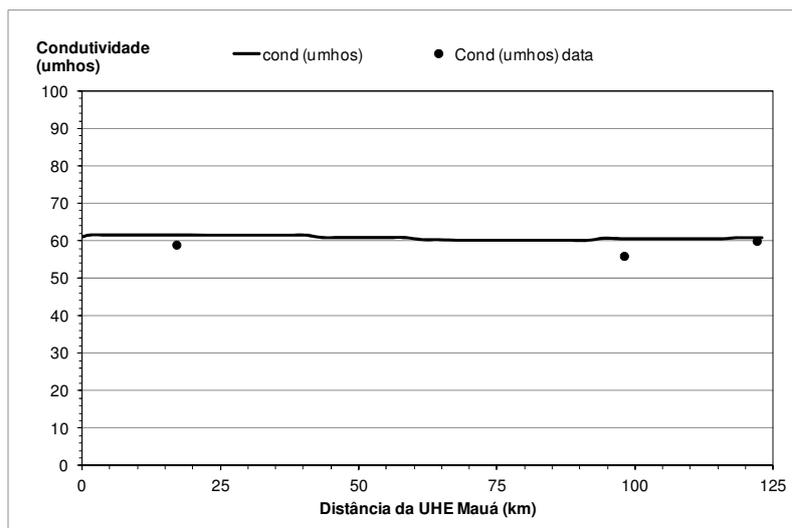
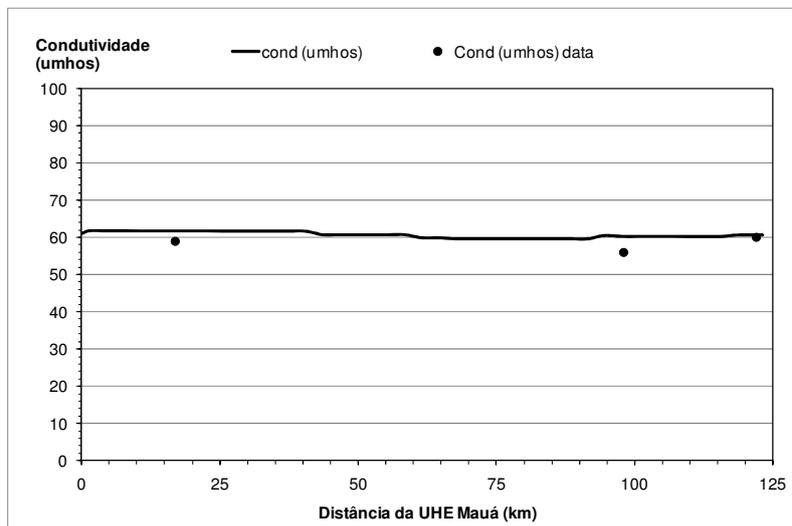
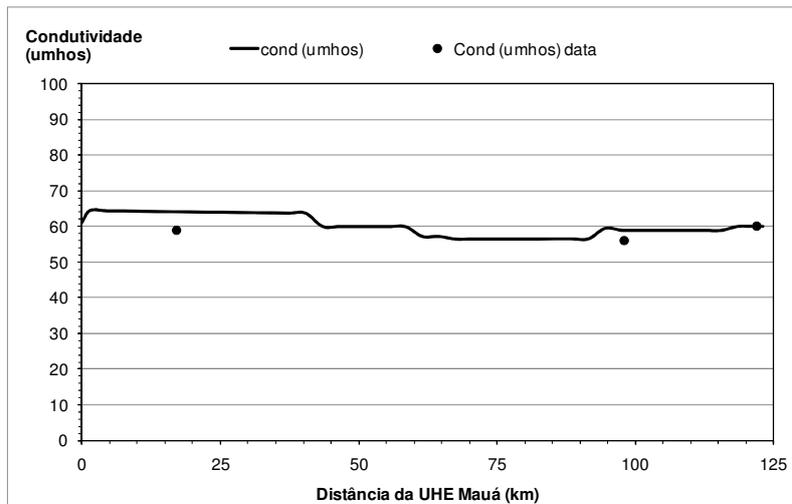


Figura 4.2.1. Comparação entre dados observados (pontos) e simulados (linha) para condutividade (umhos) ao longo do trecho entre a UHE Mauá (km 0) e a captação de água bruta de Londrina (km 122) – condição de vazão baixa (gráfico superior), vazão média (gráfico central) e vazão elevada (gráfico inferior).

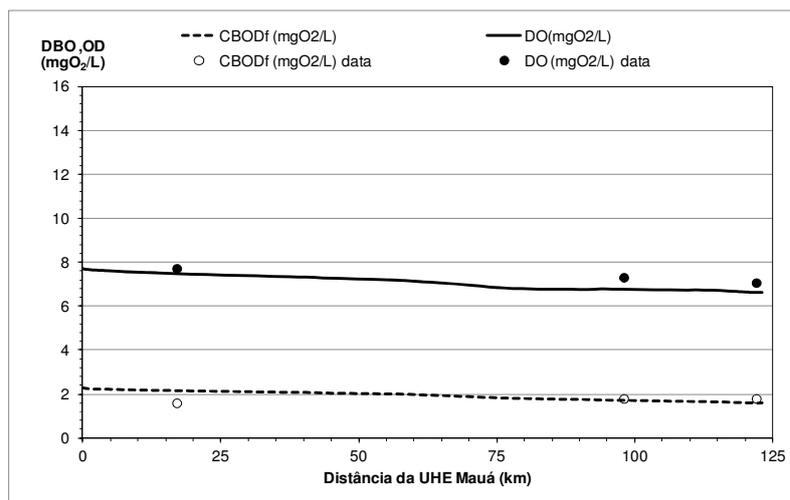
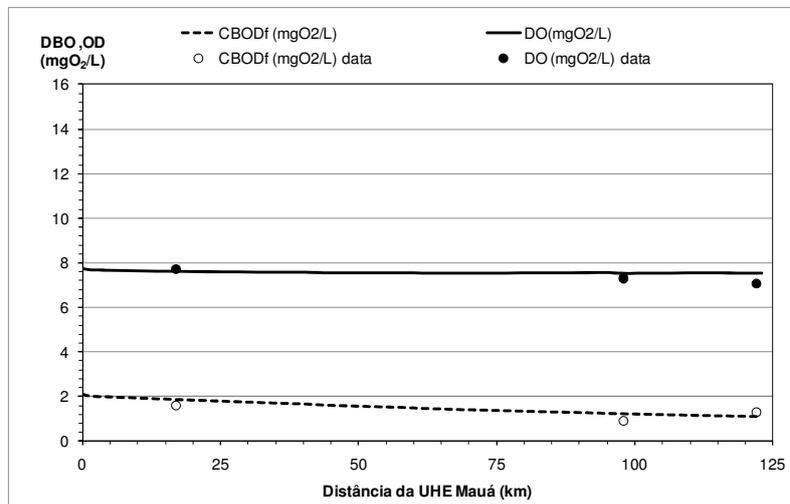
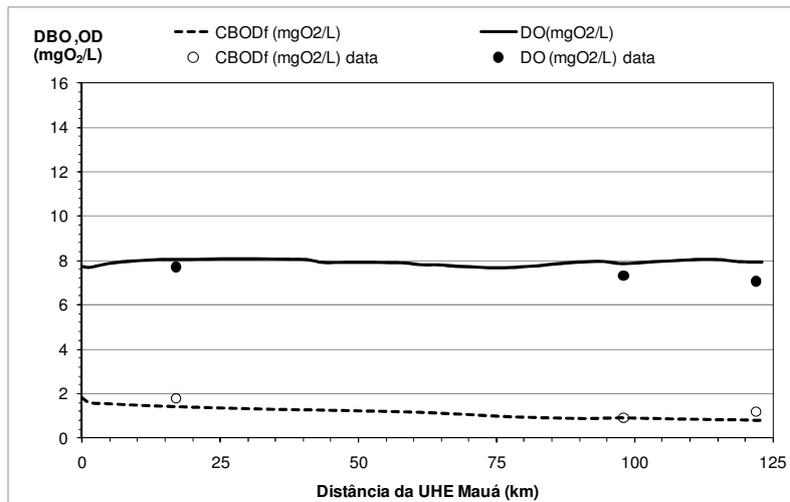


Figura 4.2.2. Comparação entre dados observados (pontos) e simulados (linha) para DBO (mg/L) e OD (mg/L) ao longo do trecho entre a UHE Mauá (km 0) e a captação de água bruta de Londrina (km 122) - condição de vazão baixa (gráfico superior), vazão média (gráfico central) e vazão elevada (gráfico inferior).

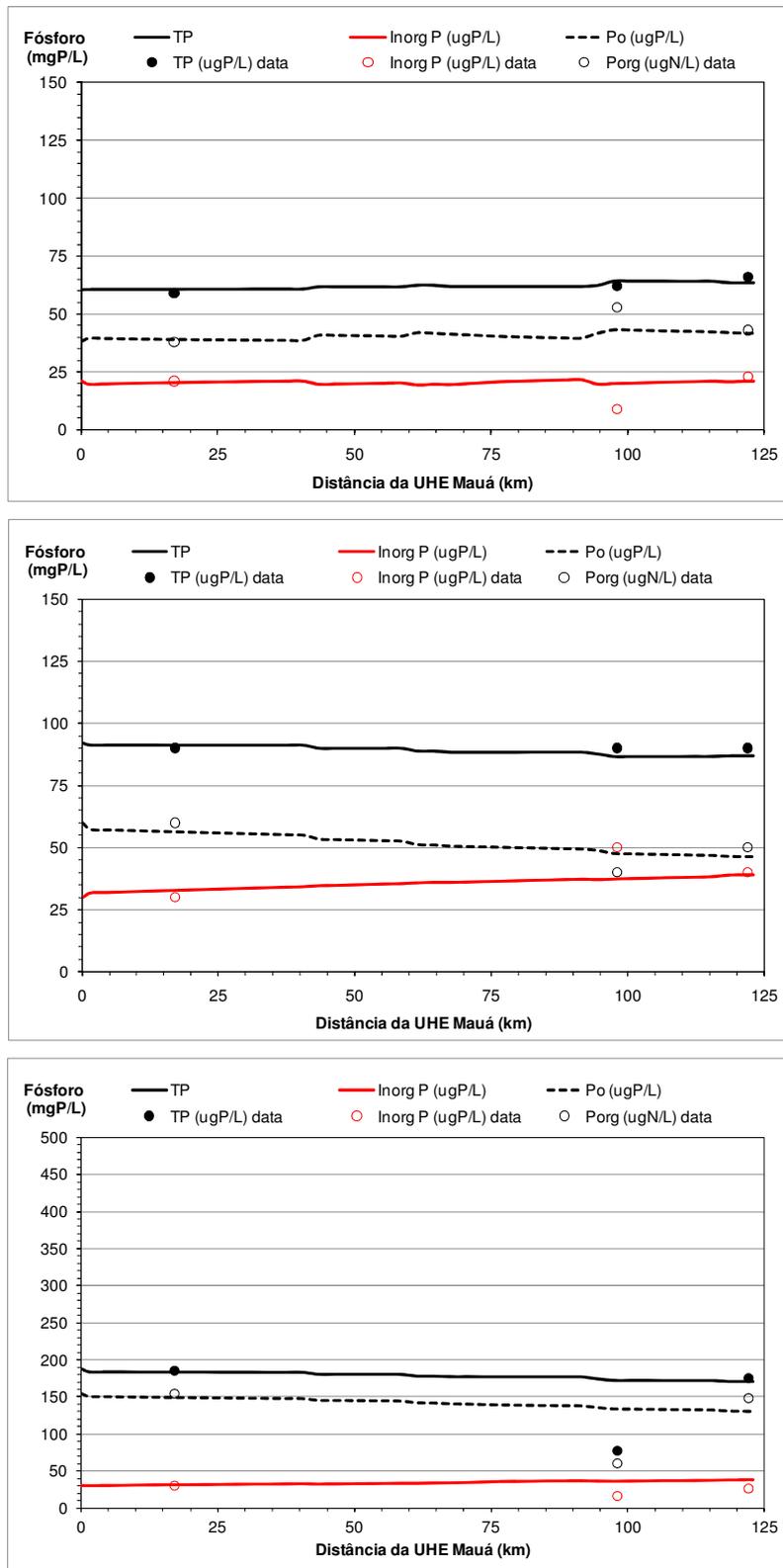


Figura 4.2.3. Comparação entre dados observados (pontos) e simulados (linha) para fósforo (mg/L) ao longo do trecho entre a UHE Mauá (km 0) e a captação de água bruta de Londrina (km 122) – condição de vazão baixa (gráfico superior), vazão média (gráfico central) e vazão elevada (gráfico inferior).

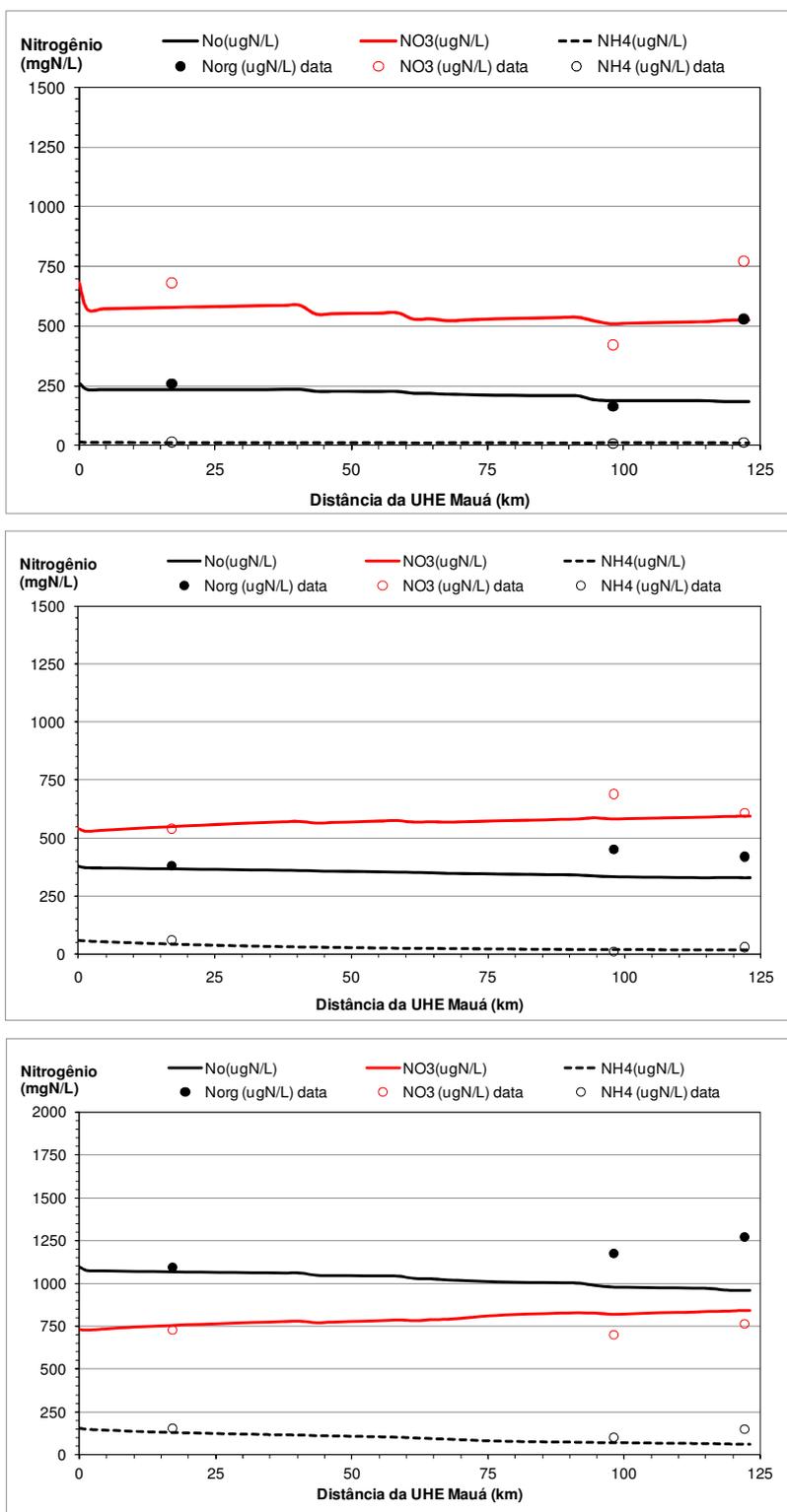


Figura 4.2.4. Comparação entre dados observados (pontos) e simulados (linha) para nitrogênio (mg/L) ao longo do trecho entre a UHE Mauá (km 0) e a captação de água bruta de Londrina (km 122) – condição de vazão baixa (gráfico superior), vazão média (gráfico central) e vazão elevada (gráfico inferior).

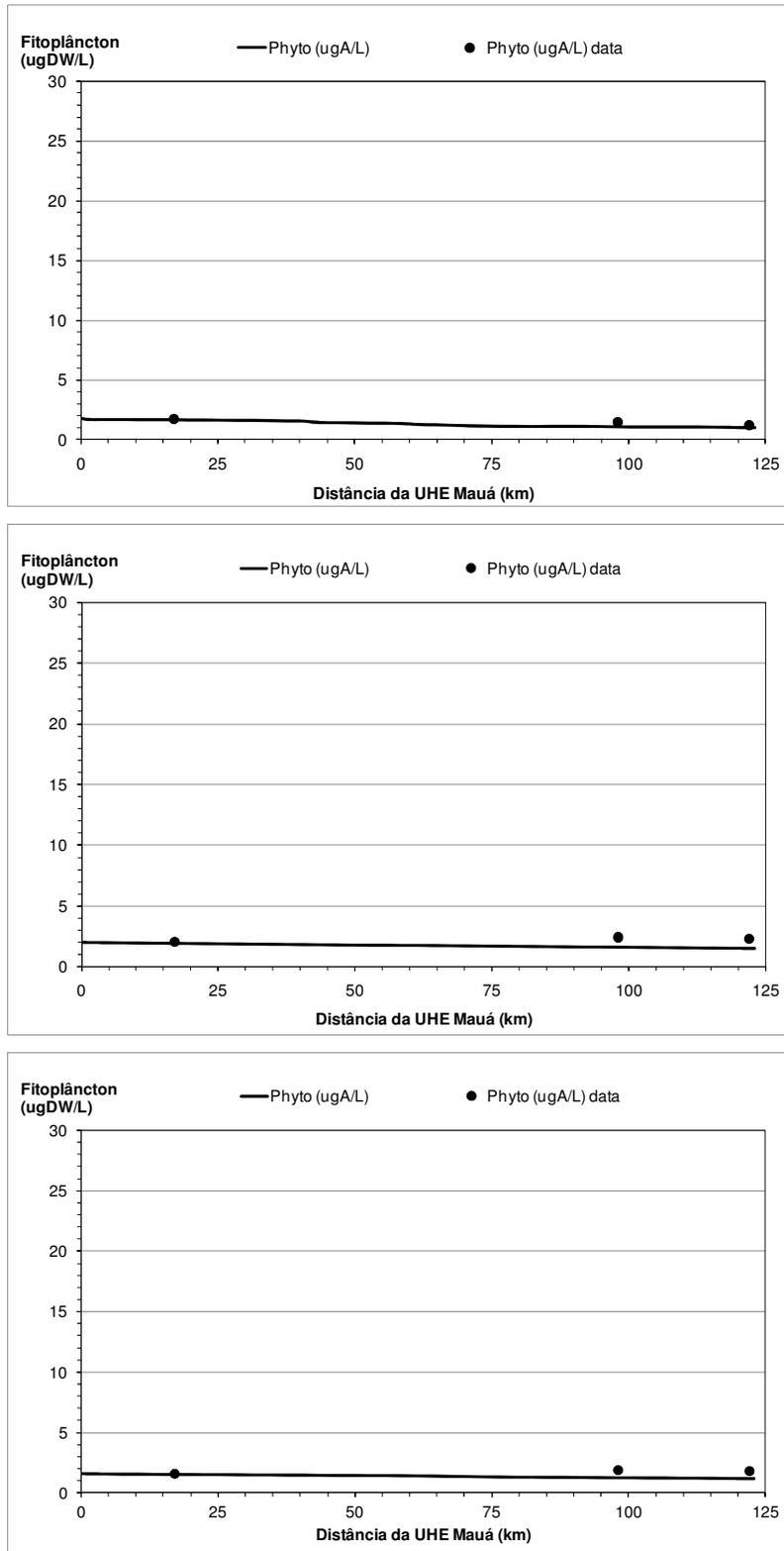


Figura 4.2.5. Comparação entre dados observados (pontos) e simulados (linha) para fitoplâncton (ug/L) ao longo do trecho entre a UHE Mauá (km 0) e a captação de água bruta de Londrina (km 122) – condição de vazão baixa (gráfico superior), vazão média (gráfico central) e vazão elevada (gráfico inferior).

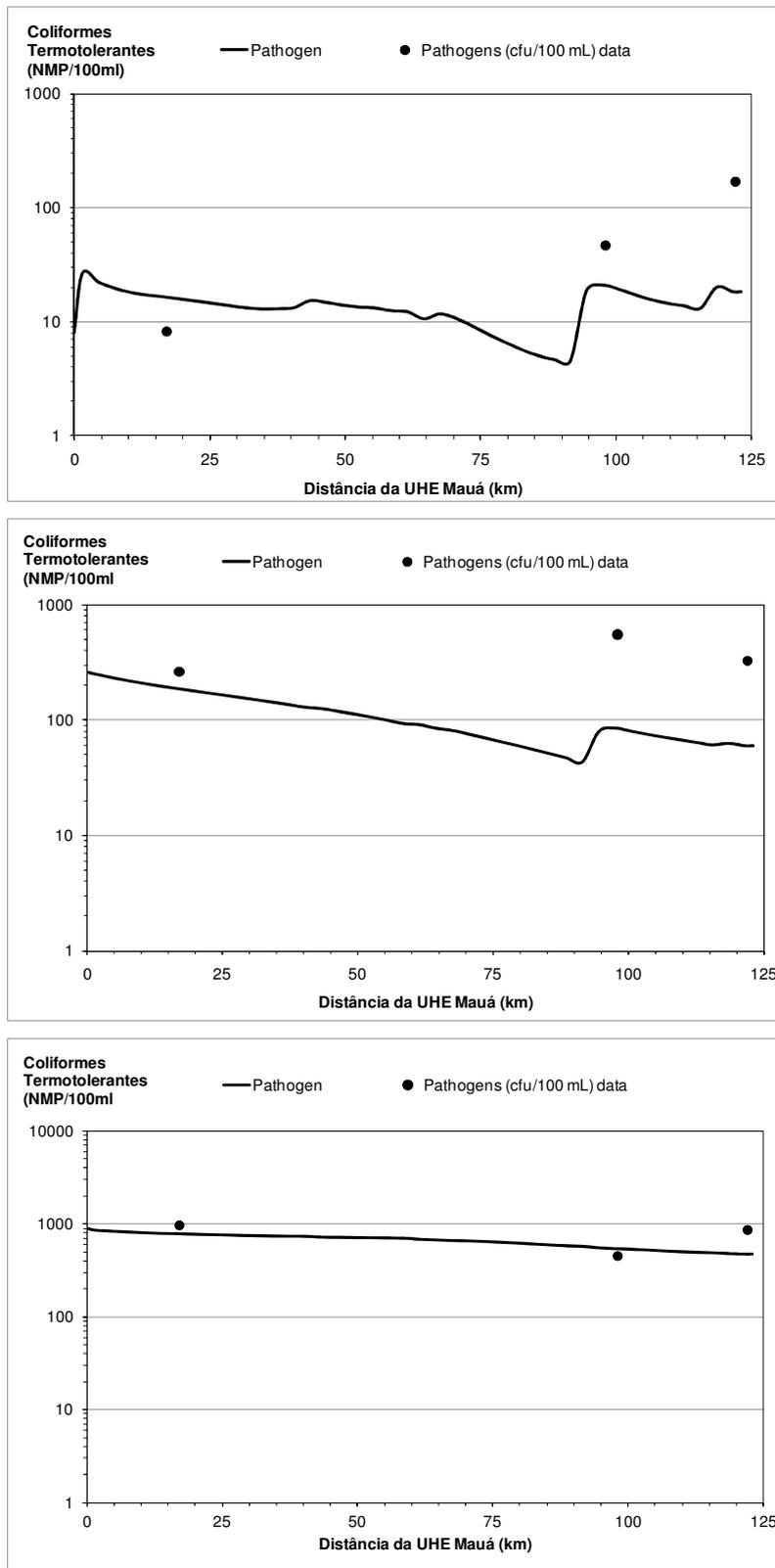


Figura 4.2.6. Comparação entre dados observados (pontos) e simulados (linha) para coliformes fecais (NMP/100ml) ao longo do trecho entre a UHE Mauá (km 0) e a captação de água bruta de Londrina (km 122) – condição de vazão baixa (gráfico superior), vazão média (gráfico central) e vazão elevada (gráfico inferior).

Como mencionado na metodologia, no processo de ajuste do modelo, procurou-se otimizar o parâmetro do erro médio e, assim, avaliar não somente o desempenho da calibração, mas inclusive definir uma condição de parada do processo.

O erro médio alcançado para a condição de vazão baixa variou entre 3,0%, para fósforo total, e 120,0% para coliformes fecais. Para a condição de vazão média obteve-se um erro médio mínimo de 3,0% tanto para fósforo total, quanto para oxigênio dissolvido. Assim como para a condição de vazão baixa, o pior ajuste foi obtido para coliformes fecais. Para a condição de vazão elevada, obteve-se entre os parâmetros simulados uma distribuição similar do erro médio (Figura 4.2.7). Nesta condição de disponibilidade hídrica, especialmente para coliformes fecais, o modelo obteve uma melhor representação.

No intuito de simular projeções de qualidade da água na UHE, vale destacar a boa representação obtida para as seguintes variáveis: oxigênio dissolvido, DBO, fósforo e nitrogênio totais. Com exceção do PT na vazão elevada, o erro médio situou-se abaixo de 10%, o que representa um bom indicador da qualidade do ajuste alcançado, sobretudo para estudos de modelagem da qualidade da água (Chapra, 1997; Fragozo et al 2009; Wells, 2005). Para as variáveis fitoplâncton, amônia e nitrato, o ajuste alcançado também foi considerado bem sucedido (erro médio em torno de 20%).

Como já mencionado, devido à inerente variabilidade espacial e temporal da densidade de coliformes fecais na rede de drenagem, para esta variável, no modelo QUAL-2K, obteve-se o pior ajuste. Porém, mesmo assim, o modelo reproduziu os valores observados na porção final do trecho simulado. Para o cenário de vazão elevada, obteve-se o ajuste para coliformes fecais foi melhorado em relação às demais condições de vazão avaliadas.

A Figura 4.2.7, a seguir, resume-se a qualidade do ajuste alcançado, segundo o critério do erro médio (%), com o modelo QUAL-2K para as condições de vazões avaliadas, as quais foram classificadas como: vazão baixa, média e elevada.

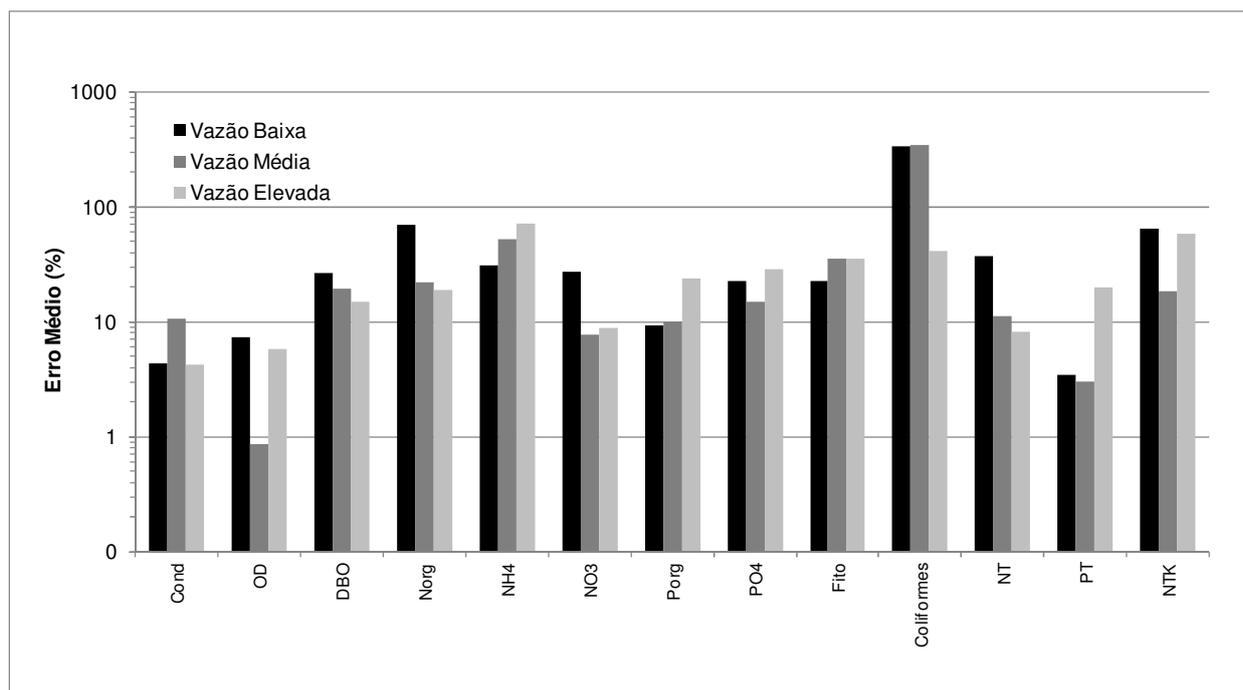


Figura 4.2.7. Erro médio (%), em escala logarítmica, alcançado em cada condição de vazão simulada para as variáveis de qualidade da água avaliadas na etapa de calibração.

De uma maneira geral, os resultados acima (Figura 4.2.7) evidenciam um comportamento similar do modelo para as três condições de fluxo simuladas. Isto se deve ao fato de que as condições de contorno, ou seja, os resultados obtidos através do monitoramento, explicam em grande parte as concentrações dos constituintes monitorados no rio Tibagi, ao longo do trecho de interesse. Logo, verificou-se pouca influência dos parâmetros cinéticos no sentido de modificar e explicar as concentrações monitoradas no rio Tibagi. Por esta razão, permitiu-se ajustar o modelo a um conjunto de parâmetros cinéticos que satisfaçam as três condições de vazões simuladas. Desta forma, a Tabela 4.2.1 apresenta os parâmetros cinéticos ajustados no modelo QUAL-2K para a condição de vazão baixa, média e elevada.

Tabela 4.2.1. Parâmetros do QUAL2K ajustados para a situação de vazão mínima, média e elevada.

<i>Parameter</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>	<i>Symbol</i>
<b>Oxygen:</b>			
Reaeration model	5,0	/d	
Temp correction	1.024		$q_a$
O2 for carbon oxidation	2.69	gO <sub>2</sub> /gC	$r_{oc}$
O2 for NH4 nitrification	4.57	gO <sub>2</sub> /gN	$r_{on}$
Oxygen inhib model CBOD oxidation	Exponential		
Oxygen inhib parameter CBOD oxidation	0.60	L/mgO <sub>2</sub>	$K_{sof}$
Oxygen inhib model nitrification	Exponential		

<b>Parameter</b>	<b>Value</b>	<b>Units</b>	<b>Symbol</b>
Oxygen inhib parameter nitrification	0.60	L/mgO2	$K_{sona}$
Oxygen enhance model denitrification	Exponential		
Oxygen enhance parameter denitrification	0.60	L/mgO2	$K_{sodn}$
Oxygen inhib model phyto resp	Exponential		
Oxygen inhib parameter phyto resp	0.60	L/mgO2	$K_{sop}$
Oxygen enhance model bot alg resp	Exponential		
<b>Fast CBOD:</b>			
Oxidation rate	0.5	/d	$K_{dc}$
Temp correction	1.047		$q_{dc}$
<b>Organic N:</b>			
Hydrolysis	0.1	/d	$k_{hn}$
Temp correction	1.07		$q_{hn}$
Settling velocity	0	m/d	$v_{on}$
<b>Ammonium:</b>			
Nitrification	2.5	/d	$k_{na}$
Temp correction	1.07		$q_{na}$
<b>Nitrate:</b>			
Denitrification	0	/d	$k_{dn}$
Temp correction	1.07		$q_{dn}$
Sed denitrification transfer coeff	0	m/d	$v_{di}$
Temp correction	1.07		$q_{di}$
<b>Organic P:</b>			
Hydrolysis	0.1	/d	$k_{hp}$
Temp correction	1.07		$q_{hp}$
Settling velocity	0	m/d	$v_{op}$
<b>Inorganic P:</b>			
Settling velocity	0	m/d	$v_{ip}$
Inorganic P sorption coefficient	0	L/mgD	$K_{dpi}$
Sed P oxygen attenuation half sat constant	0.05	mgO <sub>2</sub> /L	$k_{spi}$
<b>Phytoplankton:</b>			
Max Growth rate	2.5	/d	$k_{gp}$
Temp correction	1.07		$q_{gp}$
Respiration rate	0.2	/d	$k_{rp}$
Temp correction	1.07		$q_{rp}$
Death rate	0.2	/d	$k_{dp}$
Temp correction	1.07		$q_{dp}$
Nitrogen half sat constant	25	ugN/L	$k_{sPp}$
Phosphorus half sat constant	5	ugP/L	$k_{sNp}$
Inorganic carbon half sat constant	1.30E-05	moles/L	$k_{sCp}$
Light model	Half saturation		
Light constant	100	langleys/d	$K_{Lp}$
Ammonia preference	25	ugN/L	$k_{hnxp}$
Settling velocity	0.5	m/d	$v_a$
<b>Pathogens:</b>			
Decay rate	0.1	/d	$k_{dx}$
Temp correction	1.07		$q_{dx}$
Settling velocity	0	m/d	$v_x$
Light efficiency factor	1.00		$a_{path}$

Sendo assim, utilizando-se o erro médio como parâmetro de desempenho do ajuste do modelo, de uma maneira geral, pode-se concluir pelo bom desempenho do modelo

QUAL2K em representar as três condições atuais de qualidade da água no rio Tibagi sob diferentes disponibilidades hídricas (vazão baixa, média e elevada).

#### **4.2.2. Cenários**

Neste item são apresentados os resultados da modelagem matemática da qualidade da água para o trecho de interesse, considerando os cenários de cargas efluentes da UHE-Mauá (no modelo equivale à condição de contorno de montante). As seguintes variáveis foram avaliadas na simulação dos cenários para as condições de vazão baixa e média amostradas: DBO, OD, fósforo total, nitrogênio amoniacal, nitratos e fitoplâncton.

A seguir, os perfis longitudinais para as variáveis de qualidade da água obtidos por meio da modelagem matemática com o modelo QUAL-2K refletem a avaliação integrada dos seguintes aspectos: a) impactos sobre a disponibilidade hídrica do trecho de interesse, b) alteração da qualidade da água a montante devido à UHE-Mauá, c) velocidade dos processos de conversão da matéria orgânica e inorgânica (definidos na calibração do modelo) e cargas dos tributários para as duas condições de vazão amostradas.

## Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Os perfis longitudinais resultantes no trecho de interesse para os cenários de DBO na UHE-MAUÁ, sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.8), mostram que a jusante da barragem as concentrações variam entre 1,5 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,6 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de Londrina as concentrações alcançam valores abaixo de 0,1 mg/L.

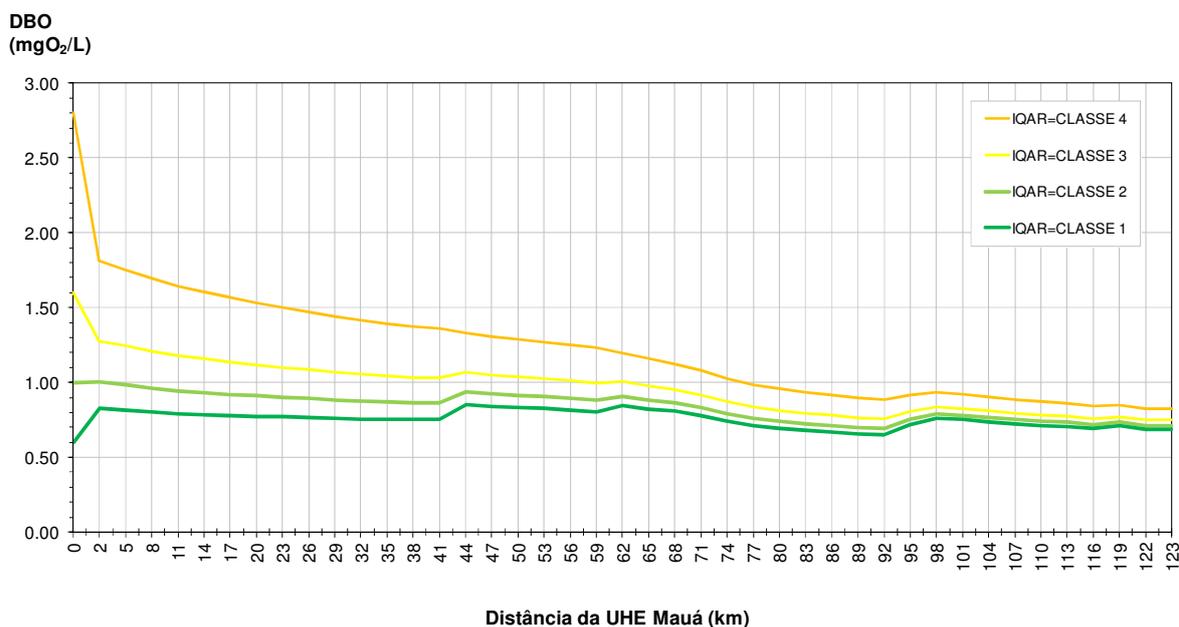


Figura 4.2.8. Cenários de concentração de DBO na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão baixa.

A seguir, sob a condição de vazão média (Figura 4.2.9), os perfis longitudinais resultantes no trecho de interesse demonstram que a jusante do barramento as concentrações variam entre 2,5 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,6 mg/L (IQAR=CLASSE 1). No trecho da captação de Londrina as concentrações alcançam valores entre 1,5 mg/L e 0,60 mg/L, respectivamente. Todos os valores encontrados de DBO para este cenário de vazão, principalmente na porção distal do trecho avaliado, estão abaixo do limite da Classe 2 segundo resolução CONAMA 357/05 (5,0 mg/L).

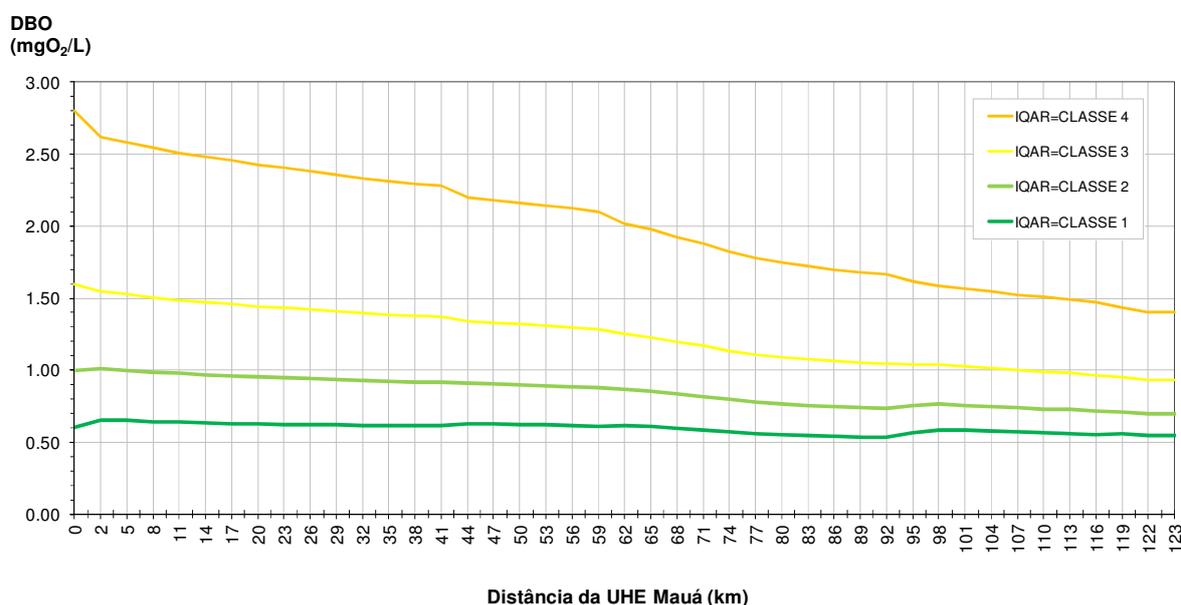


Figura 4.2.9. Cenários de concentração de DBO na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão média.

Para a condição de vazão elevada, os perfis longitudinais resultantes no trecho de interesse para os cenários de DBO na UHE-MAUA (Figura 4.2.10) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações variam entre 2,5 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,6 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Todos os valores encontrados de DBO para este cenário de vazão, principalmente na porção distal do trecho avaliado, estão abaixo do limite da Classe 2 segundo resolução CONAMA 357/05 (5,0 mg/L).

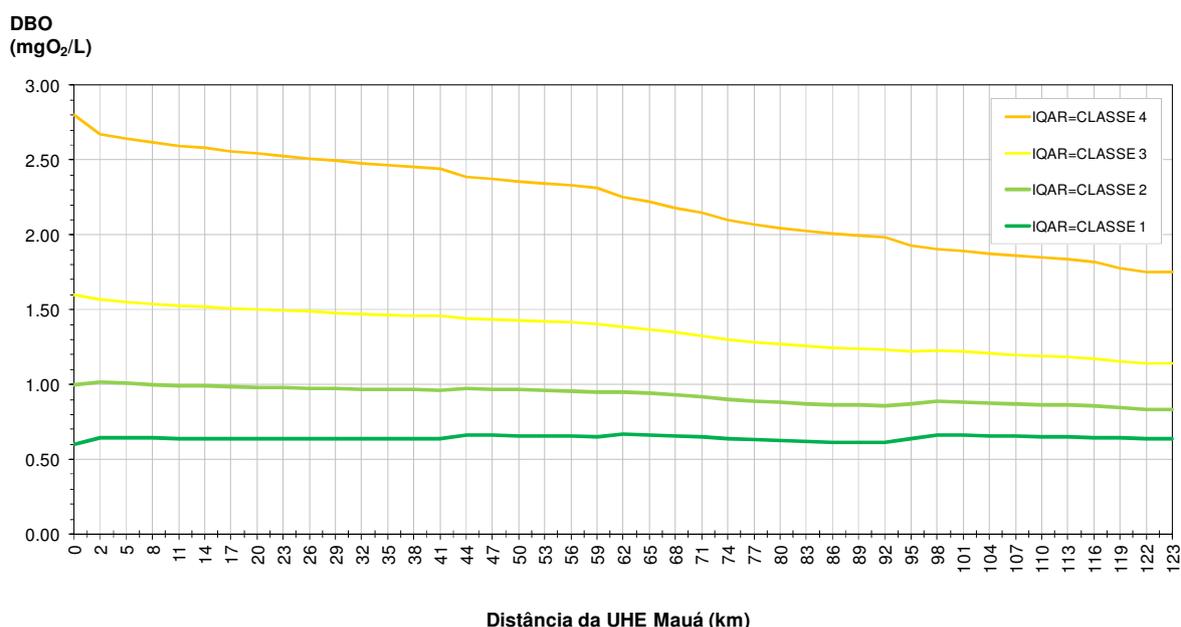


Figura 4.2.10. Cenários de concentração de DBO na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão elevada.

Como observado para as três condições de disponibilidades hídricas avaliadas, os cenários considerando a UHE-MAUÁ na classe 4 (segundo o IQAR) resultaram em gradientes longitudinais de maior concentração de DBO no trecho de interesse. Porém, em nenhum dos cenários, a concentração de DBO ultrapassou o limite da Classe 2 segundo a classificação da resolução CONAMA nº357/05.

Conforme os resultados obtidos para a condição de vazão baixa, a contribuição do Ribeirão das Antas a jusante da UHE permite a diluição do rio Tibagi para concentrações abaixo do limite inferior da classe 2 (3,0 mg/L, CONAMA nº357/05).

Para as condições de vazão média e elevada, combinadas a um cenário de qualidade da água classe 4 do IQAR na UHE, o modelo indica que, embora ocorra uma leve elevação da DBO no trecho mais a montante do trecho de interesse, a recuperação do rio Tibagi para concentrações bastante baixas, como 2,0 mg/L (Classe 1), ocorre a partir do trecho correspondente ao Km 83,0.

Na seção de captação de Londrina, todos os cenários propostos atendem à classe 2 (CONAMA nº357/05) para DBO. Sendo assim, a manutenção do reservatório da UHE-MAUÁ nas classes 1 a 4 do IQAR permite a permanência da classe 2 (CONAMA 357/05) no rio Tibagi em 100% do trecho de interesse.

### Oxigênio Dissolvido (OD)

Os perfis longitudinais resultantes no trecho de interesse para os cenários de OD na UHE-MAUA sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.11) mostram que a jusante da barragem as concentrações de OD variam entre 8,75 mg/L (IQAR=CLASSE 1) e 5 mg/L (IQAR=CLASSE 4). Na seção de captação da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 8,05 mg/L e 7,40 mg/L, respectivamente.

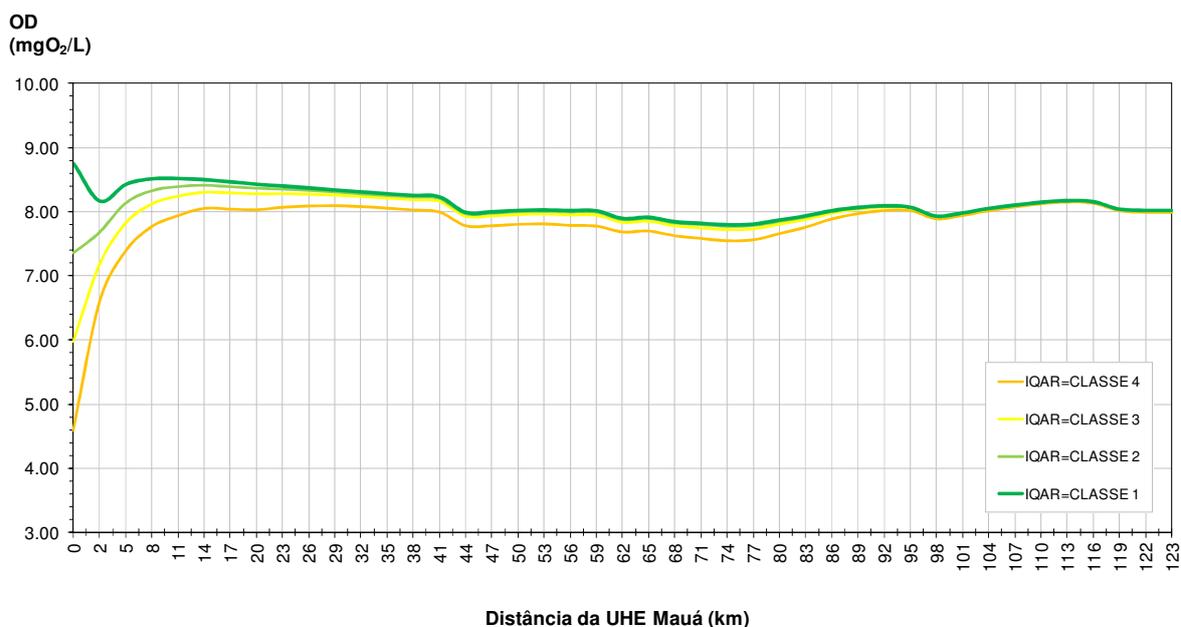


Figura 4.2.11. Cenários de concentração de OD na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão baixa.

Os perfis longitudinais resultantes para a condição de vazão média (Figura 4.2.12) mostram que a jusante do barramento as concentrações de OD variam entre 8,75 mg/L (IQAR=CLASSE 1) e 4,6 mg/L (IQAR=CLASSE 4). Na seção de captação de Londrina, as concentrações de oxigênio dissolvido alcançam valores entre 8,2 mg/L e 7,9 mg/L, respectivamente.

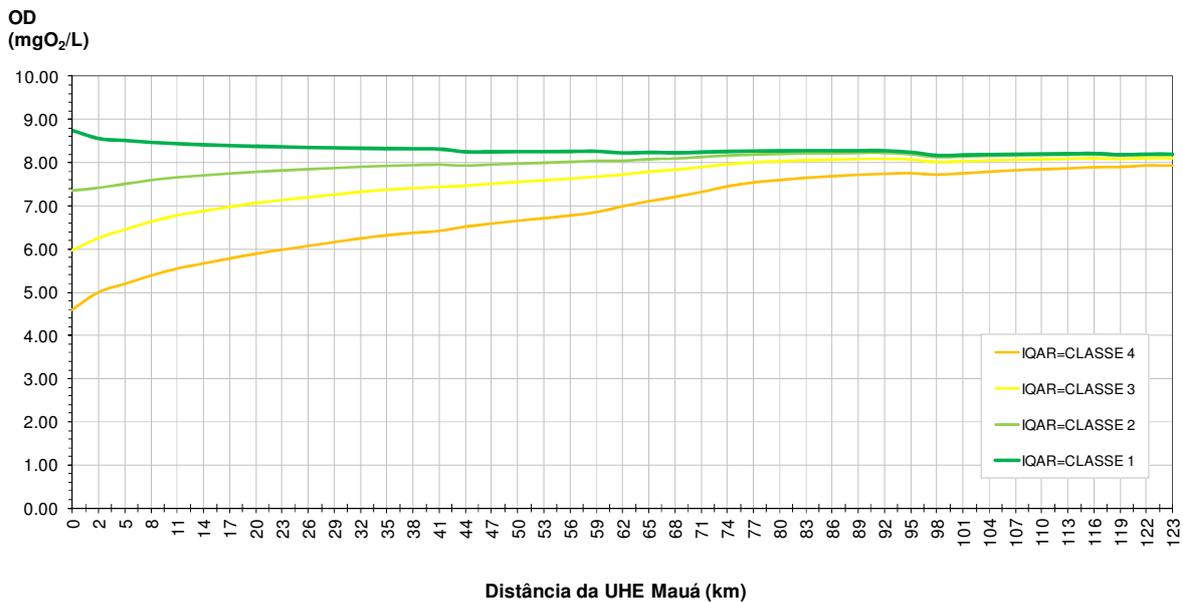


Figura 4.2.12. Cenários de concentração de OD na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão média.

Os perfis longitudinais resultantes no trecho de interesse para a condição de vazão média (Figura 4.2.13) mostram que a jusante do barramento as concentrações de OD variam entre 8,75 mg/L (IQAR=CLASSE 1) e 4,55 mg/L (IQAR=CLASSE 4). Na seção de captação de Londrina, as concentrações de oxigênio dissolvido alcançam valores entre 8,50 mg/L e 7,8 mg/L, respectivamente.

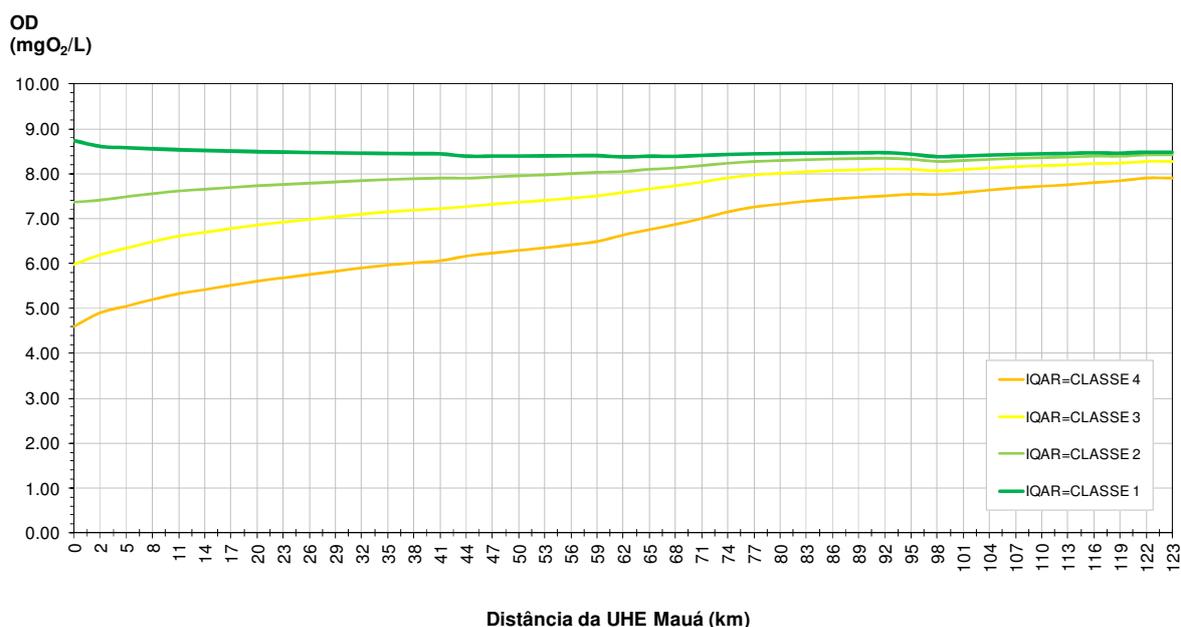


Figura 4.2.13. Cenários de concentração de OD na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão elevada.

Os perfis resultantes para OD, sob a condição de disponibilidade hídrica baixa, indicam uma rápida recuperação do rio Tibagi a jusante da UHE-Mauá, atendendo aos limites da classe 2 (> 5,0 mg/L - CONAMA nº357/05) cerca de 2,0 km a jusante da barragem. Neste trecho, a declividade do curso d’água favorece os processos de reaeração. Além da reaeração, os processos de mineralização (-), nitrificação (-), produção primária (+) e respiração (-) também interferem na dinâmica de OD ao longo do trecho.

Deve-se salientar também o papel dos aportes pontuais e distribuídos considerados ao longo do rio Tibagi para a recuperação dos níveis de OD observados nas campanhas realizadas na condição de fluxo baixo. O modelo sugere que na seção de captação de Londrina os efeitos da UHE-Mauá sobre a concentração de oxigênio dissolvido são

desprezíveis, mesmo que a vazão ecológica da UHE apresentasse níveis de OD reduzidos.

Por outro lado, da mesma forma que observado para DBO, na vazão média e elevada, os cenários considerando a UHE-Mauá na classe 4 (segundo o IQAR) resultaram em gradiente longitudinal de OD levemente inferior às outras classes no trecho de interesse. Os resultados do modelo QUAL2K sugerem que a manutenção da qualidade da água no reservatório da UHE-Maua nas classes 1 a 4 do IQAR, permite a permanência da classe 2 (CONAMA 357/05) no rio Tibagi em 100% do trecho de interesse. Além disso, vale salientar que para condições de fluxo médio e elevado, a vazão de saída da UHE corresponderá à vazão turbinada e/ou vertida, cujas concentrações de OD são superiores às sugeridas para a classe 4 do IQAR.

## Nutrientes

Neste item, são apresentados os resultados para os seguintes variáveis: nitrogênio amoniacal ( $N-NH_4$ ), nitrato ( $N-NO_3$ ) e fósforo total (PT). A disponibilidade destas substâncias no sistema regula os processos de produção primária do fitoplâncton.

A seguir, as Figuras 4.2.14 a 4.2.16 apresentam os resultados de nitrogênio amoniacal para vazão baixa, média e elevada, respectivamente.

Os perfis longitudinais resultantes para os cenários de  $N-NH_4$  efluente da UHE-Mauá sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.14) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações variam entre 1,0 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,12 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de Londrina as concentrações situam-se abaixo de 0,010 mg/L.

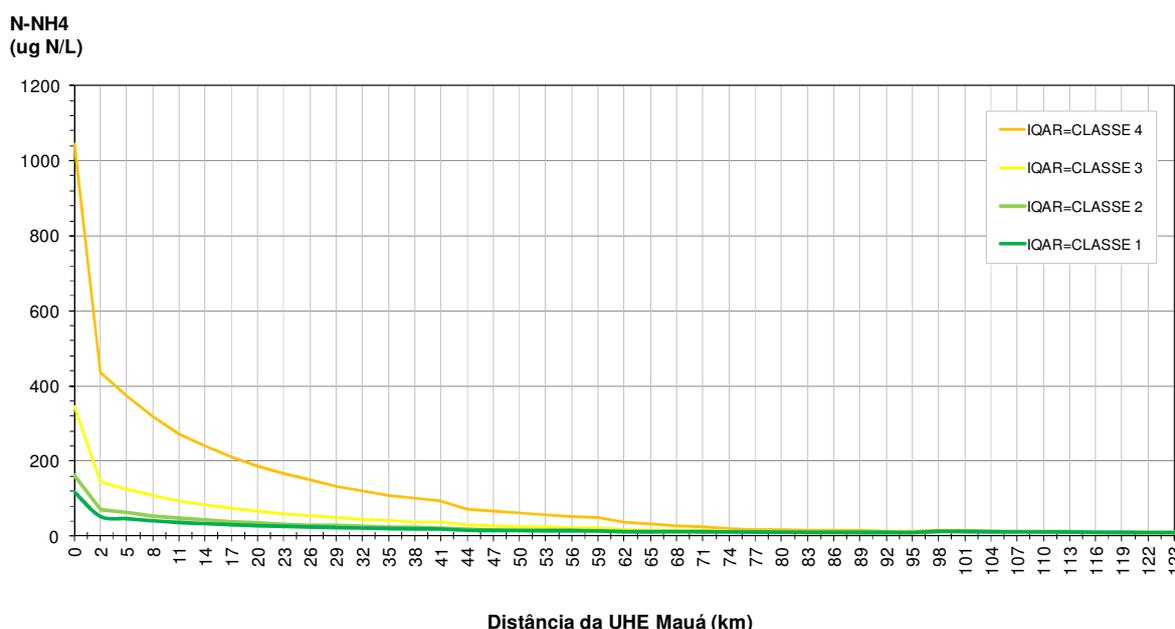


Figura 4.2.14. Cenários de concentração de  $N-NH_4$  na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão baixa.

Os perfis longitudinais resultantes a condição de vazão média (Figura 4.2.15) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações de N-NH<sub>4</sub> variam entre 1,2 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,12 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação da SANEPAR as concentrações alcançam valores entre 0,200 mg/L e 0,010 mg/L, respectivamente.

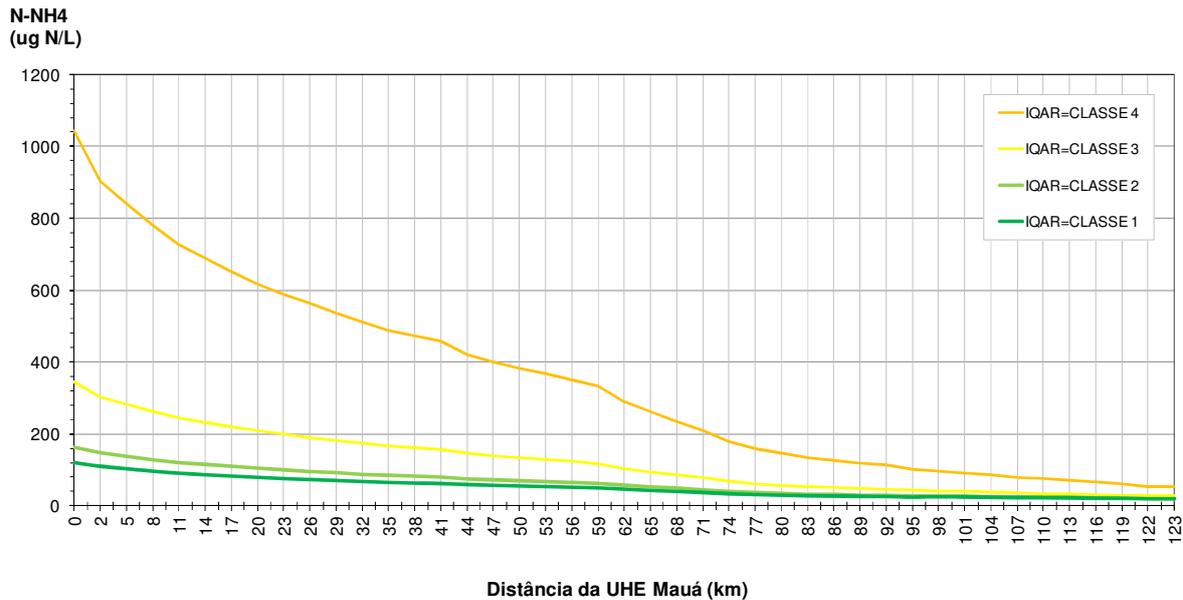


Figura 4.2.15. Cenários de concentração de N-NH<sub>4</sub> na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão média.

Os perfis longitudinais resultantes a condição de vazão elevada (Figura 4.2.16) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações de N-NH<sub>4</sub> variam entre 1,25 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,12 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação da SANEPAR as concentrações alcançam valores entre 0,150 mg/L e 0,010 mg/L, respectivamente.

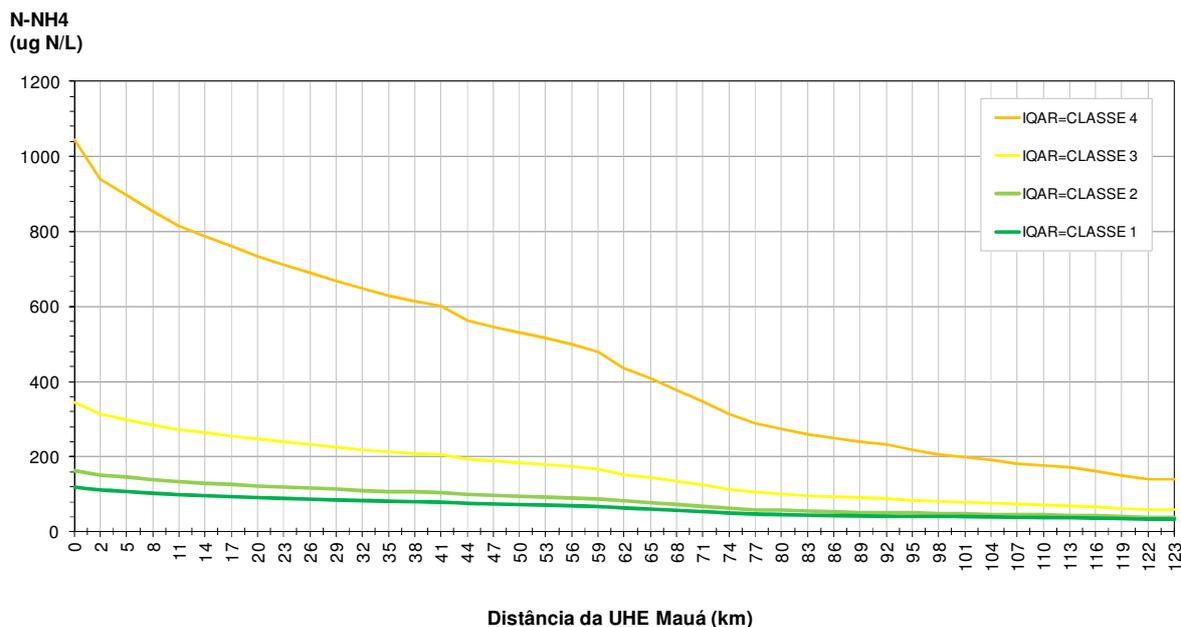


Figura 4.2.16. Cenários de concentração de N-NH<sub>4</sub> na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão elevada.

O gradiente longitudinal negativo resultante para todos os cenários avaliados se deve à diluição, oxidação a nitrato e assimilação pelo fitoplâncton. Considerando um pH próximo a 7,0, todos os cenários de qualidade da água na UHE-MAUA produzem perfis ao longo do trecho de interesse com concentrações que atendem à classe 2 da resolução nº 357/05 do CONAMA.

Os perfis longitudinais resultantes para os cenários de N-NO<sub>3</sub> na UHE-Mauá sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.17) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações variam entre 0,3 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,03 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de Londrina as concentrações alcançam valores entre 0,54 mg/L e 0,38 mg/L, respectivamente.

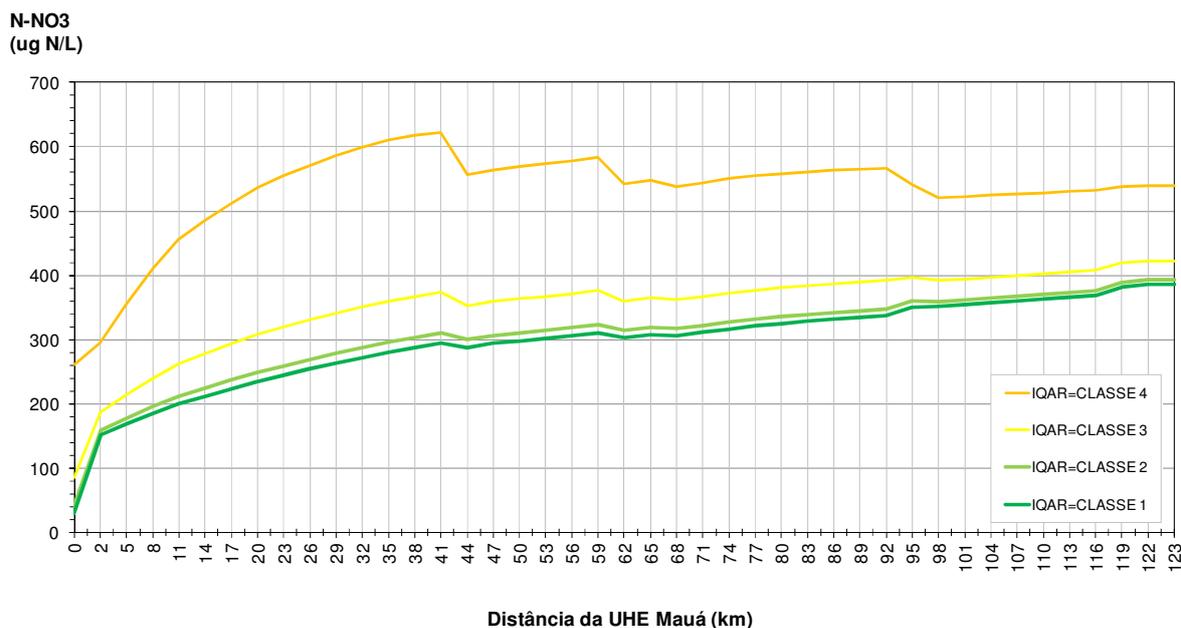


Figura 4.2.17. Cenários de concentração de N-NO<sub>3</sub> na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão baixa.

Os perfis longitudinais resultantes para a condição de vazão média (Figura 4.2.18) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações de N-NO<sub>3</sub> variam entre 0,25 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,03 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de Londrina as concentrações alcançam valores entre 1,0 mg/L e 0,3 mg/L, respectivamente.

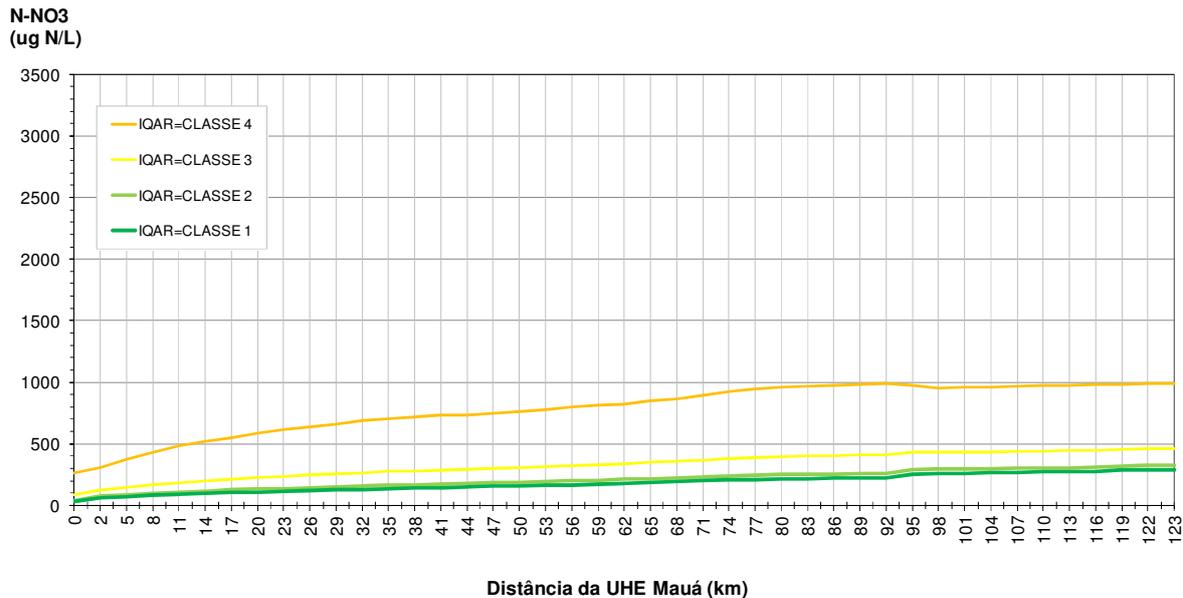


Figura 4.2.18. Cenários de concentração de N-NO<sub>3</sub> na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão média.

Os perfis longitudinais resultantes para a condição de vazão elevada (Figura 4.2.19) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações de N-NO<sub>3</sub> variam entre 0,3 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,03 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de Londrina as concentrações alcançam valores entre 0,98 mg/L e 0,28 mg/L, respectivamente.

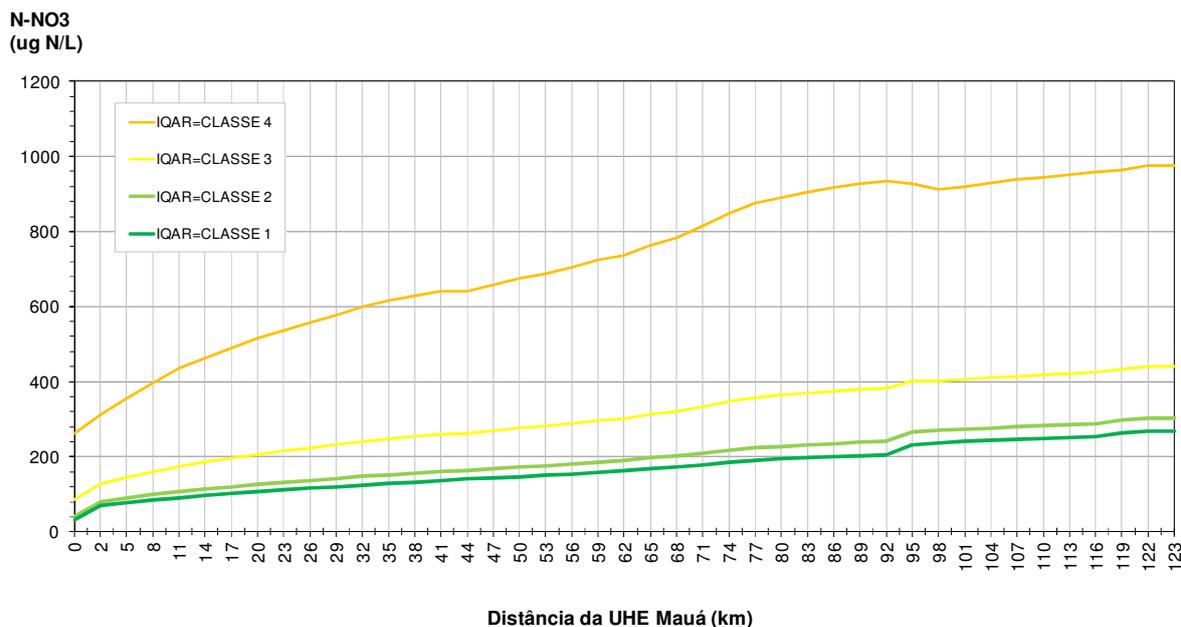


Figura 4.2.19. Cenários de concentração de N-NO<sub>3</sub> na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão elevada.

Em suma, observou-se uma leve tendência incremental de montante para jusante. Este resultado é devido ao fluxo de nitrificação. A atenuação se deve à assimilação pelo fitoplâncton e pela capacidade de diluição dos tributários. Para todos os cenários simulados e condições de vazão a concentração de nitrato atende a classe 2 estabelecida na resolução nº357/05 do CONAMA ao longo de todo o trecho simulado.

Os perfis longitudinais do trecho de interesse resultantes para os cenários de fósforo total na UHE-MAUA sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.20) demonstram que na cabeceira do trecho as concentrações de variam entre 0,065 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,025 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 0,066 mg/L e 0,048 mg/L, respectivamente.

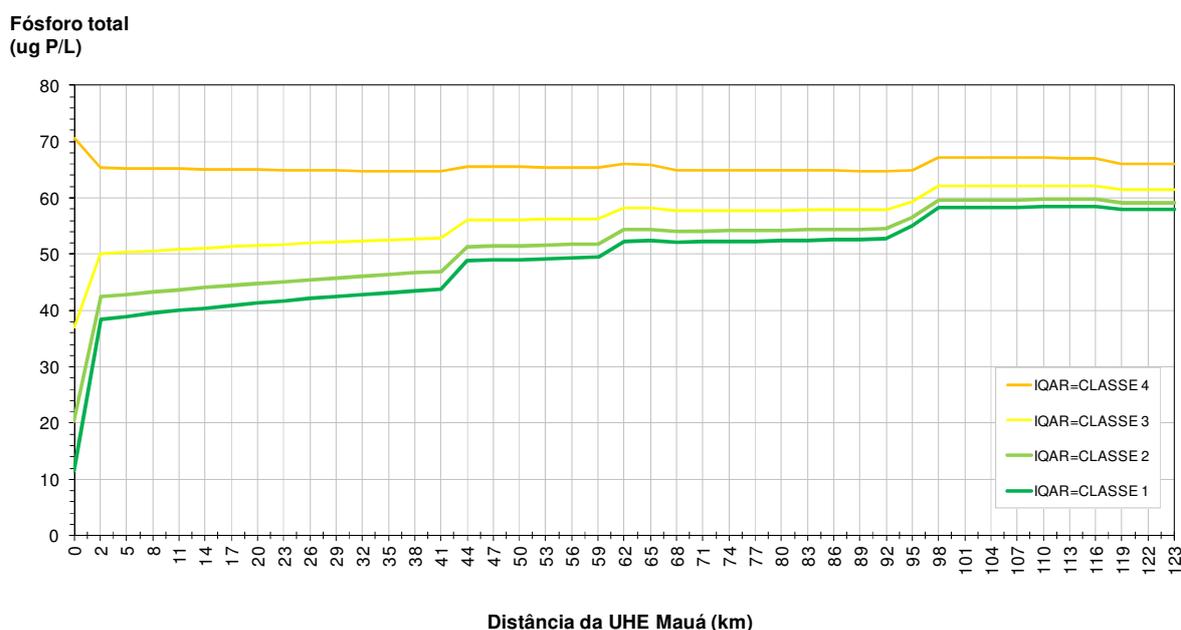


Figura 4.2.20. Cenários de concentração de fósforo total na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão baixa.

Os perfis longitudinais resultantes para os cenários de fósforo total na UHE-MAUA sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.21) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações de variam entre 0,073 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,010 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 0,072 mg/L e 0,030 mg/L, respectivamente.

**Fósforo total**  
(ug P/L)

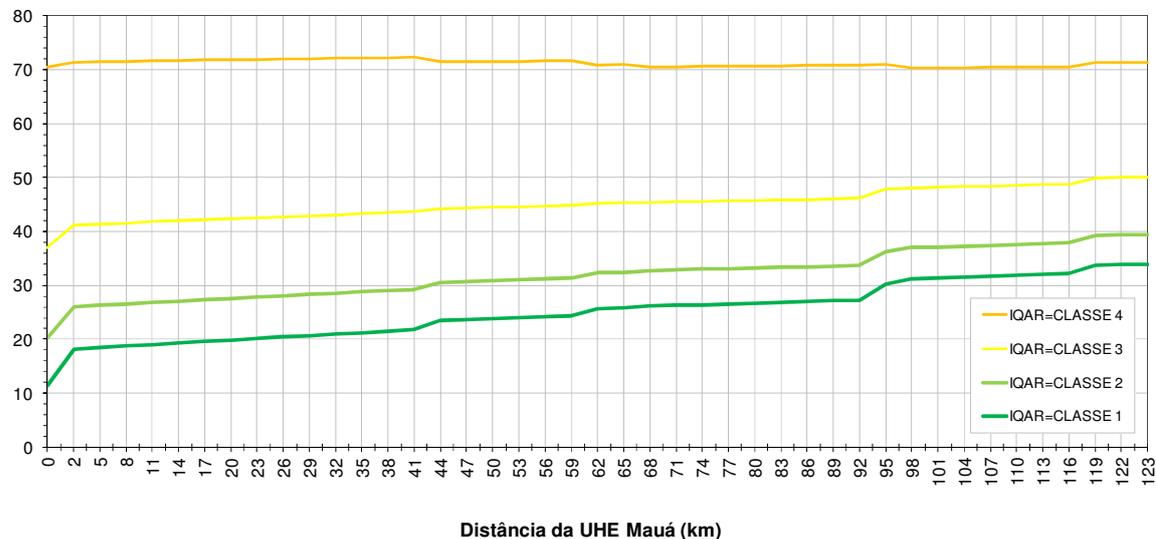


Figura 4.2.21. Cenários de concentração de fósforo total na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão média.

Os perfis longitudinais resultantes para os cenários de fósforo total na UHE-MAUA sob a condição de vazão elevada (Figura 4.2.22) mostram que no trecho intermediário as concentrações variam entre 0,074 mg/L (IQAR=CLASSE 4) e 0,020 mg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 0,075 mg/L e 0,035 mg/L, respectivamente.

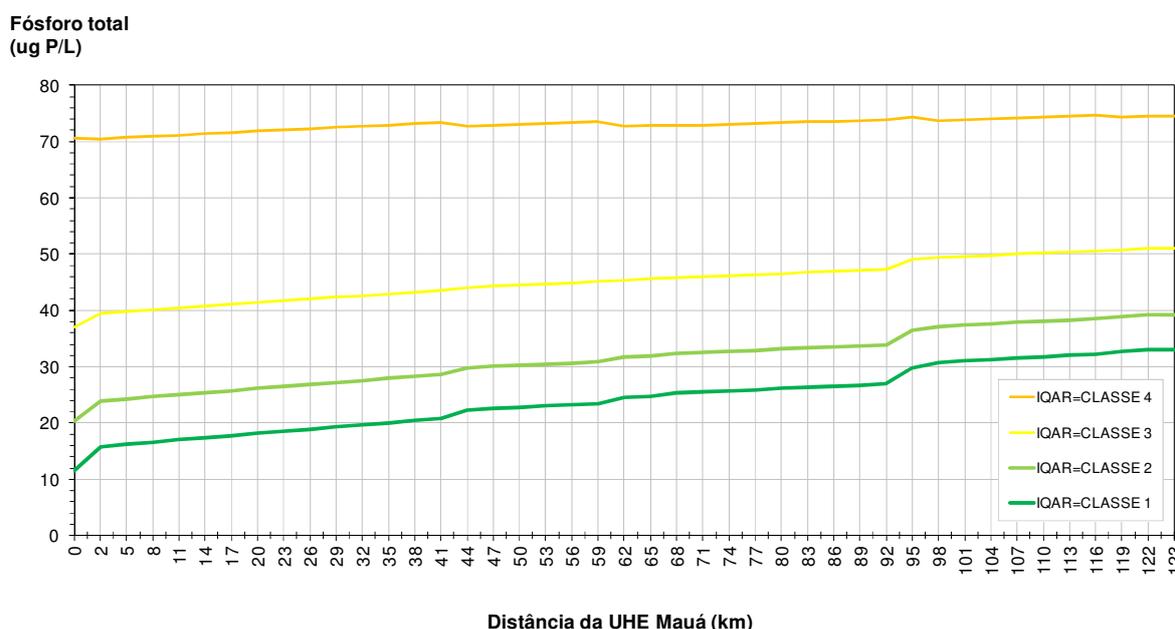


Figura 4.2.22. Cenários de concentração de fósforo total na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão elevada.

Os perfis simulados para fósforo total demonstram uma leve tendência incremental para todos os cenários qualidade da água na UHE-Mauá e uma maior atenuação para os cenários de maior carga na vazão ecológica da UHE.

O abatimento nas cargas de fósforo ao longo do trecho simulado se deve à assimilação de ortofosfato pelo fitoplâncton, sedimentação do fósforo orgânico e pela capacidade de diluição dos tributários. Fontes de fósforo se devem à degradação da matéria orgânica e fluxos difusivos do sedimento.

Para a condição de vazão baixa o processo de diluição devido aos tributários, principalmente do Ribeirão das Antas a jusante da UHE, reduz rapidamente a

concentração de fosforo total ao longo do trecho para valores abaixo do limite da classe 2 do CONAMA na seção de captação de Londrina.

Para as condições de vazão média e elevada no cenário de Classe 4, segundo o IQAR, o modelo indica em relativo incremento na concentração de fósforo total, porém insuficiente para ultrapassar o limite da Classe 2 (0,1 mg/L), segundo a Resolução CONAMA 357/05, ao longo de todo o trecho simulado.

## Fitoplâncton

Os perfis longitudinais resultantes para os cenários de biomassa de fitoplâncton na UHE-MAUA sob a condição de vazão baixa (Figura 4.2.23) mostram que na cabeceira do trecho as concentrações de clorofila-a variam entre 6,0 µg/L (IQAR=CLASSE 4) e 1,5 µg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 2,7 µg/L e 0,80 µg/L, respectivamente.

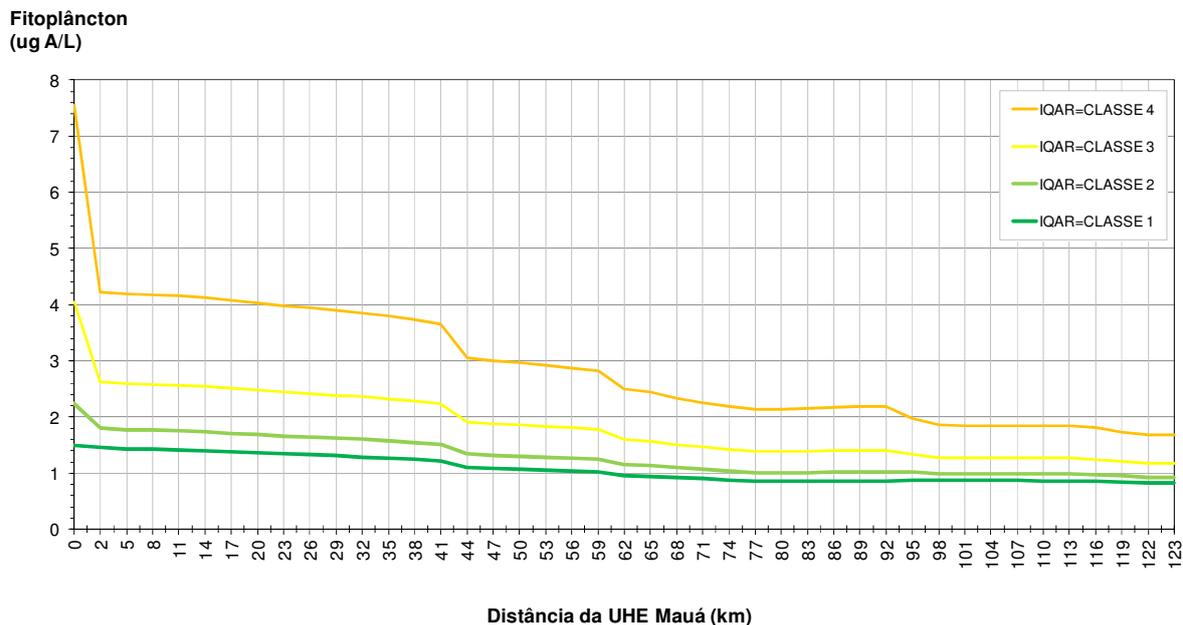


Figura 4.2.23. Cenários de concentração de fitoplâncton, expresso em clorofila-a, na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão baixa.

Para os cenários de vazão média (Figura 4.2.24), nota-se que na cabeceira do trecho as concentrações de clorofila-a variam entre 7,0 µg/L (IQAR=CLASSE 6) e 1,6 µg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 4,1 µg /L e 1,4 µg /L, respectivamente.



Figura 4.2.24. Cenários de concentração de fitoplâncton, expresso em clorofila-a, na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão média.

Para os cenários de vazão elevada (Figura 4.2.25) nota-se que na cabeceira do trecho as concentrações de clorofila-a variam entre 7,0 µg/L (IQAR=CLASSE 4) e 1,6 µg/L (IQAR=CLASSE 1). Na seção de captação de água bruta da SANEPAR, em Londrina, as concentrações alcançam valores entre 4,5 µg /L e 1,4 µg /L, respectivamente.

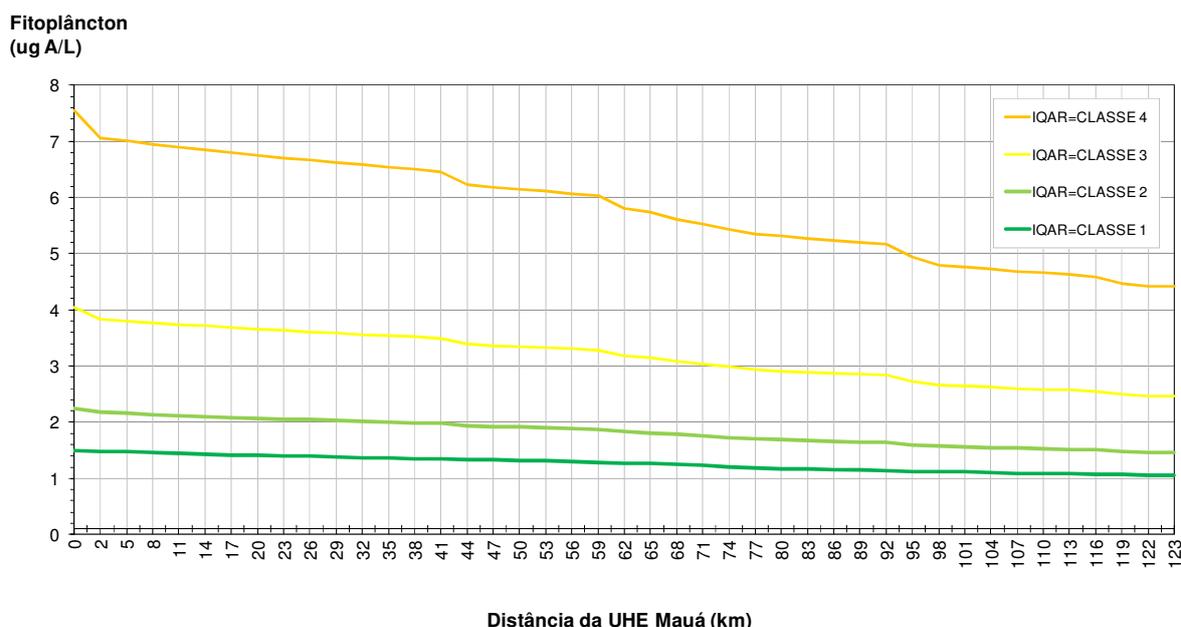


Figura 4.2.25. Cenários de concentração de fitoplâncton, expresso em clorofila-a, na vazão de saída da UHE-MAUÁ – Condição de vazão elevada.

Os perfis para fitoplâncton mostram um menor gradiente espacial em todas as situações de vazão avaliadas. A dinâmica do fitoplâncton é determinada principalmente pela disponibilidade de nutrientes e luz. Sob uma condição de baixa vazão o tempo de residência é maior, o que permite um fluxo mais eficiente de sedimentação e uma maior retro-alimentação de nutrientes no sistema devido à mineralização da matéria orgânica. Estes dois processos atuam a favor da transparência da água e disponibilidade de nutrientes para o fitoplâncton, respectivamente.

Para todos os cenários simulados e condições de vazão a densidade de fitoplâncton, em termos de clorofila-a, esteve abaixo do limite da classe 2 (<30 µg/L) preconizado pela resolução CONAMA nº357/05 ao longo de todo o trecho simulado. Portanto, pode-se concluir, que em nenhum dos cenários propostos, mesmo no cenário bastante improvável de IAQR Classe 4, possam ocorrer eventos de florações de algas (cianobactérias) no trecho de interesse.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou uma avaliação dos possíveis impactos sobre a qualidade da água devido à instalação da UHE-Mauá. O trecho de estudo abrangeu o rio Tibagi e sub-bacias no trecho entre a seção de barramento da UHE e a captação de água bruta da SANEPAR em Londrina.

A metodologia utilizada no estudo representa uma abordagem integrada de monitoramento e modelagem da qualidade da água. Foram realizadas 4 campanhas de qualidade da água ao longo do rio Tibagi e tributários em três condições distintas de vazões, a saber: vazão baixa, média e elevada. A etapa de monitoramento da qualidade da água subsidiou as atividades de modelagem da qualidade da água, tanto para calibração do modelo QUAL2k e seu ajuste ao cenário atual, quanto para os cenários de qualidade da água considerada a influência da UHE-MAUA no trecho de interesse. Além destas atividades, foram realizados levantamentos topobatimétricos para a melhor representação da hidráulica do sistema no modelo. A atividade recém mencionada e o monitoramento atuaram de forma decisiva para a diminuição das incertezas na atividade de modelagem da qualidade da água e aumento da confiabilidade do modelo.

Com base nas campanhas de qualidade da água, conclui-se as águas do rio Tibagi, no trecho entre a UHE Mauá e Londrina, possuem características de Classe 2, segundo a Resolução CONAMA 357/05, para todas as variáveis amostradas nos cenários de vazões baixa e média, com exceção do ponto próximo a UHE-Mauá, onde foram observadas concentrações levemente superiores à classe 2 para as variáveis fósforo total e coliformes fecais provavelmente devido ao lançamento de efluentes domésticos da cidade de Telêmaco Borba.

Na condição de vazão elevada, a variável PT esteve acima do limite da Classe 2 em todos os pontos amostrais do rio Tibagi e alguns afluentes. Este incremento na concentração de fósforo total durante a vazão elevada ocorreu em função do carreamento de materiais da bacia pela chuva intensa ocorrida no início do mês de agosto 2011. Devido a este carreamento de particulados e constituintes dissolvidos da bacia, variáveis da série de nitrogênio (NT, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>), DBO e DQO também sofreram incrementos, porém insuficientes para causar alterações de classe. Em suma, apesar do incremento na concentração de PT em função de material carreado, principalmente

particulado para o caso do fósforo total, as cargas da bacia durante o período chuvoso não foram suficientes para causar alterações significativas na qualidade da água do rio Tibagi e afluentes, o que corrobora o enquadramento de classe 2 proposto atualmente para este trecho do rio.

Em relação à modelagem da qualidade da água, primeiramente, de uma maneira geral, conclui-se que o modelo QUAL2K foi bem sucedido em reproduzir as concentrações das variáveis de qualidade da água medidos nos pontos de amostragem do rio Tibagi para as três condições de disponibilidades hídricas contempladas. Neste aspecto deve-se ressaltar que a complexidade do sistema simulado foi bem representada por meio simplificações e limitações inerentes de modelos matemáticos.

As projeções avaliadas somaram 12 cenários de qualidade da água para a vazão de saída do reservatório da UHE-MAUA. Os resultados obtidos indicam que a manutenção da qualidade da água do reservatório dentro das classes 1 a 4 do IQAR não causam impactos significativos na qualidade da água no trecho do rio Tibagi que se estende do barramento até a seção de captação de água bruta de Londrina. Em todos os cenários de vazão e IQAR simulados, as variáveis DBO, OD, Nitrato, nitrogênio amoniacal, fósforo total e clorofila-a se atendem a os limites da Classe 2, segundo a resolução 357/05 do CONAMA, ao longo do trecho de interesse. Portanto, pode-se concluir que, segundo os resultados da modelagem, não haverá comprometimento dos usos múltiplos do recurso hídrico e abastecimento público no ponto de captação da SANEPAR em Londrina, mesmo que ocorram alterações na qualidade da água a montante do sistema que resultem em uma Classe 4 segundo o IQAR.

Vale salientar ainda que, além do processo natural de sedimentação de partículas que ocorre em reservatórios, o qual promove uma relativa melhora na qualidade da água, ocorrerá também uma diluição do reservatório durante condições de vazão média e, principalmente, elevada, atuando a favor da qualidade da água no sistema e, por conseguinte, na vazão de saída do reservatório. Durante estas condições de disponibilidade especula-se também que as principais saídas de água do reservatório ocorrerão através das turbinas e vertedores. Estas estruturas localizam-se em pontos favoráveis, de menor profundidade, aproximadamente 25 m acima do fundo, o que impede a captação de águas com concentrações de oxigênio dissolvido próximas da

anoxia. Além disso, condições hidráulicas e hidrológicas do trecho de 122,0 km atuam em favor da areação e recuperação dos padrões desejáveis para o curso d'água.

Para a condição de vazão baixa, entretanto, o modelo mostrou que os tributários, com destaque para a sub-bacia do Ribeirão das Antas, desempenham um importante papel na diluição do rio Tibagi nos períodos de estiagem, situações em que a vazão ecológica representa o único fluxo efluente da UHE. Embora os períodos de estiagem representem situações críticas de qualidade da água, o modelo mostrou que para a condição de vazão baixa avaliada, o fluxo dos tributários torna-se extremamente relevante para a rápida autodepuração do rio Tibagi no trecho inicial a jusante do barramento em cenários críticos de qualidade da água (IQAR 4).

Por fim, deve-se destacar que a técnica de modelagem matemática é uma ferramenta amplamente utilizada em estudos e avaliações de Impacto Ambiental, porém, os resultados obtidos com essa técnica representam as tendências do ambiente ajustado e não seus valores reais. Portanto, embora os resultados apresentados levem em consideração um erro médio percentual em relação as informações observadas, os dados de saída do modelo não devem ser tomados como valores absolutos, uma vez que os condicionantes da natureza são de difícil previsão.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se o contínuo monitoramento da qualidade da água do trecho entre a UHE e a captação de Londrina inserindo pontos de amostragem logo a jusante nas proximidades da UHE-MAUA. Uma operação adequada do reservatório também deve ser buscada a fim de manter condições favoráveis de qualidade da água. Além disso, no caso de eutrofização do reservatório da UHE Mauá, já existem no mercado brasileiro remediadores ambientais inócuos ao ambiente aquático capazes de reverter processos de eutrofização e controlar florações de cianobactérias, como o produto Phoslock® ([www.phoslock.com.br](http://www.phoslock.com.br)). Este produto consiste em uma argila ionicamente modificada capaz de adsorver >94% do nutriente ortofosfato da massa da água e tamponar influxos de fosfatos da sedimento (FINKLER FERREIRA & MOTTA MARQUES, 2009). O Phoslock é aplicado sobre a superfície do corpo hídrico, com uma embarcação, e ao sedimentar rapidamente na coluna da água, estabelece uma ligação iônica permanente com o íon  $\text{PO}_4^{-3}$  em um amplo gradiente de pH (4-11) e sob condições anóxicas. Em função da possível redução da concentração de  $\text{PO}_4^{-3}$  a valores inferiores a 0,03 mg/L, o crescimento excessivo de algas é limitado, possibilitando a recuperação de outros grupos fitoplanctônicos e, conseqüentemente, a reestruturação da teia trófica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOYD, C. E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Alabama. 482p.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CHAPRA, S. C. Surface water quality modeling. New York: McGraw-Hill, 844p, 1997.
- CHAPRA, S.C., PELLETIER, G.J., TAO, H. QUAL2K: A Modeling Framework for Simulating River and Stream Water Quality, Version 2.04: Documentation and Users Manual. Civil and Environmental Engineering Dept., Tufts University, Medford, MA, 2006.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). 2007. Variáveis de qualidade de água e dos sedimentos. In: Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo. Série relatórios.
- DA SILVA, J.M., ALMEIDA, V.L.S.; FUENTES, E.V.; CORDEIRO – ARAÚJO, M.K.; MOURA, A.N. e SEVERI, W. 2008. Diversidade da fitoflora no reservatório de Itaparica, Região Nordeste, Brasil.
- ESTEVES, F.A. 1998. Fundamentos de limnologia. Interciência. 2ª ed., Rio de Janeiro, 602p.
- FINKLER FERREIRA, T.; FRAGOSO JR., C. R.; MARQUES, D. da MOTTA. 2009. Efeitos da Liberação de Nutrientes por Plantas Aquáticas na Dinâmica de Estados Alternativos da Comunidade Fitoplanctônica em um Lago Raso Subtropical. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 13, p. 151-160,
- FINKLER FERREIRA, T. & MOTTA MARQUES, D.M.L (2009). Aplicação de Phoslock para remoção de fósforo e controle de cianobactérias tóxicas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 14, 73-82

- FRAGOSO, C.R., FINKLER FERREIRA, T. MOTTA MARQUES, D.M.L. (2009) Modelagem Ecológica em Ecossistemas Aquáticos. São Paulo: Oficina de Textos, 304p.
- IAP - Instituto Ambiental do Paraná. Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do Estado do Paraná, no período de 1999 a 2004. Curitiba/PR, 2004.
- LACTEC – Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Plano de Limpeza da Bacia de Acumulação da UHE- Mauá – Simulação do Enchimento do Reservatório. Centro de Hidráulica e Hidrologia, Curitiba/PR, 46p, 2011.
- LACTEC - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Previsão de possíveis impactos na qualidade da água do rio Tibagi, após a construção da UHE Mauá – Modelagem da qualidade da água, Curitiba/PR, 43p, 2009.
- PERERA, R. P.; JOHNSON, S. K. & LEWIS, D. H. 1997. Epizootiological aspects of *Streptococcus iniae* affecting tilapia in Texas. *Aquaculture* 152, 25–33.
- SCHEFFER, M. 1998. Ecology of shallow lakes. Londres: Chapman & Hall, 357p.
- SCHRÖDER, R. 1991. Relevant parameters to define the trophic state of lakes. *Arch. Hydrobiol. Stuttgart*, 121 - 4:463 - 472.
- SCHRÖDER, R. 1991. Relevant parameters to define the trophic state of lakes. *Arch. Hydrobiol. Stuttgart*, 121 - 4:463 - 472.
- SIPAÚBA-TAVARES LH, 1995. Limnologia aplicada a aquicultura. FUNEP/UNESP, Boletim Técnico n. 1, São Paulo, 72p.
- WELLS, S. A. Surface Water Hydrodynamic and Water Quality Models: Use and Misuse. 26rd Annual Water Law Conference. San Diego, CA, 10p., 2005.
- WETZEL, R. G. Limnology: lake and river ecosystems. 3. ed. California: Academic Press, 2001.
- WETZEL, R.G. & LIKENS G.E. 1991. Limnological Analyses. 2 ed.. Springer-Verlag. 391p.



**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**  
**Estudo de Modelagem da Qualidade da Água no rio Tibagi,**  
**no trecho sob influência da UHE-Mauá (PR)**



## **ANEXO A.1**

### **Levantamento Topobatimétrico**

## **A.1. Levantamento topobatimétrico**

Os trabalhos de campo tiveram início no dia 16/03, a jusante da casa de força da UHE Mauá, e estenderam-se até o dia 27/03. Da metade montante do trecho em estudo, o deslocamento da equipe foi realizado por terra por motivos de segurança. Para a metade a jusante, o deslocamento foi realizado por água com o apoio de uma equipe de terra.

Na calha do rio Tibagi, especificamente, no trecho a jusante do Barramento da UHE-Mauá até a tomada d'água em Londrina, realizou-se o levantamento de 21 seções topobatimétricas ao longo de um trecho de aproximadamente 122,0 Km.

Para as simulações de qualidade da água serão utilizadas no mínimo 40 seções transversais, obtidas neste estudo e no anterior.

### **A.1.1. Metodologia**

As seções foram realizadas buscando uma distribuição equidistante de 6 Km ao longo do trecho de 122 Km. Entretanto, em função da ocorrência freqüente de corredeiras e dificuldade de acesso ao rio, algumas seções não puderam ser realizadas exatamente dentro deste intervalo amostral.

O levantamento de 21 (vinte e uma) seções batimétricas esteve atrelado a três referências de níveis altimétricos (RRNN's) oficiais do IBGE, rastreados em campo: um existente junto ao barramento em construção, e outros 2 distribuídos ao longo do trecho, a jusante da UHE-Mauá. RRNN são referências de níveis altimétricos oficiais utilizadas para associar levantamentos topobatimétricos aos sistemas geográficos existentes.

Para a execução dos levantamentos, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Barco com motor de popa de 15 hp;
- Camionete 4x4;
- GPS Trimble R6;
- Ecobatímetro pontual Garmin;
- Estação Total Topcon;

O levantamento das seções foi executado com o apoio de um cabo hidrométrico (Foto A.1.1), perpendicular ao rio. Ao longo da seção, com o auxílio do barco, assegurava-se a posição transversal do cabo em relação às margens.

Na extremidade de um bastão topográfico foi fixada a sonda do ecobatímetro (Foto A.1.2). A distância foi mensurada através de um teodolito (Foto A.1.3) com apoio da Estação total (Foto 3.1.4). Assim, a altimetria e profundidade eram repassadas por rádio para a estação total. Em todas as seções o levantamento foi vinculado a um dos pontos conhecidos. O posicionamento e o azimute, com rastreamento de satélites de GPS e Glonass, foram determinados com base em um período de no mínimo 1 hora.



Foto A.1.1. Cabo hidrométrico utilizado para delimitação da seção transversal.

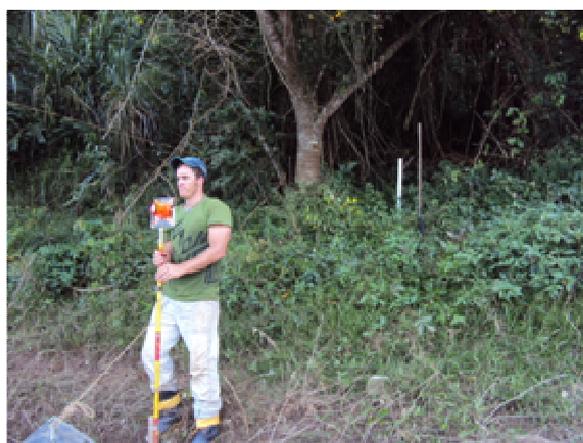


Foto A.1.2. Sonda do ecobatímetro fixada ao bastão topográfico.

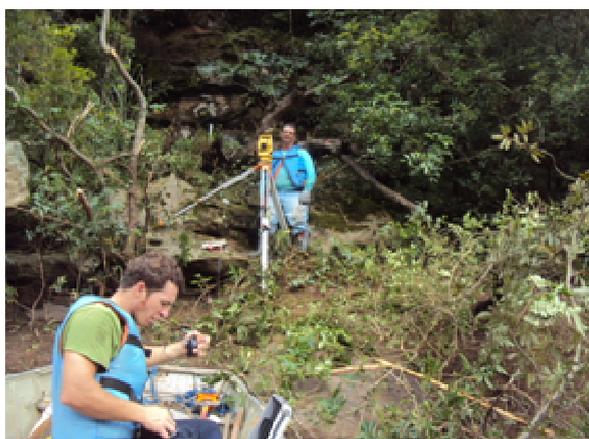


Figura A.1.3. Medição através do teodolito.



Figura A.1.4. Estação total situada às margens do rio Tibagi.



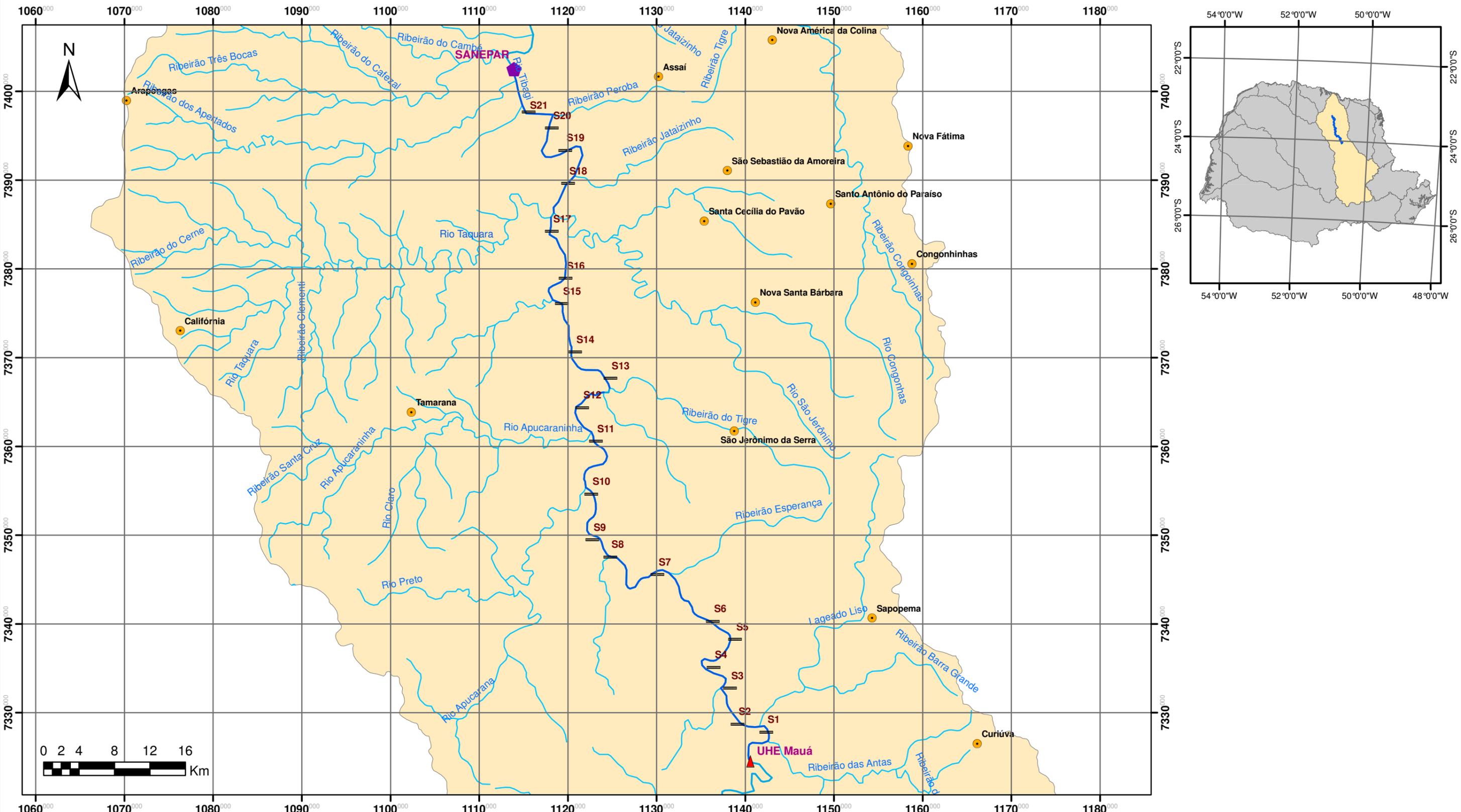
**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**  
**Estudo de Modelagem da Qualidade da Água no rio Tibagi,**  
**no trecho sob influência da UHE-Mauá (PR)**



A Tabela A.1.1 apresenta a localização geográfica das seções transversais levantadas no presente estudo. A Prancha A.1.1 apresenta a localização das seções ao longo do trecho de interesse do rio Tibagi.

Tabela A.1.1. Coordenadas em SAD-69 das seções levantadas.

<b>Seção</b>	<b>Norte</b>	<b>Leste</b>	<b>Altitude (m)</b>
S1	7342254	531436.1	529.48
S2	7343007	528151.9	505.66
S3	7347014	527142.9	496.77
S4	7349277	525217.4	500.97
S5	7352505	527482.5	497.29
S6	7354413	524907.7	490.97
S7	7359371	518469.5	472.80
S8	7361134	513105.1	460.15
S9	7362966	511020.2	453.62
S10	7368081	510662.5	446.50
S11	7374038	510951.3	449.77
S12	7377724	509236.3	427.41
S13	7381147	512270.2	427.07
S14	7383926	508189.3	437.65
S15	7389270	506475.8	424.36
S16	7392130	506773.5	427.86
S17	7397348	505013.5	417.31
S18	7402754	506606.8	423.01
S19	7406473	506136.4	494.85
S20	7408922	504529.5	383.85
S21	7410021	502357.3	379.18



**LEGENDA**

- Bacia Rio Tibagi
- Recursos Hídricos
- Sedes Municipais
- Rio Tibagi
- Seções transversais
- Trecho simulado



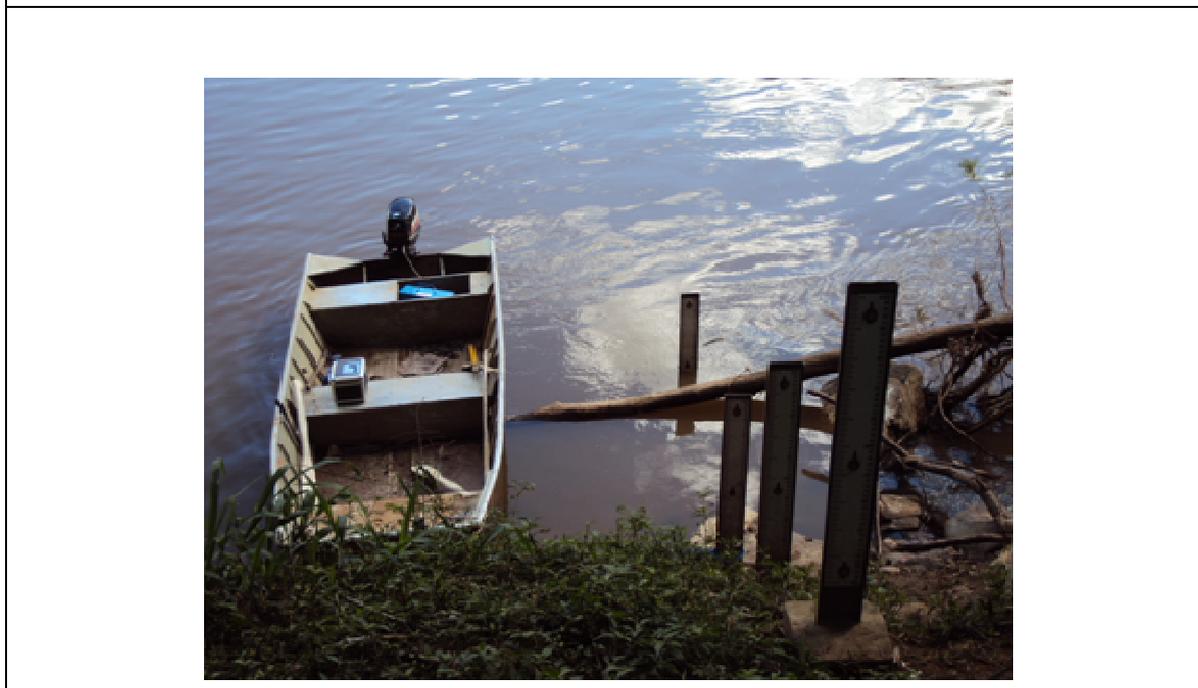
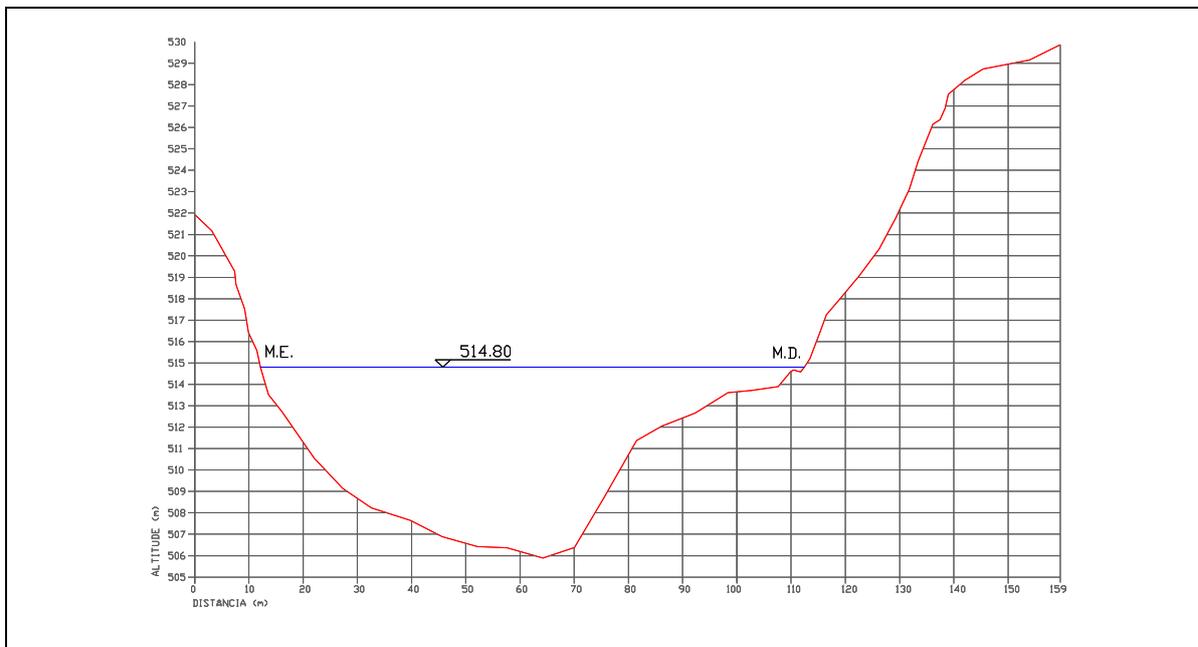
**PREVISÃO DE POSSÍVEIS IMPACTOS NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO TIBAGI APÓS A CONSTRUÇÃO DA UHE MAUÁ**



Unidade:	METRO	<b>ASSUNTO</b>	Prancha
Data:	MAI/2011	<b>LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES TRANVERSAIS</b>	<b>3.1.1</b>
			Escala:

### A.1.2. Resultados – Seções Transversais

Na sequência, é apresentado o detalhamento e registro fotográfico das 21 seções transversais realizadas neste estudo. No anexo são apresentadas as coordenadas dos pontos de medição das seções transversais.



<b>Nome:</b> Seção 01 – S01	<b>Data do levantamento:</b> 16/03/2011, 15:35 hrs
<b>Altitude:</b> 529.48 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7342254 N, 531436 E	

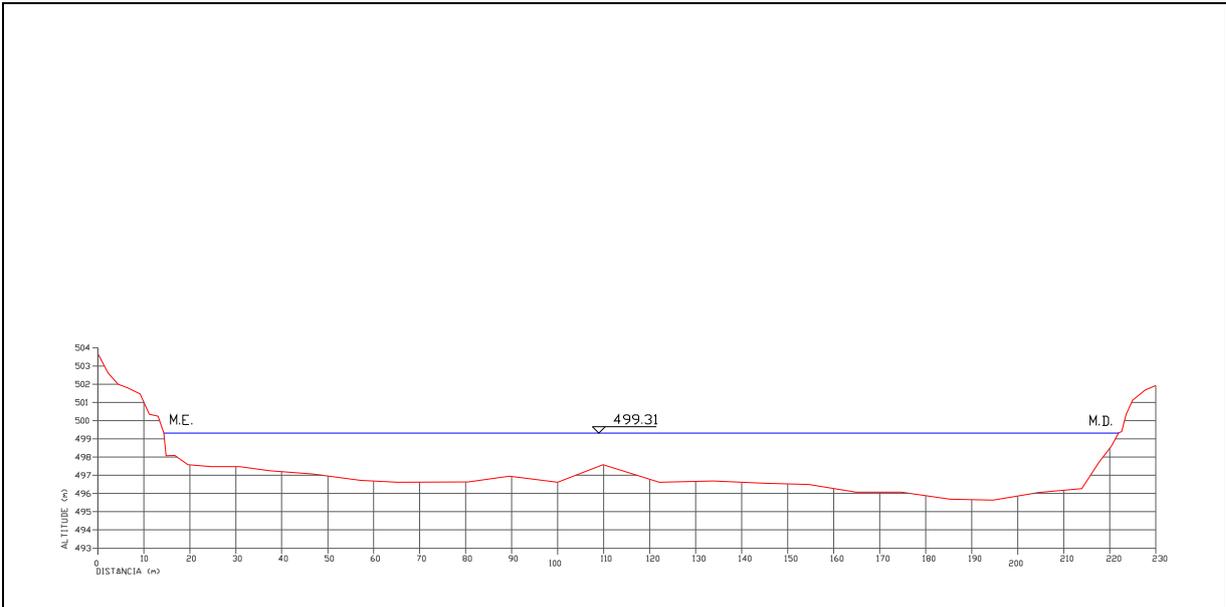


**Nome:** Seção 02 – S02

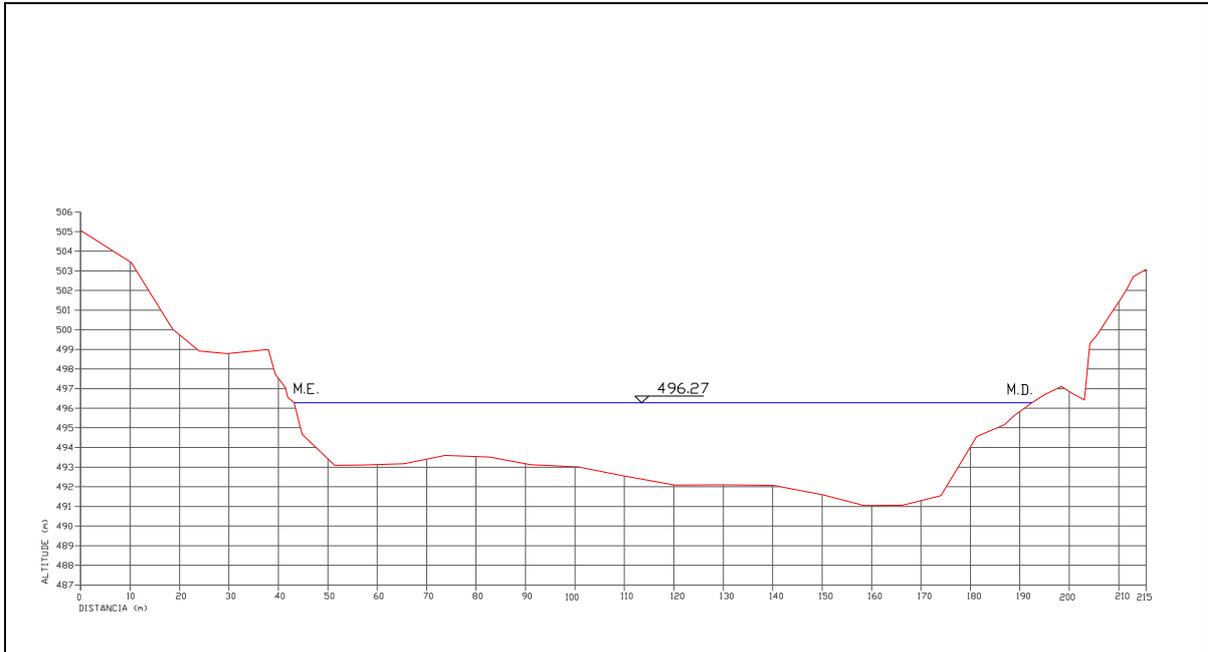
**Data do levantamento:** 17/03/2011, 11:16 hrs

**Altitude:** 505.66 metros

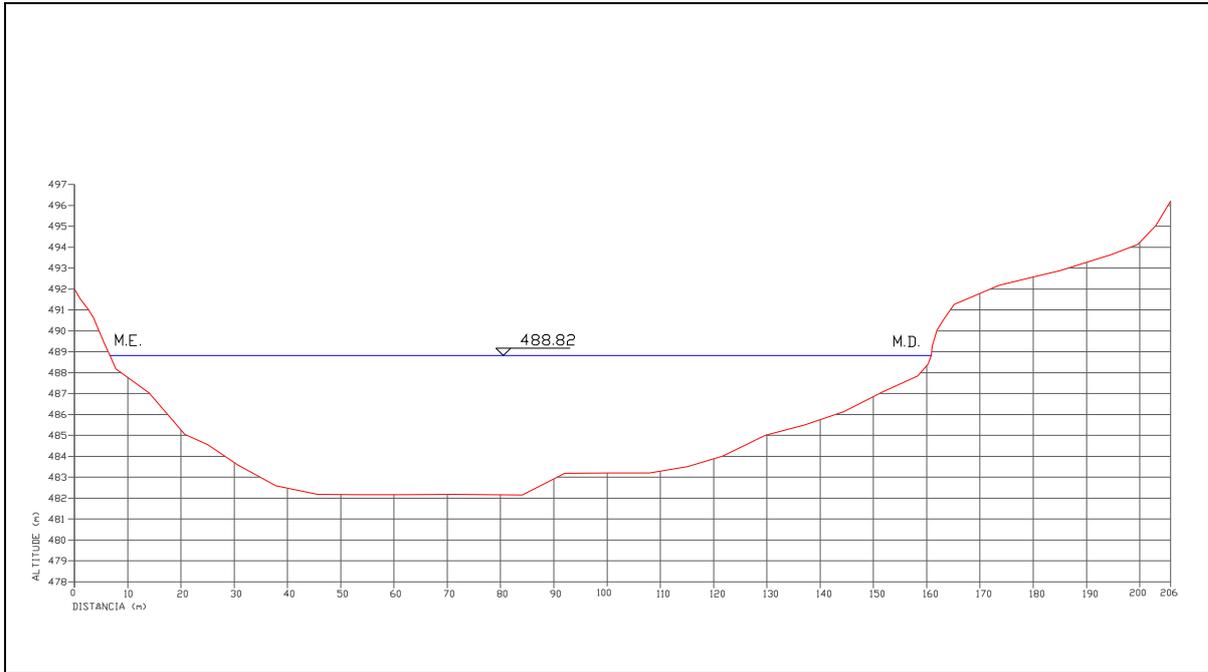
**Localização (UTM):** 7343007 N, 528151 E



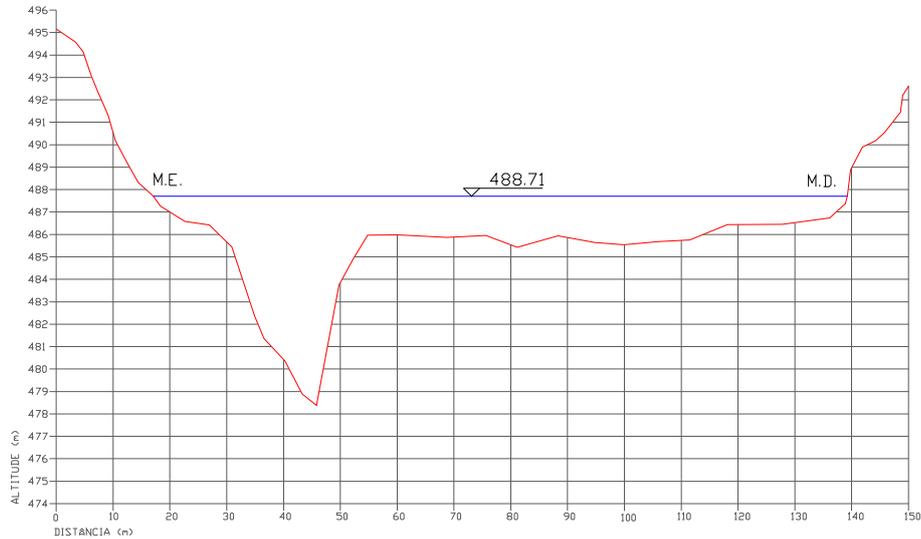
<b>Nome:</b> Seção 03 – S03	<b>Data do levantamento:</b> 18/03/2011, 07:28 hrs
<b>Altitude:</b> 496.77 metros	 CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS & RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS
<b>Localização (UTM):</b> 7347014 N, 527142 E	



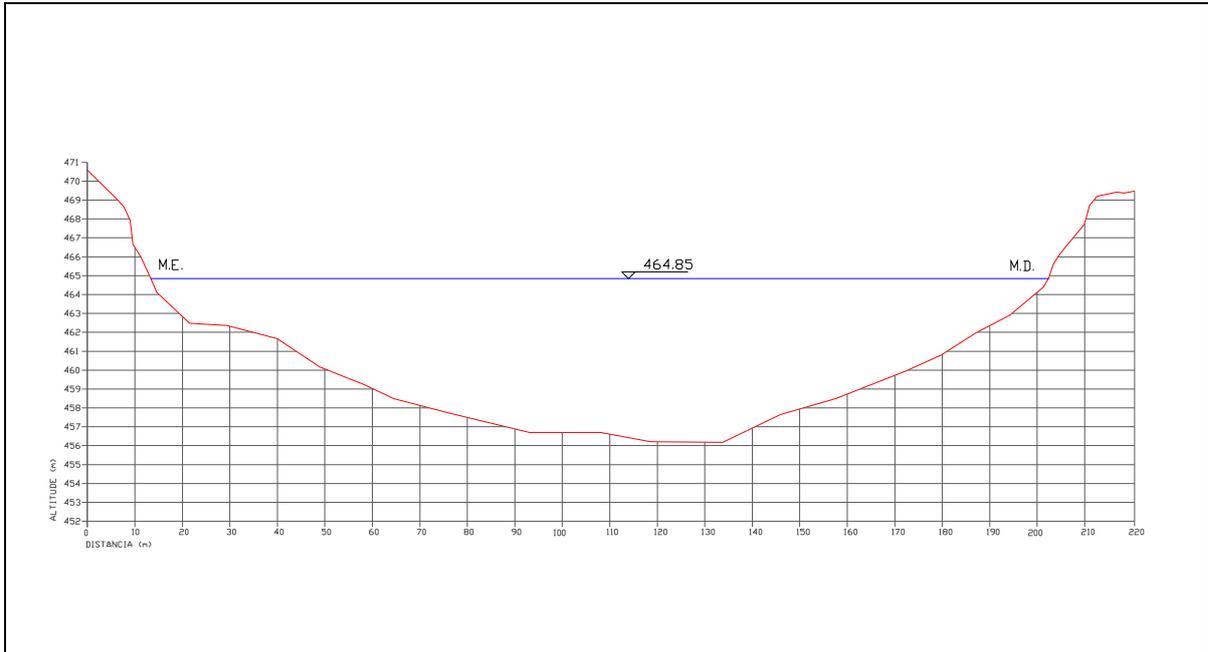
<b>Nome:</b> Seção 04 – S04	<b>Data do levantamento:</b> 18/03/2011, 09:14 hrs
<b>Altitude:</b> 500.97 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7349277 N, 525217 E	



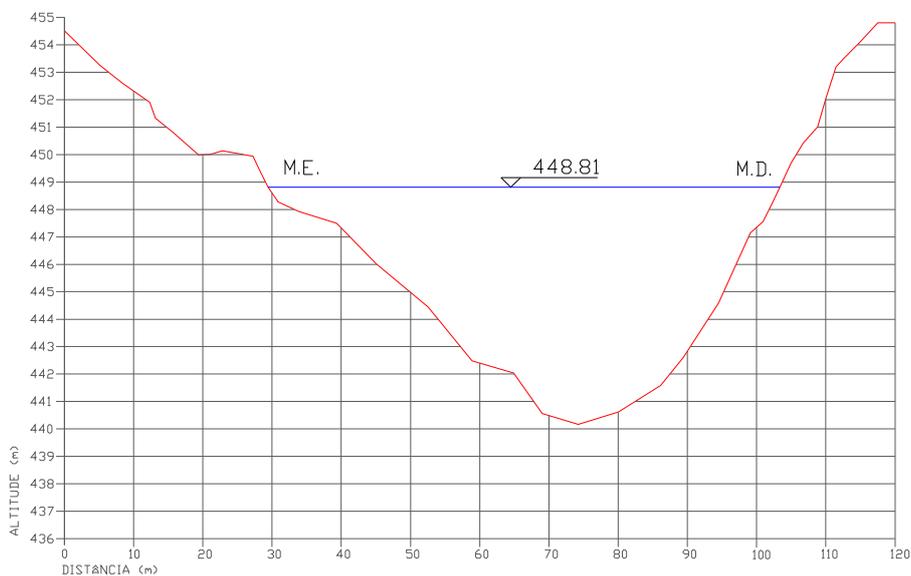
<b>Nome:</b> Seção 05 – S05	<b>Data do levantamento:</b> 18/03/2011, 15:23 hrs
<b>Altitude:</b> 497.29 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7352505 N, 527482 E	



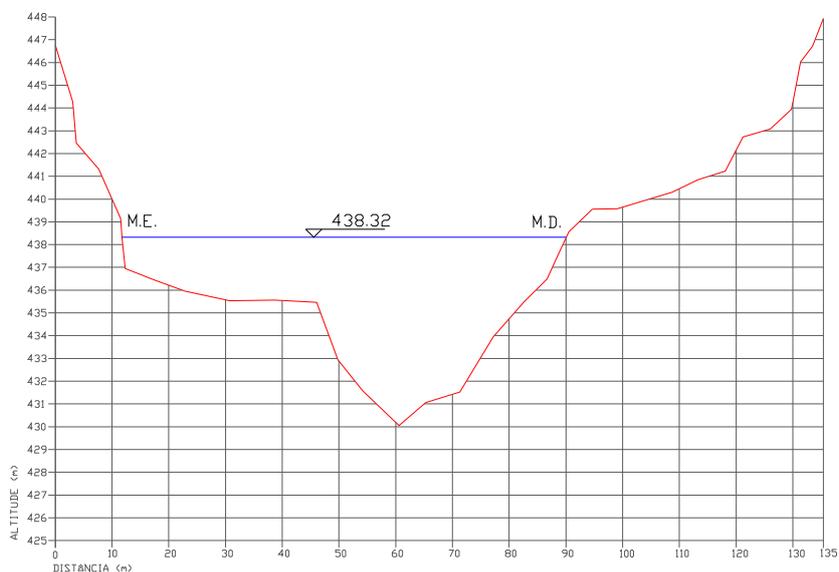
<b>Nome:</b> Seção 06 – S06	<b>Data do levantamento:</b> 20/03/2011, 16:43 hrs
<b>Altitude:</b> 490.97 metros	 CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS & RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS
<b>Localização (UTM):</b> 7354413 N, 524907 E	



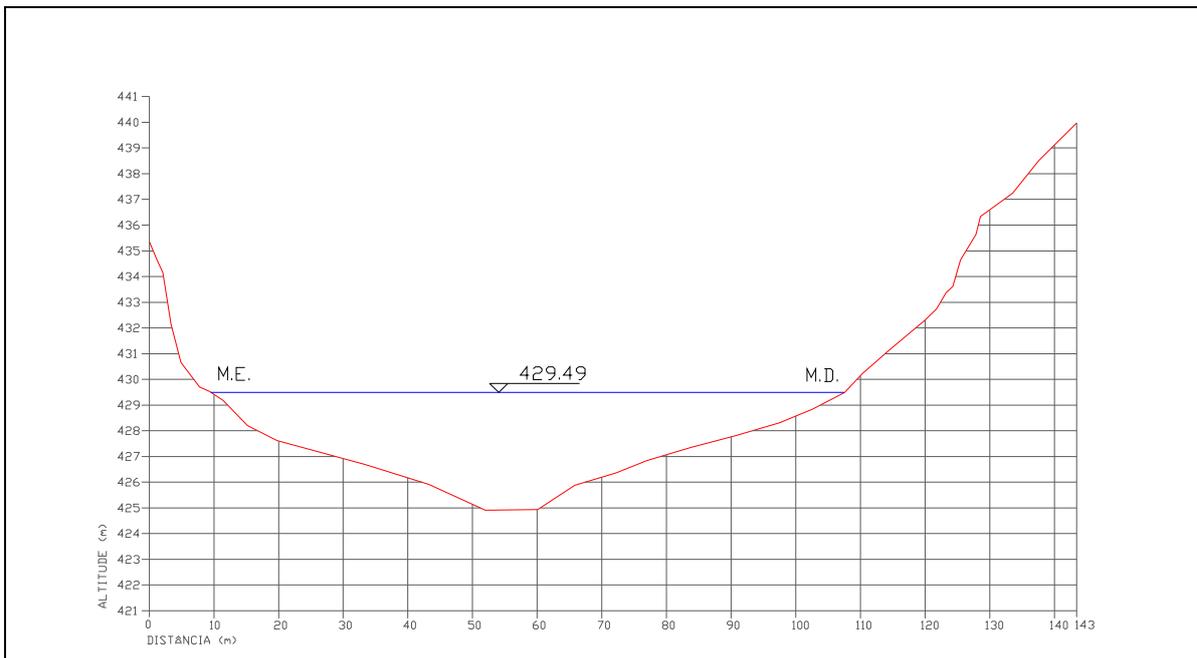
<b>Nome:</b> Seção 07 – S07	<b>Data do levantamento:</b> 21/03/2011, 11:41 hrs
<b>Altitude:</b> 472.80 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7359371 N, 518469 E	



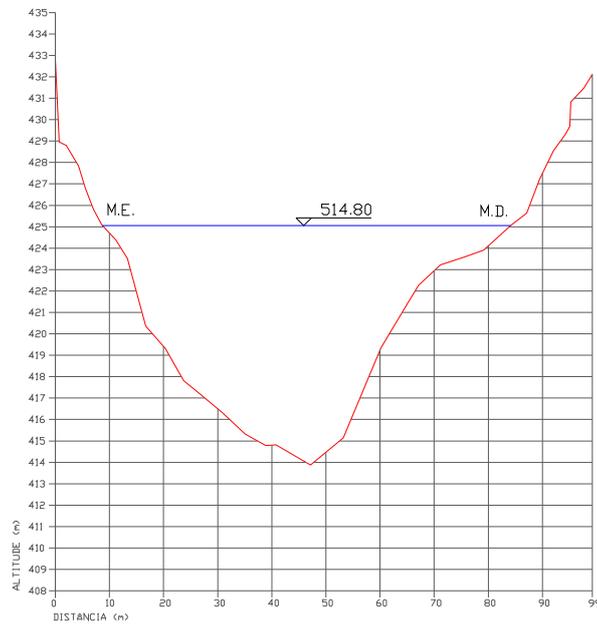
<b>Nome:</b> Seção 08 – S08	<b>Data do levantamento:</b> 22/03/2011, 13:54 hrs
<b>Altitude:</b> 460.15 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7361134 N, 513105 E	



<b>Nome:</b> Seção 09 – S09	<b>Data do levantamento:</b> 22/03/2011, 16:08 hrs
<b>Altitude:</b> 453.62 metros	 CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS & RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS
<b>Localização (UTM):</b> 7362966 N, 511020 E	



<b>Nome:</b> Seção 10 – S10	<b>Data do levantamento:</b> 23/03/2011, 16:17 hrs
<b>Altitude:</b> 446.50 metros	<p>CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS &amp; RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS</p>
<b>Localização (UTM):</b> 7368081 N, 510662 E	

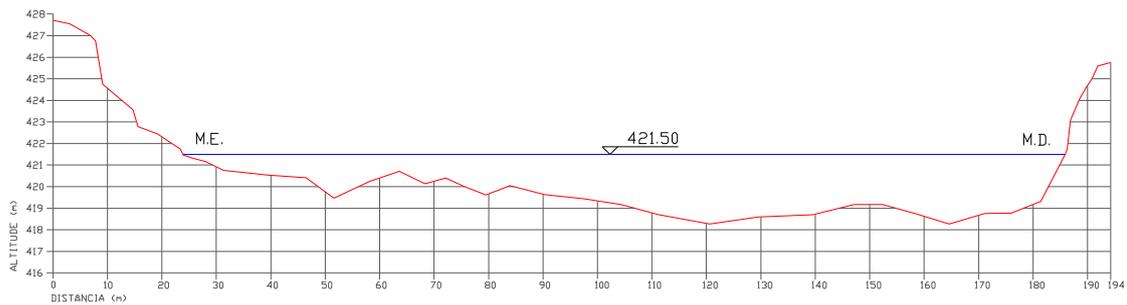


**Nome:** Seção 11 – S11

**Data do levantamento:** 24/03/2011, 08:13 hrs

**Altitude:** 449.77 metros

**Localização (UTM):** 7374038 N, 510951 E

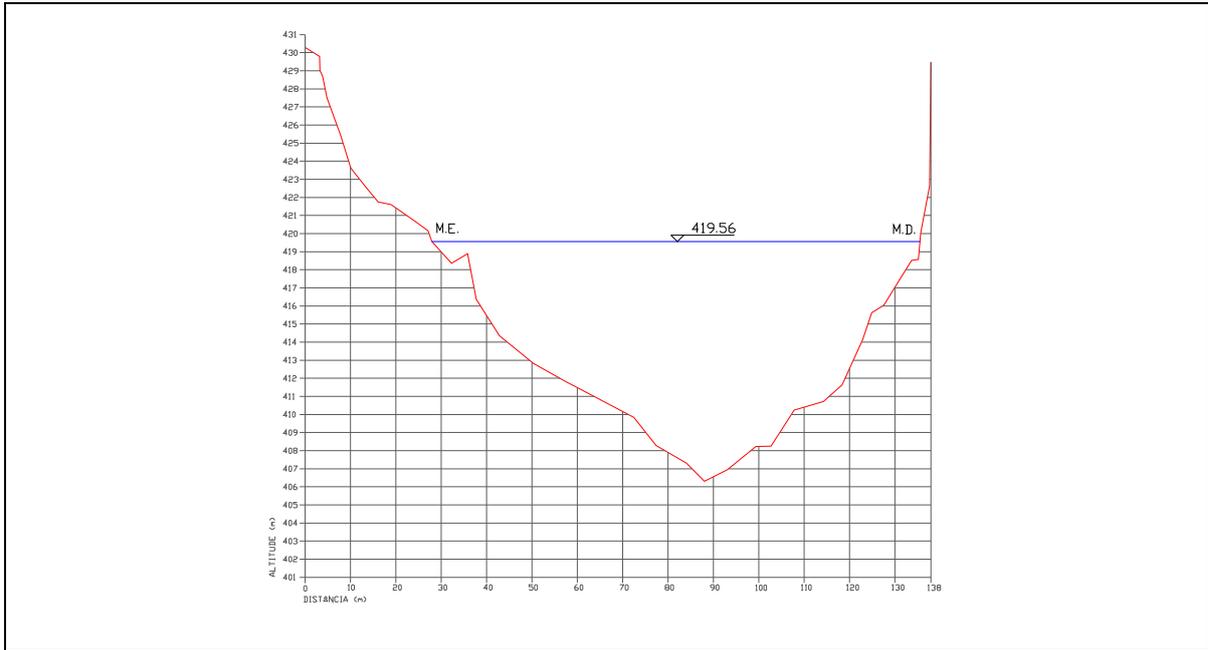


**Nome:** Seção 12 – S12

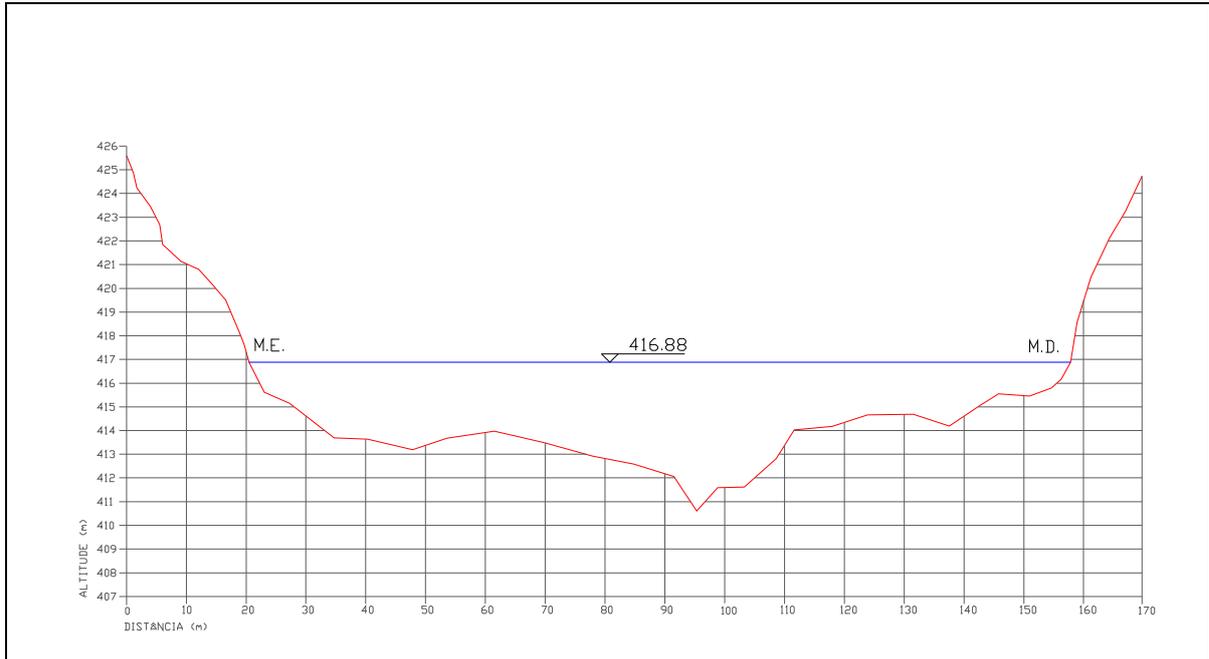
**Data do levantamento:** 24/03/2011, 10:13 hrs

**Altitude:** 427.41 metros

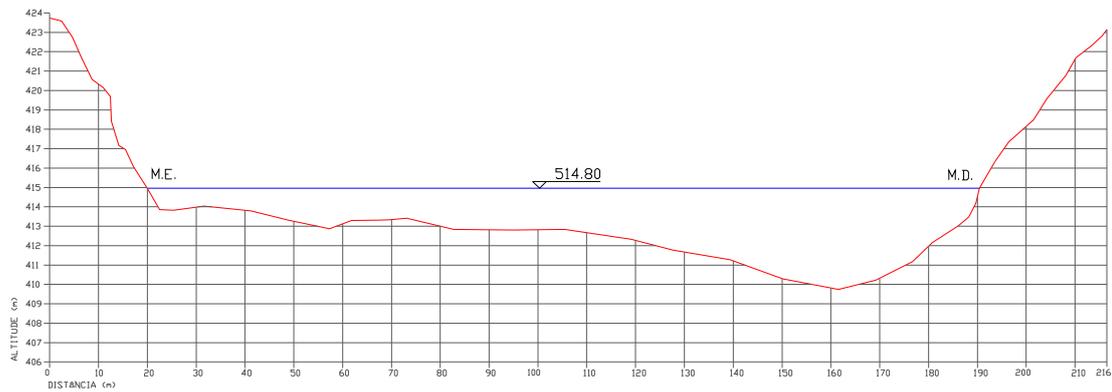
**Localização (UTM):** 7377724 N, 509236 E



<b>Nome:</b> Seção 13 – S13	<b>Data do levantamento:</b> 24/03/2011, 13:29 hrs
<b>Altitude:</b> 427.07 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7381147 N, 512270 E	



<b>Nome:</b> Seção 14 – S14	<b>Data do levantamento:</b> 24/03/2011, 15:11 hrs
<b>Altitude:</b> 437.65 metros	 <p>CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS &amp; RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS</p>
<b>Localização (UTM):</b> 7383926 N, 508189 E	

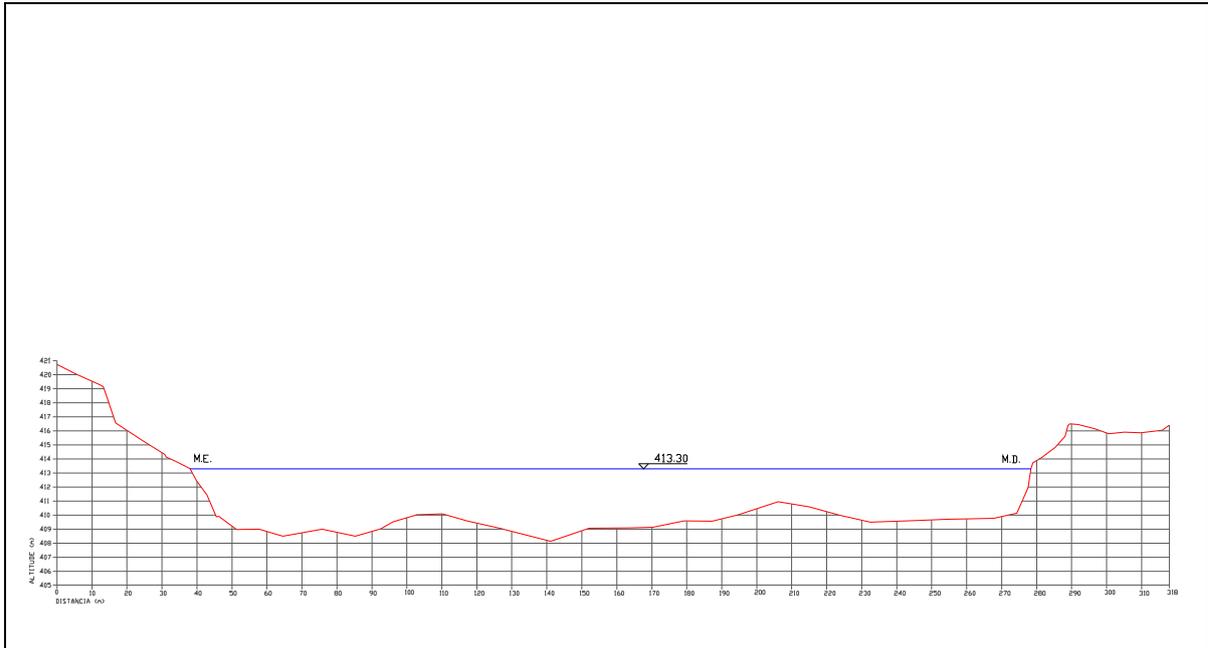


**Nome:** Seção 15 – S15

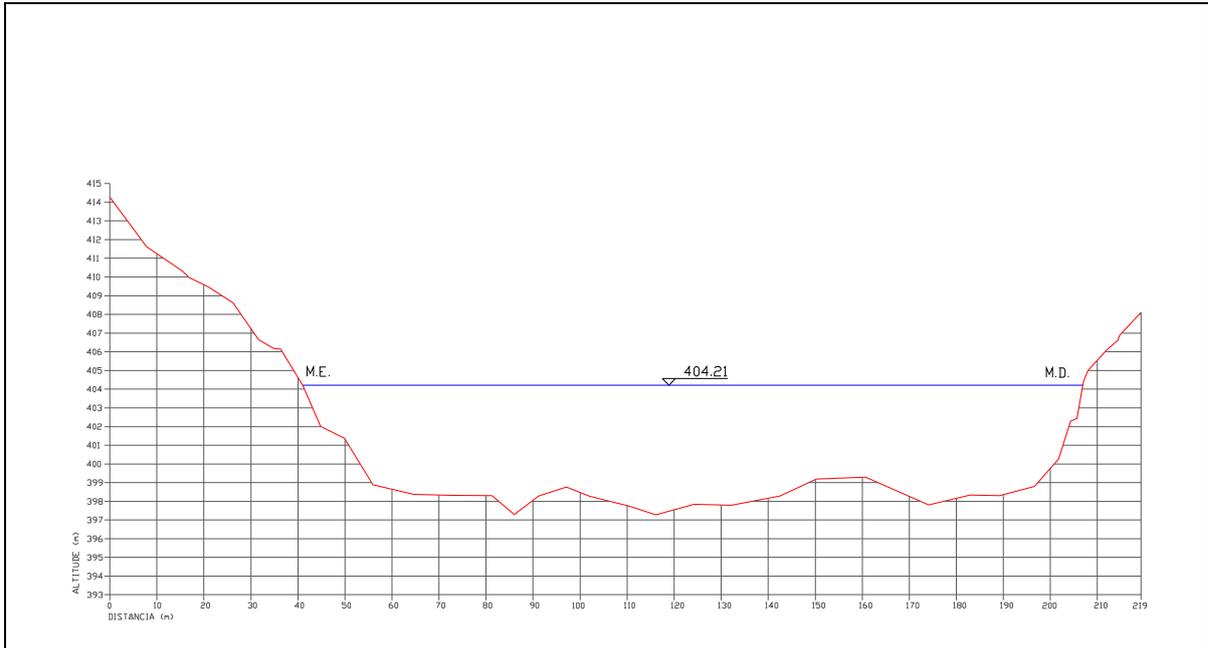
**Data do levantamento:** 25/03/2011, 08:04 hrs

**Altitude:** 424.36 metros

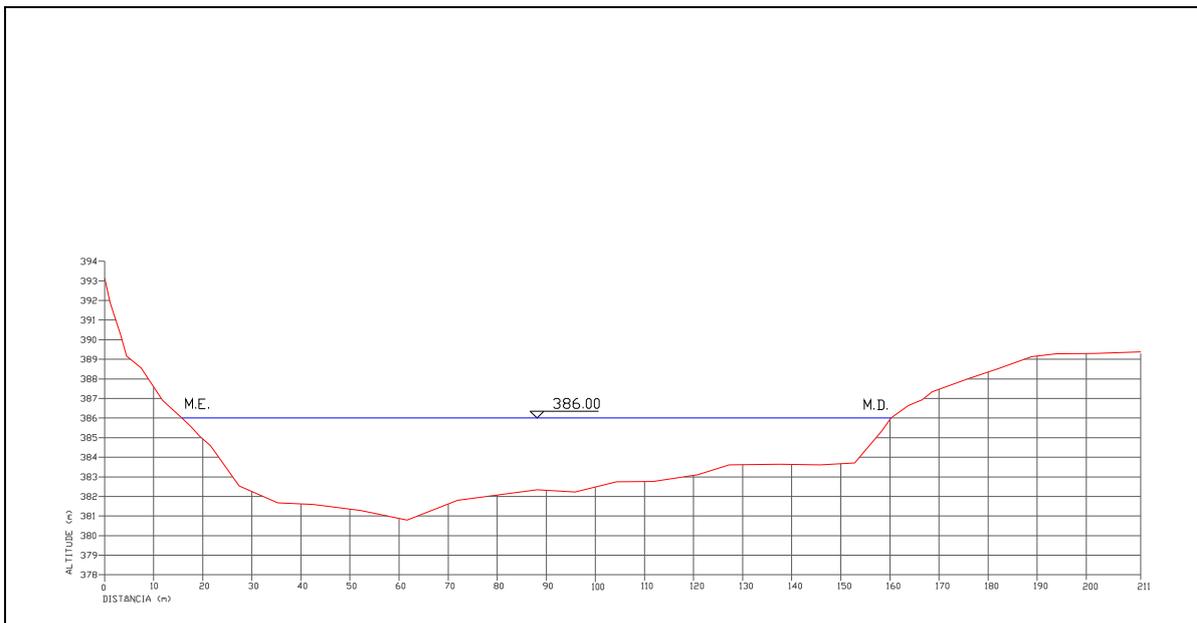
**Localização (UTM):** 7389270 N, 506475 E



<b>Nome:</b> Seção 16 – S16	<b>Data do levantamento:</b> 25/03/2011, 10:46 hrs
<b>Altitude:</b> 427.86 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7392130 N, 506773 E	



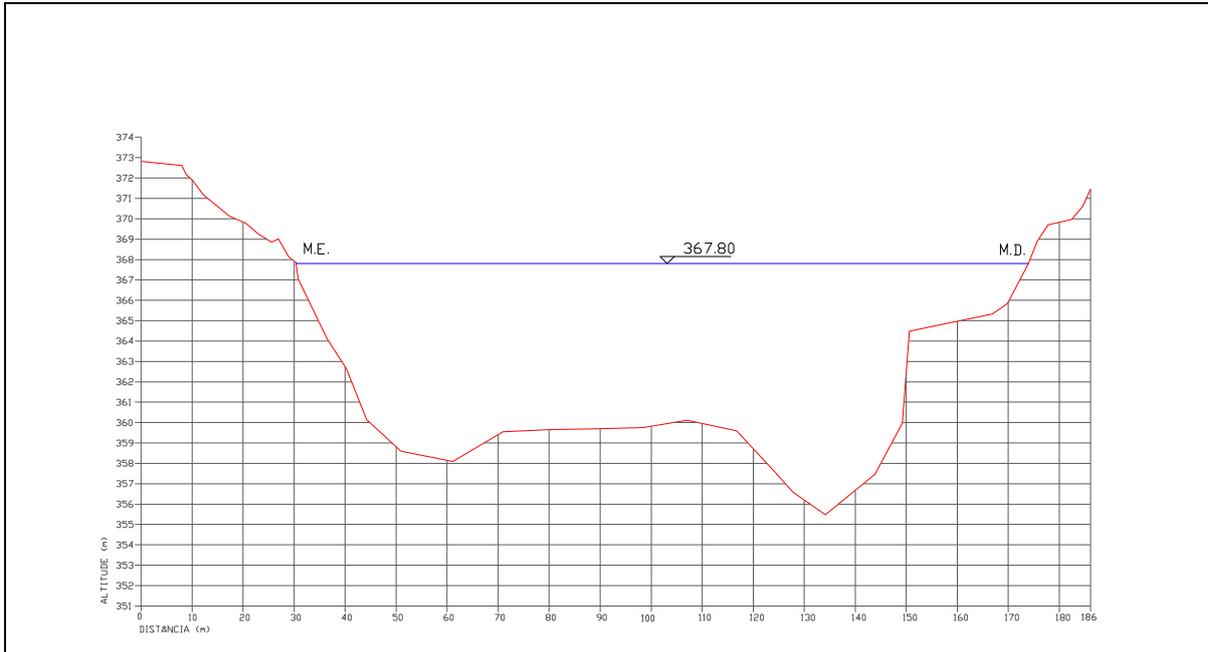
<b>Nome:</b> Seção 17 – S17	<b>Data do levantamento:</b> 25/03/2011, 13:09 hrs
<b>Altitude:</b> 417.31 metros	
<b>Localização (UTM):</b> 7397348 N, 505013 E	



<b>Nome:</b> Seção 18 – S18	<b>Data do levantamento:</b> 25/03/2011, 15:34 hrs
<b>Altitude:</b> 423.01 metros	<p>CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS &amp; RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS</p>
<b>Localização (UTM):</b> 7402754 N, 506606 E	



<b>Nome:</b> Seção 19 – S19	<b>Data do levantamento:</b> 26/03/2011, 09:20 hrs
<b>Altitude:</b> 417.31 metros	<p>CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS &amp; RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS</p>
<b>Localização (UTM):</b> 7406473 N, 506136 E	



<b>Nome:</b> Seção 21 – S21	<b>Data do levantamento:</b> 26/03/2011, 14:47 hrs
<b>Altitude:</b> 379.18 metros	 CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS & RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS
<b>Localização (UTM):</b> 7410021 N, 502357 E	



**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**  
**Estudo de Modelagem da Qualidade da Água no rio Tibagi,**  
**no trecho sob influência da UHE-Mauá (PR)**



## **ANEXO A.2**

### **Levantamento Fotográfico – Campanha Abril – Vazão Média**



Amostragem limnológica no Rio Tibagi, PCH P. Prudente (P 00).



Amostragem limnológica no rio Lajeado Liso (P02), afluente do rio Tibagi.



Levantamento limnológico no rio Apucarantina (P03), afluente do rio Tibagi



Amostragem limnológica no rio Tigre (P04), afluente do rio Tibagi



Amostragem limnológica no rio São Jerônimo (P05), afluente do rio Tibagi



Levantamento limnológico no rio Taquara (P06), afluente do rio Tibagi



Levantamento Limnológico no rio Tibagi- Cebolão (P07)



Levantamento limnológico no rio Apertados (P08) afluente do rio Tibagi



Amostragem limnológica no Rio Tibagi (P10) próximo à Sapopema.



**RELATÓRIO TÉCNICO FINAL**  
**Estudo de Modelagem da Qualidade da Água no rio Tibagi,**  
**no trecho sob influência da UHE-Mauá (PR)**



## **ANEXO A.3**

---

### **Levantamento Fotográfico – Campanha Junho – Vazão Baixa**



Amostragem limnológica no rio Tibagi em junho de 2011, no ponto 00, represa Presidente Vargas.



Levantamento limnológico no rio das Antas (P01), afluente do rio Tibagi, junho de 2011



Levantamento limnológico no rio Lajeado Liso (P02), afluente do rio Tibagi,  
junho de 2011



Amostragem limnológica no rio Tigre (P04), afluente do rio Tibagi



Amostragem limnológica no rio São Jerônimo (P05), afluente do rio Tibagi



Levantamento limnológico no rio Taquara (P06), afluente do rio Tibagi, junho de 2011



Levantamento Limnológico no rio Tibagi- Cebolão (P07), junho de 2011



Levantamento limnológico no rio Apertados (P08) afluente do rio Tibagi



Amostragem limnológica no Rio Tibagi (P10) próximo à município de Sapopema, junho de 2011.

## **ANEXO A.4**

### **Levantamento Fotográfico – Campanha Agosto – Vazão Elevada**



Amostragem em Sapopema – Rio Tibagi



Amostragem no Lajeado Liso – afluente margem direita



Amostragem no Ribeirão do Tigre— afluente margem direita



Amostragem no rio São Jerônimo– afluente margem direita



Amostragem na seção Captação da SANEPAR – Rio Tibagi



Amostragem no rio Apertados – afluente margem esquerda



Amostragem na seção do Cebolão – Rio Tibagi



Amostragem no rio Taquara – afluente margem esquerda



Amostragem no rio Apucarantina – afluente margem esquerda



# STYMMULAB S.A.

CONSULTORIA EM RECURSOS HÍDRICOS &  
RESTAURAÇÃO DE AMBIENTES AQUÁTICOS

Rua Joaquim Nabuco, 15/304  
Cidade Baixa CEP 90050-340 - Porto Alegre-RS  
Fone/Fax: (51) 3062.7549