

Avaliação do índice de qualidade
de água da represa Billings através
de técnicas de geoprocessamento

Giselle Schmidt Ragazzo

DISSERTAÇÃO APRESENTADA
AO
INSTITUTO DE MATEMÁTICA E ESTATÍSTICA
DA
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
MESTRE EM CIÊNCIAS

Programa: Matemática Aplicada
Orientador: Prof^a. Dr^a. Joyce da Silva Bevilacqua

Durante a elaboração deste trabalho o autor recebeu auxílio financeiro da CNPq.

São Paulo, março de 2009.

*Agradeço os meus pais,
Gilmar e Cristina e ao
meu amado noivo Ricardo
que sempre me incentiva-
ram e apoiaram na con-
clusão deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Instituto de Matemática e Estatística pela oportunidade de realizar meus estudos nessa instituição. Agradeço também ao CNPq por conceder bolsa no período de Setembro de 2005 a Setembro de 2007.

Aos meus pais Gilmar e Cristina pelo apoio e incentivo incondicional para a conclusão do Mestrado. Aos meus irmãos Joyce e Rafael pelo carinho e atenção que sempre demonstraram contribuindo para a continuidade dos meus estudos.

Ao meu noivo Ricardo, obrigada pela paciência, compreensão, atenção e confiança que sempre depositou em mim. Sem o seu apoio a conclusão dessa etapa de minha vida não seria possível.

A minha orientadora Prof^ª. Dr^ª. Joyce Bevilacqua por sua paciência ao longo desses anos, orientação, confiança mesmo nos momentos mais adversos que passamos e principalmente a amizade.

A Prof^ª. Dr^ª. Diana Hamburger responsável por meu primeiro contato com geoprocessamento e sempre disposta a transmitir seu enorme conhecimento nessa área.

Ao Prof. Benjamin Capellari devo uma co-orientação informal, auxiliando-me com as técnicas de geoprocessamento.

Ao Prof. Alexandre Saron por ceder os dados do Índice de Qualidade das Águas e de seus parâmetros para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Ao Centro Universitário SENAC por disponibilizar o laboratório de geoprocessamento para a execução do georreferenciamento das imagens de satélite.

A Carmen Lúcia da CETESB por me auxiliar esclarecendo questões relacionadas aos dados de autoria da CETESB.

Resumo

O objetivo desse trabalho é estudar a viabilidade de obter informações sobre a qualidade da água da Represa Billings através de imagens do Landsat 5. Técnicas de geoprocessamento foram utilizadas para identificar as correlações entre as variáveis limnológicas, coletados pela CETESB, que compõe o *Índice de Qualidade das Águas* - IQA e os valores digitais. Neste trabalho, foram construídas as linhas de tendência linear para os nove parâmetros do IQA, IQA e valores digitais. Para vários parâmetros foram observadas correlações acima de 0,85 na faixa espectral do visível, apesar da quantidade relativamente baixa de imagens e a falta de sincronismo entre as datas de aquisição dos dados da CETESB e as imagens de satélite, demonstrando a viabilidade da técnica.

Palavras-chave: geoprocessamento, IQA, Billings, métodos de aproximação, correlação

Abstract

The objective of this project is study the feasibility of obtaining information on water quality of Billings through images from Landsat 5. Techniques of geoprocessing were used to identify correlations between the limnological variables, collected by CETESB, that composes the *Water Quality Index* - WQI and the digital values. In this work, we constructed the linear trends for the nine parameters of WQI, WQI and digital values. For various parameters were correlated above 0,85 in the range of visible, despite the relatively low number of images and lack of synchronization between the dates of acquisition of data of CETESB and Satellite Images, demonstrating the feasibility of the technique.

Keywords: geoprocessing, WQI, Billings, approximation methods, correlation

Sumário

Lista de Abreviaturas	iv
Lista de Figuras	iv
Lista de Tabelas	viii
1 Contexto e Objetivos	1
1.1 Introdução	1
1.2 Caracterização da Área de Estudo	3
1.3 Pontos de coleta	4
1.4 Classificação das águas	7
1.5 Índice de Qualidade das Águas (IQA)	9
1.5.1 Coliformes Fecais (CF)	11
1.5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)	12
1.5.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	13
1.5.4 Nitrogênio Total (NT)	14
1.5.5 Fósforo Total (FT)	15
1.5.6 Temperatura (TMP)	16
1.5.7 Turbidez (TB)	16
1.5.8 Resíduo Total (RT)	17
1.5.9 Oxigênio Dissolvido (OD)	18
1.6 Imagens de Satélite	19
1.6.1 Estudos da Água através de Imagens de Satélites Artificiais	21
2 Materiais e Métodos	24
2.1 Análise dos Dados	24
2.1.1 Análise das Variáveis Limnológicas e do IQA	24
2.1.2 Análise do Impacto de Erros nos Dados de Coleta	26
2.1.3 Análise de Tendência das Variáveis Limnológicas	27

2.2	Georreferenciamento das Imagens de Satélite	27
2.3	Análise das Imagens de Satélite	29
3	Resultados	39
3.1	Sensibilidade do IQA e de suas Variáveis	39
3.2	Impactos na Classificação do IQA	43
3.2.1	Classificação do IQA para o ponto de coleta P_1	43
3.2.2	Classificação do IQA para o ponto de coleta P_2	44
3.2.3	Classificação do IQA para o ponto de coleta P_3	46
3.3	Análise de Tendência dos Parâmetros do IQA	47
3.3.1	Tendência dos Parâmetros para P_1	47
3.3.2	Tendência dos Parâmetros para P_2	48
3.3.3	Tendência dos Parâmetros para P_3	49
3.4	Séries Temporais das Imagens de Satélite	50
3.4.1	Análise dos Valores Digitais das Imagens	50
3.4.2	Análise de Tendência Linear das Imagens	51
4	Conclusão	56

Lista de Abreviaturas

P_1 Ponto de Coleta de Água número 1

P_2 Ponto de Coleta de Água número 2

P_3 Ponto de Coleta de Água número 3

CF Coliformes Fecais

DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio

FT Fósforo Total

IQA Índice de Qualidade das Águas

NT Nitrogênio Total

OD Oxigênio Dissolvido

pH Potencial Hidrogeniônico

RT Resíduo Total

TB Turbidez

TMP Temperatura

Lista de Figuras

1.1	Diagrama da metodologia	2
1.2	Bacia Hidrográfica da Billings (Fonte: ISA)	3
1.3	Empresa Henry Borden (Fonte: Emae)	3
1.4	Usina Elevatória de Pedreira	4
1.5	Usina Elevatória Traição	4
1.6	Regiões Prioritárias para Ação e Preservação da Bacia Billings	5
1.7	Pontos de Coleta estudados na Represa Billings	6
1.8	Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas (Fonte: CETESB)	10
1.9	Curva de Qualidade de CF	12
1.10	Curva de Qualidade do pH	13
1.11	Curva de Qualidade da DBO	14
1.12	Curva de Qualidade do NT	14
1.13	Curva de Qualidade do FT	15
1.14	Curva de Qualidade da TB	17
1.15	Curva de Qualidade do RT	18
1.16	Curva de Qualidade do OD	19
1.17	Imagem de 26 de março de 1996	20
1.18	Imagem de 21 de agosto de 2003	20
1.19	Curvas Espectrais de Diferentes Alvos	22
1.20	Banda 1	23
1.21	Banda 2	23
1.22	Banda 3	23
1.23	Banda 4	23
1.24	Banda 5	23
1.25	Banda 6	23
1.26	Banda 7	23
2.1	Exemplos de Dados Incompletos	31

2.2	Dados Interpolados com Valores Negativos	32
2.3	TB por Spline - P_3	32
2.4	TB por Interpolação Linear - P_3	33
2.5	Fósforo Total - P_1	33
2.6	Ilustração para a Análise de Variação Percentual	33
2.7	Exemplo de '.txt' gerado pelo Spring com valores de uma imagem nas Bandas 1, 2 e 3	34
2.8	Vizinhança do Pixel	34
2.9	Conjunto de Dados dos Valores Digitais para P_1	35
2.10	Conjunto de Dados dos Valores Digitais para P_2	36
2.11	Conjunto de Dados dos Valores Digitais para P_3	37
2.12	Aproximações Lineares Locais para a Banda 1 de P_2	38
2.13	Valores Digitais das Imagens de P_3	38
3.1	Gráfico da função IQA_1	40
3.2	Gráfico da função IQA_2	40
3.3	Gráfico da função IQA_3	40
3.4	Gráfico da função IQA_4	40
3.5	Gráfico da função IQA_5	40
3.6	Gráfico da função IQA_6	40
3.7	Gráfico da função IQA_7	40
3.8	Gráfico da função IQA_8	40
3.9	Dados Históricos de CF e Ajustes do MMQ para P_1	48
3.10	Dados Históricos de CF e Ajuste do MMQ para P_2	49
3.11	Dados Históricos de RT e Ajuste do MMQ para P_3	49
3.12	Valores Históricos das Imagens LANDSAT 5 para P_1	50
3.13	Valores Históricos das Imagens LANDSAT 5 para P_2	51
3.14	Valores Históricos das Imagens LANDSAT 5 para P_3	51
1	Séries Temporais obtidas por Interpolação Spline para P_3	65
2	Séries Temporais obtidas por Interpolação Linear para P_3	66
3	Séries Temporais obtidas por Interpolação Spline para P_1	67
4	Séries Temporais obtidas por Interpolação Linear para P_1	68
5	Séries Temporais obtidas por Interpolação Spline para P_2	69
6	Séries Temporais obtidas por Interpolação Linear para P_2	70
7	Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Linear para P_1	71

8	Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Linear para P_2	72
9	Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Linear para P_3	73
10	Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Spline para P_1	74
11	Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Spline para P_2	75
12	Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Spline para P_3	76

Lista de Tabelas

1.1	Pontos de coleta	6
1.2	Classificação das águas do Reservatório Billings CONAMA	7
1.3	Concentração limite das substâncias presentes em águas de <i>Classe 2</i> - Adaptação de CONAMA E CETESB	8
1.4	Concentração limite das substâncias presentes em águas de <i>Classe Especial</i> - Adaptação de CONAMA E CETESB	8
1.5	Classificação da qualidade da água através do IQA (Fonte: CETESB)	11
1.6	Resumo das aproximações pelo MMQ para CF (Fonte: CETESB) . .	11
1.7	Resumo das aproximações pelo MMQ para pH (Fonte: CETESB) . .	12
1.8	Resumo das aproximações pelo MMQ para DBO (Fonte: CETESB) .	13
1.9	Resumo das aproximações pelo MMQ para NT (Fonte: CETESB) . .	14
1.10	Resumo das aproximações pelo MMQ para FT (Fonte: CETESB) . .	15
1.11	Resumo das aproximações pelo MMQ para TB (Fonte: CETESB) . .	17
1.12	Resumo das aproximações pelo MMQ para RT (Fonte: CETESB) . .	17
1.13	Resumo das aproximações pelo MMQ para OD (Fonte: CETESB) . .	18
1.14	Imagens LANDSAT 5 utilizadas	21
1.15	Características do satélite Landsat 5	22
1.16	Bandas Espectrais do Satélite Landsat 5	22
2.1	Períodos Comuns de Dados Limnológicos e Imagens	30
2.2	Datas das imagens disponíveis para P_2	31
3.1	Análise de Sensibilidade para pontos de <i>Classe 2</i>	41
3.2	Análise de Sensibilidade para pontos de <i>Classe Especial</i>	42
3.3	Alterações na Classificação do IQA para P_1	43
3.4	Análise Descritiva do Ponto P_1	44
3.5	Alterações Provocadas no IQA com Novas Variações para P_1	44
3.6	Alterações na Classificação do IQA para P_2	45

3.7	Análise Descritiva do Ponto P_2	45
3.8	Alterações Provocadas no IQA com Novas Variações para P_2	45
3.9	Alterações na Classificação do IQA para P_3	46
3.10	Análise Descritiva do Ponto P_3	46
3.11	Alterações Provocadas no IQA com Novas Variações para P_3	47
3.12	Ajuste do MMQ Linear para Dados de Coleta de P_1	47
3.13	Ajuste do MMQ Linear para Dados de Coleta de P_2	49
3.14	Ajuste do MMQ Linear para Dados de Coleta de P_3	50
3.15	Correlação entre as Bandas 1, 2 e 3	52
3.16	Aproximações Lineares Anuais para Imagens em P_1	52
3.17	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes anuais a partir de Valores Brutos	53
3.18	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Linear	53
3.19	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Spline	54
3.20	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes mistos a partir de Valores Brutos	54
3.21	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Linear	55
3.22	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Spline	55
1	Aproximações Lineares Anuais para Imagens em P_2	58
2	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes anuais a partir de Valores Brutos	59
3	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Linear	60
4	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Spline	60
5	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes mistos a partir de Valores Brutos	61
6	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Linear	61
7	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Spline	62

8	Aproximações Lineares Anuais para Imagens em P_3	63
9	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_3 obtidas de ajustes anuais	63
10	Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_3 obtidas de ajustes mistos	64
11	Valores Digitais para o Ponto de Coleta P_1	77
12	Valores Digitais para o Ponto de Coleta P_2	78
13	Valores Digitais para o Ponto de Coleta P_3	78

Capítulo 1

Contexto e Objetivos

1.1 Introdução

A qualidade das águas é representada por um conjunto de características de natureza química, física e biológica. Indicadores ambientais nasceram como resultado da crescente preocupação social com os aspectos ambientais do desenvolvimento. *”O Índice de Qualidade das Águas, é utilizado pela CETESB desde 1975 para a classificação de qualidade das águas com vistas a servir de informação básica de qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental em 22 Unidades de Gerenciamento dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo”* [19]. As variáveis que o definem são:

- Variáveis químicas: Oxigênio Dissolvido, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Fósforo Total e Nitrogênio Total;
- Variáveis físicas: Turbidez, Resíduo Total e Temperatura;
- Variáveis biológicas: Coliformes Fecais.

Segundo Derisio [6], o nível de concentração dessas substâncias na água pode provocar alterações do corpo d’água como por exemplo o aparecimento de algas, nos casos do nitrogênio e fósforo.

Para Novo, Moraes, Dias, Arai e Catelani [13], o uso de técnicas de sensoriamento remoto possibilita coletar informações relevantes para o conhecimento desses processos sem que haja contato direto com o corpo d’água. Para tanto é necessário coletar dados espectrais e medidas de parâmetros hidrológicos e variáveis limnológicas que permitam estabelecer correlações consistentes entre eles.

Maguire, Goodchild e Rhind escrevem: *"Os sistemas de sensoriamento remoto trabalham na faixa ativa dos sistemas de microondas, o qual é medido como um sinal é disperso pela superfície, para sistemas passivos, que medem a reflectância da superfície"* [14].

Dessa forma o comportamento espectral dos alvos varia de acordo com suas características. Para Girard & Girard [8], no caso das águas, partículas minerais, vegetais ou plâncton, suspenso ou fluando na água, mudam as características espectrais, através de um aumento da reflectância no visível.

A proposta desse trabalho é estudar a viabilidade de obter informações sobre a qualidade da água da Represa Billings através dos valores digitais das imagens de satélite desse mesmo local.

A metodologia foi desenvolvida com dados limnológicos da CETESB em três pontos de coleta no Reservatório Billings. As imagens de satélite da represa foram obtidas através do INPE [12] e georreferenciadas para determinar a localização desses pontos de coleta na imagem. Foram obtidos os valores digitais das imagens nos pontos de coleta estudados, através de técnicas de geoprocessamento. A correlação foi feita utilizando esses dados e os dados limnológicos da CETESB. O diagrama da metodologia é ilustrado na Figura (1.1) e é composto por três grandes etapas. A primeira etapa é destinada a obtenção dos valores digitais das imagens de satélite. A segunda é composta por estudos com amostras de água coletadas pela CETESB e por fim, a terceira etapa destina-se a correlacionar as informações.

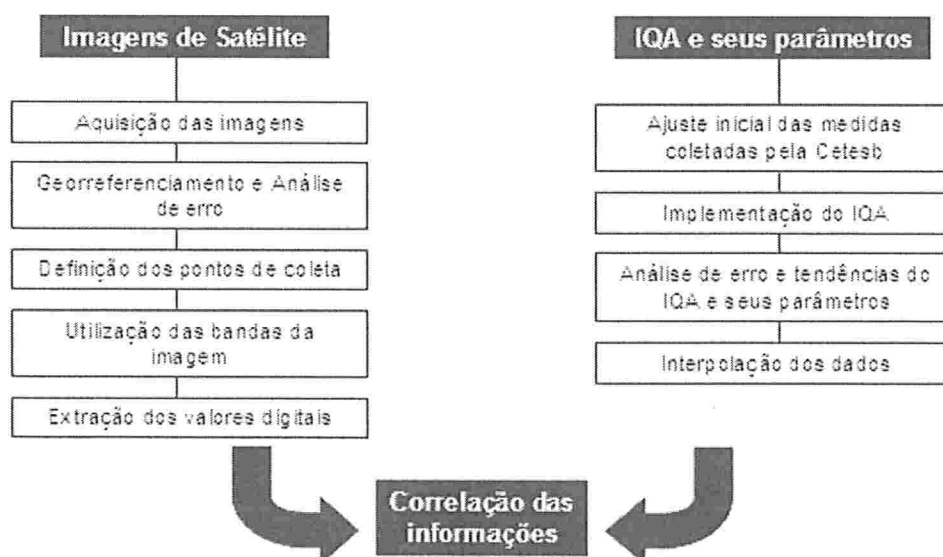


Figura 1.1: Diagrama da metodologia

1.2 Caracterização da Área de Estudo

A represa Billings, construída na década de 20 pelo engenheiro canadense Asa Billings está situada ao sul da Grande São Paulo, abrangendo as cidades de Rio Grande da Serra, Ribeirão Pires, São Bernardo do Campo, Santo André, Diadema e São Paulo a uma altitude de 746 metros. Sua área está compreendida entre as coordenadas $23^{\circ}52'S$; $46^{\circ}47'W$ e $23^{\circ}37'S$; $46^{\circ}11'W$.

O reservatório possui um volume estimado em 995 milhões de m^3 e uma área de $120 km^2$ [19].

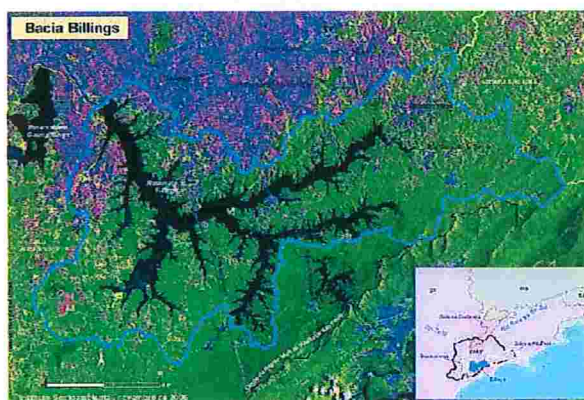


Figura 1.2: Bacia Hidrográfica da Billings (Fonte: ISA)

A represa foi idealizada com o objetivo de abastecer a hidrelétrica Henry Borden (Figura 1.3), situada em Cubatão. No auge de seu funcionamento, a Henry Borden tem a capacidade de gerar até $889MW$.

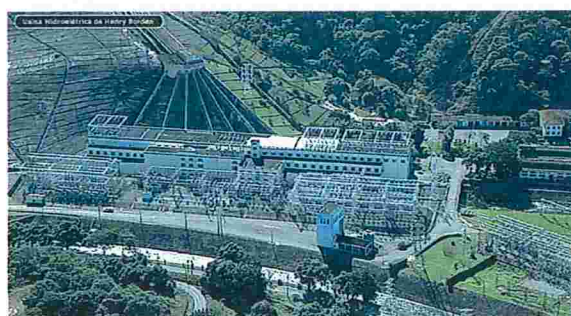


Figura 1.3: Empresa Henry Borden (Fonte: Emae)

Esse sistema de geração de energia é alimentado com águas provenientes da represa, de forma integrada à reversão das águas dos rios Pinheiros, do Alto do Tietê, para o reservatório Billings. Para isso foram construídas duas Usinas Elevatórias.

As águas do Canal Pinheiros passam para o Reservatório Billings através da Usina Elevatória de Pedreira, inaugurada em 1939, cuja capacidade de bombeamento é de $395 \text{ m}^3/\text{s}$. A Usina Elevatória Traição, inaugurada em 1940, tem como objetivo reverter o curso das águas dos rios Tietê e Pinheiros para serem encaminhadas à Usina Elevatória de Pedreira e depois ao Reservatório Billings [10].



Figura 1.4: Usina Elevatória de Pedreira

Figura 1.5: Usina Elevatória Traição

Devido à poluição do Rio Pinheiros, desde outubro de 1992, o processo de reversão de suas águas para a Billings foi paralizado. A reversão pode ser feita somente para controle de cheias.

Atualmente a represa é responsável por grande parte do abastecimento público da região metropolitana da cidade de São Paulo e do ABC, além de ser utilizada para outros fins como a prática de esportes, lazer, cultivo da vida aquática, agricultura, indústria, entre outros.

Com o objetivo de ativar de forma integral a hidrelétrica Henry Borden, está em andamento um projeto para a flotação das águas do Rio Pinheiros de tal forma que, desde que essas águas atinjam a qualidade necessária, o processo de bombeamento das águas do Rio Pinheiros para a Billings será reativado.

1.3 Pontos de coleta

A CETESB coleta amostras de água no Reservatório Billings para avaliação do teor de substâncias físicas, químicas e biológicas na água em locais diferentes na represa.

As imagens de satélite foram inicialmente georreferenciadas e os pontos de coleta localizados nas imagens através de suas coordenadas geográficas. Foi identificado que dois pontos de coleta não pertenciam ao interior da represa. Em contato com

a CETESB, foram resgatados registros antigos [1] dessas coordenadas para os quais todos os pontos de coleta se localizam no interior da represa. Essas informações serão corrigidas nos próximos relatórios da CETESB.

No Seminário Billings 2002 [20], realizado em Ribeirão Pires, foram produzidos 12 mapas temáticos que identificam áreas prioritárias apontadas com importância para a conservação, recuperação e uso sustentável da Bacia Hidrográfica da Billings como manancial de abastecimento público. A Figura (1.6), retirada do Seminário [20], mostra regiões identificadas para realização de estudos e ações no quesito *Qualidade da Água*. As áreas coloridas são apontadas como prioritárias com grau de importância extrema para as regiões em vermelho, muito alta para as regiões azuis e alta para as regiões verdes.

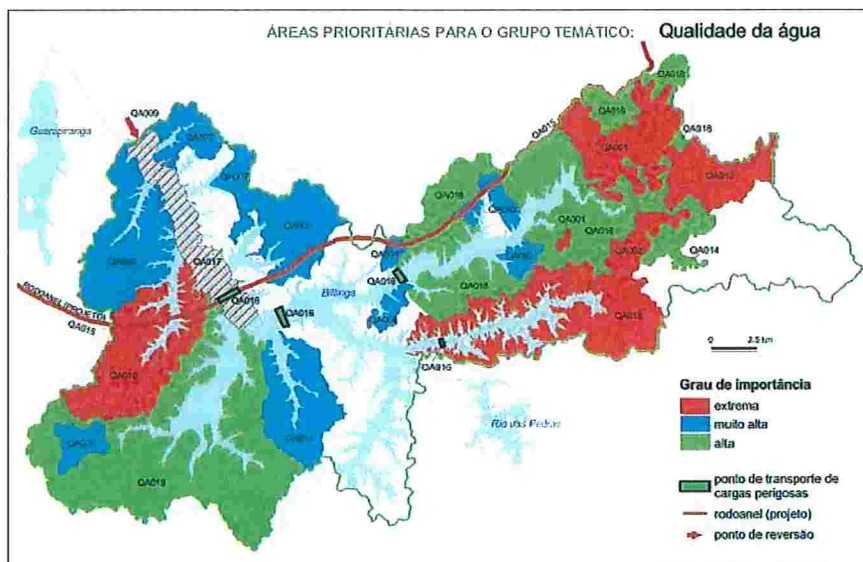


Figura 1.6: Regiões Prioritárias para Ação e Preservação da Bacia Billings

Dessa forma, a escolha dos pontos de coleta foi embasada nos seguintes itens:

1. pontos que não estejam localizados na borda da represa, para garantir que a região próxima ao ponto de coleta seja homogênea;
2. pontos pertencentes a área de prioridade apontada no Seminário Billings;
3. pontos com diferentes classificações das águas, que será mencionada na Seção (1.4);
4. pontos localizados a uma distância maior que 90 metros, para garantir que não haja intersecção de área em uma vizinhança do mesmo, que será discutida na Seção (2.2);

- Escolha de pontos com teores diferentes nas concentrações das substâncias físicas, químicas e biológicas que serão avaliadas.

Os locais escolhidos são rotulados pela CETESB como RGDE02200 3B, BILL02500 3B e BITQ00100 3D, os quais chamaremos nestas notas, daqui em diante, P_1 , P_2 e P_3 , respectivamente.

A localização dos pontos são ilustradas na Figura (1.7) e descritas a seguir.

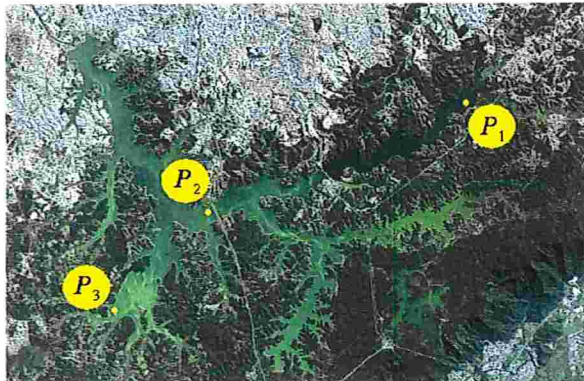


Figura 1.7: Pontos de Coleta estudados na Represa Billings

Ponto 1 situado no Clube Prainha Tahiti Camping Náutica, na altura do km 42 da rodovia SP-31 [19].

Ponto 2 está no meio do corpo central, próximo à rodovia dos Imigrantes [19].

Ponto 3 localiza-se na captação da Sabesp de Taquaquecetuba, estrada Santa Rita nº1000, no bairro Herplin [19].

As coordenadas geográficas desses locais, são mostradas na Tabela (1.1).

Ponto	Coordenadas
Ponto 1	23°44'12" S e 46°26'50" W
Ponto 2	23°46'54" S e 46°34'48" W
Ponto 3	23°50'41" S e 46°39'20" W

Tabela 1.1: Pontos de coleta

1.4 Classificação das águas

No Brasil, a classificação das águas é feita de acordo com a resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005 [5]. As águas doces são classificadas em cinco categorias que são determinadas de acordo com a finalidade de seu uso e também com o tipo de tratamento feito na água para fins de abastecimento público. São elas: *Classe Especial*, *Classe 1*, *Classe 2*, *Classe 3* e *Classe 4*. O aumento na numeração da classe indica uma piora na qualidade da água bruta, isto é, antes de ser tratada.

Os pontos de coleta estudados no reservatório Billings se enquadram em duas categorias de água doce, *Classe Especial* e *Classe 2*, cujas características são descritas na Tabela (1.2).

Classe	Finalidades do uso da água
Classe Especial	a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e, c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 2	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme resolução CONAMA 274, de 2000; d) irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e, e) aquicultura e à atividade de pesca.

Tabela 1.2: Classificação das águas do Reservatório Billings
Fonte: CONAMA

Os pontos de coleta 1 e 2 são classificados como *Classe 2* enquanto o ponto 3 é classificado como *Classe Especial*. Para cada classe, o CONAMA estabeleceu limites de concentração de substâncias químicas e físicas aceitáveis na água, conforme mostram as Tabelas (1.3) e (1.4).

Parâmetro	Unidade	Padrão CONAMA
		Classe 2
pH	U.pH	entre 6 e 9
DBO	mg/L	máximo 5
Fósforo total	mg/L	máximo 0,03
OD	mg/L	mínimo 5
Turbidez	UNT	máximo 100
Coliformes fecais	UFC/100ml	máximo 1000
Resíduo total	mg/L	máximo 500
Nitrogênio total	UFC/100ml	3,7mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$
		2,0mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$
		1,0mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$
		0,5mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$

Tabela 1.3: Concentração limite das substâncias presentes em águas de *Classe 2* - Adaptação de CONAMA E CETESB

Parâmetro	Unidade	Padrão CONAMA
		Classe Especial
pH	U.pH	entre 6 e 9
DBO	mg/L	máximo 3
Fósforo total	mg/L	máximo 0,02
OD	mg/L	mínimo 6
Turbidez	UNT	máximo 40
Coliformes fecais	UFC/100ml	máximo 200
Resíduo total	mg/L	máximo 500
Nitrogênio total	UFC/100ml	3,7mg/L N, para $\text{pH} \leq 7,5$
		2,0mg/L N, para $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$
		1,0mg/L N, para $8,0 < \text{pH} \leq 8,5$
		0,5mg/L N, para $\text{pH} > 8,5$

Tabela 1.4: Concentração limite das substâncias presentes em águas de *Classe Especial* - Adaptação de CONAMA E CETESB

1.5 Índice de Qualidade das Águas (IQA)

"A partir de um estudo realizado em 1970 pela National Sanitation Foundation dos Estados Unidos, a CETESB adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas (IQA) que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para abastecimento público. Foram estabelecidas curvas de variação da qualidade das águas de acordo com o estado ou a condição de cada parâmetro." [19].

A Figura (1.8), retirada da CETESB [19], mostra estas curvas de variação de qualidade sintetizadas em um conjunto de curvas médias para cada parâmetro e seu peso relativo correspondente.

O Índice de Qualidade das Águas, que chamaremos daqui em diante IQA, é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros: coliformes fecais, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido [19]. Mais precisamente:

$$\begin{aligned} IQA : \mathbb{R}^9 &\longrightarrow \mathbb{R} \\ (x_1, \dots, x_9) &\longmapsto IQA(x_1, \dots, x_9) = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \end{aligned} \quad (1.1)$$

onde:

w_i : peso correspondente à variável i

x_i : concentração na água da variável i

q_i : qualidade correspondente à variável i .

Os pesos w_i foram atribuídos de acordo com a importância de cada variável na composição final da qualidade de um corpo d'água.

Essas funções de qualidade q_i normalizam os valores brutos das substâncias i à valores compreendidos entre 0 e 100. Essa escala indica um mau ou bom teor de concentração da substância i na água, sendo que quanto maior seu valor, melhor é a qualidade da água quanto à variável i .

Ao IQA também é associado um número entre 0 e 100, e assim como as funções de qualidade, quanto maior seu valor, melhor é a qualidade da água. A classificação do IQA pode ser vista na Tabela (1.5).

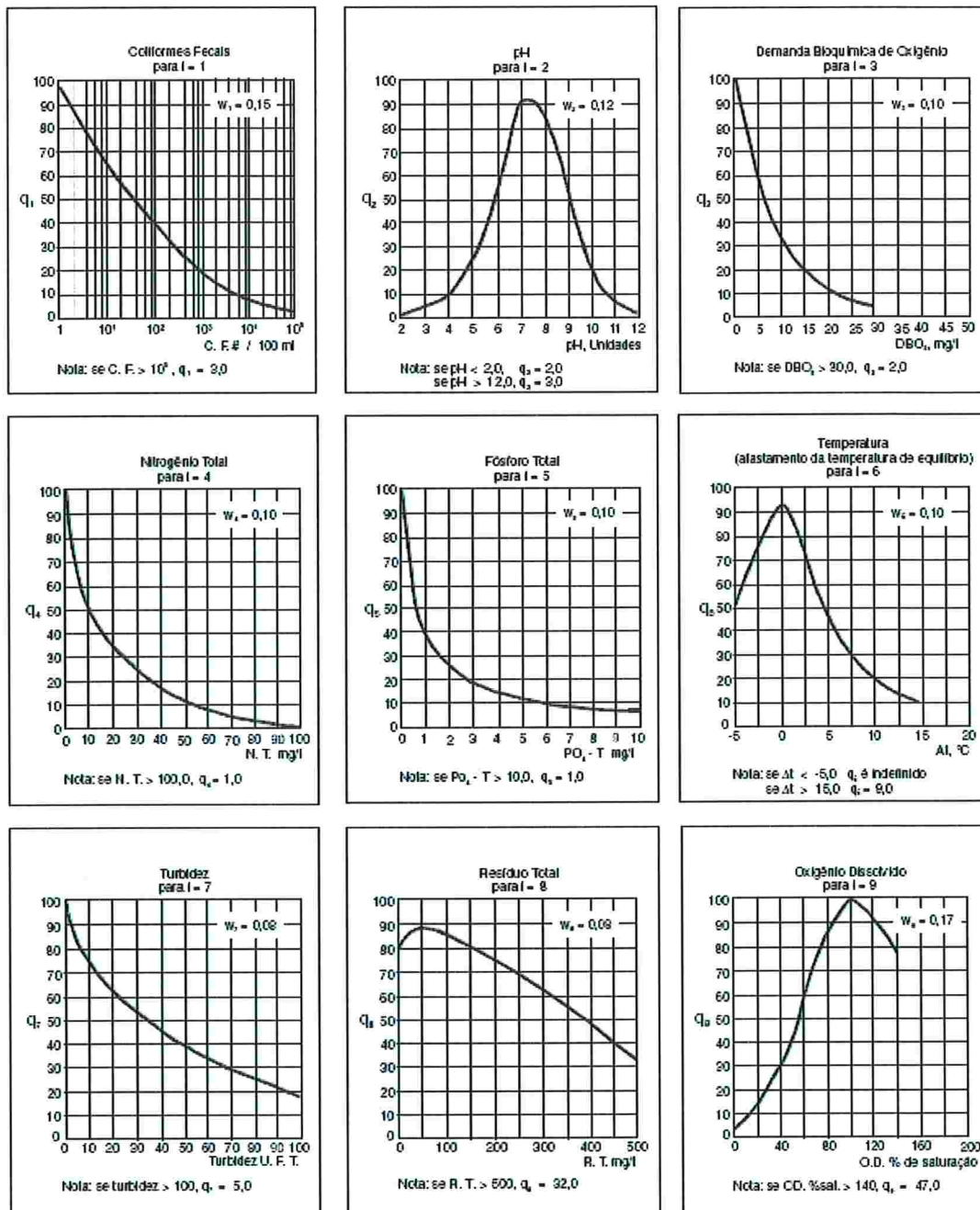


Figura 1.8: Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas (Fonte: CETESB)

O IQA foi implementado através da ferramenta TOL (Time Oriented Language). Para cada variável x_i é associada a qualidade q_i , através das curvas de variação de qualidade definidas pela National Sanitation Foundation e as respectivas aproximações pelo MMQ disponibilizadas pela CETESB [4].

As subseções seguintes listam as nove variáveis que definem o IQA, descrevem

Categoria	Ponderação
Ótima	$79 < IQA \leq 100$
Boa	$51 < IQA \leq 79$
Regular	$36 < IQA \leq 51$
Ruim	$19 < IQA \leq 36$
Péssima	$IQA \leq 19$

Tabela 1.5: Classificação da qualidade da água através do IQA (Fonte: CETESB)

suas características e influências na qualidade das águas e mostram as aproximações pelo MMQ utilizadas e definidas pela CETESB para o cálculo da qualidade dessas variáveis.

1.5.1 Coliformes Fecais (CF)

Os coliformes são encontrados em grande quantidade nas fezes humanas e de animais e é facilmente identificável na água. Eles têm se mostrado até então como os melhores indicadores da possível presença de seres patogênicos (causadores de doença ao homem) [6].

Sua presença indica que esgotos domésticos foram despejados na água. A determinação desse indicador é baseada em termos probabilísticos, sendo o resultado expresso através de número mais provável (NMP) de organismos do grupo coliforme por 100 mililitros de amostra.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0, 1]	$a + b \ln(x)$	100	-33,5	-
(1,5]	$a + b \ln(x) + c \ln(x)^2$	100	-37,2	3,607143
Maior que 5	constante e igual a 3	-	-	-

Tabela 1.6: Resumo das aproximações pelo MMQ para CF (Fonte: CETESB)

A aproximação feita pelo MMQ para a função de qualidade dos coliformes fecais, que será chamado daqui em diante por CF, pode ser vista na tabela (1.6). A figura (1.9) mostra o gráfico de qualidade. O eixo das abcissas, assim como a primeira coluna da tabela (1.6), possuem uma escala logaritmica (base 10). O eixo das ordenadas corresponde ao valor da qualidade q_4 . Quanto menor é a concentração de CF, melhor será sua qualidade.

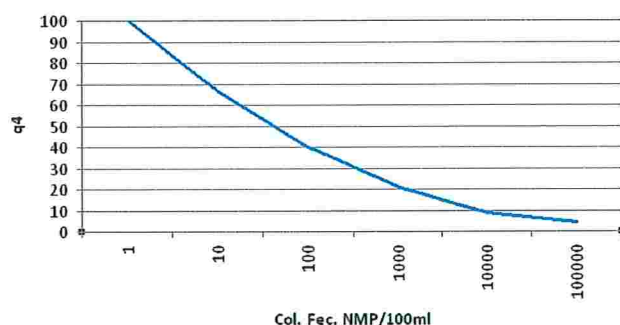


Figura 1.9: Curva de Qualidade de CF

1.5.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Para o potencial hidrogeniônico, que será chamado daqui em diante por pH, as aproximações feitas pelo MMQ podem ser vistas na tabela (1.7).

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[2,2]	constante e igual a 2	-	-	-
(2, 4]	$a + bx + cx^2$	13,6	-10,64	2,4364
(4, 6.2]	$a + bx + cx^2$	155,5	-77,36	10,2481
(6.2, 7]	$a + bx + cx^2$	-657,2	197,38	-12,9167
(7, 8]	$a + bx + cx^2$	-427,8	142,05	-9,695
(8, 8.5]	$a + bx$	216	-16	-
(8.5, 9]	ae^{bx}	1415823	-1,1507	-
(9, 10]	$a + bx$	288	-27	-
(10, 12]	$a + bx + cx^2$	633	-106,5	4,5
Maior que 12	constante e igual a 3	-	-	-

Tabela 1.7: Resumo das aproximações pelo MMQ para pH (Fonte: CETESB)

A figura (1.10) mostra o gráfico de qualidade para o pH. No eixo das abcissas tem-se o valor do pH e no eixo das ordenadas o valor da qualidade q_2 correspondente. A melhor região dessa curva compreende os valores $6 \leq pH < 9$.

O pH representa o equilíbrio entre íons H^+ e OH^- . Quando a concentração está em equilíbrio, o valor do pH é igual a 7 (neutro). Quando a concentração de íons H^+ é maior, o valor do pH é menor que 7 (ácido). No caso de predominância dos íons OH^- , o pH será maior que 7.

Segundo Derisio [6]: *"Os organismos aquáticos estão adaptados às condições de neutralidades e, como consequência, alterações bruscas do pH de uma água podem acarretar o desaparecimento dos seres presentes na mesma"*.

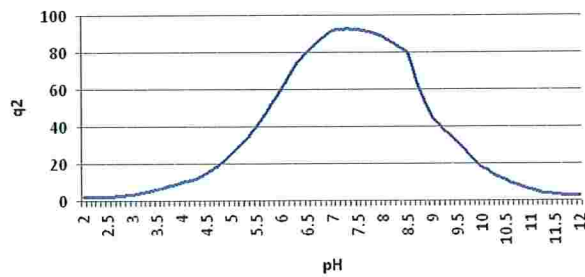


Figura 1.10: Curva de Qualidade do pH

Mota [17] escreve que águas com pH elevado tendem a formar incrustações nas tubulações e que para a vida aquática, é recomendável a faixa de 6 a 9.

1.5.3 Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A Demanda Bioquímica do Oxigênio, daqui em diante DBO, é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica por ação de bactérias aeróbicas. Isto é, é a quantidade de oxigênio que seria necessária fornecer às bactérias aeróbicas para consumirem a matéria orgânica presente na água [17].

A DBO é um método indireto para quantificar a presença de matéria orgânica na água. É importante observar que devido à DBO ser uma medição da quantidade de oxigênio consumido, ela não dá indicações sobre a presença de materiais não biodegradáveis.

A tabela (1.8) mostra as aproximações feitas pelo MMQ no caso da DBO.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0,5]	ae^{bx}	99,96	-0,1232728	-
(5, 15]	$a + b \ln(x)$	104,67	-31,5463	-
(15, 30]	ax^b	4394,91	-1,99809	-
Maior que 30	constante e igual a 2	-	-	-

Tabela 1.8: Resumo das aproximações pelo MMQ para DBO (Fonte: CETESB)

A figura (1.11) mostra o gráfico de qualidade para a DBO. O eixo das abcissas se refere à concentração da DBO (mg/L) e o eixo das ordenadas o valor da qualidade q_3 correspondente. Quanto menor é o valor da DBO, melhor será sua qualidade.

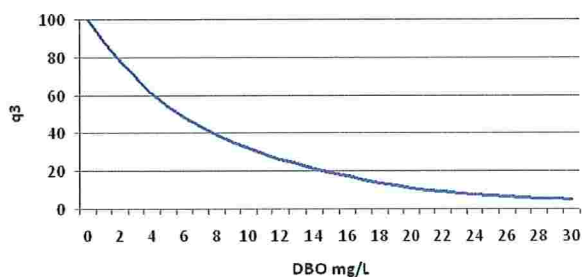


Figura 1.11: Curva de Qualidade da DBO

1.5.4 Nitrogênio Total (NT)

A tabela (1.5.4) apresenta as aproximações feitas pelo MMQ no caso do nitrogênio total, que será chamado daqui em diante por NT.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0, 10]	$a + bx + cx^2$	100	-8,169	0,3059
(10, 60]	$a + b \ln(x)$	101,9	-23,1023	-
(60, 100]	ae^{bx}	159,3148	-0,0512842	-
Maior que 100	constante e igual a 1	-	-	-

Tabela 1.9: Resumo das aproximações pelo MMQ para NT (Fonte: CETESB)

O gráfico (1.12) mostra a curva de qualidade para o NT. O eixo das abcissas cobre concentrações de NT na água de 0 a 100 e o eixo das ordenadas o valor da qualidade q_6 correspondente. Quanto maior é sua concentração na água, menor é sua qualidade.

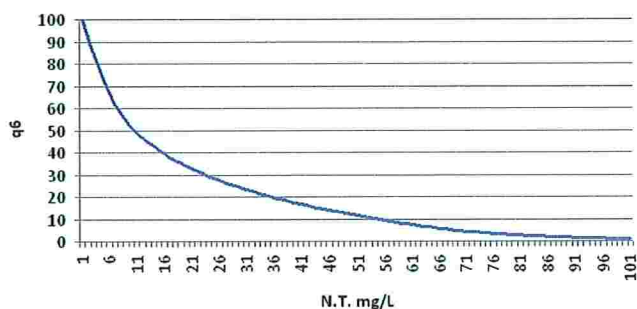


Figura 1.12: Curva de Qualidade do NT

As principais fontes de nitrogênio na água por ordem de importância são:

- esgotos domésticos e industriais;

- atmosfera: através da fixação biológica desempenhada por bactérias e algas, que incorporam o nitrogênio atmosférico em seus tecidos; através da fixação química, reação que depende da presença de luz; as águas das chuvas, ente outros;
- fertilizantes;
- excrementos de animais.

O nitrogênio é um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar um exagerado desenvolvimento desses organismos, fenômeno chamado de eutrofização [17].

1.5.5 Fósforo Total (FT)

A tabela (1.10) apresenta as aproximações feitas pelo MMQ no caso do fósforo total, que será chamado daqui em diante por FT.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0, 1]	ae^{bx}	99,9	-0,91629	-
(1, 5]	$a + bx + cx^2$	57,6	-20,178	2,1326
(5, 10]	ae^{bx}	19,08	-0,13544	-
Maior que 10	constante e igual a 5	-	-	-

Tabela 1.10: Resumo das aproximações pelo MMQ para FT (Fonte: CETESB)

O gráfico (1.13) mostra a curva de qualidade para o FT. O eixo das abcissas cobre concentrações de fósforo na água de 0 a 10 e o eixo das ordenadas o valor da qualidade q_7 correspondente. Quanto maior é sua concentração na água, menor é sua qualidade.

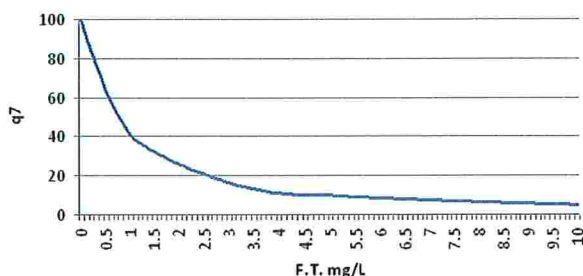


Figura 1.13: Curva de Qualidade do FT

Assim como o NT, o fósforo é um elemento indispensável ao crescimento de algas, mas, em excesso, pode ocasionar a eutrofização. Ele pode ser encontrado nas águas sob as formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico [17].

As principais fontes de fósforo na água são:

- dissolução de compostos do solo;
- decomposição da matéria orgânica;
- fertilizantes;
- esgotos domésticos e industriais;
- detergentes;
- excrementos de animais.

1.5.6 Temperatura (TMP)

A temperatura é uma característica física das águas, sendo uma medida de intensidade do calor. Derisio [6] escreve que quanto maior a temperatura de um líquido, menor a possibilidade desse líquido reter os gases.

Como a temperatura é uma característica física, seu gráfico de qualidade é construído com o eixo das abcissas sendo a diferença da temperatura de equilíbrio do corpo d'água em questão com a temperatura da amostra no momento da coleta.

Para o cálculo do IQA, a DMQA - Divisão de Monitoramento da Qualidade das Águas, da CETESB/SP, tem considerado desprezíveis os eventuais desvios em relação à temperatura de equilíbrio nos pontos monitorados. Dessa forma, para o cálculo do IQA, a DMQA atribui qualidade ótima no que se refere a esse parâmetro, assumindo $q_9 = 92.5$, que corresponde a desvios iguais a zero [4].

Portanto, a variável temperatura passa a ser uma constante para o cálculo do IQA.

1.5.7 Turbidez (TB)

A turbidez da água é devida à matéria em suspensão, como argila, silte, substâncias orgânicas finamente divididas, organismos microscópicos e partículas similares. A presença de turbidez pode ocorrer naturalmente em função do processo de erosão e artificialmente em função de lançamentos de despejos domésticos e industriais [6].

O aumento da turbidez (TB) ocasiona a redução de penetração da luz, afetando a fauna e flora presentes da água.

A tabela (3.3) mostra as aproximações feitas pelo MMQ no caso da turbidez.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0, 25]	$a + bx + cx^2$	100,17	-2,67	0,03775
(25, 100]	ae^{bx}	84,96	-0,016206	-
Maior que 100	constante e igual a 5	-	-	-

Tabela 1.11: Resumo das aproximações pelo MMQ para TB (Fonte: CETESB)

O gráfico (1.14) mostra a curva de qualidade para a turbidez. O eixo das abcissas cobre valores de turbidez de 0 a 100 e o eixo das ordenadas o valor da qualidade q_5 correspondente. Quanto maior é a turbidez, menor é a transparência da água e consequentemente sua qualidade diminui.

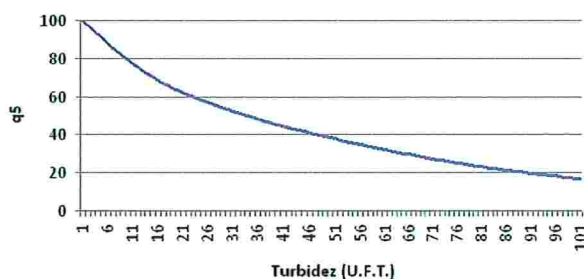


Figura 1.14: Curva de Qualidade da TB

1.5.8 Resíduo Total (RT)

Segundo Derisio [6], "A definição comum de resíduo se refere àquele material que permanece como resíduo após evaporação da água à temperatura de 105°C".

A tabela (3.6) apresenta as aproximações feitas pelo MMQ para o RT.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0, 150]	$a + bx + cx^2$	79,75	0,166	-0,001088
(150, 500]	$a + bx$	101,67	-0,13917	-
Maior que 500	constante e igual a 32	-	-	-

Tabela 1.12: Resumo das aproximações pelo MMQ para RT (Fonte: CETESB)

O gráfico (1.15) mostra a curva de qualidade para o RT. O eixo das abcissas cobre concentrações de resíduos na água de 0 a 500 e o eixo das ordenadas o valor

da qualidade q_8 correspondente. Quanto maior é sua concentração na água, menor é sua qualidade.

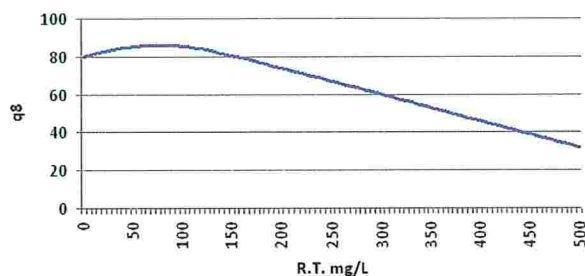


Figura 1.15: Curva de Qualidade do RT

1.5.9 Oxigênio Dissolvido (OD)

A normalização do oxigênio dissolvido (OD), é obtida calculando-se inicialmente o percentual de saturação do OD, que depende da altitude e temperatura da água no ponto de coleta:

$$OD_{Sat} = (14,62 - 0,3898T + 0,00697T^2 - 0,0000589T^3)(1 - (0,000022868A)^{5,167})$$

onde:

T : é a temperatura do corpo d'água

A : altitude do ponto do local de coleta.

Intervalo	Função Aproximada	Parâmetro a	Parâmetro b	Parâmetro c
[0, 50]	$ax + bx^2 + cx^3$	0,34	0,008095	1,35252E-05
(50, 85]	$ax + bx^2 + cx^3$	-1,166	0,058	-0,000380344
(85, 100]	ax^b	3,7745	0,704889	-
(100, 140]	$ax + bx^2 + cx^3$	2,9	-0,02496	5,60919E-05
Maior que 140	constante e igual a 47	-	-	-

Tabela 1.13: Resumo das aproximações pelo MMQ para OD (Fonte: CETESB)

A Tabela (1.13) mostra as aproximações feitas pelo MMQ para a construção dessa função e a Figura (1.16) mostra o gráfico de qualidade para o oxigênio dissolvido. O eixo das abcissas, assim como a primeira coluna da Tabela (1.13), se referem ao

percentual de saturação do oxigênio. O eixo das ordenadas corresponde ao valor da qualidade q_1 . Quanto mais próximo de 100 é o percentual de saturação, melhor é a qualidade.

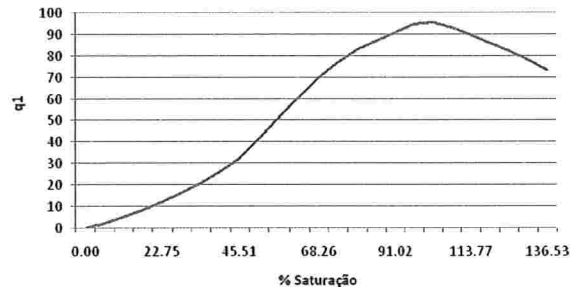


Figura 1.16: Curva de Qualidade do OD

A presença do oxigênio nas águas possui papel fundamental na vida dos seres aquáticos aeróbicos. Segundo Mota [17], ao se lançar matéria orgânica em um manancial de água, ocorre uma grande proliferação de bactérias aeróbicas, que ao efetuarem a decomposição da matéria orgânica, utilizam o oxigênio do meio líquido para a sua respiração. De acordo com a quantidade de matéria orgânica lançada nos corpos d'água e com sua capacidade de autodepuração¹, o consumo desse oxigênio pelas bactérias pode ser muito alto, reduzindo de forma significativa o teor do oxigênio presente na água, provocando impactos na vida aquática aeróbica.

1.6 Imagens de Satélite

Indicamos por 'pixel' nessas notas uma área da imagem georreferenciada cujo lado do quadrado mede aproximadamente 30 metros.

A coleta das imagens de satélite da Represa foi feita respeitando critérios:

- quanto ao período: a data de obtenção da imagem deve coincidir com o mesmo período histórico disponibilizado dos dados limnológicos, a saber, de janeiro de 1995 à setembro de 2004;
- quando à disposição de nuvens: das imagens encontradas, somente foram utilizadas aquelas cujas nuvens não comprometem a visualização da represa nas regiões de interesse, isto é, nos pontos de coleta de água;

¹a água estará depurada quando suas características não forem conflitantes com os seus usos

- quanto ao satélite: foram escolhidas imagens de um mesmo satélite, afim de minimizar diferenças de conteúdo obtidas pelos sensores.

Quanto ao último item, a comparação de imagens obtidas por diferentes sensores, é mais complicada devido às suas diferentes características, como o comprimento de onda das bandas e propriedades de resposta espectral. Sabemos também que a comparação de imagens adquiridas pelo mesmo sensor em diferentes datas não é trivial. Efeitos atmosféricos, geometria de iluminação e modificações nas características do sensor, como ganho ou desativação de instrumentos, são citadas em [14] como as principais interferências na escala de valores digitais de uma imagem.

As Figuras (1.17) e (1.18) ilustram esses impactos para imagens obtidas pelo satélite LANDSAT 5 do mesmo local, em datas distintas. A banda 1 é vista em azul, a banda 2 em verde e a banda 3 em vermelho.



Figura 1.17: Imagem de 26 de março de 1996

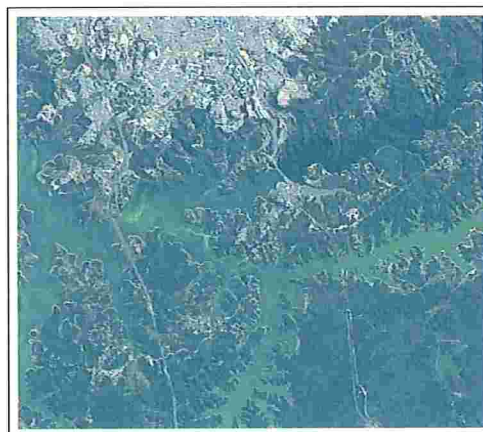


Figura 1.18: Imagem de 21 de agosto de 2003

Além desse fato, todos os pré-requisitos levantados para a busca das imagens reduzem de forma significativa a quantidade disponível para uso das mesmas.

Para o período de busca, o satélite Landsat 5 possui a maior quantidade de imagens e por isso, é o satélite considerado nesse estudo. A tabela (1.14) relaciona as datas das imagens adquiridas, através do INPE [12], de acordo com os padrões acima. No total temos imagens correspondentes a 21 datas distintas.

Datas de coleta		
09.abr.1995	04.out.1996	12.jun.2001
28.jun.1995	17.jun.1997	14.jul.2001
26.mar.1996	19.jul.1997	30.jul.2001
13.mai.1996	10.ago.1999	15.ago.2001
14.jun.1996	26.ago.1999	20.jul.2003
01.ago.1996	24.mai.2000	05.ago.2003
17.ago.1996	25.jun.2000	21.ago.2003

Tabela 1.14: Imagens LANDSAT 5 utilizadas

1.6.1 Estudos da Água através de Imagens de Satélites Artificiais

Segundo Moreira [15], *"A radiação eletromagnética ao interagir com os alvos da superfície terrestre pode ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente. As proporções de cada uma dessas componentes da interação dependem dos fatores ambientais e os inerentes a cada alvo"*.

No caso de estudos de água a partir de imagens, (Girard & Girard) [8] escrevem: *"A reflectância da água pura, é alta na banda visível azul, depois diminui rapidamente e então se torna muito baixo, no infravermelho próximo. Partículas minerais, vegetais ou plâncton, suspenso ou flutuando na água, provocam mudança dessas características através de um aumento da reflectância no visível."*

Portanto as bandas do visível foram utilizadas no estudo comparativo relacionado às variáveis limnológicas. Nas bandas 4, 5 e 7 as águas absorvem toda a energia recebida resultando na ausência de variação de níveis de cinza nos valores digitais da represa, como pode ser observado nas Figuras de (1.20) à (1.26).

Os sensores do satélite são dispositivos capazes de detectar e registrar a radiação eletromagnética, em determinada faixa do espectro eletromagnético, e gerar informações que possam ser transformadas num produto passível de interpretação.

Como ilustração, as curvas espectrais contidas na Figura (1.19), retirada de [15], representam a energia refletida por diferentes tipos de alvos da superfície terrestre.

O sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat 5 está em órbita circular, heliossíncrona, com periodicidade de 16 dias. Ele opera em 7 faixas do espectro eletromagnético, chamadas por bandas. A tabela (1.15) explicita as características particulares do satélite Landsat 5 [9], [11], [18].

A tabela (1.6.1) relaciona os intervalos espectrais de atuação das bandas do

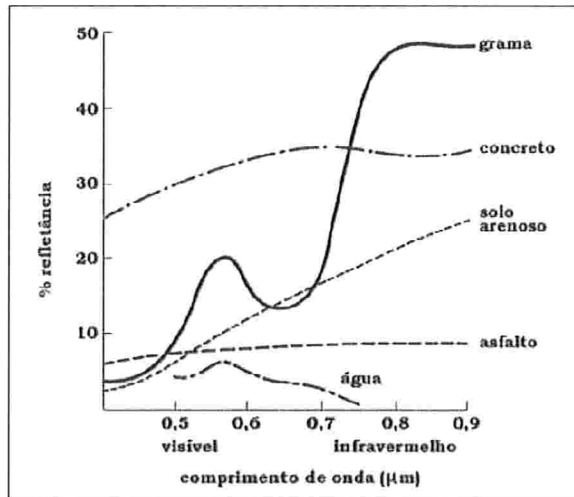


Figura 1.19: Curvas Espectrais de Diferentes Alvos

Inclinação (graus)	98,2
Recobrimento da faixa	185 x 185 km
Hora da passagem pelo Equador	09:45h
Ciclo de cobertura	16 dias
Duração do ciclo	233 revoluções
Distâncias entre passagens no Equador	2752 km
Altitude	705 km

Tabela 1.15: Características do satélite Landsat 5

satélite, assim como suas classificações.

Banda	Intervalo espectral (μm)	Resolução (m)	Espectro Eletromagnético
1	0,45 – 0,52	30	visível
2	0,52 – 0,60	30	visível
3	0,63 – 0,69	30	visível
4	0,76 – 0,90	30	infravermelho refletido
5	1,55 – 1,75	30	infravermelho refletido
7	2,08 – 2,35	30	infravermelho refletido
6	10,4 – 12,5	120	termal

Tabela 1.16: Bandas Espectrais do Satélite Landsat 5

Portanto para cada dia de passagem do satélite sobre a Billings há 7 imagens da represa. As Figuras (1.20) à (1.26) são imagens do dia dia 26 de março de 1996 obtidas pelo sensor TM do Satélite Landsat 5, nas sete faixas do espectro

eletromagnético.

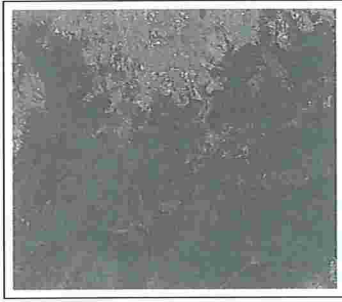


Figura 1.20: Banda 1



Figura 1.21: Banda 2

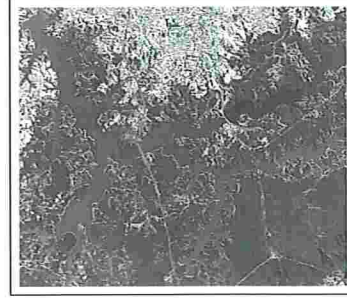


Figura 1.22: Banda 3

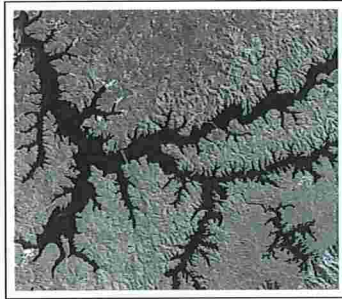


Figura 1.23: Banda 4

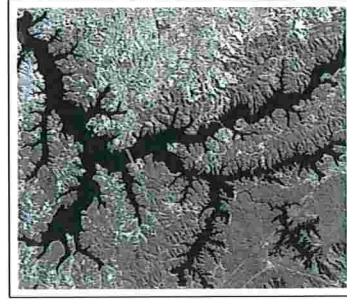


Figura 1.24: Banda 5

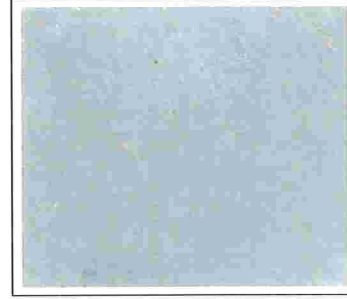


Figura 1.25: Banda 6

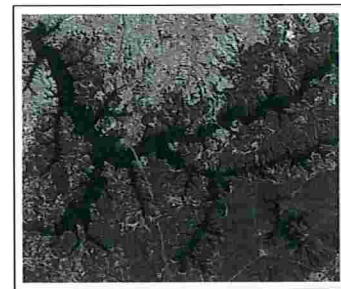


Figura 1.26: Banda 7

Capítulo 2

Materiais e Métodos

Neste capítulo são descritos os procedimentos adotados para o tratamento prévio das informações e também a metodologia executada para a análise dos mesmos.

2.1 Análise dos Dados

2.1.1 Análise das Variáveis Limnológicas e do IQA

Os dados coletados pela CETESB, possuem frequência bimestral sendo a primeira coleta do ano realizada em janeiro. Entretanto, as precipitações podem causar alterações no teor de concentração das substâncias medidas nas amostras coletadas. Um exemplo, é a ocorrência de chuvas ácidas que pode ocasionar alteração no pH da água. Por esse motivo e buscando a fidelidade dos dados, as informações provenientes das coletas feitas com indicação de chuva foram pontualmente excluídas.

Também há dados desconhecidos em algumas datas, por motivos inerentes à coleta das amostras. A ausência dessas informações resultaram em dados incompletos, como pode ser visto na Figura (2.1).

O primeiro passo, foi identificar quais coletas foram realizadas com a ocorrência de precipitações. Essa informação é disponibilizada pela própria CETESB como uma série indicadora da ocorrência de chuva nas últimas 24 horas anteriores ao momento da coleta. Não há informação sobre o volume precipitado e nem seu horário de ocorrência.

A partir disso, o segundo passo foi escolher um método de interpolação ou aproximação para 'completar' esses dados nas datas correspondentes às imagens de satélite.

A CETESB informou que considera os valores das variáveis limnológicas como

exatos, pois eles representam valores em porcentagem calculados através das funções de qualidade, descritas no Capítulo 1. Um estudo complementar foi feito para avaliar o impacto de um erro sobre o dado de coleta, que pode ser visto na Seção (2.1.2). Como a magnitude do erro não impacta a decisão sobre a qualidade, também consideraremos esses valores como exatos neste trabalho.

Nosso objetivo é correlacionar essas variáveis com as imagens de satélite, e sabemos que as datas de aquisição desses dados são distintas e portanto os valores do IQA e de seus parâmetros devem ser interpolados. Optamos pela utilização do método de interpolação por Splines Cúbicos e pela Interpolação Linear em casos específicos.

Para algumas séries, como coliformes fecais por exemplo, o polinômio interpolador fornece valores negativos em algumas datas e que, neste caso, é inconsistente, como mostra a Figura (2.2).

Esse fato ocorreu em 7 num total de 30 séries e são devidos à duas situações:

1. O valor a ser interpolado pertence a uma região de grande variação de amplitude nos dados;
2. O valor a ser interpolado pertence a uma região onde a magnitude dos dados é próxima a zero.

Uma alternativa seria considerar esses valores negativos como nulos, representando a ausência de concentração da substância na água. Nos casos onde a magnitude dos valores são próximas a zero essa solução é plausível do ponto de vista contextual. Mas em situações onde a variação de amplitude é alta, essa definição não é representativa dos dados, como mostra a Figura (2.3).

Outra alternativa menos grosseira, de forma a garantir que a série seja composta por valores positivos é a interpolação linear. Em regiões como a circulada na Figura (2.3), onde neste caso há a ausência de dados de dois meses consecutivos, a representatividade dos dados também é baixa, como pode ser observado na Figura (2.4).

Casos mais críticos, como o ilustrado na Figura (2.5), chegam a ter a ausência de até 5 dados consecutivos, isto é, o equivalente a ausência de informações por 10 meses.

A partir dessas observações os valores interpolados podem não fornecer correlações altas com as imagens de satélite. Por conta disso, para avaliar as correlações optamos por trabalhar com três tipos de dados:

- dados brutos: os dados considerados correspondem aos dados originais admitindo-se como desconhecidos os dados faltantes;
- dados por Spline: os dados faltantes são obtidos através da interpolação Spline dos dados originais disponíveis considerando-se os ajustes para valores negativos como nulos;
- dados por Interpolação Linear: os dados faltantes são obtidos através da interpolação Linear dos dados originais disponíveis.

Além disso foi feita uma análise do impacto de erros dos dados de aquisição.

2.1.2 Análise do Impacto de Erros nos Dados de Coleta

Nesta etapa foi identificada a sensibilidade das variáveis limnológicas sob o IQA. O objetivo dessa análise é avaliar o impacto de erros nos dados brutos sobre a classificação do IQA.

Conforme citado no Capítulo 1, sabemos que o IQA é definido por:

$$IQA(x_1, \dots, x_9) = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i}$$

onde x_i é a concentração na água do parâmetro i .

Para cada $i \in [1, 8]$, foi construída a função:

$$IQA_i : \mathfrak{R} \longrightarrow \mathfrak{R}$$

$$x_i \longmapsto IQA(\overline{x}_1, \dots, \overline{x}_{i-1}, x_i, \overline{x}_{i+1}, \dots, \overline{x}_9)$$

onde \overline{x}_k , com $k \in [1, 9]$ e $k \neq i$, é a média dos dados correspondente ao parâmetro k . Os valores \overline{x}_k , foram fixados pelas correspondentes médias observadas na Represa Billings, mas isso não influencia no enfoque geral de análise do IQA dado nesta etapa do estudo.

Em seguida, para cada i fixou-se o intervalo $[\overline{x}_{k_i}, \overline{x}_{k_{i+1}}]$, onde \overline{x}_{k_i} e $\overline{x}_{k_{i+1}}$ correspondem aos limites aceitáveis estabelecidos pelo CONAMA, citado na Seção (1.4), para a classe analisada. Fixado esse intervalo, a análise foi feita medindo a variação da variável provocada sob a função de variação de qualidade IQA_i e também a taxa de variação respectiva, variando os extremos em 1%, 5%, 10% e 50% para mais ou para menos, de acordo com o limite do intervalo.

Esse estudo foi desenvolvido considerando-se os dois tipos de classificação das águas doces existentes no Reservatório Billings, *Classe 2* e *Classe Especial*, já que o nível admissível de concentração das substâncias é dependente do tipo de classe.

A implementação desse processo foi feita utilizando o TOL de forma integrada à implementação do IQA pela Fórmula (1.1).

Na próxima etapa analisamos o impacto desses possíveis erros nos dados brutos sob a classificação do IQA, utilizando o estudo mais geral feito anteriormente. Os impactos sob a classificação do IQA foi feito para cada ponto de coleta, já que os níveis de concentração das substâncias diferem entre si.

O procedimento adotado foi o seguinte:

1. Foram comparadas as variações das funções IQA_i , para $i = 1, \dots, 8$ quando provocadas as variações de 1% à 50% e observado a existência de alteração na classificação do IQA, de acordo com a Tabela (1.5);
2. Foram identificadas as variáveis cujas médias da substâncias i estão fora dos padrões CONAMA;
3. Para as variáveis identificadas no item anterior, o valor do IQA foi calculado caso seu valor original fosse o limite CONAMA;
4. Os valores do IQA foram comparados e identificados aqueles cuja classificação foi alterada.

Esse processo contribui para identificação de pontos de coleta e variáveis sensíveis a erros nos dados brutos a ponto de alterar a classificação do IQA. Os resultados foram tabelados e serão apresentados no Capítulo 3.

2.1.3 Análise de Tendência das Variáveis Limnológicas

A tendência das variáveis limnológicas em cada ponto de coleta foi analisada através do Método dos Mínimos Quadrados Linear. Para cada uma das 30 séries, que estão disponibilizadas no Apêndice 2, foram construídas tendências lineares (a partir dos dados brutos) e dessa forma, através do coeficiente angular de cada reta, juntamente com a média da série do ponto de coleta em questão, é possível identificar as variáveis que causam ou que possam vir a causar impactos negativos ao IQA.

2.2 Georreferenciamento das Imagens de Satélite

Para determinar de forma precisa o valor digital da imagem nos pontos de coleta, é necessário utilizar as coordenadas desses pontos explicitadas na seção (1.3). Para

isso as imagens de satélite foram georreferenciadas ¹.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e de Processamento de Imagens disponíveis no mercado são diversos. Cada um desses sistemas possui qualidades particulares de modo que é comum utilizar vários sistemas, executando em cada um deles uma sub-tarefa. Os sistemas utilizados nesse trabalho foram: ENVI Versão 4.0 e SPRING Versão 5.0.

Podemos enumerar as etapas desse procedimento da seguinte forma:

1. Georreferenciamento das imagens Landsat 5;
2. Aquisição dos valores digitais das coordenadas geográficas de cada ponto de coleta e de uma vizinhança em torno dele, para cada banda e cada uma das 21 imagens de satélite;
3. Construção das 'séries temporais' com os valores digitais para as 3 bandas, em cada ponto de coleta.

Na etapa 1) utilizamos o ENVI. As bandas 1, 2 e 3 de uma mesma imagem foram georreferenciadas simultaneamente utilizando um arquivo com extensão '.hdr', contendo as três bandas.

Foi adotado o mapa *Sistema Cartográfico Metropolitano* de autoria da EMPLASA - Empresa Metropolitana de Planejamento da Grande São Paulo - com escala 1:25000, projeção UTM e datum Corrego Alegre, Folhas 322, 333 e 334.

O processo de atribuir coordenadas à imagem é feito identificando locais que oferecem uma feição física nítida e bem determinada, como por exemplo as intersecções de estradas e de rios, tanto no mapa quanto na imagem. Dessa forma, é atribuído para esse ponto identificado, as coordenadas do mapa. Esses pontos identificados, são chamados de *Pontos de Controle*.

Identificou-se 6 pontos de controle e então foi gerada uma nova imagem, cuja estrutura de localização geográfica está definida com base na projeção UTM e datum Corrego Alegre.

O erro obtido no georreferenciamento foi de no máximo 0,3 pixels. Como a resolução das imagens é de 30 metros, o erro foi considerado aceitável.

Na etapa 2) utilizamos o SPRING. Todas as imagens georreferenciadas no ENVI foram exportadas como '.tiff' lidas no SPRING e recortada uma matriz 5x5, onde o elemento central é o pixel que corresponde as coordenadas geográficas do ponto

¹Georreferenciar uma imagem é tornar suas coordenadas conhecidas num dado sistema de referência.

de coleta, como o mostrado na Figura (2.7). Nesta figura temos três matrizes, correspondentes às bandas 1, 2 e 3 do ponto de coleta P_1 .

Levando-se em consideração que a matriz 5×5 representa uma área de aproximadamente $150 \times 150 m^2$ e que, à medida que nos afastamos do pixel central introduzimos mais erro no valor médio da região, que será usado para as análises posteriores, consideraremos apenas uma matriz 3×3 , cujo valor central corresponde ao valor do pixel para a coordenada do ponto de coleta, conforme é ilustrado na figura (2.8).

Os dados de valores digitais foram construídos tomando-se o valor médio dessa matriz. Nos casos onde há duas imagens em um mesmo mês, o valor digital corresponde aos valores médios das duas imagens.

As séries temporais incompletas dos valores digitais podem ser vistas na Figura (2.11).

Após a eliminação das imagens que não apresentavam condições técnicas para análise, os conjuntos de dados com os valores digitais foram construídos através de 21 imagens, correspondentes às datas citadas na Tabela (1.14).

Observamos que não há conformidade entre datas de coletas das variáveis limnológicas e das imagens. Portanto optamos por trabalhar com as curvas de tendência linear dos dois conjuntos de dados.

Salientamos que esses dados estão influenciados pelos efeitos atmosféricos, citados na Seção (1.6), além de outros. Não nos preocuparemos aqui, com o tratamento desses efeitos, pois trabalharemos somente com suas taxas de variação, conforme será explicado na próxima seção.

2.3 Análise das Imagens de Satélite

A periodicidade que o Landsat 5 visita um mesmo local é de 16 dias, mas das 240 imagens capturadas ao longo de quase 10 anos apenas 21 são utilizáveis, isto é, o equivalente a aproximadamente 10% do total de imagens que foram registradas pelo satélite durante o período.

A Figura (2.12) mostra a distribuição das imagens utilizáveis ao longo de 10 anos para o ponto de coleta P_2 , dada pelos pontos pretos.

O método desenvolvido para a análise desses dados, para posterior comparação com os parâmetros que definem o IQA, é a análise de tendência linear, pelo Método dos Mínimos Quadrados, calculado em determinados subconjuntos de pontos, como na Figura (2.12).

As linhas pretas verticais representam o primeiro mês de cada ano. As retas

vermelhas representam o MMQ Linear anual considerando-se todos os pontos disponíveis no ano. No primeiro ano, 1995, há somente duas imagens disponíveis, assim como em 1997, 2000 e 2003. Nesses casos, a reta obviamente vai interpolar os dois pontos. Já no ano de 1996, há quatro imagens disponíveis e é possível traçar retas com diferentes coeficientes angulares, considerando-se distintas combinações de pontos.

Assim, se considerarmos para 1996 a reta vermelha, não estaremos representando a queda observada nos valores do pixel das imagens de março e junho. Para utilizarmos toda a informação disponível, é importante nesses casos, traçarmos tendências lineares entre diferentes conjuntos de dados.

O histórico dos dados da CETESB varia de acordo com o ponto de coleta:

Ponto 1 janeiro de 1995 à setembro de 2004.

Ponto 2 março de 1995 à setembro de 2004.

Ponto 3 março de 1999 à setembro de 2004.

Como as imagens adquiridas pertencem ao período de abril de 1995 à agosto de 2003, a intersecção entre esses períodos determina os anos onde os dados das imagens e as variáveis limnológicas serão correlacionadas. Os períodos de intersecção são mostrados na Tabela (2.1).

Ponto de Coleta	Anos Comuns
P_1	1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2003
P_2	1995, 1996, 1997, 2000, 2001, 2003
P_3	2001, 2003

Tabela 2.1: Períodos Comuns de Dados Limnológicos e Imagens

No caso do ponto de coleta P_3 , só há dois anos de dados disponíveis com um mínimo de duas imagens. Para o ano de 2001, há três imagens. Portanto para esse ponto de coleta, utilizaremos as taxas de variação dos pontos consecutivos, como ilustrado na Figura (2.13).

No caso do ano de 1995, as imagens estão disponíveis nos meses de abril e junho, que intercalam as datas dos dados de qualidade, existentes nos meses ímpares. Dessa forma, foram considerados diferentes intervalos de tempo como definição dos valores do coeficiente angular e testada sua correlação.

04/1995	08/1996	08/1999	07/2001
06/1995	10/1996	05/2000	08/2001
03/1996	06/1997	06/2000	07/2003
06/1996	07/1997	06/2001	08/2003

Tabela 2.2: Datas das imagens disponíveis para P_2

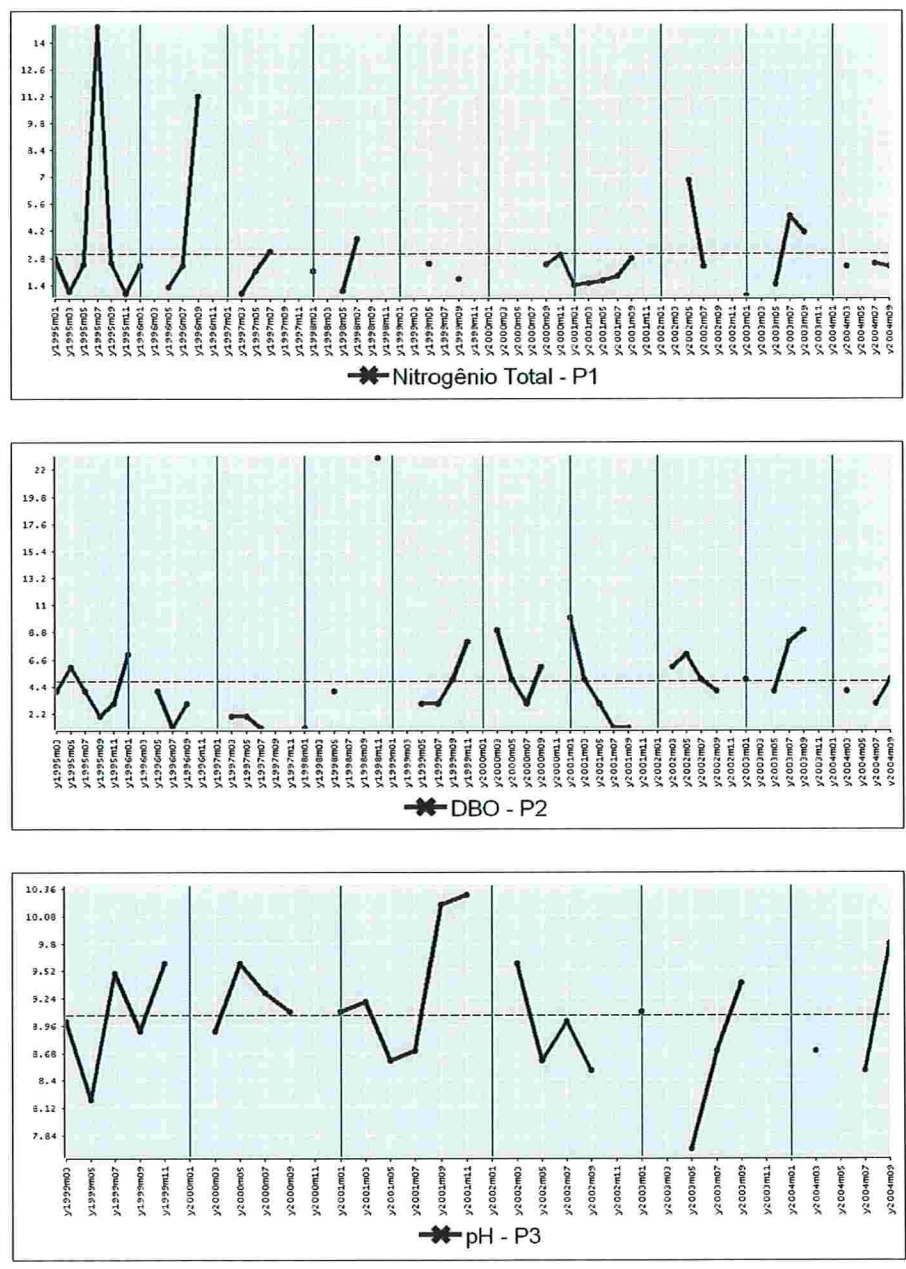


Figura 2.1: Exemplos de Dados Incompletos

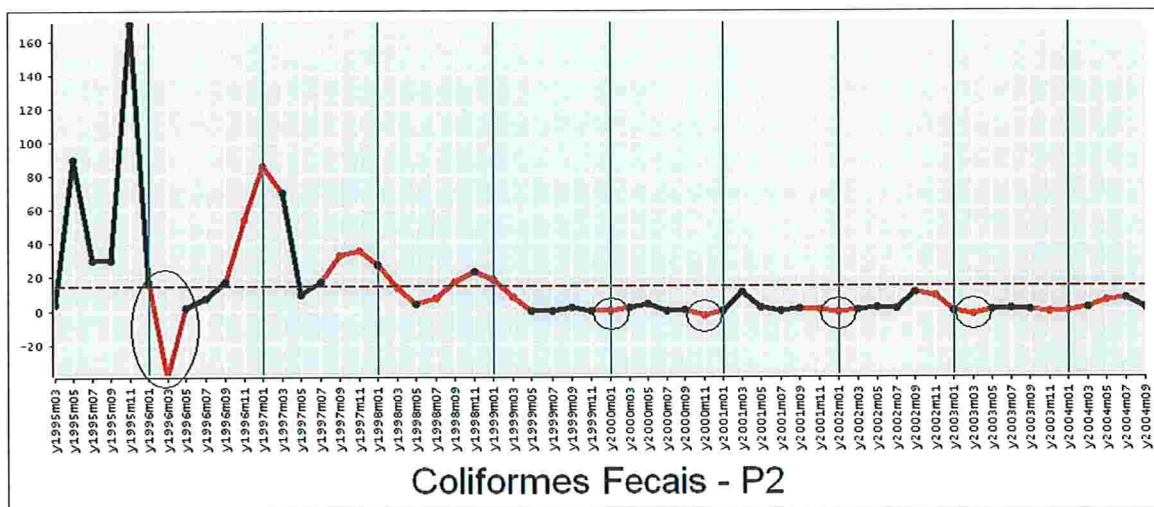


Figura 2.2: Dados Interpolados com Valores Negativos

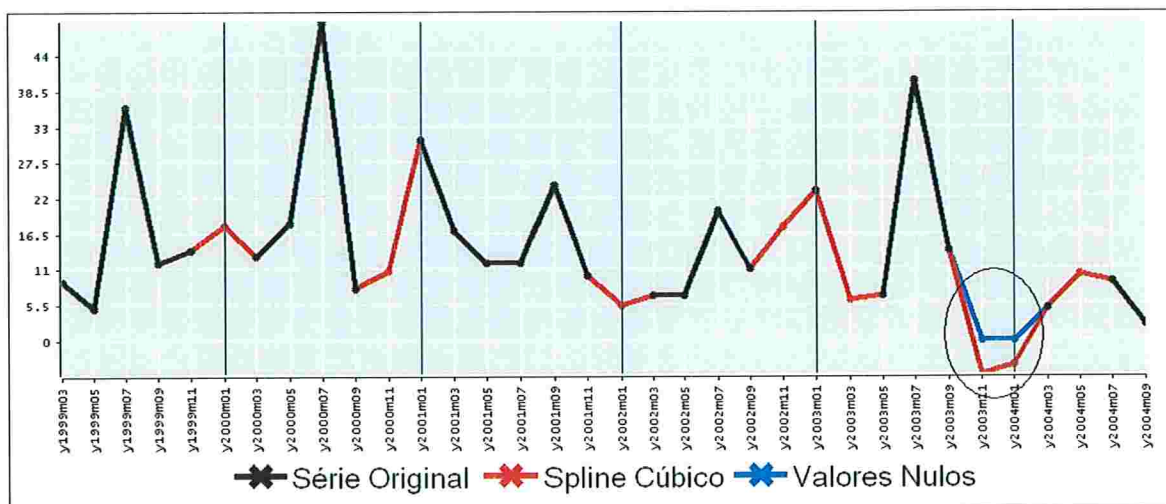


Figura 2.3: TB por Spline - P_3

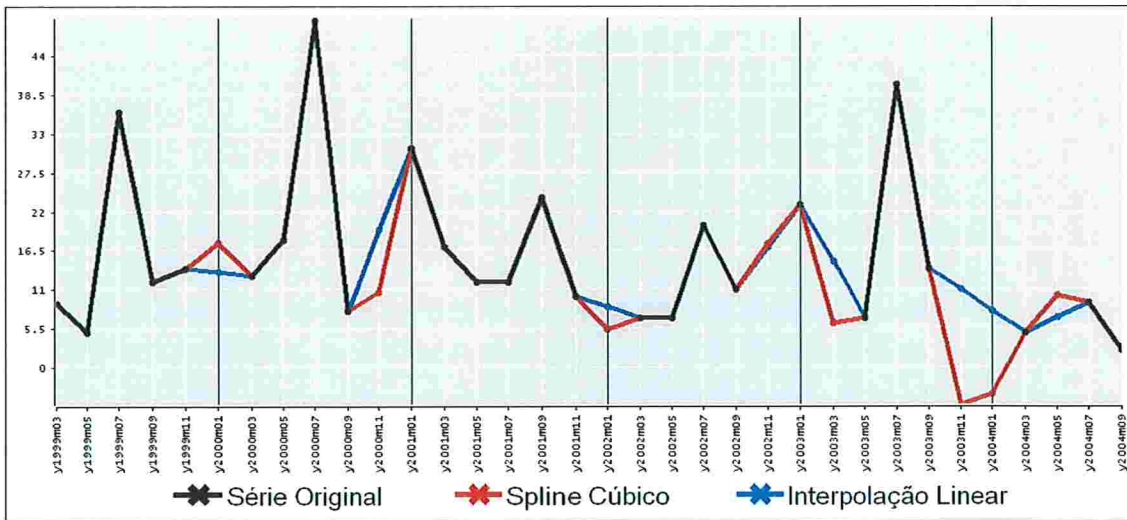


Figura 2.4: TB por Interpolação Linear - P_3

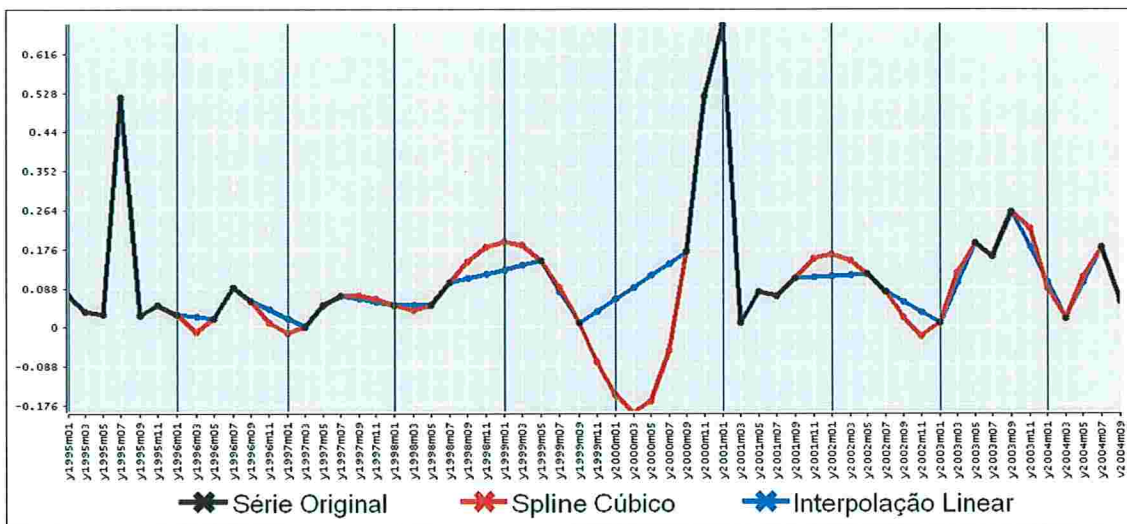


Figura 2.5: Fósforo Total - P_1

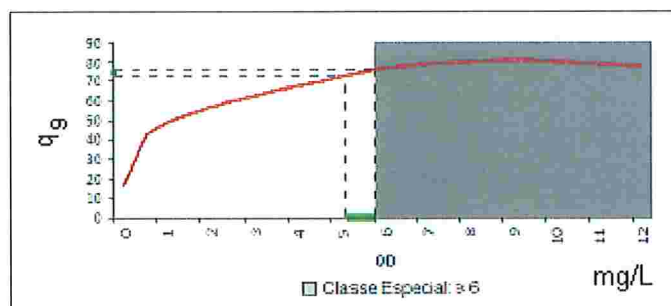


Figura 2.6: Ilustração para a Análise de Variação Percentual

```

LSat5.19950409.P1.txt - Notepad
File Edit Format View Help
Cat: CatImagem
Long:   o 46 26 50   Lat:   s 23 44 12
X = 352486.7 m   Y = 7374142.9 m
Col: 3995       Lin: 5709

PI: ImGeoRef.19950409.B1
51  52  51  52  53
51  54  53  52  53
52  54  50  54  53
52  52  49  55  53
53  52  50  56  52

PI: ImGeoRef.19950409.B2
19  19  20  19  18
19  19  18  19  19
19  18  19  20  19
19  19  19  19  19
20  18  20  19  18

PI: ImGeoRef.19950409.B3
14  14  15  15  14
14  15  15  15  15
14  15  15  15  15
15  15  15  15  15
15  15  15  15  15

```

Figura 2.7: Exemplo de '.txt' gerado pelo Spring com valores de uma imagem nas Bandas 1, 2 e 3

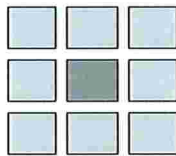


Figura 2.8: Vizinhança do Pixel

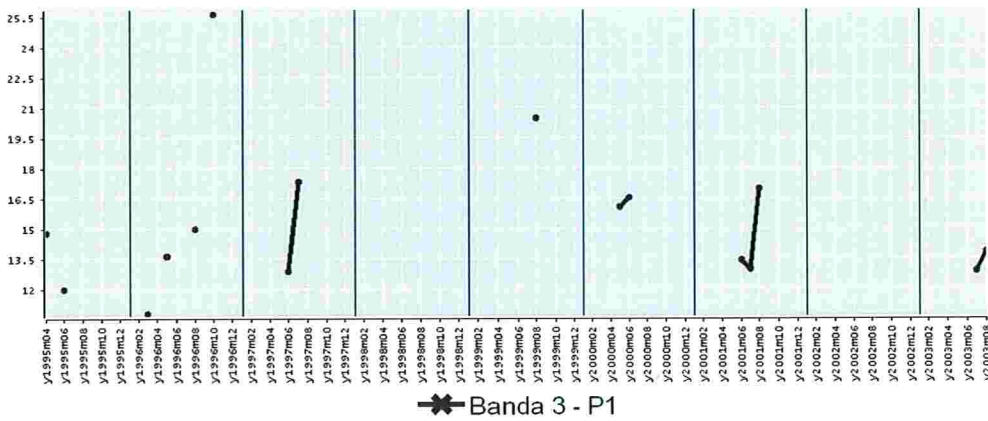
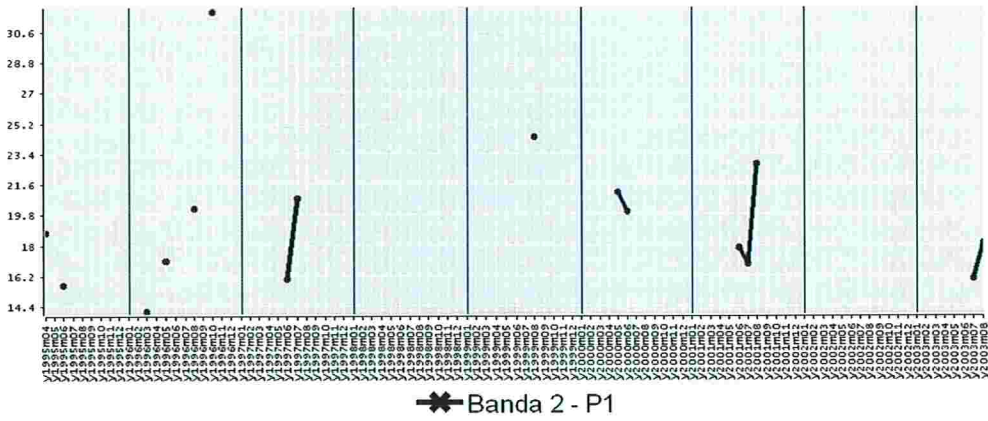
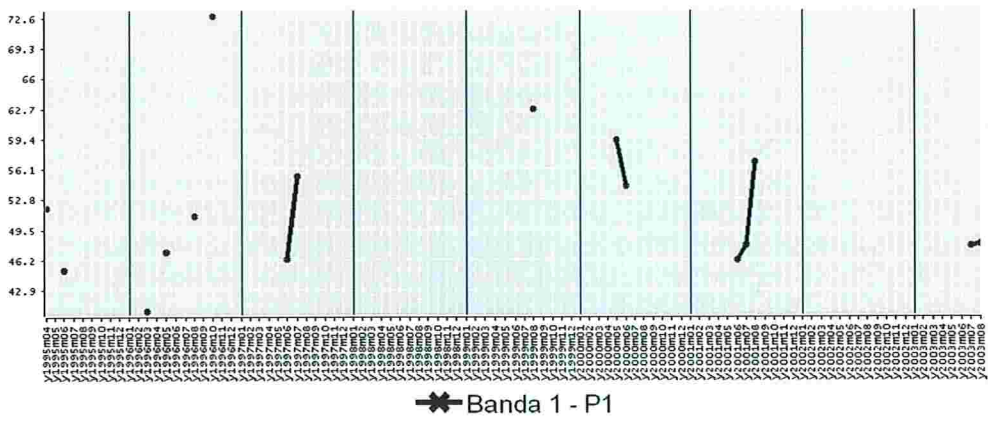
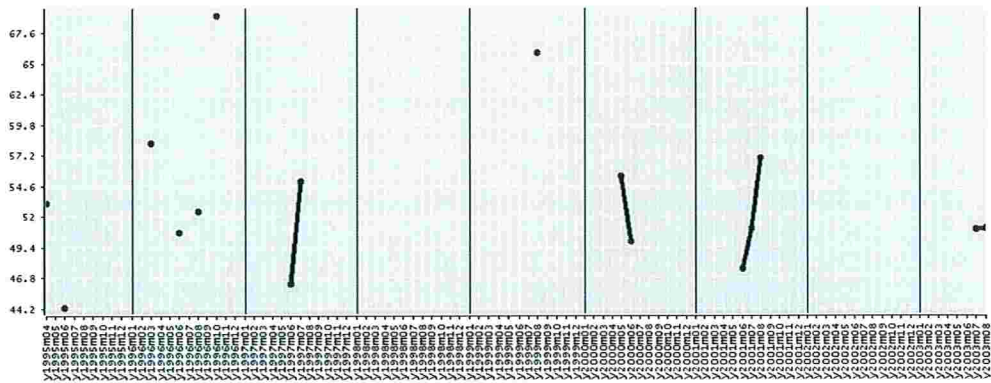
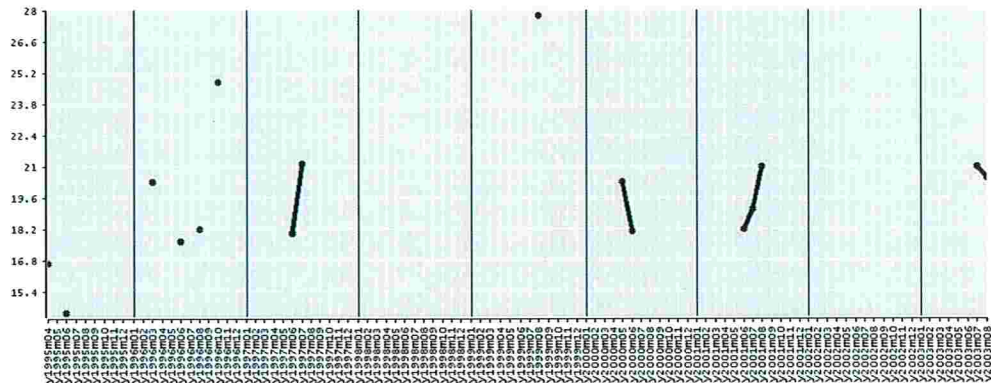


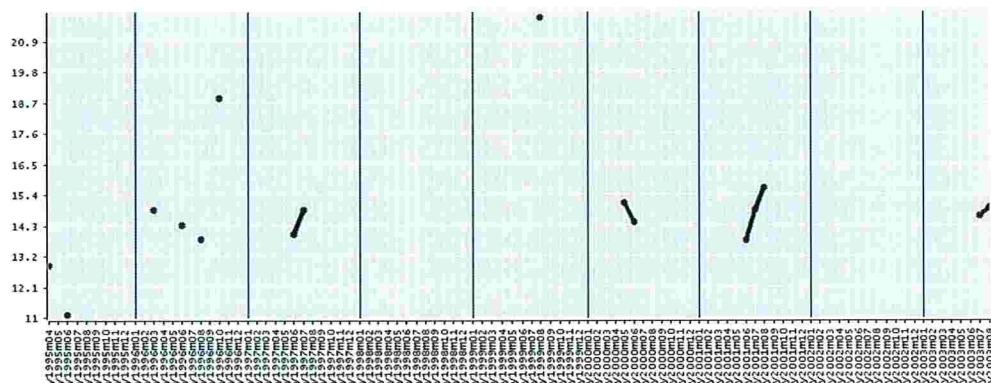
Figura 2.9: Conjunto de Dados dos Valores Digitais para P_1



✱ Banda 1 - P2



✱ Banda 2 - P2



✱ Banda 3 - P2

Figura 2.10: Conjunto de Dados dos Valores Digitais para P_2

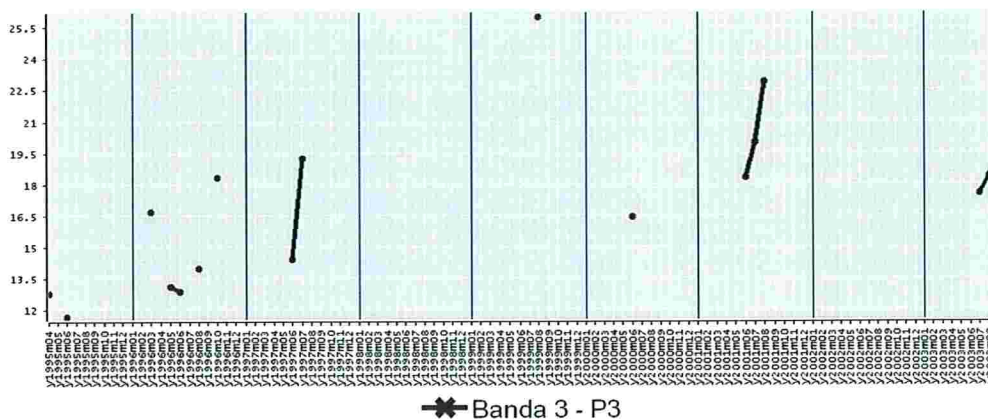
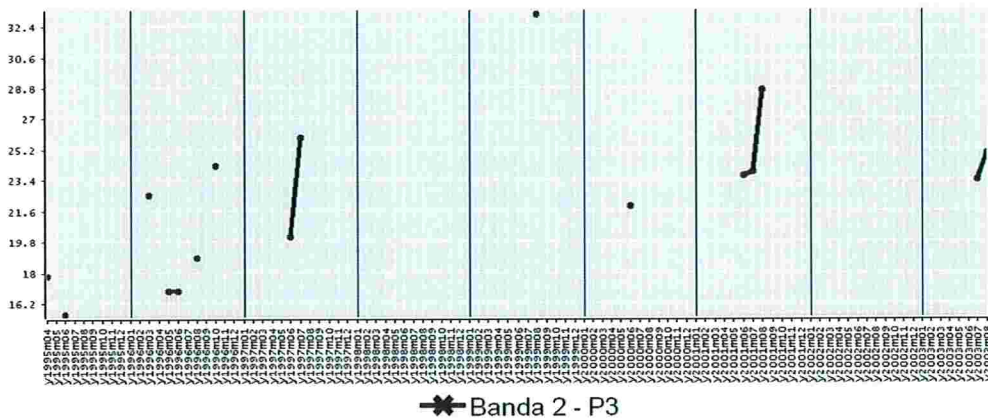
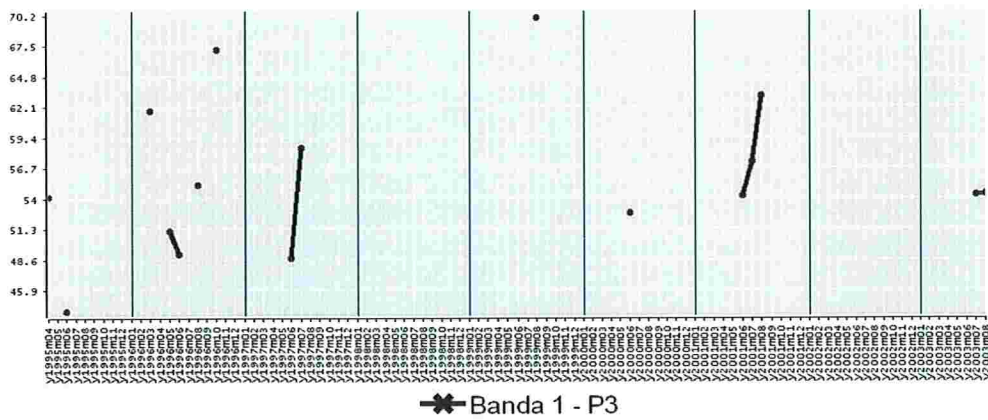


Figura 2.11: Conjunto de Dados dos Valores Digitais para P_3

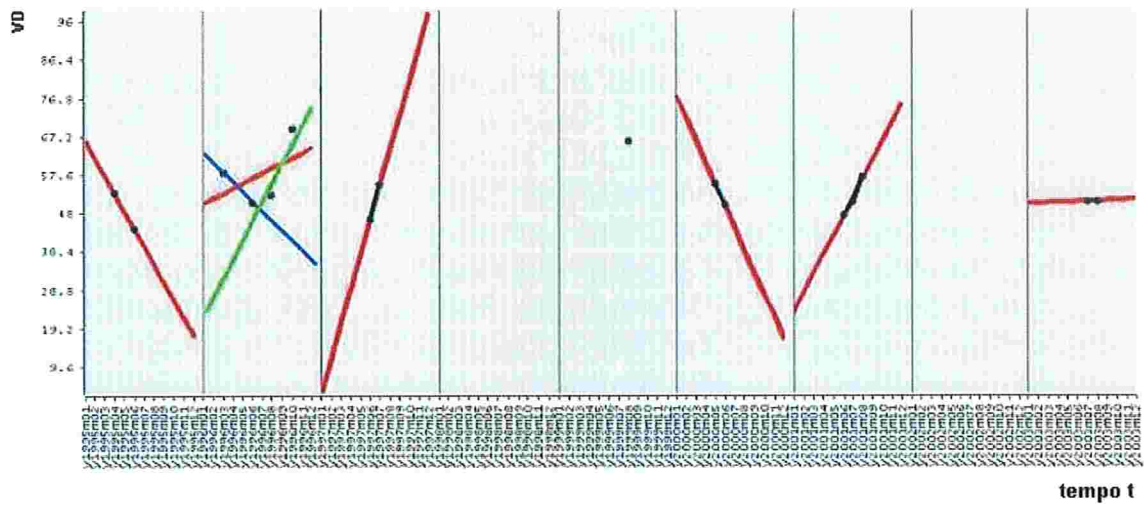


Figura 2.12: Aproximações Lineares Locais para a Banda 1 de P_2

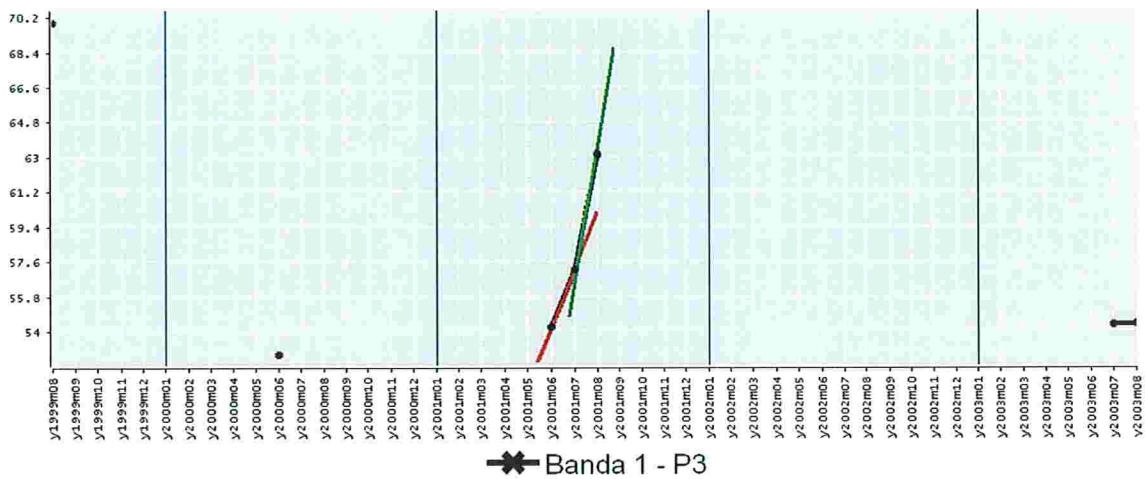


Figura 2.13: Valores Digitais das Imagens de P_3

Capítulo 3

Resultados

Neste capítulo, são apresentados os principais resultados obtidos na avaliação do IQA através das nove variáveis que o define. Além disso, também são apresentadas as correlações entre as séries temporais das qualidades referentes aos parâmetros do IQA com as séries temporais dos valores digitais para as três bandas, construídas através das imagens LANDSAT 5, em cada um dos três pontos de coleta.

3.1 Sensibilidade do IQA e de suas Variáveis

As Figuras (3.1) à (3.8) mostram os gráficos das funções de variação de qualidade IQA_i para $i = 1, 2, \dots, 8$, citadas na Seção (2.1). A área clara representa a região limite aceitável para a concentração da substância i , de acordo com os padrões CONAMA, para pontos de coleta da *Classe Especial*, enquanto a área escura representa a região limite aceitável dos pontos classificados como *Classe 2*.

Para a análise da sensibilidade do IQA, variações de 1%, 5%, 10% e 50% foram aplicadas sob as concentrações limites de cada parâmetro i . Os impactos dessas variações sob o IQA foram medidos através da análise conjunta entre as taxas de variação observadas e as variações percentuais provocadas nas funções parciais IQA_i .

As Tabelas (3.1) e (3.2) apresentam as variações percentuais e taxas de variação sofridas pelas funções de variação de qualidade IQA_i para pontos de coleta da *Classe 2* e da *Classe Especial*, respectivamente.

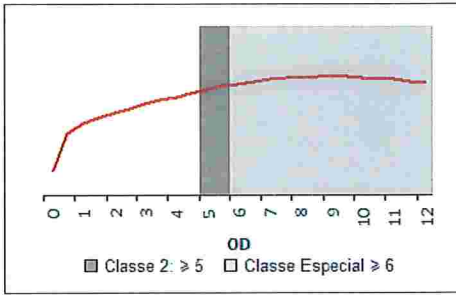


Figura 3.1: Gráfico da função IQA_1

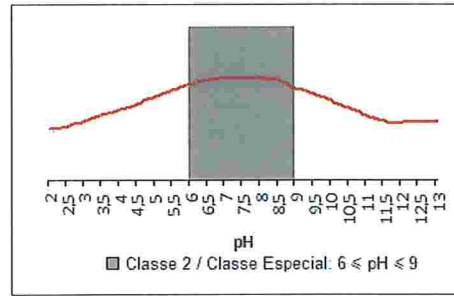


Figura 3.2: Gráfico da função IQA_2

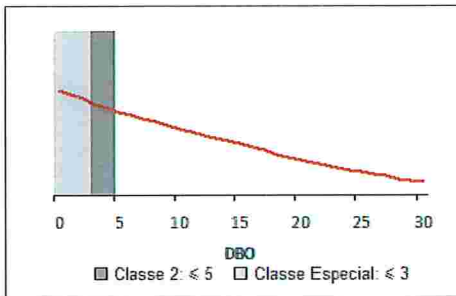


Figura 3.3: Gráfico da função IQA_3

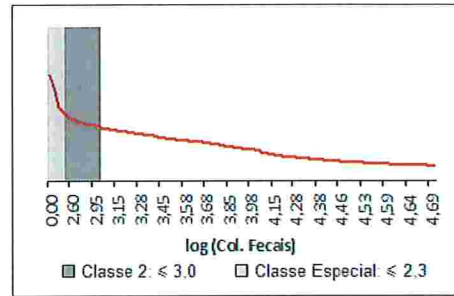


Figura 3.4: Gráfico da função IQA_4

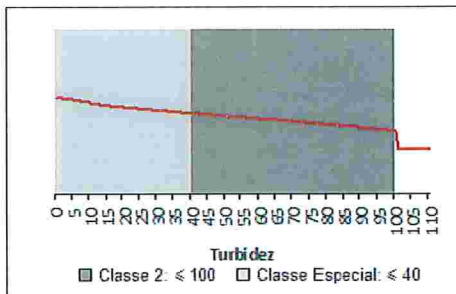


Figura 3.5: Gráfico da função IQA_5

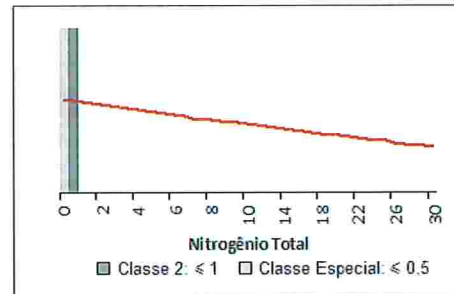


Figura 3.6: Gráfico da função IQA_6

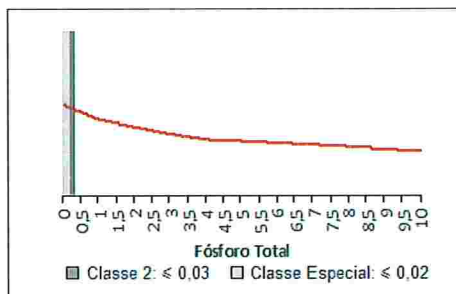


Figura 3.7: Gráfico da função IQA_7

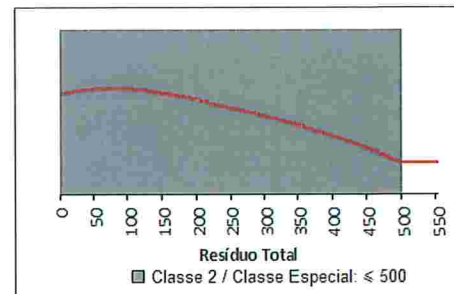


Figura 3.8: Gráfico da função IQA_8

Parâmetro		1%	5%	10%	50%
OD	Tx. Var.	4,55	4,73	4,97	4,7
	Var. Perc.	0,31%	1,61%	3,39%	16,03%
Col. Fecais	Tx. Var.	0,00	0,00	0,00	0,00
	Var. Perc.	0,05%	0,24%	0,46%	2%
DBO	Tx. Var.	-1,15	-0,97	-0,94	-0,86
	Var. Perc.	0,07%	0,3%	0,59%	2,69%
Nitrogênio Total	Tx. Var.	-0,66	-0,66	-0,66	-0,66
	Var. Perc.	0,01%	0,04%	0,08%	0,41%
Fósforo Total	Tx. Var.	-7,39	-7,39	-7,39	-7,39
	Var. Perc.	0,00%	0,01%	0,03%	0,14%
Turbidez	Tx. Var.	-6,54	-1,31	-0,65	-0,13
	Var. Perc.	9,24%	9,24%	9,24%	9,24%
Resíduo Total	Tx. Var.	0,00	0,00	0,00	0,00
	Var. Perc.	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
pH= 9	Tx. Var.	-5,5	-6,12	-7,34	-4,58
	Var. Perc.	0,67%	3,71%	8,9%	27,75%
pH= 6	Tx. Var.	7,03	7,21	7,45	7,35
	Var. Perc.	0,55%	2,81%	5,81%	28,67%

Tabela 3.1: Análise de Sensibilidade para pontos de *Classe 2*

Podemos perceber que no caso da Turbidez, a variação percentual é constante e igual a 9,24%, para águas de *Classe 2*. Isso acontece pois o limite CONAMA para águas classificadas como *Classe 2* coincide com o extremo do último intervalo de definição da função IQA_3 . Para esse intervalo, é atribuído o valor 5 para a qualidade da Turbidez. Essa convenção provoca um degrau na função IQA_3 , quando o valor da Turbidez é 100. Assim, por menor que seja a variação aplicada nesse extremo, o impacto sob o IQA será significativo e constante. No caso da *Classe Especial*, a função IQA_3 é contínua quando o valor da Turbidez é igual a 40. Além disso, sua taxa de variação é relativamente baixa. Portanto, para a turbidez, classificamos sua sensibilidade alta somente para águas de *Classe 2*.

Para o pH, os padrões CONAMA são os mesmos para os dois tipos de classe, à saber, de 6 à 9. À medida que são provocadas variações de 1 à 50% sob esses limites, as variações percentuais da função IQA_2 são crescentes e as taxas de variação significativas, conforme mostram as Tabelas (3.1) e (3.2).

No caso do OD, tanto as águas do tipo *Classe 2* quanto da *Classe Especial* possuem taxas de variação e variações percentuais crescentes, para alterações de 1 à 50% em sua concentração limite estabelecida pelo CONAMA.

Para o Resíduo Total, é possível observar que seu impacto sob o IQA é o mais baixo de todas as variáveis. Isso é explicado pelos seguintes fatores:

- A amplitude de sua função de qualidade é a menor, comparada a amplitude

Parâmetro		1%	5%	10%	50%
OD	Tx. Var.	2,74	2,92	3,14	4,15
	Var. Perc.	0,22%	1,18%	2,55%	16,84%
Col. Fecais	Tx. Var.	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
	Var. Perc.	0,04%	0,2%	0,38%	1,65%
DBO	Tx. Var.	-0,97	-0,97	-0,97	-0,96
	Var. Perc.	0,04%	0,18%	0,37%	1,83%
Nitrogênio Total	Tx. Var.	-0,63	-0,63	-0,63	-0,63
	Var. Perc.	0,00%	0,02%	0,04%	0,2%
Fósforo Total	Tx. Var.	-6,99	-6,99	-6,99	-6,99
	Var. Perc.	0,00%	0,01%	0,02%	0,09%
Turbidez	Tx. Var.	-0,1	-0,1	-0,09	-0,09
	Var. Perc.	0,05%	0,26%	0,52%	2,56%
Resíduo Total	Tx. Var.	0,00	0,00	0,00	0,00
	Var. Perc.	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%
pH= 9	Tx. Var.	-5,65	-6,29	-7,54	-4,7
	Var. Perc.	0,67%	3,71%	8,9%	27,75%
pH= 6	Tx. Var.	7,22	7,41	7,65	7,55
	Var. Perc.	0,55%	2,81%	5,81%	28,67%

Tabela 3.2: Análise de Sensibilidade para pontos de *Classe Especial*

das demais funções de qualidade que definem o IQA, como pode ser visto nas Figuras (1.16) à (1.15), provocando menor impacto ao IQA;

- O peso associado ao Resíduo Total no cálculo do IQA é o menor, a saber, 0,08;
- A taxa de variação da função IQA_8 é praticamente nula, por maior que seja a variação aplicada sob o limite CONAMA;
- A variação percentual da função IQA_8 permanece constante e baixa.

As concentrações de Nitrogênio e Fósforo Totais, também não impactam o IQA de forma significativa, pois como suas concentrações limites são baixas, e dessa forma as variações percentuais provocadas sob o IQA, são mínimas.

Para Coliformes Fecais temos taxas de variação praticamente nulas, enquanto a DBO possui taxas de variação decrescentes. Em ambos os casos, as variações percentuais possuem intensidade menor que as observadas para pH e OD, por exemplo. Essas variáveis foram classificadas com sensibilidade intermediária.

Dessa forma, as variáveis mais sensíveis ao IQA para as águas de *Classe Especial* são OD e pH. Para as águas de *Classe 2*, a Turbidez também é sensível. Quanto as variáveis menos sensíveis, podemos listar para ambas as classes: Fósforo Total, Nitrogênio Total e Resíduo Total.

3.2 Impactos na Classificação do IQA

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com o objetivo de identificar possíveis mudanças na classificação do IQA, através de variações nas concentrações limites das substâncias em até 50%. Para cada ponto de coleta são apresentadas as tabelas com essas variações.

3.2.1 Classificação do IQA para o ponto de coleta P_1

Para o ponto P_1 , alterações na classificação do IQA foram observadas quando OD ou pH atinjam valores 50% fora do padrão CONAMA, isto é, considerando os valores de $OD = 2,5\text{mg/L}$, $\text{pH} = 3$ ou $\text{pH} = 13,5$.

Param. i	x	$IQA_i(x)$	$IQA_i(x \pm 0,01x)$	$IQA_i(x \pm 0,05x)$	$IQA_i(x \pm 0,1x)$	$IQA_i(x \pm 0,5x)$
OD	5	61	61	60	59	51
pH (min.)	6	65	64	63	61	46
pH (max.)	9	62	62	60	57	45
DBO	5	68	67	67	67	66
CF	1000	68	69	68	68	67
TB	100	60	54	54	54	54
NT	2	68	68	68	68	68
FT	0,03	68	68	68	68	68
RT	500	63	63	63	63	63

Tabela 3.3: Alterações na Classificação do IQA para P_1

Com base no histórico dos dados, o valor mínimo atingido para OD no ponto de coleta P_1 é 4,7, que corresponde a uma variação de pouco mais de 5% sob o limite aceitável. Como a função IQA_1 é monótona e pela Tabela (3.3) vemos que não há mudança na classificação do IQA para variações de 5% e 10%, concluímos que sua classificação está bem definida.

No caso do pH, os valores mínimo e máximo históricos atingidos em P_1 são 6,7 e 9,8, respectivamente. Isso mostra que no histórico analisado, o pH excedeu o limite máximo aceitável em quase 10%. Para valores de pH maiores que 9, a função IQA_2 é monótona e pelo mesmo argumento do OD, segue que a classificação do IQA está bem definida.

Para os demais parâmetros, podemos perceber que variações de até 50% não alteram a classificação do IQA. Mas, no caso de DBO, Coliformes Fecais, Nitrogênio Total, Fósforo Total e Resíduo Total, as variações históricas excedentes ao limite

aceitável chegam a 100%, 2200%, 642,5%, 2167% e 61%, respectivamente, como mostra a Tabela (3.4).

Param. i	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
OD	14,4	4,7	8,61	8,45
pH	9,8	6,7	7,89	7,85
DBO	10	1	4,73	4
CF	23000	2	1037	41
TB	16	0,5	6,45	6,4
NT	14,85	0,81	2,99	2,40
FT	0,68	0,00	0,12	0,07
RT	806	24	189,15	170

Tabela 3.4: Análise Descritiva do Ponto P_1

Dentre esses parâmetros, o Nitrogênio, Fósforo e Resíduo Total são pouco sensíveis ao IQA e os demais possuem sensibilidade intermediária, conforme citado na Seção (3.1). A Tabela (3.5) mostra as alterações provocadas no IQA para esses valores históricos.

Param. i	x	$x \pm \Delta x$	$IQA(x)$	$IQA(x \pm \Delta x)$
DBO	5	10	68	64
CF	1000	23000	68	57
NT	2	14,85	68	63
FT	0,03	0,68	68	64
RT	500	806	63	63

Tabela 3.5: Alterações Provocadas no IQA com Novas Variações para P_1

Podemos perceber que, mesmo com grandes alterações no teor de concentração das substâncias, em nenhum caso foi constatada uma mudança na classificação do IQA.

3.2.2 Classificação do IQA para o ponto de coleta P_2

Para o ponto P_2 , podemos ver que alterações na classificação do IQA foram observadas quando a DBO excede em 50% o valor considerado aceitável, isto é, atinge o valor de $= 7,5\text{mg/L}$.

Para os demais parâmetros, não houve alteração na classificação do IQA, quando provocadas variações de até 50% no teor limite de suas concentrações.

Os dados históricos desse ponto de coleta apontam que os parâmetros OD, DBO, Nitrogênio Total e Fósforo Total excederam o padrão CONAMA em até 28%, 360%,

Param. i	x	$IQA_i(x)$	$IQA_i(x \pm 0,01x)$	$IQA_i(x \pm 0,05x)$	$IQA_i(x \pm 0,1x)$	$IQA_i(x \pm 0,5x)$
OD	5	73	73	72	71	62
pH (min.)	6	77	76	75	72	55
pH (max.)	9	74	74	71	68	54
DBO	5	80	80	80	80	78
CF	1000	68	68	68	68	67
TB	100	71	64	64	64	64
NT	1	81	81	81	81	81
FT	0,03	81	81	81	81	81
RT	500	74	74	74	74	74

Tabela 3.6: Alterações na Classificação do IQA para P_2

385% e 1567%, respectivamente. No caso do OD, pela monotonicidade da função IQA_1 e sabendo que variações de 10% e 50% não alteraram sua classificação, segue que a a variação de 28% também não provocará alteração. Para a DBO, a alteração já foi constatada, conforme pode ser visto na Tabela (3.6).

Param. i	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
OD	12,2	3,6	8	8
pH	9,8	6,6	8,04	7,9
DBO	23	1	4,85	4
CF	170	0	14,5	2
TB	50	0,7	7,57	5
NT	4,85	0,57	1,88	1,76
FT	0,5	0,006	0,068	0,04
RT	260	88	127	121

Tabela 3.7: Análise Descritiva do Ponto P_2

Os parâmetros Fósforo Total e Nitrogênio Total, possuem sensibilidade baixa ao IQA, porém como o valor do IQA está bem próximo do extremo inferior do intervalo que o classifica como *Ótimo*, essas alterações são suficientes para que a classificação do IQA passe a ser *Boa*, conforme pode ser visto na Tabela (3.8).

Param. i	x	$x \pm \Delta x$	$IQA(x)$	$IQA(x \pm \Delta x)$
NT	1	4,85	81	78
FT	0,03	0,5	81	77

Tabela 3.8: Alterações Provocadas no IQA com Novas Variações para P_2

3.2.3 Classificação do IQA para o ponto de coleta P_3

Para o ponto P_3 , podemos ver que não houve alteração na classificação do IQA, quando provocadas variações de até 50% no teor limite das concentrações dos parâmetros que o definem.

Param. i	x	$IQA_i(x)$	$IQA_i(1 \pm 0,01x)$	$IQA_i(1 \pm 0,05x)$	$IQA_i(1 \pm 0,1x)$	$IQA_i(1 \pm 0,5x)$
OD	6	74	74	73	72	61
pH (min.)	6	79	79	77	74	56
pH (max.)	9	76	76	73	69	55
DBO	3	79	79	79	78	77
CF	200	64	64	64	64	63
TB	40	73	73	73	73	72
NT	0,5	77	77	77	77	77
FT	0,02	76	76	76	76	76
RT	500	70	70	70	70	70

Tabela 3.9: Alterações na Classificação do IQA para P_3

Os dados históricos desse ponto de coleta apontam que os parâmetros OD, pH, DBO, Turbidez, Nitrogênio Total e Fósforo Total excederam o padrão CONAMA em até 17%, 14%, 500%, 22,5%, 698% e 900%, respectivamente.

Param. i	Máximo	Mínimo	Média	Mediana
OD	15,9	5	10,53	9,95
pH	10,3	7,7	9,07	9,05
DBO	18	1	6,12	6
CF	11	0	0,92	0,1
TB	49	2,4	15,98	12
NT	3,99	0,35	1,84	1,6
FT	0,2	0,01	0,085	0,09
RT	168	92	127,42	129

Tabela 3.10: Análise Descritiva do Ponto P_3

Nos casos do OD, pH e Turbidez, sabemos que essas variações não provocam alteração na classificação do IQA, pela monotonicidade e pelos dados da Tabela (3.9).

Os parâmetros Fósforo Total e Nitrogênio Total, possuem sensibilidade baixa ao IQA e dessa forma, apesar de atingirem níveis de concentração na água bem superiores aos padrões estabelecidos, as alterações no IQA não são significativas a ponto de alterar sua classificação, como mostra a Tabela (3.11). No caso da DBO,

que possui sensibilidade intermediária, a alteração do valor do IQA é de mais de 10 pontos, porém é insuficiente para mudar sua classificação.

Param. i	x	$x \pm \Delta x$	$IQA(x)$	$IQA(x \pm \Delta x)$
DBO	3	18	79	67
NT	0,5	3,99	77	75
FT	0,02	0,2	76	75

Tabela 3.11: Alterações Provocadas no IQA com Novas Variações para P_3

3.3 Análise de Tendência dos Parâmetros do IQA

A análise de tendência foi realizada para cada um dos nove parâmetros que definem o IQA, em cada ponto de coleta. Essa análise é importante, pois permite identificar de forma rápida, os parâmetros que possuem tendência linear com coeficientes angulares mais acentuados e dessa forma, servir como um alerta nos casos onde a tendência do parâmetro indica uma piora na qualidade da água.

3.3.1 Tendência dos Parâmetros para P_1

Para as amostras coletadas em P_1 , o ajuste linear do MMQ apontou os maiores coeficientes angulares para Coliformes Fecais e Resíduo Total. Ambos parâmetros possuem relação inversa com o IQA, isto é, quanto maior a concentração dessas substâncias na água, menor será o IQA.

Param. i	a	b
OD	7,61	0,04
pH	7,33	0,02
DBO	3,8	0,03
CF	2201,27	-42,36
TB	5,89	0,02
NT	3,61	-0,02
FT	0,08	0,00
RT	149,27	1,42
IQA	72,46	-0,03

Tabela 3.12: Ajuste do MMQ Linear para Dados de Coleta de P_1

No caso dos Coliformes, essa série atinge o valor 23000 em uma única vez no histórico analisado e isso explica o alto coeficiente angular da reta. Se interpretarmos

esse valor como um *outlier* e o retirarmos do conjunto de dados, os coeficientes obtidos no MMQ passam a ser: $a = 569,26$ e $b = -8,57$. Portanto o coeficiente angular da reta é significativo e negativo. Como a série histórica está na maioria do tempo dentro dos limites CONAMA, temos que essa tendência é positiva ao IQA. A série de Coliformes Fecais juntamente com os dois ajustes do MMQ são mostrados na Figura (3.9).

Já os dados dos Resíduos, atinge o valor de 806 em maio de 2002. Esse valor é bem mais alto que a média dos dados, que é 189. Dessa forma a tendência está influenciada por esse valor. Retirando esse valor do conjunto de dados obtemos os coeficientes: $a = 155,90$ e $b = 0,53$. Da mesma forma, o coeficiente angular da reta é positivo, porém com taxa de crescimento menos intensa. Como o Resíduo possui baixa sensibilidade ao IQA e esse conjunto de dados possui todos os seus elementos dentro dos padrões CONAMA, com exceção do dado de maio de 2002, segue que essa tendência não é preocupante quanto ao IQA.

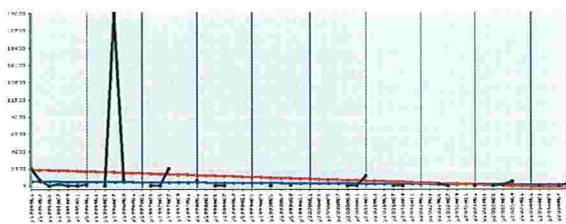


Figura 3.9: Dados Históricos de CF e Ajustes do MMQ para P_1

3.3.2 Tendência dos Parâmetros para P_2

O ajuste do MMQ linear para as séries históricas do ponto de coleta P_2 , mostrou coeficiente angular maior para Coliformes Fecais, como mostra a Tabela (3.13). Como essa série histórica possui todos os dados na região aceitável estabelecida pelo CONAMA e o coeficiente angular é negativo, segue que a influência dessa tendência é positiva ao IQA. A Figura (3.10) ilustra essa análise.

Segundo a CETESB, esse comportamento é justificado devido à redução do bombeamento das águas poluídas do Rio Pinheiros para a Billings, em outubro de 1992. Esse fato é visível no ponto de coleta P_2 e não é perceptível para P_1 , devido à localização desses pontos de coleta na represa.

Parâmetro i	a	b
OD	6,7	0,05
pH	7,45	0,02
DBO	3,93	0,03
CF	40,22	-0,89
TB	5,72	0,06
NT	2,31	-0,02
FT	0,08	0,00
RT	121,29	0,2
IQA	79,17	-0,02

Tabela 3.13: Ajuste do MMQ Linear para Dados de Coleta de P_2

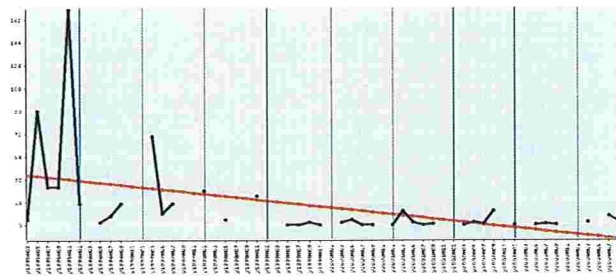


Figura 3.10: Dados Históricos de CF e Ajuste do MMQ para P_2

3.3.3 Tendência dos Parâmetros para P_3

A análise de tendência para o ponto de coleta P_3 indica tendência maior na série dos Resíduos. O coeficiente angular da reta ajustada pelo MMQ é positivo. Por outro lado, sabemos que o Resíduo possui baixa sensibilidade ao IQA e essa série histórica possui média igual a 127 com todos os dados dentro dos padrões CONAMA. Portanto essa tendência não é preocupante quanto ao IQA.

Para esse ponto de coleta, também não é perceptível, a melhora na concentração dos Coliformes Fecais em decorrência do histórico de dados utilizados para o cálculo do MMQ, que são posteriores a 1999, quando o reservatório já tinha passado por um processo de recuperação da qualidade de suas águas.

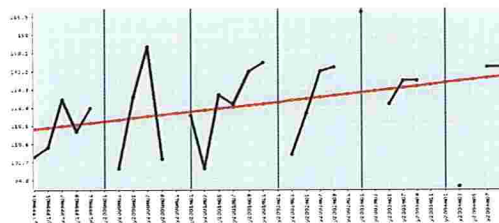


Figura 3.11: Dados Históricos de RT e Ajuste do MMQ para P_3

Parâmetro i	a	b
OD	10,48	0,00
pH	9,19	0,00
DBO	7,29	-0,07
CF	1,65	-0,05
TB	19,62	-0,22
NT	2,31	-0,03
FT	0,08	0,00
RT	116,15	0,7
IQA	70,59	0,16

Tabela 3.14: Ajuste do MMQ Linear para Dados de Coleta de P_3

3.4 Séries Temporais das Imagens de Satélite

Nesta seção mostraremos aproximações lineares das séries temporais das imagens de satélite Landsat 5 nos pontos de coleta. Além disso, também apresentaremos as correlações obtidas entre essas séries e as séries de qualidade dos parâmetros que definem o IQA.

3.4.1 Análise dos Valores Digitais das Imagens

Conforme citado no capítulo anterior, a quantidade de imagens Landsat 5 obtidas no período de janeiro de 1995 à setembro de 2004 somam 21.

As Figuras (3.12) à (3.14), mostram essas séries agrupadas por ponto de coleta, ou seja, em cada figura temos as informações das bandas 1, 2 e 3 de um mesmo ponto de coleta.

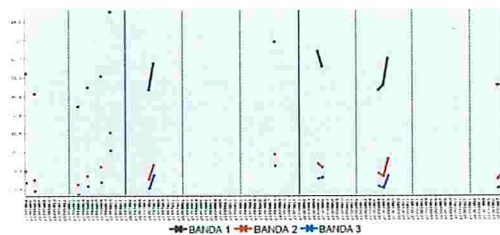


Figura 3.12: Valores Históricos das Imagens LANDSAT 5 para P_1

Através desses gráficos, observamos também que apesar das magnitudes das três bandas serem distintas, o comportamento dessas séries são semelhantes. Podemos comprovar isso pela alta correlação existente entre as bandas, conforme mostra a Tabela (3.15).

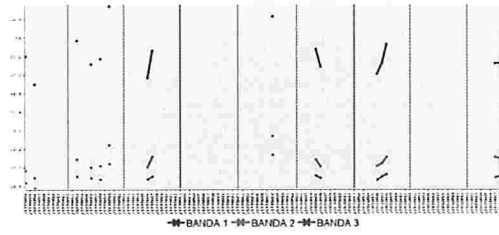


Figura 3.13: Valores Históricos das Imagens LANDSAT 5 para P_2

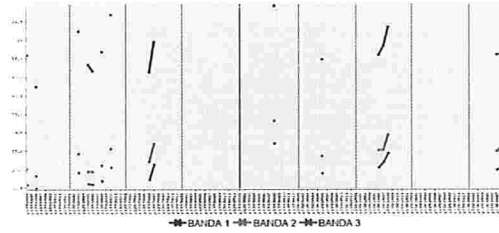


Figura 3.14: Valores Históricos das Imagens LANDSAT 5 para P_3

Apesar da alta correlação entre as bandas da imagem em um mesmo ponto de coleta, principalmente no caso das bandas 2 e 3, faremos a análise para as três bandas, já que a taxa de variação das bandas será correlacionada com as variáveis limnológicas, em períodos específicos, conforme citados na Seção (2.3).

3.4.2 Análise de Tendência Linear das Imagens

Quando for utilizada a expressão *ajustes anuais* para as retas aproximadas pelo MMQ, significa que os pontos considerados nesse ajuste foram todos os disponíveis no ano em questão. No caso de *ajustes mistos*, as taxas de variação das retas foram obtidas a partir de dois pontos consecutivos pertencentes a um mesmo ano, conforme ilustrado na Figura (2.13).

Apresentaremos aqui as tabelas de correlação obtidas para P_1 . As demais se encontram no Apêndice 1, para consultas.

A Tabela (3.16) mostra os coeficientes a e b das retas $a+bx$ ajustadas anualmente, para cada uma das 3 bandas no ponto de coleta P_1 .

Podemos perceber que a maioria dos coeficientes angulares seguem a mesma tendência, se comparado entre as bandas. A tendência é invertida somente para o ano de 2000, que na Banda 3, a tendência é positiva.

As correlações entre as variáveis limnológicas e os valores digitais para o ponto P_1 são apresentados nas Tabelas (3.17) à (3.22).

Para o ponto P_1 observamos:

Pontos de Coleta	P_1			P_2			P_3		
Bandas	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	0,97	0,97	1	0,87	0,86	1	0,82	0,81
2	0,97	1	0,99	0,87	1	0,97	0,82	1	0,99
3	0,97	0,99	1	0,86	0,97	1	0,81	0,99	1

Tabela 3.15: Correlação entre as Bandas 1, 2 e 3

P_1	1995	1996	1997	2000	2001	2003
$a + bx$	Banda 1					
a	65,45	26,4	-7,67	84,89	12,98	46,61
b	-3,39	4,07	9	-5,11	5,33	0,17
$a + bx$	Banda 2					
a	25	5,9	-12,67	26,67	2,07	1,22
b	-1,56	2,29	4,78	-1,11	2,44	2,11
$a + bx$	Banda 3					
a	20,33	4,15	-13,78	13,89	2,04	6,28
b	-1,39	1,87	4,44	0,45	1,78	0,94

Tabela 3.16: Aproximações Lineares Anuais para Imagens em P_1

- Correlação alta para o Fósforo Total: na Tabela (3.17) as Bandas 1 e 2 se mostram com correlação alta e a Banda 3, apesar de estar em torno de 0,7 já é bem menor que as demais. A correlação da Banda 3 é alta para os ajustes anuais por Spline e Interpolação Linear. Nos ajustes mistos essa correlação persiste somente para a Banda 1, quando são utilizados os valores brutos;
- Correlação alta para os Coliformes Fecais: essa correlação pode ser percebida somente nas Tabelas (3.17) e (3.19);
- Correlação alta para o IQA: essa correlação pode ser percebida somente na Tabela (3.17).

P_1	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,889	-0,914	-0,872
pH	0,510	0,428	0,416
TB	-0,312	-0,196	-0,104
DBO	-0,233	-0,263	-0,099
OD	-0,684	-0,536	-0,542
NT	0,158	0,319	0,466
FT	0,859	0,892	0,676
RT	-0,514	-0,472	-0,187
IQA	-0,885	-0,825	-0,806

Tabela 3.17: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes anuais a partir de Valores Brutos

P_1	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,313	-0,514	-0,544
pH	0,094	-0,069	0,211
TB	0,010	-0,240	-0,085
DBO	-0,136	-0,364	-0,191
OD	-0,442	-0,315	-0,230
NT	0,285	0,528	0,565
FT	0,578	0,631	0,780
RT	-0,164	-0,043	0,224
IQA	-0,256	-0,265	0,032

Tabela 3.18: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Linear

P_1	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,474	-0,609	-0,672
pH	0,156	0,003	0,28
TB	0,207	-0,007	0,155
DBO	0,017	-0,182	0,026
OD	-0,599	-0,517	-0,511
NT	0,210	0,456	0,450
FT	0,442	0,504	0,681
RT	-0,592	-0,478	-0,22
IQA	-0,564	-0,575	-0,374

Tabela 3.19: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Spline

P_1	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,085	-0,158	-0,058
pH	0,404	0,231	0,275
TB	-0,237	-0,364	-0,228
DBO	-0,161	-0,274	-0,087
OD	-0,232	-0,174	-0,102
NT	-0,235	-0,251	-0,261
FT	0,763	0,601	0,523
RT	-0,277	-0,387	-0,131
IQA	0,089	0,087	0,183

Tabela 3.20: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes mistos a partir de Valores Brutos

P_1	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,079	-0,312	-0,226
pH	0,040	-0,107	0,101
TB	-0,109	-0,389	-0,214
DBO	-0,170	-0,378	-0,218
OD	-0,240	-0,198	-0,103
NT	0,081	0,127	0,18
FT	0,532	0,410	0,538
RT	-0,184	-0,266	-0,047
IQA	0,160	0,148	0,331

Tabela 3.21: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Linear

P_1	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	0,039	-0,113	-0,030
pH	0,076	-0,068	0,139
TB	0,013	-0,257	-0,069
DBO	-0,010	-0,203	-0,011
OD	-0,260	-0,243	-0,188
NT	-0,018	0,021	0,038
FT	0,471	0,377	0,525
RT	-0,342	-0,364	-0,138
IQA	0,084	0,097	0,257

Tabela 3.22: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_1 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Spline

Capítulo 4

Conclusão

As correlações obtidas entre as imagens e variáveis limnológicas para o ponto P_3 foram altas para: pH, TB, DBO, OD, NT, RT e IQA. Através das Tabelas do Apêndice 2, vemos que para esse ponto de coleta, só há duas datas onde os dados limnológicos foram interpolados no período de análise da correlação. No ano de 2001 todos os dados são originais, enquanto o ano 2003 possui dados interpolados nos meses de março e novembro, que não são utilizados na análise de correlação já que as imagens de satélite são datadas dos meses de julho e agosto, como pode ser visto no Apêndice 3. O ponto de coleta P_2 não apresentou correlação para nenhum parâmetro estudado. Segundo a CETESB, a coleta de água nesse local é feita muitas vezes em baixo da rodovia Imigrantes, e dessa forma, as características da água são diferentes já que a penetração de luz nesse local é menor. Para P_1 , observamos correlações altas para o FT, CF e IQA.

As correlações mostraram também que os ajustes anuais são mais eficientes que os ajustes mistos. Nos ajustes mistos são levados em consideração as variações intermediárias anuais das imagens e conseqüentemente das variáveis limnológicas, que são obtidas através dos valores interpolados ou de valores brutos próximos às datas da imagem, comprometendo os resultados.

Quanto a base dos dados (brutos, Spline ou Interpolação Linear), obtivemos os melhores resultados no caso dos dados brutos. As Interpolações Linear e Spline não apresentaram benefícios significativos às análises de correlação, devido à grande quantidade de dados faltantes das séries temporais.

Concluimos que o teor de concentração das substâncias afeta as variáveis sensíveis ao sensor e que a metodologia é viável sendo seu benefício diretamente relacionado com a disposição dos dados. Enfatizamos também a importância de sincronizar a coleta de água aos dias de passagem do Satélite.

Para aprimorar a metodologia, indicamos a necessidade de estudos para a correção das imagens de satélite que deveriam ser normalizadas em relação a um referencial único, entretanto esse estudo que por si só, é merecedor de atenção especial.

A análise de sensibilidade nos permitiu entender a dinâmica do IQA. O parâmetro menos sensível ao IQA é o RT, devido a definição de sua curva de qualidade, que possui amplitude menor que as demais e ao peso de 0,08 atribuído ao RT no cálculo do IQA, que é o menor de todos. Portanto, apesar do RT apresentar tendências positivas para P_1 e P_3 , com coeficientes angulares iguais a 1,42 e 0,7, respectivamente, o IQA não é impactado. Os parâmetros mais sensíveis ao IQA são pH e OD. No caso da *Classe 2*, a TB também é considerada sensível, devido ao padrão limite aceitável de sua concentração. Para o ponto de coleta P_2 , identificamos que o reestabelecimento das variáveis fósforo e nitrogênio total ao valor padrão limite CONAMA, provoca mudança de classificação do IQA de *Boa* à *Ótima*.

Como estudo complementar sugerimos que a coleta seja feita em vários locais cobrindo uma região em torno do ponto de coleta georreferenciado para identificar se há variação nos valores medidos dentro da região que corresponde a um valor digital da imagem.

Baseado na importância da quantidade de dados disponíveis para a aplicação dessa técnica, indicamos também um estudo que avalie o volume das precipitações ocorridas nas datas de coleta de amostra de água da CETESB para estabelecer um método para eliminação ou permanência dessas amostras no estudo. Dessa forma é possível aumentar a quantidade de dados nas análises e conseqüentemente melhorar a performance dos resultados.

Apêndice 1 - Correlações dos Dados Limnológicos e Imagens de Satélite

Análise das Imagens de P_2

A Tabela (1) mostra os coeficientes a e b das retas $a + bx$ ajustadas anualmente, para cada uma das 3 bandas.

P_2	1995	1996	1997	2000	2001	2003
$a + bx$	Banda 1					
a	70,89	49,07	-5,67	83,22	18,8	50,11
b	-4,44	1,26	8,67	-5,56	4,72	0,11
$a + bx$	Banda 2					
a	21,11	16,67	-0,67	31,44	9,72	24,5
b	-1,11	0,52	3,11	-2,22	1,39	-0,5
$a + bx$	Banda 3					
a	16,44	12,43	8,67	18,45	8,17	12,72
b	-0,89	0,45	0,89	-0,67	0,94	0,28

Tabela 1: Aproximações Lineares Anuais para Imagens em P_2

Podemos perceber que a maioria dos coeficientes angulares seguem a mesma tendência, se comparado entre as bandas. A tendência é invertida somente para o ano de 2003, que na Banda 2, a tendência é negativa.

As correlações entre as variáveis limnológicas e os valores digitais para o ponto P_2 são apresentados nas Tabelas (2) à (7).

Para o ponto P_2 observamos:

- Correlação alta não foi percebida para nenhuma das variáveis analisadas;

P_2	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,323	-0,438	-0,202
pH	-0.193	-0,078	-0,300
TB	0,016	0,095	-0,003
DBO	0,208	0,170	0,227
OD	0,422	0,420	0,370
NT	-0,189	-0,287	-0,052
FT	-0,124	-0,069	-0,103
RT	-0,075	0,045	-0,168
IQA	-0,051	-0,002	-0,097

Tabela 2: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes anuais a partir de Valores Brutos

- Na Tabela (5) percebemos o Nitrogênio apontando uma correlação maior que nos ajustes anuais, sendo que na Banda 3 chega a quase 0,7;
- Na Tabela (5) percebemos o IQA apontando uma correlação significativamente maior que nos demais ajustes.

P_2	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,262	-0,384	-0,082
pH	-0,126	-0,024	-0,252
TB	-0,169	-0,114	-0,163
DBO	-0,024	0,006	-0,036
OD	0,167	0,021	0,296
NT	0,141	0,033	0,284
FT	0,192	0,209	0,388
RT	-0,112	-0,005	-0,208
IQA	-0,216	-0,272	-0,126

Tabela 3: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Linear

P_2	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,312	-0,435	-0,169
pH	-0,146	-0,039	-0,242
TB	0,001	0,080	-0,060
DBO	0,147	0,136	0,122
OD	0,403	0,423	0,293
NT	-0,128	-0,272	0,081
FT	0,012	0,068	0,171
RT	-0,048	0,065	-0,152
IQA	-0,042	0,003	-0,092

Tabela 4: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes anuais a partir da Interpolação Spline

P_2	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,431	-0,515	-0,257
pH	0,003	0,092	-0,059
TB	0,229	0,278	0,133
DBO	-0,065	-0,079	-0,130
OD	0,299	0,287	0,283
NT	-0,495	-0,584	-0,675
FT	-0,280	-0,262	-0,175
RT	0,105	0,188	0,049
IQA	-0,392	-0,426	-0,608

Tabela 5: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes mistos a partir de Valores Brutos

P_2	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,374	-0,480	-0,279
pH	0,070	0,150	-0,039
TB	-0,171	-0,127	-0,193
DBO	-0,317	-0,326	-0,372
OD	0,083	-0,017	0,227
NT	-0,019	-0,121	0,012
FT	-0,192	-0,189	-0,237
RT	-0,202	-0,128	-0,246
IQA	-0,252	-0,310	-0,175

Tabela 6: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Linear

P_2	Banda 1	Banda 2	Banda 3
CF	-0,224	-0,328	-0,094
pH	0,005	0,082	-0,079
TB	-0,099	-0,046	-0,201
DBO	-0,367	-0,406	-0,407
OD	0,282	0,272	0,237
NT	-0,318	-0,434	-0,232
FT	-0,239	-0,219	-0,108
RT	-0,133	-0,055	-0,194
IQA	-0,055	-0,034	-0,065

Tabela 7: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_2 obtidas de ajustes mistos a partir da Interpolação Spline

Análise das Imagens de P_3

A Tabela (8) mostra os coeficientes a e b das retas $a + bx$ ajustadas anualmente, para cada uma das 3 bandas.

P_3	1995	1996	1997	2001	2003
$a + bx$	Banda 1				
a	74,11	50,57	-9,22	27,07	53,94
b	-5	0,98	9,67	4,44	0,06
$a + bx$	Banda 2				
a	22,22	17,62	-14,56	7,91	12,94
b	-1,11	0,35	5,78	2,5	1,5
$a + bx$	Banda 3				
a	15	13,2	-14,22	4,46	11,73
b	-0,56	0,28	4,78	2,28	0,83

Tabela 8: Aproximações Lineares Anuais para Imagens em P_3

Podemos perceber que todos os coeficientes angulares seguem a mesma tendência, se comparado entre as bandas.

A seguir apresentamos a tabela de correlação das imagens e variáveis limnológicas obtidas para o ponto P_3 .

P_3	Banda 1	Banda 2	Banda 3
pH	-0,467	-0,961	-0,564
TB	-0,991	-0,592	-0,970
DBO	0,844	0,199	0,778
OD	-0,303	-0,897	-0,410
NT	-0,485	-0,966	-0,581
FT	0,426	-0,356	0,321
RT	-0,747	-0,997	-0,818
IQA	-0,630	-0,996	-0,714

Tabela 9: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_3 obtidas de ajustes anuais

Os coliformes fecais não aparecem nessas tabelas, pois para esse ponto de coleta sua variação de qualidade nesse período é praticamente nula. Observamos também que para esse ponto de coleta, várias variáveis são identificadas com correlação alta.

P_3	Banda 1	Banda 2	Banda 3
pH	-0,510	-0,974	-0,605
TB	0,596	-0,165	0,501
DBO	0,847	0,205	0,781
OD	-0,978	-0,829	-0,995
NT	0,255	-0,520	0,144
FT	0,541	-0,230	0,442
RT	-0,231	-0,861	-0,340
IQA	-0,531	-0,979	-0,624

Tabela 10: Correlações das Imagens e Parâmetros do IQA em P_3 obtidas de ajustes mistos

Isso acontece porque neste caso temos somente 3 dados na análise da correlação das taxas de variação, pois só há 5 imagens disponíveis, sendo duas imagens em 2001 e três em 2003.

Apêndice 2 - Variáveis Limnológicas

Para cada ponto de coleta temos 10 conjuntos de dados: o IQA e os nove parâmetros que o compõe. As Figuras (1) à (6) apresentam os dados limnológicos dos três pontos de coleta e os dados interpolados em cinza. As Figuras (7) à (12) apresentam as séries de qualidade correspondentes, calculadas a partir das aproximações citadas no Capítulo 1.

Mês/Ano	IQA	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-99	75	4	9	9	6	10	26	1.22	0.02	105
May-99	84	0	8.2	5	6	8.8	22	2.2	0.1	109
Jul-99	67	0	9.5	36	7	9.8	19	3.02	0.2	130
Sep-99	79	0	8.9	12	5	9.8	20	1.45	0.01	116
Nov-99	71	0	9.6	14	7	10.8	23	1.56	0.01	126
Jan-00	74.88	-3.41	9.30	17.64	8.58	8.83	24.16	1.58	0.02	111.41
Mar-00	77	0	8.9	13	7	9.6	25	1.36	0.01	100
May-00	60	11	9.6	18	7	15.1	25	2.08	0.06	131
Jul-00	59	0	9.3	49	18	10.9	19	3.99	0.18	153
Sep-00	69	0.1	9.1	8	5	11	24	1.9	0.11	104
Nov-00	72.74	0.97	9.03	10.67	2.37	10.05	26.63	1.68	0.17	108.47
Jan-01	70	0	9.1	31	7	9.3	27	2.18	0.2	123
Mar-01	68	0	9.2	17	6	11.1	28	1.64	0.05	100
May-01	79	0	8.6	12	6	9.6	23	3.27	0.1	132
Jul-01	84	0	8.7	12	3	9	19	2.12	0.06	128
Sep-01	61	0.1	10.2	24	1	15.9	22	2.93	0.06	142
Nov-01	61	4	10.3	10	4	12.8	25	0.59	0.01	146
Jan-02	60.21	2.40	10.16	5.30	5.20	10.67	28.79	0.14	0.05	122.59
Mar-02	67	0.1	9.6	7	5	10	29	0.96	0.11	106
May-02	85	2	8.6	7	6	8.6	23	1.33	0.09	124
Jul-02	74	0.1	9	20	8	10.4	20	3	0.08	142
Sep-02	84	1	8.5	11	8	9.3	20	2.64	0.12	144
Nov-02	79.09	0.94	8.80	17.41	7.80	10.06	24.86	1.78	0.12	159.47
Jan-03	69	0	9.1	23	7	9.9	29	0.95	0.1	168
Mar-03	74.71	-0.15	8.24	6.24	4.94	5.69	26.78	0.16	0.10	146.85
May-03	81	0.1	7.7	7	4	5	21.7	0.35	0.1	128
Jul-03	73	0.1	8.7	40	6	12	19.5	1.66	0.09	138
Sep-03	68	0.1	9.4	14	8	13	23	1.53	0.12	138
Nov-03	70.35	-0.04	9.50	-5.22	7.82	11.68	25.69	1.26	0.10	118.20
Jan-04	77.14	-0.15	9.20	-3.83	6.08	10.15	25.76	1.27	0.05	95.80
Mar-04	85	0.1	8.7	5	4	8.5	23.3	1.4	0.04	92
May-04	89.88	0.78	8.25	10.19	2.73	7.30	19.31	1.50	0.10	117.87
Jul-04	85	1	8.5	9.1	3	8.9	18.5	1.39	0.13	144
Sep-04	67	0.1	9.8	2.4	5	14.7	24.1	1	0.05	144

Figura 1: Séries Temporais obtidas por Interpolação Spline para P_3

Mês/Ano	IQA	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-99	75	4	9	9	6	10	26	1.22	0.02	105
May-99	84	0	8.2	5	6	8.8	22	2.2	0.1	109
Jul-99	67	0	9.5	36	7	9.8	19	3.02	0.2	130
Sep-99	79	0	8.9	12	5	9.8	20	1.45	0.01	116
Nov-99	71	0	9.6	14	7	10.8	23	1.56	0.01	126
Jan-00	74.00	0.00	9.25	13.50	7.00	10.20	24.00	1.46	0.01	113.00
Mar-00	77	0	8.9	13	7	9.6	25	1.36	0.01	100
May-00	60	11	9.6	18	7	15.1	25	2.08	0.06	131
Jul-00	59	0	9.3	49	18	10.9	19	3.99	0.18	153
Sep-00	69	0.1	9.1	8	5	11	24	1.9	0.11	104
Nov-00	69.50	0.05	9.10	19.50	6.00	10.15	25.50	2.04	0.16	113.50
Jan-01	70	0	9.1	31	7	9.3	27	2.18	0.2	123
Mar-01	68	0	9.2	17	6	11.1	28	1.64	0.05	100
May-01	79	0	8.6	12	6	9.6	23	3.27	0.1	132
Jul-01	84	0	8.7	12	3	9	19	2.12	0.06	128
Sep-01	61	0.1	10.2	24	1	15.9	22	2.93	0.06	142
Nov-01	61	4	10.3	10	4	12.8	25	0.59	0.01	146
Jan-02	64.00	2.05	9.95	8.50	4.50	11.40	27.00	0.77	0.06	126.00
Mar-02	67	0.1	9.6	7	5	10	29	0.96	0.11	106
May-02	85	2	8.6	7	6	8.6	23	1.33	0.09	124
Jul-02	74	0.1	9	20	8	10.4	20	3	0.08	142
Sep-02	84	1	8.5	11	8	9.3	20	2.64	0.12	144
Nov-02	76.50	0.50	8.80	17.00	7.50	9.60	24.50	1.79	0.11	156.00
Jan-03	69	0	9.1	23	7	9.9	29	0.947	0.1	168
Mar-03	75.00	0.00	8.40	15.00	5.50	7.45	25.35	0.65	0.10	148.00
May-03	81	0.1	7.7	7	4	5	21.7	0.35	0.1	128
Jul-03	73	0.1	8.7	40	6	12	19.5	1.66	0.09	138
Sep-03	68	0.1	9.4	14	8	13	23	1.53	0.12	138
Nov-03	73.67	0.10	9.17	11.00	6.67	11.50	23.10	1.49	0.09	122.67
Jan-04	79.33	0.10	8.93	8.00	5.33	10.00	23.20	1.44	0.07	107.33
Mar-04	85	0.1	8.7	5	4	8.5	23.3	1.4	0.04	92
May-04	85.00	0.55	8.60	7.05	3.50	8.70	20.90	1.40	0.09	118.00
Jul-04	85	1	8.5	9.1	3	8.9	18.5	1.39	0.13	144
Sep-04	67	0.1	9.8	2.4	5	14.7	24.1	1	0.05	144

Figura 2: Séries Temporais obtidas por Interpolação Linear para P_3

Mês/Ano	IQA	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Jan-95		2300	7.7	8.5		7.6	28	2.76	0.07	193
Mar-95	69	800	7.1	9.5	6	7.3	27	1.06	0.035	134
May-95	80	17	7.3	1.5	5	7.2	21	2.44	0.029	144
Jul-95	51	230	6.9	4.5	2	7.5	19	14.85	0.518	175
Sep-95	87	2	7.3	6.5	3	8	17	2.53	0.027	167
Nov-95	82	23	7.8	7	2	9	25	0.96	0.05	144
Jan-96	69	170	7.3	5.5	5	4.7	24	2.41	0.03	122
Mar-96	83.29	-6771.35	7.44	1.05	4.55	5.16	22.99	2.31	-0.01	100.12
May-96	86	4	7.5	1	3	7.8	20	1.3	0.02	108
Jul-96	56	23000	6.8	8.9	4	7.9	14	2.42	0.09	152
Sep-96	67	800	7.1	10	3	8.5	20	11.2	0.06	148
Nov-96	80.80	-11591.90	7.26	4.96	1.47	7.81	24.47	11.77	0.01	123.32
Jan-97	84.58	-6873.71	7.34	-0.10	1.09	6.50	24.89	5.74	-0.01	109.12
Mar-97	82	22	8	1	3	6.4	24	0.97	0.001	128
May-97	74	23	8.7	8	6	8.9	23	2.12	0.05	180
Jul-97	58	2300	6.7	5	4	12.6	20	3.17	0.07	200
Sep-97	52.02	3176.79	6.32	4.44	3.83	13.00	21.41	3.41	0.07	195.36
Nov-97	56.59	2124.33	7.53	7.03	5.46	10.83	25.33	3.08	0.06	176.66
Jan-98	66	700	8.6	8	6	8.4	27	2.12	0.05	149
Mar-98	74.99	94.64	8.30	4.85	3.90	7.43	23.45	0.83	0.04	122.46
May-98	80	33	7.4	4	3	7.3	19	1.1	0.05	127
Jul-98	80	2	6.9	10	6	7.1	18	3.82	0.1	172
Sep-98	80.60	-20.10	6.71	13.78	7.45	6.99	18.46	5.52	0.15	187.67
Nov-98	82.26	-19.79	6.75	13.79	6.71	7.06	19.39	5.68	0.18	171.24
Jan-99	83.62	-6.93	6.99	11.42	4.94	7.34	20.49	4.85	0.19	143.07
Mar-99	83.32	8.62	7.41	8.03	3.31	7.85	21.46	3.61	0.18	123.53
May-99	80	17	8	5	3	8.6	22	2.5	0.15	133
Jul-99	73.32	18.00	8.66	3.39	4.68	9.52	21.98	1.94	0.09	181.53
Sep-99	67	50	9	3	7	10.2	22	1.69	0.01	238
Nov-99	64.71	144.63	8.70	3.35	8.48	10.26	22.63	1.46	-0.08	269.24
Jan-00	65.88	268.01	7.96	4.19	8.99	9.86	23.66	1.25	-0.15	275.24
Mar-00	68.84	369.89	7.16	5.29	8.76	9.28	24.71	1.16	-0.19	264.25
May-00	71.94	400.02	6.65	6.43	8.04	8.78	25.38	1.27	-0.17	244.54
Jul-00	73.55	308.14	6.78	7.41	7.04	8.67	25.28	1.68	-0.05	224.37
Sep-00	72	44	7.9	8	6	9.2	24	2.47	0.17	212
Nov-00	64	21	9	7	5	9.1	23	2.95	0.52	199
Jan-01	57	1300	7.2	2.7	4	5.7	27	1.38	0.68	154
Mar-01	87	1500	8.5	4	4	7.8	28	1.5	0.01	168
May-01	85	727	8.2	9	4	8.5	23	1.62	0.08	218
Jul-01	70	11	8.7	5	4	12.4	19	1.83	0.07	230
Sep-01	56	21	9.8	12	7	14.4	22	2.77	0.11	288
Nov-01	49.84	175.29	10.20	12.13	10.36	14.18	25.79	5.02	0.15	555.15
Jan-02	51.13	269.76	9.85	5.20	12.52	12.74	27.85	7.48	0.16	885.10
Mar-02	57.35	284.60	9.00	-0.83	12.68	10.87	27.49	8.61	0.15	1046.00
May-02	66	200	7.9	2	10	9.3	24	6.85	0.12	806
Jul-02	74	43	7	14	5	8.7	19	2.36	0.08	182
Sep-02	77.41	-25.29	7.15	13.48	2.15	9.09	20.22	0.30	0.02	-70.91
Nov-02	77.28	-10.35	7.96	5.07	2.05	9.61	25.23	0.45	-0.02	23.84
Jan-03	76	29	8.7	1.9	4	9.2	28.5	0.81	0.01	186
Mar-03	75.29	45.60	8.78	11.12	6.76	7.58	26.12	0.30	0.12	211.37
May-03	74	39	8.3	16	7	7.5	20.8	1.45	0.19	200
Jul-03	68	140	8.1	7.4	5	9.8	19.4	4.95	0.16	262
Sep-03	54	600	9.7	13	10	8.4	30	4.13	0.26	278
Nov-03	56.57	651.78	9.87	13.57	9.87	7.79	34.05	2.86	0.22	214.02
Jan-04	71.29	342.42	8.64	7.87	5.04	8.45	30.33	2.39	0.09	125.59
Mar-04	84	12	7.3	3.5	1	8.9	24.2	2.35	0.02	82
May-04	84.32	-76.55	6.87	5.21	1.58	8.32	20.22	2.44	0.11	117.73
Jul-04	77	31	7.4	6.3	4	8.4	19.9	2.48	0.18	128
Sep-04	69	220	8.6	0.5	5	10.6	23.1	2.38	0.06	24

Figura 3: Séries Temporais obtidas por Interpolação Spline para P_1

Mês/Ano	IQA	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Jan-95		2300	7.7	8.5		7.6	28	2.76	0.07	193
Mar-95	69	800	7.1	9.5	6	7.3	27	1.06	0.04	134
May-95	80	17	7.3	1.5	5	7.2	21	2.44	0.03	144
Jul-95	51	230	6.9	4.5	2	7.5	19	14.85	0.52	175
Sep-95	87	2	7.3	6.5	3	8	17	2.53	0.03	167
Nov-95	82	23	7.8	7	2	9	25	0.96	0.05	144
Jan-96	69	170	7.3	5.5	5	4.7	24	2.41	0.03	122
Mar-96	77.50	87.00	7.40	3.25	4.00	6.25	22.00	1.86	0.03	115.00
May-96	86	4	7.5	1	3	7.8	20	1.3	0.02	108
Jul-96	56	23000	6.8	8.9	4	7.9	14	2.42	0.09	152
Sep-96	67	800	7.1	10	3	8.5	20	11.2	0.06	148
Nov-96	72.00	540.67	7.40	7.00	3.00	7.80	21.33	7.79	0.04	141.33
Jan-97	77.00	281.33	7.70	4.00	3.00	7.10	22.67	4.38	0.02	134.67
Mar-97	82	22	8	1	3	6.4	24	0.97	0.001	128
May-97	74	23	8.7	8	6	8.9	23	2.12	0.05	180
Jul-97	58	2300	6.7	5	4	12.6	20	3.17	0.07	200
Sep-97	60.67	1766.67	7.33	6.00	4.67	11.20	22.33	2.82	0.06	183.00
Nov-97	63.33	1233.33	7.97	7.00	5.33	9.80	24.67	2.47	0.06	166.00
Jan-98	66	700	8.6	8	6	8.4	27	2.12	0.05	149
Mar-98	73.00	366.50	8.00	6.00	4.50	7.85	23.00	1.61	0.05	138.00
May-98	80	33	7.4	4	3	7.3	19	1.1	0.05	127
Jul-98	80	2	6.9	10	6	7.1	18	3.82	0.1	172
Sep-98	80.00	5.00	7.12	9.00	5.40	7.40	18.80	3.56	0.11	164.20
Nov-98	80.00	8.00	7.34	8.00	4.80	7.70	19.60	3.29	0.12	156.40
Jan-99	80.00	11.00	7.56	7.00	4.20	8.00	20.40	3.03	0.13	148.60
Mar-99	80.00	14.00	7.78	6.00	3.60	8.30	21.20	2.76	0.14	140.80
May-99	80	17	8	5	3	8.6	22	2.5	0.15	133
Jul-99	73.50	33.50	8.50	4.00	5.00	9.40	0.00	2.10	0.08	185.50
Sep-99	67	50	9	3	7	10.2	22	1.69	0.01	238
Nov-99	67.83	49.00	8.82	3.83	6.83	10.03	22.33	1.82	0.04	233.67
Jan-00	68.67	48.00	8.63	4.67	6.67	9.87	22.67	1.95	0.06	229.33
Mar-00	69.50	47.00	8.45	5.50	6.50	9.70	23.00	2.08	0.09	225.00
May-00	70.33	46.00	8.27	6.33	6.33	9.53	23.33	2.21	0.12	220.67
Jul-00	71.17	45.00	8.08	7.17	6.17	9.37	23.67	2.34	0.14	216.33
Sep-00	72	44	7.9	8	6	9.2	24	2.47	0.17	212
Nov-00	64	21	9	7	5	9.1	23	2.95	0.52	199
Jan-01	57	1300	7.2	2.7	4	5.7	27	1.38	0.68	154
Mar-01	87	870	8.5	4	4	7.8	28	1.5	0.01	168
May-01	85	441	8.2	9	4	8.5	23	1.62	0.08	218
Jul-01	70	11	8.7	5	4	12.4	19	1.83	0.07	230
Sep-01	56	21	9.8	12	7	14.4	22	2.77	0.11	288
Nov-01	58.50	65.75	9.33	9.50	7.75	13.13	22.50	3.79	0.11	417.50
Jan-02	61.00	110.50	8.85	7.00	8.50	11.85	23.00	4.81	0.12	547.00
Mar-02	63.50	155.25	8.38	4.50	9.25	10.58	23.50	5.83	0.12	676.50
May-02	66	200	7.9	2	10	9.3	24	6.85	0.12	806
Jul-02	74	43	7	14	5	8.7	19	2.36	0.08	182
Sep-02	74.67	38.33	7.57	9.97	4.67	8.87	22.17	1.84	0.06	183.33
Nov-02	75.33	33.67	8.13	5.93	4.33	9.03	25.33	1.33	0.03	184.67
Jan-03	76	29	8.7	1.9	4	9.2	28.5	0.81	0.01	186
Mar-03	75.00	34.00	0.00	8.95	5.50	8.35	24.65	1.13	0.10	193.00
May-03	74	39	8.3	16	7	7.5	20.8	1.45	0.19	200
Jul-03	68	140	8.1	7.4	5	9.8	19.4	4.95	0.16	262
Sep-03	54	600	9.7	13	10	8.4	30	4.13	0.26	278
Nov-03	64.00	404.00	8.90	9.83	7.00	8.57	28.07	3.54	0.18	212.67
Jan-04	74.00	208.00	8.10	6.67	4.00	8.73	26.13	2.94	0.10	147.33
Mar-04	84	12	7.3	3.5	1	8.9	24.2	2.35	0.02	82
May-04	80.50	21.50	7.35	4.90	2.50	8.65	22.05	2.42	0.10	105.00
Jul-04	77	31	7.4	6.3	4	8.4	19.9	2.48	0.18	128
Sep-04	69	220	8.6	0.5	5	10.6	23.1	2.38	0.06	24

Figura 4: Séries Temporais obtidas por Interpolação Linear para P_1

Mês/Ano	IQA	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-95	86	4	7.3	1.6	4	6.8	28	1.68	0.04	135
May-95	75	90	7.5	1	6	6.6	22	1.25	0.04	132
Jul-95	78	30	7	2.5	4	7	20	4.85	0.04	121
Sep-95	82	30	7.4	3.5	2	6.8	19	1.89	0.01	121
Nov-95	74	170	8.5	1.5	3	7.5	22	0.8	0.17	123
Jan-96	76	17	7.5	2.5	7	5.3	25	2.07	0.5	138
Mar-96	80.23	-38.08	6.94	7.83	7.25	4.75	26.92	1.68	0.34	192.76
May-96	83	2	6.8	9	4	5.7	23	0.86	0.03	188
Jul-96	84	7	6.7	2.2	1	6.7	15	1.66	0.04	88
Sep-96	81.90	17.00	7.90	2.60	3.00	8.20	23.00	3.66	0.06	118.00
Nov-96	78.34	53.79	8.18	2.51	3.80	8.30	28.76	5.65	0.05	139.25
Jan-97	75.87	85.45	7.65	0.94	2.87	7.09	28.41	6.35	0.04	124.27
Mar-97	77	70	7.3	0.7	2	5.4	25	4.52	0.02	106
May-97	82	9	7.4	2.5	2	5.2	21	1.04	0.01	108
Jul-97	84	17	6.6	2	1	9.5	18	1.82	0.04	116
Sep-97	82.06	32.96	6.97	3.56	0.59	10.86	20.46	2.27	0.05	111.71
Nov-97	79.44	35.17	8.14	6.02	0.82	9.09	25.49	1.56	0.03	100.58
Jan-98	80	27	8.8	6	1	6.7	28	0.72	0.02	94
Mar-98	84.96	13.20	8.16	2.76	1.15	5.74	24.76	0.60	0.02	100.74
May-98	85	4	7.5	6	4	6.5	20	1.3	0.04	119
Jul-98	72.37	7.42	8.13	23.30	11.48	8.56	18.48	2.62	0.07	143.04
Sep-98	55.99	17.08	9.31	43.33	19.63	10.54	19.74	3.93	0.10	162.07
Nov-98	49.00	23	9.80	50.00	23.00	10.80	22.00	4.48	0.12	164.00
Jan-99	59.71	18.23	8.82	33.69	18.11	8.49	23.67	3.81	0.11	142.83
Mar-99	77.26	7.86	7.51	10.50	9.33	5.84	23.90	2.61	0.10	116.74
May-99	86	0	7.5	3	3	5.9	22	1.87	0.09	110
Jul-99	81.00	0.00	8.90	17.00	3.00	9.00	19.00	2.13	0.08	124.00
Sep-99	83	2	8.3	12	5	8.8	20	2.36	0.01	106
Nov-99	73.00	0.00	8.60	8.00	8.00	9.10	22.00	2.31	0.02	114.00
Jan-00	75.14	-0.37	8.37	18.26	9.94	7.42	23.67	2.89	0.02	163.87
Mar-00	78.00	2.00	8.10	25.00	9.00	8.10	25.00	3.15	0.01	186.00
May-00	73.00	4.00	8.30	16.00	5.00	12.00	24.00	2.28	0.03	139.00
Jul-00	87.00	0.00	7.60	13.00	3.00	7.40	18.00	1.68	0.05	117.00
Sep-00	73	0.1	9.2	6	6	11.1	22	1.63	0.11	101
Nov-00	60.0421	-2.90	9.71	10.56	9.937439	11.80266	25.023565	2.62	0.17	120.48444
Jan-01	63	0	9.3	15	10	10.3	27	2.77	0.14	129
Mar-01	77	11	8.7	7	5	9.2	29	1.42	0.03	102
May-01	78	2	7.1	4	3	4.2	23	2.42	0.07	132
Jul-01	86	0	8.6	4	1	10.3	20	1.92	0.04	121
Sep-01	89	1	8.3	3	1	8.7	21	2.13	0.03	128
Nov-01	79.16	0.29	8.70	3.50	2.26	9.12	24.92	1.83	0.03	124.78
Jan-02	67.74	-0.74	9.69	4.57	4.05	11.93	28.80	1.18	0.04	110.95
Mar-02	70.00	0.10	9.70	4.00	6.00	12.20	29.00	1.12	0.06	104.00
May-02	88	2	8.2	3	7	8.4	24	1.9	0.07	115
Jul-02	86	1	7.5	8	5	7.5	20	1.93	0.05	126
Sep-02	75.00	11.00	7.00	5.00	4.00	4.80	21.00	1.86	0.09	118.00
Nov-02	75.60	8.67	8.03	5.24	4.70	7.13	24.43	1.38	0.07	127.43
Jan-03	78	0	9.1	7.6	5	9.4	27	0.71	0.04	146
Mar-03	71.79	-2.01	8.46	7.18	3.62	5.63	26.30	0.32	0.07	151.31
May-03	75	0.1	7.3	6	4	3.6	22.6	0.57	0.09	128
Jul-03	90	1	7.5	8.2	8	9.3	18.9	1.42	0.05	120
Sep-03	66	0.1	9.6	15	9	12.1	22	1.7	0.08	260
Nov-03	58.94	-0.69	10.26	14.67	7.88	11.96	25.08	1.58	0.08	278.34
Jan-04	72.55	-0.31	9.38	9.13	5.96	10.33	25.75	1.35	0.05	186.12
Mar-04	88	2	8	4.8	4	8	23.8	1.2	0.04	100
May-04	90.58	5.93	7.10	5.71	2.76	6.06	19.95	1.23	0.08	101.54
Jul-04	82	7	7.5	6.2	3	6.8	18.5	1.17	0.11	132
Sep-04	68	2	9.5	0.95	5	11.5	22.5	0.777	0.1	124

Figura 5: Séries Temporais obtidas por Interpolação Spline para P_2

Mês/Ano	IQA	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-95	86	4	7.3	1.6	4	6.8	28	1.68	0.04	135
May-95	75	90	7.5	1	6	6.6	22	1.25	0.04	132
Jul-95	78	30	7	2.5	4	7	20	4.85	0.04	121
Sep-95	82	30	7.4	3.5	2	6.8	19	1.89	0.01	121
Nov-95	74	170	8.5	1.5	3	7.5	22	0.8	0.17	123
Jan-96	76	17	7.5	2.5	7	5.3	25	2.07	0.5	138
Mar-96	79.50	9.50	7.15	5.75	5.50	5.50	24.00	1.47	0.27	163.00
May-96	83	2	6.8	9	4	5.7	23	0.86	0.03	188
Jul-96	84	7	6.7	2.2	1	6.7	15	1.66	0.04	88
Sep-96	82.25	17.00	7.90	2.60	3.00	8.20	23.00	2.38	0.06	118.00
Nov-96	80.50	34.67	7.70	1.97	2.67	7.27	23.67	3.09	0.05	114.00
Jan-97	78.75	52.33	7.50	1.33	2.33	6.33	24.33	3.81	0.03	110.00
Mar-97	77	70	7.3	0.7	2	5.4	25	4.52	0.02	106
May-97	82	9	7.4	2.5	2	5.2	21	1.04	0.01	108
Jul-97	84	17	6.6	2	1	9.5	18	1.82	0.04	116
Sep-97	82.67	20.33	7.33	3.33	1.00	8.57	21.33	1.45	0.03	108.67
Nov-97	81.33	23.67	8.07	4.67	1.00	7.63	24.67	1.09	0.03	101.33
Jan-98	80	27	8.8	6	1	6.7	28	0.72	0.02	94
Mar-98	82.50	15.50	8.15	6.00	2.50	6.60	0.00	1.01	0.03	106.50
May-98	85	4	7.5	6	4	6.5	20	1.3	0.04	119
Jul-98	73.00	10.33	8.27	20.67	10.33	7.93	20.67	2.36	0.07	134.00
Sep-98	61.00	16.67	9.03	35.33	16.67	9.37	21.33	3.42	0.09	149.00
Nov-98	49.00	23.00	9.80	50.00	23.00	10.80	22.00	4.48	0.12	164.00
Jan-99	61.33	15.33	0.00	34.33	16.33	9.17	22.00	3.61	0.11	146.00
Mar-99	73.67	7.67	0.00	18.67	9.67	7.53	22.00	2.74	0.10	128.00
May-99	86	0	7.5	3	3	5.9	22	1.87	0.09	110
Jul-99	81.00	0.00	8.90	17.00	3.00	9.00	19.00	2.13	0.08	124.00
Sep-99	83	2	8.3	12	5	8.8	20	2.36	0.01	106
Nov-99	73.00	0.00	8.60	8.00	8.00	9.10	22.00	2.31	0.02	114.00
Jan-00	75.50	1.00	8.35	16.50	8.50	8.60	23.50	2.73	0.02	150.00
Mar-00	78.00	2.00	8.10	25.00	9.00	8.10	25.00	3.15	0.01	186.00
May-00	73.00	4.00	8.30	16.00	5.00	12.00	24.00	2.28	0.03	139.00
Jul-00	87.00	0.00	7.60	13.00	3.00	7.40	18.00	1.68	0.05	117.00
Sep-00	73	0.1	9.2	6	6	11.1	22	1.63	0.11	101
Nov-00	68	0.05	9.25	10.5	8	10.7	24.5	2.2	0.13	115
Jan-01	63	0	9.3	15	10	10.3	27	2.77	0.14	129
Mar-01	77	11.00	8.7	7	5	9.2	29	1.42	0.03	102
May-01	78	2.00	7.1	4	3	4.2	23	2.42	0.07	132
Jul-01	86	0	8.6	4	1	10.3	20	1.92	0.04	121
Sep-01	89	1	8.3	3	1	8.7	21	2.13	0.03	128
Nov-01	82.67	0.70	8.77	3.33	2.67	9.87	23.67	1.79	0.04	120.00
Jan-02	76.33	0.40	9.23	3.67	4.33	11.03	26.33	1.46	0.05	112.00
Mar-02	70.00	0.10	9.70	4.00	6.00	12.20	29.00	1.12	0.06	104.00
May-02	88	2	8.2	3	7	8.4	24	1.9	0.07	115
Jul-02	86	1	7.5	8	5	7.5	20	1.93	0.05	126
Sep-02	75.00	11.00	7.00	5.00	4.00	4.80	21.00	1.86	0.09	118.00
Nov-02	76.50	5.50	8.05	6.30	4.50	7.10	0.00	1.29	0.07	132.00
Jan-03	78	0	9.1	7.6	5	9.4	27	0.71	0.04	146
Mar-03	0.00	0.00	8.20	6.80	0.00	6.50	24.80	0.64	0.00	137.00
May-03	75	0.1	7.3	6	4	3.6	22.6	0.57	0.09	128
Jul-03	90	1	7.5	8.2	8	9.3	18.9	1.42	0.05	120
Sep-03	66	0.1	9.6	15	9	12.1	22	1.7	0.08	260
Nov-03	73.33	0.73	9.07	11.60	7.33	10.73	22.60	1.53	0.07	206.67
Jan-04	80.67	1.37	8.53	8.20	5.67	9.37	23.20	1.37	0.05	153.33
Mar-04	88	2	8	4.8	4	8	23.8	1.2	0.04	100
May-04	85.00	4.50	7.75	5.50	3.50	7.40	21.15	1.19	0.08	116.00
Jul-04	82	7	7.5	6.2	3	6.8	18.5	1.17	0.11	132
Sep-04	68	2	9.5	0.95	5	11.5	22.5	0.78	0.1	124

Figura 6: Séries Temporais obtidas por Interpolação Linear para P_2

Mês/Ano	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Jan-95	15.71	91.17	80.20		97.57	92.50	79.78	93.69	74.81
Mar-95	22.41	92.03	78.21	48.15	93.79	92.50	91.68	96.75	82.46
May-95	59.69	92.52	96.25	53.97	86.46	92.50	81.89	97.28	81.09
Jul-95	32.26	89.76	88.92	78.12	86.53	92.50	39.57	62.15	77.32
Sep-95	89.92	92.52	84.41	69.06	87.89	92.50	81.29	97.46	78.43
Nov-95	56.03	90.35	83.33	78.12	95.56	92.50	92.44	95.43	81.09
Jan-96	34.97	92.52	86.63	53.97	51.97	92.50	82.09	97.19	83.81
Mar-96	41.42	92.47	91.89	61.05	76.60	92.50	85.90	97.64	84.45
May-96	79.83	92.23	97.54	69.06	89.72	92.50	89.90	98.09	84.99
Jul-96	6.37	87.72	79.40	61.05	82.65	92.50	82.02	91.99	80.52
Sep-96	22.41	92.03	77.25	69.06	95.13	92.50	46.09	94.56	80.49
Nov-96	25.28	92.47	83.33	69.06	91.34	92.50	54.93	96.28	81.48
Jan-97	30.53	91.17	90.09	69.06	87.54	92.50	70.09	98.03	82.37
Mar-97	56.56	88.12	97.54	69.06	82.02	92.50	92.36	99.81	83.17
May-97	56.03	63.57	81.23	48.15	98.10	92.50	84.06	95.43	76.62
Jul-97	15.71	85.42	87.76	61.05	75.39	92.50	77.18	93.69	73.84
Sep-97	17.24	92.52	85.51	56.23	82.71	92.50	79.40	94.27	76.20
Nov-97	19.48	88.54	83.33	51.86	90.32	92.50	81.69	94.85	78.57
Jan-98	23.36	71.32	81.23	48.15	97.35	92.50	84.06	95.43	80.33
Mar-98	28.33	88.12	85.51	57.40	93.75	92.50	87.64	95.43	81.94
May-98	51.83	92.47	90.09	69.06	84.69	92.50	91.38	95.43	83.28
Jul-98	89.92	89.76	77.25	48.15	80.89	92.50	73.26	91.15	77.73
Sep-98	76.58	92.11	79.20	51.47	85.37	92.50	74.82	90.32	78.82
Nov-98	69.75	92.52	81.23	55.32	88.64	92.50	76.42	89.50	79.90
Jan-99	65.17	91.99	83.33	59.56	91.77	92.50	78.07	88.68	80.39
Mar-99	62.10	90.53	85.51	64.13	95.12	92.50	79.76	87.87	81.55
May-99	59.69	88.12	87.76	69.06	98.49	92.50	81.49	87.07	82.58
Jul-99	51.66	80.00	90.09	53.97	66.71	92.50	84.23	92.84	75.85
Sep-99	47.21	45.01	92.50	43.28	91.06	92.50	87.07	98.99	68.55
Nov-99	47.43	55.58	90.49	44.04	91.78	92.50	86.15	96.60	69.15
Jan-00	47.65	68.64	88.53	44.82	92.51	92.50	85.23	94.27	69.75
Mar-00	47.88	80.80	86.63	45.62	93.23	92.50	84.33	91.99	70.36
May-00	48.12	83.73	84.77	46.44	93.94	92.50	83.44	89.77	70.96
Jul-00	48.36	86.67	82.97	47.28	94.65	92.50	82.56	87.60	71.56
Sep-00	48.61	89.33	81.23	48.15	95.35	92.50	81.69	85.49	72.17
Nov-00	57.12	45.01	83.33	53.97	96.99	92.50	78.56	62.04	73.98
Jan-01	19.14	92.37	93.24	61.05	76.62	92.50	89.31	53.58	80.24
Mar-01	21.82	80.00	90.09	61.05	99.32	92.50	88.43	98.99	78.29
May-01	26.86	84.80	79.20	61.05	98.99	92.50	87.57	92.84	71.33
Jul-01	65.17	63.57	87.76	61.05	79.17	92.50	86.08	93.69	69.66
Sep-01	57.12	23.40	73.57	43.28	50.00	92.50	79.72	90.32	61.59
Nov-01	44.29	36.23	78.21	40.07	50.00	92.50	73.43	90.12	43.57
Jan-02	39.05	53.49	83.33	37.16	75.74	92.50	67.78	89.91	32.00
Mar-02	35.81	82.00	88.92	34.49	85.91	92.50	62.77	89.70	32.00
May-02	33.50	89.33	94.98	32.03	94.71	92.50	58.40	89.50	32.00
Jul-02	48.86	91.54	70.19	53.97	95.34	92.50	82.42	92.84	76.34
Sep-02	50.14	91.96	77.31	56.23	98.99	92.50	85.98	94.85	76.16
Nov-02	51.60	85.87	85.66	58.59	94.99	92.50	89.70	96.89	75.97
Jan-03	53.31	63.57	95.23	61.05	89.91	92.50	93.58	98.99	75.78
Mar-03	51.49	2.00	79.30	50.89	99.87	92.50	91.16	91.15	74.81
May-03	49.94	83.20	67.11	43.28	88.52	92.50	88.80	83.94	73.84
Jul-03	36.78	86.40	82.48	53.97	96.78	92.50	67.06	86.28	65.21
Sep-03	24.49	26.10	71.84	32.03	94.40	92.50	71.48	78.72	62.98
Nov-03	27.55	50.50	77.57	43.28	95.24	92.50	74.94	84.71	72.07
Jan-04	33.15	86.40	84.05	61.05	96.10	92.50	78.61	91.15	80.59
Mar-04	64.06	92.52	91.29	88.37	96.98	92.50	82.49	98.09	86.05
May-04	56.84	92.52	87.99	73.45	98.95	92.50	82.06	91.15	85.18
Jul-04	52.54	92.47	84.85	61.05	94.24	92.50	81.62	84.71	83.17
Sep-04	32.65	71.32	98.84	53.97	86.36	92.50	82.29	94.56	83.11

Figura 7: Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Linear para P_1

Mês/Ano	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-95	79.83	92.52	95.99	61.05	90.44	92.50	87.14	96.30	82.33
May-95	41.08	92.23	97.54	48.15	81.44	92.50	90.27	96.39	82.70
Jul-95	52.92	91.54	93.73	61.05	83.04	92.50	67.58	96.39	83.91
Sep-95	52.92	92.47	91.29	78.12	78.91	92.50	85.65	99.35	83.91
Nov-95	34.97	80.00	96.25	69.06	89.71	92.50	93.66	85.88	83.71
Jan-96	59.69	92.23	93.73	43.28	65.90	92.50	84.40	63.18	81.94
Mar-96	67.25	92.22	86.07	50.89	67.78	92.50	88.69	78.36	78.99
May-96	89.92	87.72	79.20	61.05	69.49	92.50	93.20	97.19	75.51
Jul-96	71.69	85.42	94.48	88.37	69.44	92.50	87.28	96.30	85.93
Sep-96	59.69	89.33	93.48	69.06	96.59	92.50	82.32	94.56	84.19
Nov-96	51.27	91.17	95.07	71.96	89.71	92.50	77.68	95.72	84.53
Jan-97	46.72	92.23	96.68	74.97	81.67	92.50	73.35	96.89	84.85
Mar-97	43.64	92.52	98.32	78.12	67.79	92.50	69.33	98.09	85.12
May-97	68.03	92.47	93.73	78.12	56.32	92.50	91.84	98.99	84.99
Jul-97	59.69	82.86	94.98	88.37	99.84	92.50	86.15	96.30	84.37
Sep-97	57.51	92.52	91.69	88.37	97.37	92.50	88.77	96.89	84.94
Nov-97	55.69	86.93	88.53	88.37	93.95	92.50	91.48	97.49	85.40
Jan-98	54.14	56.66	85.51	88.37	89.53	92.50	94.28	98.09	85.74
Mar-98	60.83	85.60	85.51	73.45	36.09	92.50	92.06	97.19	85.09
May-98	79.83	92.23	85.51	61.05	76.62	92.50	89.90	96.30	84.10
Jul-98	65.98	83.73	61.11	31.00	91.58	92.50	82.42	93.98	82.46
Sep-98	59.93	44.10	47.92	15.91	97.15	92.50	75.64	91.71	80.33
Nov-98	56.03	23.40	37.78	8.36	86.55	92.50	69.54	89.50	78.85
Jan-99	60.97	2.00	48.70	16.56	97.59	92.50	74.50	90.32	80.79
Mar-99	70.37	2.00	63.48	33.10	89.98	92.50	79.91	91.15	83.17
May-99	100.00	92.23	92.50	69.06	71.03	92.50	85.79	91.99	84.85
Jul-99	100.00	50.50	65.69	69.06	97.57	92.50	83.99	92.84	83.60
Sep-99	89.92	83.20	73.57	53.97	97.41	92.50	82.42	98.99	85.12
Nov-99	100.00	71.32	81.23	39.07	97.95	92.50	82.76	98.09	84.53
Jan-00	100.00	82.40	66.39	37.16	99.22	92.50	79.98	98.54	80.17
Mar-00	89.92	86.40	57.01	35.36	98.24	92.50	77.30	98.99	75.78
May-00	79.83	83.20	67.11	53.97	50.00	92.50	82.96	97.19	81.80
Jul-00	100.00	91.80	71.84	69.06	84.19	92.50	87.14	95.43	84.28
Sep-00	100.00	39.60	85.51	48.15	84.13	92.50	87.50	90.32	85.42
Nov-00	100.00	38.25	76.30	39.07	83.18	92.50	83.51	89.09	84.45
Jan-01	100.00	36.90	68.61	32.03	82.52	92.50	79.72	87.87	83.06
Mar-01	65.17	63.57	83.33	53.97	89.24	92.50	89.02	97.19	85.36
May-01	89.92	92.03	90.09	69.06	40.32	92.50	82.02	93.69	82.70
Jul-01	100.00	71.32	90.09	88.37	93.10	92.50	85.44	96.30	83.91
Sep-01	100.00	83.20	92.50	88.37	97.97	92.50	83.99	97.19	83.17
Nov-01	100.00	58.88	91.69	71.96	91.18	92.50	86.33	96.30	84.00
Jan-02	100.00	38.70	90.89	58.59	76.81	92.50	88.75	95.43	84.69
Mar-02	100.00	26.10	90.09	48.15	50.00	92.50	91.23	94.56	85.25
May-02	89.92	84.80	92.50	43.28	99.45	92.50	85.58	93.69	84.45
Jul-02	100.00	92.23	81.23	53.97	87.71	92.50	85.37	95.43	83.39
Sep-02	65.17	91.54	87.76	61.05	48.50	92.50	85.86	91.99	84.19
Nov-02	75.20	87.20	84.85	57.40	40.15	92.50	90.01	94.12	82.70
Jan-03	100.00	42.30	82.06	53.97	90.28	92.50	94.35	96.30	80.79
Mar-03	100.00	84.80	83.76	99.96	84.38	92.50	94.90	99.90	82.07
May-03	100.00	92.52	85.51	61.05	31.94	92.50	95.44	91.99	83.17
Jul-03	100.00	92.23	80.81	39.07	99.65	92.50	89.02	95.43	84.00
Sep-03	100.00	28.80	68.61	35.36	75.54	92.50	87.00	92.84	65.49
Nov-03	100.00	43.20	74.28	41.82	86.10	92.50	88.19	93.98	72.91
Jan-04	95.46	77.01	80.81	49.95	95.18	92.50	89.41	95.14	80.33
Mar-04	89.92	88.12	88.22	61.05	95.95	92.50	90.64	96.30	85.47
May-04	78.12	90.78	86.63	64.93	88.20	92.50	90.75	93.27	84.37
Jul-04	71.69	92.23	85.07	69.06	77.99	92.50	90.86	90.32	82.70
Sep-04	89.92	31.50	97.67	53.97	79.83	92.50	93.84	91.15	83.60

Figura 8: Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Linear para P_2

Mês/Ano	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-99	79.83	45.01	79.20	48.15	86.77	92.50	90.49	98.09	85.18
May-99	100.00	84.80	87.76	48.15	99.44	92.50	83.51	91.15	84.92
Jul-99	100.00	31.50	47.41	43.28	97.20	92.50	78.12	83.17	82.94
Sep-99	100.00	50.50	73.57	53.97	96.13	92.50	88.80	98.99	84.37
Nov-99	100.00	28.80	70.19	43.28	84.89	92.50	88.00	98.99	83.39
Jan-00	100.00	38.25	71.00	43.28	88.16	92.50	88.73	98.99	84.62
Mar-00	100.00	50.50	71.84	43.28	91.38	92.50	89.46	98.99	85.47
May-00	65.17	28.80	64.34	43.28	50.00	92.50	84.33	94.56	82.82
Jul-00	100.00	36.90	38.40	13.64	90.53	92.50	72.28	84.71	80.38
Sep-00	100.00	42.30	81.23	53.97	81.44	92.50	85.58	90.32	85.25
Nov-00	100.00	42.30	62.46	48.15	86.27	92.50	84.61	86.67	84.58
Jan-01	100.00	42.30	51.41	43.28	91.07	92.50	83.65	83.17	83.71
Mar-01	100.00	39.60	65.69	48.15	50.00	92.50	87.43	95.43	85.47
May-01	100.00	71.32	73.57	48.15	93.90	92.50	76.56	91.15	82.70
Jul-01	100.00	63.57	73.57	69.06	97.57	92.50	84.06	94.56	83.17
Sep-01	100.00	14.88	57.83	88.37	50.00	92.50	78.69	94.56	81.38
Nov-01	79.83	13.46	77.25	61.05	50.00	92.50	95.29	98.99	80.79
Jan-02	89.56	19.35	80.20	57.40	50.00	92.50	93.87	94.56	83.39
Mar-02	100.00	28.80	83.33	53.97	81.99	92.50	92.48	90.32	85.12
May-02	89.92	71.32	83.33	48.15	99.78	92.50	89.68	91.99	83.60
Jul-02	100.00	45.01	61.87	39.07	92.45	92.50	78.25	92.84	81.38
Sep-02	100.00	80.00	75.37	39.07	98.75	92.50	80.57	89.50	81.09
Nov-02	100.00	56.66	65.69	41.11	92.03	92.50	86.33	90.32	79.96
Jan-03	100.00	42.30	58.73	43.28	82.94	92.50	92.54	91.15	78.29
Mar-03	100.00	81.60	68.61	50.89	93.19	92.50	94.82	91.15	80.49
May-03	100.00	91.17	83.33	61.05	53.77	92.50	97.15	91.15	83.17
Jul-03	100.00	63.57	44.43	48.15	81.42	92.50	87.28	91.99	81.94
Sep-03	100.00	34.20	70.19	39.07	50.00	92.50	88.22	89.50	81.94
Nov-03	100.00	40.50	75.37	44.82	78.68	92.50	88.53	91.71	83.74
Jan-04	100.00	48.60	81.23	51.86	90.84	92.50	88.85	93.98	85.03
Mar-04	100.00	63.57	87.76	61.05	99.37	92.50	89.16	96.30	85.81
May-04	100.00	71.32	83.22	64.93	97.84	92.50	89.20	92.41	84.19
Jul-04	100.00	80.00	79.00	69.06	96.16	92.50	89.24	88.68	81.09
Sep-04	100.00	23.40	93.98	53.97	50.00	92.50	92.14	95.43	81.09

Figura 9: Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Linear para P_3

Mês/Ano	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Jan-95	16.71	91.17	80.20		97.57	92.50	79.78	93.69	74.81
Mar-95	22.41	92.03	78.21	48.15	93.79	92.50	91.68	96.75	82.46
May-95	59.69	92.52	96.25	53.97	86.46	92.50	81.89	97.28	81.09
Jul-95	32.26	89.76	88.92	78.12	86.53	92.50	39.57	62.15	77.32
Sep-95	89.92	92.52	84.41	69.06	87.89	92.50	81.29	97.46	78.43
Nov-95	56.03	90.35	83.33	78.12	95.56	92.50	92.44	95.43	81.09
Jan-96	34.97	92.52	86.63	53.97	51.97	92.50	82.09	97.19	83.81
Mar-96	100.00	92.39	97.40	57.07	59.30	92.50	82.75	99.90	85.46
May-96	79.83	92.23	97.54	69.06	89.72	92.50	89.90	98.09	84.99
Jul-96	6.37	87.72	79.40	61.05	82.65	92.50	82.02	91.99	80.52
Sep-96	22.41	92.03	77.25	69.06	95.13	92.50	46.09	94.56	80.49
Nov-96	100.00	92.48	87.86	83.37	95.17	92.50	44.94	98.90	83.67
Jan-97	100.00	92.52	100.17	87.40	84.48	92.50	63.21	99.90	84.91
Mar-97	56.56	88.12	97.54	69.06	82.02	92.50	92.36	99.81	83.17
May-97	56.03	63.57	81.23	48.15	98.10	92.50	84.06	95.43	76.62
Jul-97	15.71	85.42	87.76	61.05	75.39	92.50	77.18	93.69	73.84
Sep-97	13.96	74.27	89.05	62.31	50.00	92.50	75.70	93.57	74.48
Nov-97	16.16	92.12	83.27	51.10	80.56	92.50	77.71	94.24	77.08
Jan-98	23.36	71.32	81.23	48.15	97.35	92.50	84.06	95.43	80.33
Mar-98	40.58	83.24	88.12	61.82	90.82	92.50	93.40	96.53	83.76
May-98	51.83	92.47	90.09	69.06	84.69	92.50	91.38	95.43	83.28
Jul-98	89.92	89.76	77.25	48.15	80.89	92.50	73.26	91.15	77.73
Sep-98	100.00	85.73	70.55	41.31	80.32	92.50	64.24	87.25	75.55
Nov-98	100.00	86.57	70.53	44.63	82.78	92.50	63.49	84.73	77.84
Jan-99	100.00	91.35	74.61	54.40	87.07	92.50	67.57	83.72	81.23
Mar-99	68.66	92.45	81.17	66.47	91.90	92.50	74.52	84.41	83.65
May-99	59.69	88.12	87.76	69.06	98.49	92.50	81.49	87.07	82.58
Jul-99	58.99	66.62	91.55	56.17	95.57	92.50	85.33	92.01	76.41
Sep-99	47.21	45.01	92.50	43.28	91.06	92.50	87.07	98.99	68.55
Nov-99	36.47	63.92	91.64	37.25	89.70	92.50	88.74	99.90	64.20
Jan-00	30.94	88.57	89.65	35.40	91.22	92.50	90.26	99.90	63.37
Mar-00	28.26	92.27	87.11	36.19	94.05	92.50	90.95	99.90	64.89
May-00	27.63	84.12	84.56	38.92	96.53	92.50	90.11	99.90	67.64
Jul-00	29.76	87.17	82.46	43.10	97.34	92.50	87.15	99.90	70.44
Sep-00	48.61	89.33	81.23	48.15	95.35	92.50	81.69	85.49	72.17
Nov-00	57.12	45.01	83.33	53.97	96.99	92.50	78.56	62.04	73.98
Jan-01	19.14	92.37	93.24	61.05	76.62	92.50	89.31	53.58	80.24
Mar-01	18.24	80.00	90.09	61.05	99.32	92.50	88.43	98.99	78.29
May-01	23.08	84.80	79.20	61.05	98.99	92.50	87.57	92.84	71.33
Jul-01	65.17	63.57	87.76	61.05	79.17	92.50	86.08	93.69	69.66
Sep-01	57.12	23.40	73.57	43.28	50.00	92.50	79.72	90.32	61.59
Nov-01	34.69	14.86	73.35	30.91	50.00	92.50	66.71	86.74	32.00
Jan-02	30.88	22.06	87.31	24.93	50.00	92.50	56.01	85.97	32.00
Mar-02	30.43	45.12	100.17	24.55	76.27	92.50	52.35	87.14	32.00
May-02	33.50	89.33	94.98	32.03	94.71	92.50	58.40	89.50	32.00
Jul-02	48.86	91.54	70.19	53.97	95.34	92.50	82.42	92.84	76.34
Sep-02	100.00	92.23	71.04	76.66	99.88	92.50	97.57	97.99	79.75
Nov-02	100.00	88.57	87.60	77.60	91.03	92.50	96.39	99.90	83.09
Jan-03	53.31	63.57	95.23	61.05	89.91	92.50	93.58	98.99	75.78
Mar-03	48.21	57.95	75.15	44.38	95.20	92.50	97.60	89.25	72.25
May-03	49.94	83.20	67.11	43.28	88.52	92.50	88.80	83.94	73.84
Jul-03	36.78	86.40	82.48	53.97	96.78	92.50	67.06	86.28	65.21
Sep-03	24.49	26.10	71.84	32.03	94.40	92.50	71.48	78.72	62.98
Nov-03	23.88	21.62	70.90	32.45	94.80	92.50	79.13	81.47	71.88
Jan-04	28.89	67.99	81.51	53.64	93.69	92.50	82.26	92.14	83.44
Mar-04	64.06	92.52	91.29	88.37	96.98	92.50	82.49	98.09	86.05
May-04	100.00	89.17	87.28	82.27	94.01	92.50	81.88	90.17	84.21
Jul-04	52.54	92.47	84.85	61.05	94.24	92.50	81.62	84.71	83.17
Sep-04	32.65	71.32	98.84	53.97	86.36	92.50	82.29	94.56	83.11

Figura 10: Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Spline para P_1

Mês/Ano	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-95	79.83	92.52	95.99	61.05	90.44	92.50	87.14	96.30	82.33
May-95	41.08	92.23	97.54	48.15	81.44	92.50	90.27	96.39	82.70
Jul-95	52.92	91.54	93.73	61.05	83.04	92.50	67.58	96.39	83.91
Sep-95	52.92	92.47	91.29	78.12	78.91	92.50	85.65	99.35	83.91
Nov-95	34.97	80.00	96.25	69.06	89.71	92.50	93.66	85.88	83.71
Jan-96	59.69	92.23	93.73	43.28	65.90	92.50	84.40	63.18	81.94
Mar-96	100.00	90.46	81.57	42.19	58.39	92.50	87.11	73.48	74.84
May-96	89.92	87.72	79.20	61.05	69.49	92.50	93.20	97.19	75.51
Jul-96	71.69	85.42	94.48	88.37	69.44	92.50	87.28	96.30	85.93
Sep-96	59.69	89.33	93.48	69.06	96.59	92.50	74.19	94.56	84.19
Nov-96	46.42	85.05	93.72	62.59	96.34	92.50	63.62	95.15	81.77
Jan-97	41.60	91.49	97.69	70.20	93.53	92.50	60.44	96.38	83.58
Mar-97	43.64	92.52	98.32	78.12	67.79	92.50	69.33	98.09	85.12
May-97	68.03	92.47	93.73	78.12	66.32	92.50	91.84	98.99	84.99
Jul-97	59.69	82.86	94.98	88.37	99.84	92.50	86.15	96.30	84.37
Sep-97	51.84	91.10	91.14	92.92	88.53	92.50	83.06	95.53	84.72
Nov-97	51.11	85.71	85.47	90.39	94.40	92.50	88.03	96.75	85.44
Jan-98	54.14	56.66	85.51	88.37	89.53	92.50	94.28	98.09	85.74
Mar-98	62.85	85.51	93.09	86.74	73.47	92.50	95.20	97.97	85.43
May-98	79.83	92.23	85.51	61.05	76.62	92.50	89.90	96.30	84.10
Jul-98	70.85	85.89	58.45	27.67	93.63	92.50	80.68	93.57	81.23
Sep-98	59.63	36.52	42.10	11.47	91.89	92.50	72.61	90.91	79.12
Nov-98	56.03	23.40	37.78	8.36	86.55	92.50	69.54	89.50	78.85
Jan-99	58.83	55.35	49.22	13.48	99.73	92.50	73.33	90.03	81.26
Mar-99	70.00	92.18	76.29	34.22	73.64	92.50	80.77	91.39	84.30
May-99	100.00	92.23	92.50	69.06	71.03	92.50	85.79	91.99	84.85
Jul-99	100.00	50.50	65.69	69.06	97.57	92.50	83.99	92.84	83.60
Sep-99	89.92	83.20	73.57	53.97	97.41	92.50	82.42	98.99	85.12
Nov-99	100.00	71.32	81.23	39.07	97.95	92.50	82.76	98.09	84.53
Jan-00	100.00	82.14	64.01	32.21	90.97	92.50	78.96	98.31	78.86
Mar-00	89.92	86.40	57.01	35.36	98.24	92.50	77.30	98.99	75.78
May-00	79.83	83.20	67.11	53.97	50.00	92.50	82.96	97.19	81.80
Jul-00	100.00	91.80	71.84	69.06	84.19	92.50	87.14	95.43	84.28
Sep-00	100.00	39.60	85.51	48.15	84.13	92.50	87.50	90.32	85.42
Nov-00	100.00	25.88	76.18	32.23	50.00	92.50	80.70	85.57	83.96
Jan-01	100.00	36.90	68.61	32.03	82.52	92.50	79.72	87.87	83.06
Mar-01	65.17	63.57	83.33	53.97	89.24	92.50	89.02	97.19	85.36
May-01	89.92	92.03	90.09	69.06	40.32	92.50	82.02	93.69	82.70
Jul-01	100.00	71.32	90.09	88.37	93.10	92.50	85.44	96.30	83.91
Sep-01	100.00	83.20	92.50	88.37	97.97	92.50	83.99	97.19	83.17
Nov-01	100.00	63.29	91.29	75.64	94.88	92.50	86.06	96.75	83.52
Jan-02	100.00	26.38	88.77	60.66	50.00	92.50	90.76	95.95	84.77
Mar-02	100.00	26.10	90.09	48.15	50.00	92.50	91.23	94.56	85.25
May-02	89.92	84.80	92.50	43.28	99.45	92.50	85.58	93.69	84.45
Jul-02	100.00	92.23	81.23	53.97	87.71	92.50	85.37	95.43	83.39
Sep-02	65.17	91.54	87.76	61.05	48.50	92.50	85.86	91.99	84.19
Nov-02	68.58	87.46	87.22	56.02	89.34	92.50	89.32	93.64	83.24
Jan-03	100.00	42.30	82.06	53.97	90.28	92.50	94.35	96.30	80.79
Mar-03	100.00	80.61	82.94	64.01	74.34	92.50	97.44	93.59	80.61
May-03	100.00	92.52	85.51	61.05	31.94	92.50	95.44	91.99	83.17
Jul-03	100.00	92.23	80.81	39.07	99.65	92.50	89.02	95.43	84.00
Sep-03	100.00	28.80	68.61	35.36	75.54	92.50	87.00	92.84	65.49
Nov-03	100.00	14.04	69.12	39.55	50.00	92.50	87.84	92.83	62.93
Jan-04	100.00	34.69	78.95	48.35	84.32	92.50	89.53	95.34	75.77
Mar-04	89.92	88.12	88.22	61.05	95.95	92.50	90.64	96.30	85.47
May-04	74.10	92.03	86.15	71.17	69.71	92.50	90.39	93.23	85.39
Jul-04	71.69	92.23	85.07	69.06	77.99	92.50	90.86	90.32	82.70
Sep-04	89.92	31.50	97.67	53.97	79.83	92.50	93.84	91.15	83.60

Figura 11: Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Spline para P_2

Mês/Ano	CF	pH	TB	DBO	OD	TMP	NT	FT	RT
Mar-99	79.83	45.01	79.20	48.15	86.77	92.50	90.49	98.09	85.18
May-99	100.00	84.80	87.76	48.15	99.44	92.50	83.51	91.15	84.92
Jul-99	100.00	31.50	47.41	43.28	97.20	92.50	78.12	83.17	82.94
Sep-99	100.00	50.50	73.57	53.97	96.13	92.50	88.80	98.99	84.37
Nov-99	100.00	28.80	70.19	43.28	84.89	92.50	88.00	98.99	83.39
Jan-00	100.00	36.95	64.81	36.88	97.40	92.50	87.82	98.00	84.74
Mar-00	100.00	50.50	71.84	43.28	91.38	92.50	89.46	98.99	85.47
May-00	65.17	28.80	64.34	43.28	50.00	92.50	84.33	94.56	82.82
Jul-00	100.00	36.90	38.40	13.64	90.53	92.50	72.28	84.71	80.38
Sep-00	100.00	42.30	81.23	53.97	81.44	92.50	85.58	90.32	85.25
Nov-00	100.00	44.32	75.98	74.62	85.39	92.50	87.13	85.35	84.96
Jan-01	100.00	42.30	51.41	43.28	91.07	92.50	83.65	83.17	83.71
Mar-01	100.00	39.60	65.69	48.15	50.00	92.50	87.43	95.43	85.47
May-01	100.00	71.32	73.57	48.15	93.90	92.50	76.56	91.15	82.70
Jul-01	100.00	63.57	73.57	69.06	97.57	92.50	84.06	94.56	83.17
Sep-01	100.00	14.88	57.83	88.37	50.00	92.50	78.69	94.56	81.38
Nov-01	79.83	13.46	77.25	61.05	50.00	92.50	95.29	98.99	80.79
Jan-02	87.29	15.44	87.08	52.66	75.80	92.50	98.90	95.41	83.75
Mar-02	100.00	28.80	83.33	53.97	81.99	92.50	92.48	90.32	85.12
May-02	89.92	71.32	83.33	48.15	99.78	92.50	89.68	91.99	83.60
Jul-02	100.00	45.01	61.87	39.07	92.45	92.50	78.25	92.84	81.38
Sep-02	100.00	80.00	75.37	39.07	98.75	92.50	80.57	89.50	81.09
Nov-02	100.00	56.87	65.12	39.85	88.00	92.50	86.43	89.49	79.48
Jan-03	100.00	42.30	58.73	43.28	82.94	92.50	92.54	91.15	78.29
Mar-03	100.00	84.15	84.99	54.34	76.13	92.50	98.68	91.12	80.66
May-03	100.00	91.17	83.33	61.05	53.77	92.50	97.15	91.15	83.17
Jul-03	100.00	63.57	44.43	48.15	81.42	92.50	87.28	91.99	81.94
Sep-03	100.00	34.20	70.19	39.07	50.00	92.50	88.22	89.50	81.94
Nov-03	100.00	31.54	100.17	39.79	50.00	92.50	90.17	91.22	84.17
Jan-04	100.00	39.47	100.17	47.75	85.89	92.50	90.11	95.36	85.67
Mar-04	100.00	63.57	87.76	61.05	99.37	92.50	89.16	96.30	85.81
May-04	100.00	83.92	76.87	71.44	85.14	92.50	88.46	91.22	84.20
Jul-04	100.00	80.00	79.00	69.06	96.16	92.50	89.24	88.68	81.09
Sep-04	100.00	23.40	93.98	53.97	50.00	92.50	92.14	95.43	81.09

Figura 12: Séries Temporais de Qualidade obtidas por Interpolação Spline para P_3

Apêndice 3 - Imagens de Satélite

Os valores digitais obtidos a partir do procedimento descrito no Capítulo 2, são listados nas Tabelas (11) à (13).

Mês/Ano	Banda 1	Banda 2	Banda 3
04/1995	51,89	18,78	14,78
06/1995	45,11	15,67	12
03/1996	40,67	14,11	10,78
05/1996	47,11	17,11	13,67
08/1996	50,94	20,17	15
10/1996	72,78	31,78	25,67
06/1997	46,33	16	12,89
07/1997	55,33	20,78	17,33
08/1999	62,67	24,39	20,50
05/2000	59,33	21,11	16,11
06/2000	54,22	20	16,56
06/2001	46,22	17,89	13,44
07/2001	47,83	16,89	13
08/2001	56,89	22,78	17
07/2003	47,78	16	12,89
08/2003	47,94	18,11	13,83

Tabela 11: Valores Digitais para o Ponto de Coleta P_1

Mês/Ano	Banda 1	Banda 2	Banda 3
04/1995	53,11	16,67	12,89
06/1995	44,22	14,44	11,11
03/1996	58,22	20,33	14,89
06/1996	50,67	17,67	14,33
08/1996	52,44	18,22	13,83
10/1996	69,11	24,78	18,89
06/1997	46,33	18	14
07/1997	55	21,11	14,89
08/1999	65,94	27,78	21,78
05/2000	55,44	20,33	15,11
06/2000	49,89	18,11	14,44
06/2001	47,56	18,22	13,78
07/2001	51	19,11	14,89
08/2001	57	21	15,67
07/2003	50,89	21	14,67
08/2003	51	20,5	14,94

Tabela 12: Valores Digitais para o Ponto de Coleta P_2

Mês/Ano	Banda 1	Banda 2	Banda 3
04/1995	54,11	17,78	12,78
06/1995	44,11	15,56	11,67
03/1996	61,78	22,56	16,67
05/1996	51,11	16,89	13,11
06/1996	49,11	16,89	12,89
08/1996	55,22	18,89	14
10/1996	67,11	24,22	18,33
06/1997	48,78	20,11	14,44
07/1997	58,44	25,89	19,22
08/1999	69,94	33,11	26
06/2000	52,78	21,89	16,44
06/2001	54,22	23,67	18,33
07/2001	57,22	23,89	20
08/2001	63,11	28,67	22,89
07/2003	54,33	23,44	17,56
08/2003	54,39	24,94	18,39

Tabela 13: Valores Digitais para o Ponto de Coleta P_3

Referências Bibliográficas

- [1] ALONSO.C; PEREZ.L; TOLEDO.A. *Reavaliação dos pontos de Amostragem da Rede Básica de Monitoramento da Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 1995 - UGRHI 06 - Alto do Tietê* CETESB, São Paulo.
- [2] BRAGA.B; HESPANHOL.I; CONEJO.J,G,L; BARROS.M,T,L; SPENCER.M; PORTO.M; NUCCI.N; JULIANO.N; EIGER.S *Introdução à Engenharia Ambiental*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - São Paulo: Prentice Hall, 2002.
- [3] BURDEN.R, FAIRES.J.: *Análise Numérica*. Thomsom, 2005.
- [4] CETESB. *Modelo Matemático para Cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA)*. Contrato DAEE/CETESB, Termo 49/79.
- [5] Conselho Nacional do Meio Ambiente: <http://www.mma.gov.br/conama>. Acessado em dezembro de 2008.
- [6] DERISIO.José Carlos. *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. Signus Editora,2. ed., 2000.
- [7] DIAS.N.; MORAES.E.; NOVO.E; ARAI.E; CATELANI.C. *Caracterização das Águas da Represa de Paraibuna com o Uso de Dados Hiperespectrais* Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Abril, 2007.
- [8] GIRARD.M.; GIRARD.C. *Processing of Remote Sensing Data* Editora Taylor & Francis, 1. ed., Janeiro, 2003.
- [9] IBGE. *Noções Básicas de Cartografia* Rio de Janeiro, 1998.
- [10] Informações sobre a represa Billings e Henry Borden: <http://www.emae.sp.gov.br>.
- [11] Informações sobre os satélites e imagens: <http://www.engesat.com.br>.

- [12] Informações sobre os satélites e imagens: <http://www.inpe.br>.
- [13] KALLIO.K. *Satellite remote sensing of Lake Lohjanjärvi water quality* Finnish Environment Institute.
- [14] MAGUIRE.D.; GOODCHILD.M.; RHIND.D. *GIS and Remote Sensing in Geographical Information Systems* Longman & Technical, 1991.
- [15] MOREIRA.M. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação* Editora UFV, 3. ed., 2005.
- [16] MORETTIN.P., TOLOI.C.: *Análise de Séries Temporais*. Edgard Blucher, 2. ed., 2006.
- [17] MOTA.Suetônio. *Introdução à Engenharia Ambiental*. Signus Editora, 2. ed. aum., Rio de Janeiro: ABES, 2000.
- [18] NOVO.E. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações* São Paulo: Blucher, 2008.
- [19] Relatórios anuais da qualidade das águas podem ser encontrados em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acessado em dezembro de 2008.
- [20] WHATELY.Marussia, organizadora. *Seminário Billings 2002: Avaliação e identificação de áreas e ações prioritárias para a conservação, recuperação e uso sustentável da Bacia Hidrográfica da Billings*. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2003.
- [21] SU.Y., LIOU.J., HOU.J., HUNG.W., HSU.S., LIEN.Y., SU.M., CHENG.K., WANG.Y.: *A Multivariate Model for Coastal Water Quality Mapping Using Satellite Remote Sensing Images*. National Taiwan University, October, 2008.