



UFPB



UEPB



UERN



UESC



UFAL



UFSE



UFRN



UFSC



UFPI

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA / UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

RAPHAEL ABRAHÃO

IMPACTOS DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIACHO MUSSURÉ



João Pessoa – PB

2006

RAPHAEL ABRAHÃO

**IMPACTOS DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA
QUALIDADE DA ÁGUA DO RIACHO MUSSURÉ**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Programa Regional de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente
PRODEMA**

João Pessoa – PB

2006

RAPHAEL ABRAHÃO

**IMPACTOS DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA QUALIDADE DA
ÁGUA DO RIACHO MUSSURÉ**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadores: Prof^a Carmem Lúcia Moreira Gadelha, Dr^a.
Prof^a Malva Isabel Medina Hernández, Dr^a.

João Pessoa – Paraíba
2006

A158i

ABRAHÃO, Raphael

Impactos do lançamento de efluentes na qualidade da água do riacho Mussuré/Raphael Abrahão. – João Pessoa, 2006.

140p.:il

Inclui bibliografia

Orientadores: Carmem Lúcia Moreira Gadelha, Malva Isabel Medina Hernández.

Dissertação (mestrado) – PRODEMA/CCEN/UFPB.

1. Água doce – Qualidade; 2. Riacho Mussuré – Qualidade da água.

UFPB/BC

CDU.: 581.526.33(043)

RAPHAEL ABRAHÃO

**IMPACTOS DO LANÇAMENTO DE EFLUENTES NA QUALIDADE DA
ÁGUA DO RIACHO MUSSURÉ**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba, em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Carmem Lúcia Moreira Gadelha – PRODEMA/UFPB
Orientadora

Prof. Dr. José Etham de Lucena Barbosa – PRODEMA/UFPB
Examinador

Prof. Dr. Gilson Barbosa de Athayde Júnior – Dep. de Eng.Civil/UFPB
Examinador

AGRADECIMENTOS

Aos amigos do PRODEMA: Rodrigo, Ruceline, Juliana, Jorge, Tarcísio, Nadja, Sylvia, Jônica, Vânia e Rogério.

À Professora Carmem, pela paciência, importantes dicas e colaboração em todas as etapas deste trabalho.

À Professora Malva, pela disponibilidade, amizade e grande colaboração.

Ao Professor Roberto Sassi, pelos valiosos ensinamentos.

Ao Professor João Queiroz, por sua disponibilidade, boa vontade e ajuda na solução de qualquer problema.

Ao amigo Wamberto, pela ajuda em várias etapas do trabalho e pelos valiosos conhecimentos emprestados.

A Hélia, pela competência e dedicação.

À nossa coordenadora: Professora Maristela.

Ao Laboratório de Saneamento da UFPB, em especial a Taysa, André e Flávio, pela grande ajuda e valiosas dicas.

À SUDEMA, em especial a Fátima Menezes, pela pronta disponibilização de dados e importantes informações.

À CINEP, pelas informações disponibilizadas.

À CAPES, pelo aporte financeiro.

A todos os professores do PRODEMA.

A Monica, pelo incentivo durante todos os dias desses dois anos de trabalho.

Em especial à minha família, pelo apoio incondicional às minhas decisões, e por estar sempre perto, mesmo a 900 ou 2500 km de distância.

Por que as árvores escondem
o esplendor de suas raízes?

Pablo Neruda

RESUMO

Este estudo teve como objetivo central a investigação dos impactos do lançamento de efluentes industriais e domésticos sobre a qualidade da água de um corpo hídrico, considerando as prováveis repercussões no ambiente e na saúde da população usuária desta água. Para tanto, delimitou-se como área de estudo a bacia do riacho Mussuré, que está inserida na bacia do rio Gramame, no estado da Paraíba. Ao longo de seu percurso, o riacho Mussuré recebe lançamentos de esgotos domésticos, resíduos sólidos e as mais diversas cargas poluidoras industriais, já que atravessa o Distrito Industrial de João Pessoa. A metodologia de trabalho consistiu na análise de dados de qualidade da água, além de observação *in loco* dos problemas da área e levantamento de informações junto aos órgãos responsáveis pelas causas ambientais. Os dados referentes a parâmetros físicos, químicos, bacteriológicos e de concentração de metais pesados foram analisados tanto espacialmente, ao longo de cinco estações de coleta, como temporalmente. Também foi utilizada análise multivariada dos dados e dois índices de qualidade da água (IQA_{OBJ} e IQA_{BA}). Foram constatadas diversas alterações na qualidade da água do riacho Mussuré, ao longo de todo seu curso. Os teores de OD estavam muito abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357/05 para a classe 3 (4,0 mg/L), nas cinco estações monitoradas. A estação situada aproximadamente na metade do curso do riacho apresentou os maiores valores de DBO, cor e turbidez, e a pior qualidade da água através do uso dos dois índices citados, fato que se deve ao lançamento de efluentes industriais a montante desta estação. As concentrações dos metais analisados apresentaram-se, em geral, acima dos limites da Resolução CONAMA 357/05. Pelos resultados encontrados conclui-se que o riacho Mussuré apresenta alto grau de degradação e suas águas representam um risco para a saúde da população usuária.

Palavras-chave: Efluentes industriais, Índices de qualidade da água, Bacia hidrográfica.

ABSTRACT

The main purpose of this study was the investigation of impacts of the disposal of industrial and domestic effluents on the quality of the water of a hydric body, considering the probable repercussions on the environment and on the health of the user population. The delimited study area was the Mussuré stream basin, which is located in the Gramame river basin, in the state of Paraíba. Along its course, the Mussuré stream receives discharges of domestic sewers, solid residues and the most diverse industrial pollutant loads, since it flows through the Industrial District of João Pessoa. The work methodology consisted of analyzing water quality data, as well as observing *in loco* the area's problems and collecting information from the agencies responsible for environmental causes. The data, regarding physical, chemical, bacteriological and heavy metals concentration parameters, was analyzed spatially, along five sampling stations, and temporally. Multivariate analysis and two water quality indexes (IQA_{OBJ} and IQA_{BA}) were also used to study the data. Several alterations were verified in the water quality of the Mussuré stream, along its entire course. The DO contents were considerably below the limit established by CONAMA Resolution 357/05 for the class 3 (4,0 mg/L), in all monitored stations. The station situated approximately at the halfway mark of the stream course presented the highest BOD, color and turbidity values, and the lowest water quality referenced to the two mentioned indexes, fact due to the discharge of industrial effluents upstream from this station. In general, the concentrations of analyzed metals were above the limits established by CONAMA Resolution 357/05. After analyzing the results, it was concluded that the Mussuré stream presents a high degradation degree and its water represents a substantial risk for the health of the user population.

Keywords: Industrial effluents, Water quality index, Hydrographical basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Localização da bacia do rio Gramame.....	46
Figura 3.2 Bacia do rio Gramame - destaque para a área de estudo.....	47
Figura 3.3 Localização do riacho Mussuré em relação ao Distrito Industrial, e aos bairros residenciais presentes na área.....	52
Figura 3.4 Número de indústrias que lançam seus efluentes líquidos no riacho Mussuré agrupadas por tipologia industrial.....	53
Figura 4.1 Estações de monitoramento ao longo do riacho Mussuré.....	61
Figura 5.1 Localização da bacia do riacho Mussuré, na bacia do rio Gramame.....	72
Figura 5.2 Bacia do riacho Mussuré, com destaque para os bairros residenciais, o Distrito Industrial e as estações de monitoramento de qualidade da água.....	73
Figura 5.3 Localização das indústrias que lançam seus efluentes no riacho Mussuré, agrupadas por tipologia industrial.....	74
Figura 5.4 Plantação de milho às margens do riacho Mussuré.....	76
Figura 5.5 Agricultor preparando o solo para plantio de mandioca.....	76
Figura 5.6 Mineração na bacia do riacho Mussuré.....	77
Figura 5.7 Leito do riacho Mussuré dominado por macrófitas aquáticas (área próxima à estação MS 02).....	78
Figura 5.8 Detalhe da situação do leito do riacho Mussuré.....	78
Figura 5.9 Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao longo do riacho Mussuré.....	84
Figura 5.10 Variação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) ao longo do riacho Mussuré.....	86
Figura 5.11 Variação da condutividade elétrica da água ao longo do riacho Mussuré.....	90

Figura 5.12 Variação do teor de cor ao longo do riacho Mussuré.....	93
Figura 5.13 Amostras de água coletadas durante a noite, em pontos distintos do riacho Mussuré: estação MS 01 (esquerda) e estação MS 02 (direita).....	94
Figura 5.14 Variação do número de coliformes termotolerantes ao longo do riacho Mussuré.....	96
Figura 5.15 Dendrograma dos agrupamentos por similaridade entre os pontos de coleta ao longo do riacho Mussuré	98
Figura 5.16 Variação do IQA_{OBJ} ao longo do riacho Mussuré.....	99
Figura 5.17 Variação do IQA_{BA} ao longo do riacho Mussuré.....	101
Figura 5.18 Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao longo do ano.....	105
Figura 5.19 Variação dos teores de Oxigênio Dissolvido (OD) ao longo do ano.....	107
Figura 5.20 Análise de Componente Principais dos parâmetros OD, DBO, pH e turbidez para o período entre 1998 e 2004.....	110
Figura 5.21 Variação do IQA_{OBJ} ao longo dos anos estudados.....	112
Figura 5.22 Variação do IQA_{OBJ} durante o ano.....	112
Figura 5.23 Variação do IQA_{BA} ao longo dos anos estudados.....	113
Figura 5.24 Variação do IQA_{BA} durante o ano.....	114
Figura 5.25 Plantações às margens do riacho Mussuré: (a) Milho; (b) Alface..	118
Figura 5.26 Lavagem de roupas no riacho Mussuré.....	119
Figura 5.27 Detalhe de uso das águas do riacho Mussuré para lazer e lavagem de roupas.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 Classificação das águas doces segundo a Resolução CONAMA 357/05.....	26
Tabela 4.1 Localização das estações de monitoramento no riacho Mussuré...	60
Tabela 4.2 Períodos estudados e parâmetros analisados nas cinco estações monitoradas pela SUDEMA, no riacho Mussuré.....	62
Tabela 4.3 Correspondência do resultado qualitativo de acordo com o resultado numérico de cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA_{BA} ou IQA_{OBJ}).....	70
Tabela 5.1 Resultados da qualidade da água do riacho Mussuré, medidos através do Índice Objetivo de Qualidade da Água (IQA_{OBJ}).....	100
Tabela 5.2 Resultados da qualidade da água do riacho Mussuré, medidos através do Índice de Qualidade da Água de Bascarán Adaptado (IQA_{BA}).....	102
Tabela 5.3 Matriz de correlação entre variáveis de qualidade da água.....	108
Tabela 5.4 Concentração de metais na água do riacho Mussuré.....	115

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1	Principais componentes químicos que podem afetar a saúde humana.....	33
Quadro 3.1	Dados climatológicos médios medidos na estação meteorológica do aeroporto Castro Pinto, em Santa Rita/PB.....	49
Quadro 4.1	Valores percentuais e pesos atribuídos aos parâmetros de qualidade de água para cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQ_{AB}), de acordo com o Método Bascarán (1979).....	68

LISTA DE SIGLAS

BWQI	Índice de Qualidade da Água da Colúmbia Britânica
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CINEP	Companhia de Industrialização do Estado da Paraíba
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós Graduação em Engenharia
CT	Coliformes termotolerantes
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
CINEP	Companhia de Industrialização do Estado da Paraíba
Cr	Cromo
CWQI	Índice Canadense de Qualidade da Água
Cu	Cobre
EP	Equivalente Populacional
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente
FIEP	Federação das Indústrias do Estado da Paraíba
IAP	Índice de Qualidade da Água Bruta para Fins de Abastecimento Público
IQA	Índice de Qualidade de Água
IQA _a	Índice de Qualidade de Água Aditivo
IQA _B	Índice de Qualidade da Água de Bascarán
IQA _{BA}	Índice de Qualidade da Água de Bascarán Adaptado
IQA _m	Índice de Qualidade de Água Multiplicativo
IQA _{OBJ}	Índice Objetivo de Qualidade de Água
IT	Índice de Toxidez
IVA	Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática
Ni	Níquel
NMP	Número Mais Provável

NSF	Fundação Nacional de Saúde dos EUA
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
Pb	Chumbo
PCA	Análise dos Componentes Principais
pH	Potencial Hidrogeniônico
SABESP	Companhia de Abastecimento do Estado de São Paulo
SAELPA	Sociedade Anônima de Eletrificação da Paraíba
SCIENTEC	Associação para o Desenvolvimento da Ciência e Tecnologia
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SEPLAN	Secretaria do Planejamento do Estado da Paraíba
SESI	Serviço Social da Indústria
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SMA	Secretaria de Meio Ambiente
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
WQI _{OBJ}	Índice Objetivo de Qualidade da Água
WQI _{MIN}	Índice Mínimo de Qualidade da Água
WQI _{SUB}	Índice Subjetivo de Qualidade da Água
Zn	Zinco

SIGNIFICADO DE CITAÇÕES EM LATIM MENCIONADAS NO TEXTO

apud junto à

e.g. exempli gratia = por exemplo

in loco no local

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
OBJETIVOS.....	22
Objetivo geral.....	22
Objetivos específicos.....	22
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	23
2.1 Água na natureza.....	23
2.2 Usos da água.....	24
2.3 Poluição de um curso de água.....	27
2.4 Problemas de saúde relacionados à qualidade da água.....	31
2.5 Qualidade da água de um corpo hídrico.....	34
2.5.1 Parâmetros de qualidade da água.....	35
2.5.2 Índices de qualidade da água (IQAs).....	38
2.5.3 Legislação sobre qualidade da água.....	42
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INFLUENCIA DO RIACHO	
MUSSURÉ.....	45
3.1 Aspectos gerais.....	45
3.2 O Distrito Industrial de João Pessoa.....	50
4 METODOLOGIA.....	55
4.1 Delimitação e caracterização da área de estudo – bacia do riacho	
Mussuré.....	55
4.2 Determinação da vazão do riacho Mussuré.....	56
4.3 Estimativa da carga poluidora gerada pelas indústrias.....	57
4.4 Bancos de dados.....	59
4.5 Tratamento dos dados.....	63
4.6 Índices de qualidade da água.....	66

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	71
5.1 Delimitação e descrição da bacia do riacho Mussuré	71
5.2 Vazão do riacho Mussuré e estimativa da carga poluidora lançada pelas indústrias em seu curso.....	80
5.3 Análise espacial da qualidade da água do riacho Mussuré	83
<i>5.3.1 Parâmetros de qualidade da água.....</i>	<i>83</i>
<i>5.3.2 Análise multivariada dos parâmetros de qualidade da água.....</i>	<i>97</i>
<i>5.3.3 Índices de qualidade da água.....</i>	<i>98</i>
5.4 Análise temporal da qualidade da água do riacho Mussuré.....	103
<i>5.4.1 Parâmetros de qualidade da água.....</i>	<i>104</i>
<i>5.4.2 Análise multivariada dos parâmetros de qualidade da água.....</i>	<i>108</i>
<i>5.4.3 Índices de qualidade da água.....</i>	<i>111</i>
5.5 Presença de metais pesados na água do riacho Mussuré.....	115
5.6 Riscos potenciais para a população usuária das águas do riacho Mussuré	118
6 CONCLUSÕES.....	122
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	124
APÊNDICE A.....	134
APÊNDICE B.....	136
APÊNDICE C.....	139

1 INTRODUÇÃO

Impacto ambiental pode ser definido como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

A degradação dos recursos naturais e o acúmulo de resíduos estão entre os primeiros impactos que foram percebidos como conseqüências do grande aumento demográfico mundial, levando à constatação de que a sustentabilidade da vida humana na Terra estava ameaçada. Desta forma, o interesse em evitar ou diminuir ao máximo as transformações ambientais se desenvolveu lado a lado com o medo de não dispor, em um futuro próximo, dos recursos necessários para as atividades humanas. Assim, apesar de ser um bem natural indispensável à vida de todos os seres vivos, a preocupação com a qualidade da água existente no planeta também foi impulsionada pela necessidade, cada vez mais crescente, de utilização pela humanidade.

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), caso medidas urgentes não sejam tomadas, no ano 2050 mais de 45% da população mundial viverá em países que não poderão garantir a quota diária mínima de 50 litros de água por pessoa para suas necessidades básicas (UNESCO, 2004). A quantidade de água no mundo tem permanecido constante nos últimos 500 milhões de anos,

enquanto que cada vez mais pessoas utilizam água da mesma fonte. Assim, a procura aumenta, mas a oferta permanece inalterada.

A água doce é utilizada, em todo o mundo, para diversas finalidades, dentre elas a irrigação, o abastecimento urbano e industrial, a geração de energia, o transporte, a pesca e o lazer. Porém, existem outros usos como preservação da flora e da fauna e harmonia paisagística, que são de grande importância para a manutenção dos ecossistemas. Um curso de água também pode ser utilizado como receptor de cargas orgânicas provenientes de efluentes domésticos e industriais, lançados, muitas vezes, sem tratamento prévio. Este uso provoca acentuada degradação da qualidade da água, resultando em prejuízos para a própria humanidade e em desequilíbrios nos ecossistemas aquáticos e terrestres (BRANCO, 1993; RUSSELL-HUNTER, 1970). Também pode levar à escassez de água potável, diminuição da biodiversidade, queda na produção de alimentos, intensificação das doenças causadas pela água contaminada e aumento das tensões políticas e sociais (MORAES; JORDÃO, 2002; ADRIANCE; MWINGA; MURRAY, 2005).

A poluição da água pode ser entendida como qualquer modificação das características de um ambiente aquático, de modo a torná-lo impróprio às formas de vida ali existentes. Entretanto, para fins práticos, a definição de poluição se restringe a prejuízos sanitários, econômicos ou estéticos. Isto significa que uma modificação do ambiente aquático só é realmente considerada poluição quando afeta, de maneira nociva, direta ou indiretamente, a vida e o bem estar humano (BRANCO, 1972).

A poluição está diretamente relacionada com os processos de industrialização e o conseqüente aumento da urbanização. A indústria é fonte de poluição pontual, cujos impactos sobre os recursos hídricos são amplos devido à

diversidade dos resíduos gerados (MORAES; JORDÃO, 2002). Os efluentes industriais são, em geral, compostos dos mais diversos produtos químicos e, muitas vezes, caracterizam-se por uma elevada carga orgânica poluente que, a depender da capacidade do corpo receptor, será depurada com dificuldade. As águas de lavagem de equipamentos industriais e as águas de arrefecimento, descarregadas em grandes volumes e em temperaturas elevadas podem modificar significativamente as condições ambientais dos cursos de água. Além do efeito tóxico imediato de alguns poluentes encontrados nestes efluentes, existe o perigo de bioacumulação nos organismos. Neste fenômeno, os seres vivos retêm dentro de si algumas substâncias tóxicas que vão se acumulando também nos demais seres da cadeia alimentar. Este processo pode fazer com que a concentração destas substâncias seja muito maior nos organismos do que na própria água (LIANG *et al.*, 1999; FEEMA, 1992).

Uma forma de avaliar a situação ambiental de um ecossistema é através do uso de indicadores, que podem ser elementos encontrados no meio ou parâmetros de uma variável, que fornecem a medida da magnitude de desequilíbrio no sistema. Eles podem ser quantitativos, quando representados por uma escala numérica, ou qualitativos, quando classificados simplesmente em categorias ou níveis (FEEMA, 1992). Desta forma, os parâmetros físicos, químicos e biológicos são indicadores ambientais que consistem em grandezas consideradas importantes para descrever a qualidade da água. Os dados obtidos através de análises de água permitem comparações com os padrões estabelecidos pela legislação vigente. Além disto, pode-se avaliar o comportamento espacial e temporal da qualidade da água. Os parâmetros podem ser estudados separadamente ou agrupados através de expressões matemáticas que permitem uma avaliação da qualidade geral da água

em questão. O resultado destas expressões é chamado de Índice de Qualidade da Água (RIZZI, 2001; PESCE; WUNDERLIN, 2000).

A bacia do rio Gramame (Paraíba, Brasil) abriga um dos maiores pólos industriais do Estado: o Distrito Industrial de João Pessoa, com geração dos mais diversos tipos de efluentes. Nesta bacia, o riacho Mussuré atravessa o Distrito Industrial e deságua no rio Mumbaba, que é afluente do rio Gramame, a jusante dos reservatórios de Gramame/Mamuaba. Estes reservatórios são os maiores provedores de água para o abastecimento das cidades de João Pessoa, Bayeux, Santa Rita e Cabedelo.

É provável que o volume de efluentes recebidos pelo riacho Mussuré seja bastante elevado para que sua pequena vazão consiga diluí-lo satisfatoriamente. Os efeitos desta carga poluidora no riacho podem ser percebidos, de forma subjetiva, em praticamente todo o seu curso. Assim, é evidente a importância de uma investigação dos impactos destes efluentes na qualidade da água do riacho Mussuré, com foco para as consequências no meio ambiente e nos riscos para a saúde da população usuária desta água.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Investigar os impactos do lançamento de efluentes industriais e domésticos na qualidade da água do riacho Mussuré, e as prováveis repercussões no ambiente e na saúde da população usuária desta água.

Objetivos Específicos

- Delimitar e caracterizar a bacia do riacho Mussuré, identificando as principais fontes de poluição;
- Avaliar a qualidade da água do riacho Mussuré por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos, e de Índices de Qualidade da Água (IQAs);
- Fornecer subsídios para a proposição de medidas, ações, projetos e programas que possam assegurar a qualidade da água para os usos prioritários previstos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Água na natureza

A água ocupa 70,9% da superfície terrestre. Os 1.360 quatrilhões de toneladas de água existentes no planeta estão distribuídos da seguinte maneira: 95,5% correspondem à água salina presente nos mares e oceanos; 2,2% estão em forma de gelo (calotas polares e geleiras) e 2,3% estão em forma de água doce. A maior parte desta quantidade de água doce, ou seja, 31 mil trilhões de toneladas, encontra-se retida no solo e no subsolo. Cerca de 130 trilhões de toneladas constituem os lagos e pântanos e o restante acha-se distribuído na atmosfera e nos cursos hídricos (BRANCO, 1993).

Na natureza as águas se renovam continuamente, graças aos 100 trilhões de toneladas anuais de água que, evaporados dos oceanos, precipitam-se sobre os continentes, infiltrando-se nos solos, abastecendo lagos e reservatórios, escoando superficialmente e voltando para os oceanos ou diretamente para a atmosfera, através da evapotranspiração. Esta permanente mudança de estado da água na natureza chama-se ciclo hidrológico. Entretanto, essa enorme quantidade de água não se encontra distribuída uniformemente por todo o planeta, sendo um bem abundante em algumas regiões e extremamente raro em outras (BRANCO, 1993; BRAGA, 2002).

As águas interiores, ou seja, aquelas que estão nos continentes, podem ser encontradas na superfície do solo ou armazenadas subterraneamente. O volume de água presente na superfície compõe os chamados ecossistemas de água doce, que podem ser divididos em dois grupos: os lênticos, compostos por lagos e pântanos, e os lóticos, compostos por rios, riachos, nascentes e corredeiras

(BRAGA, 2002). A vida nos ecossistemas de água doce compõe-se principalmente de algas, moluscos, insetos aquáticos, crustáceos e peixes, além de bactérias e fungos, encarregados da decomposição da matéria orgânica. O equilíbrio destes ecossistemas tem fundamental importância para a sobrevivência do planeta, pois propicia o desenvolvimento de outros ecossistemas em seu entorno. Além disto, as águas superficiais são as de mais fácil e imediata utilização pelo homem.

2.2 Usos da água

Os usos da água são os múltiplos fins a que ela serve. Segundo von Sperling (1996) os principais usos da água são os seguintes:

- Abastecimento doméstico;
- Abastecimento industrial;
- Irrigação;
- Dessedentação de animais;
- Aqüicultura;
- Preservação da flora e da fauna;
- Recreação e lazer;
- Harmonia paisagística;
- Geração de energia elétrica;
- Navegação;
- Diluição de despejos.

É importante notar que vários corpos de água têm usos múltiplos previstos. Assim, para efeito de orientação e referência, torna-se necessária a implementação de alguns instrumentos legais, entre eles, o enquadramento dos cursos d'água, que é realizado em função dos usos preponderantes. Trata-se de um instrumento de planejamento de suma importância para o controle ambiental e a gestão dos recursos hídricos.

Na tabela 2.1 está apresentada a classificação dos cursos de água em função de seus usos preponderantes, segundo a Resolução 357/05 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

Tabela 2.1 Classificação das águas doces segundo a Resolução CONAMA 357/05.

Classe	Usos
Classe Especial	a) abastecimento para consumo humano, com desinfecção; b) preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas. c) preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
Classe 1	a) abastecimento doméstico após tratamento simplificado; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); d) irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película. e) proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas.
Classe 2	a) abastecimento doméstico, após tratamento convencional; b) proteção das comunidades aquáticas; c) recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); 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) aquicultura e atividade de pesca.
Classe 3	a) abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; b) irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; c) pesca amadora; d) recreação de contato secundário; e) dessedentação de animais.
Classe 4	a) navegação; b) harmonia paisagística.

Fonte: CONAMA 357/05

Desta forma, o requisito de qualidade de uma água é função do uso a que esta se destina.

2.3 Poluição de um curso de água

Para fins práticos, em especial do ponto de vista legal, os conceitos de “impacto ambiental” e “poluição” estão associados às alterações indesejáveis provocadas pelas atividades e intervenções humanas no ambiente (BRAGA *et al.*, 2002). Segundo von Sperling (1996), existem basicamente duas formas em que a fonte de poluentes pode atingir um corpo d’água:

- Poluição pontual;
- Poluição difusa.

Na poluição pontual, os poluentes atingem o corpo d’água de forma concentrada no espaço. Um exemplo é o da descarga, em um rio, de um emissário transportando os esgotos de uma comunidade.

Na poluição difusa, os poluentes adentram o corpo d’água, distribuídos ao longo de toda ou parte de sua extensão. Tal é o caso da poluição veiculada pela drenagem pluvial natural, a qual é descarregada no corpo d’água de uma forma distribuída, e não concentrada em um único ponto.

De maneira geral, os poluentes que atingem os corpos hídricos são freqüentemente originários das seguintes fontes principais (AWWA, 1964):

- Esgotos domésticos;
- Despejos industriais;
- Escoamento superficial da área urbana;
- Escoamento superficial da área rural.

A poluição das águas pode ocorrer de vários modos, incluindo-se: a poluição térmica, decorrente da descarga de efluentes a altas temperaturas; a

poluição química, em todos os seus aspectos; a poluição física, devido à descarga de material em suspensão; e a poluição biológica, resultante da descarga de bactérias patogênicas, vírus e outros organismos (BENN; MCAULIFFE, 1981).

Uma das formas mais importantes de poluição química é a introdução de “excesso de alimento” nos cursos de água, na forma de grandes quantidades de matéria orgânica, levando à redução ou mesmo ao esgotamento do oxigênio dissolvido na água.

Este processo é resultado da seguinte relação: quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, maior será a população de microrganismos decompositores. Esses microrganismos são responsáveis pela decomposição orgânica e são extremamente importantes para o equilíbrio ecológico. Decompondo a matéria orgânica eles a reduzem a seus componentes químicos essenciais (gás carbônico, sais de nitrogênio e de fósforo), que são devolvidos ao ambiente, de maneira a serem utilizados pelos vegetais, completando assim, o ciclo da vida (BRANCO, 1993). Contudo, em ambientes pobres em oxigênio como a água, quando grande quantidade de matéria orgânica sofre decomposição em espaços limitados, a quantidade de oxigênio necessária à decomposição leva à sua redução no meio aquático. Esta redução causa a morte de peixes, crustáceos, moluscos, vermes e, por fim, dos próprios microrganismos decompositores, que, não dispendo de oxigênio, morrem ou se adaptam à vida anaeróbia (microrganismos aeróbios facultativos). Está assim extinta a vida aeróbia neste ecossistema aquático (BRANCO, 1993; BRANCO, 1972).

Quando todo o oxigênio se extingue no ambiente, as bactérias e outros seres aeróbios também são extintos e, em seu lugar surgem outros seres

microscópicos capazes de alimentar-se e respirar na ausência deste gás (BRANCO, 1972).

Contudo, os níveis de oxigênio dissolvido nas águas podem aumentar, caso o corpo d'água não receba novas cargas de poluição orgânica. Este fato deve-se aos mecanismos de autodepuração dos cursos de água. A autodepuração é a capacidade que um corpo hídrico tem para promover a estabilização de determinada carga poluidora recebida. No entanto, este processo pode necessitar de dezenas de quilômetros, dependendo das características do corpo receptor e da qualidade e quantidade da carga lançada. A autodepuração pode ser entendida como um fenômeno de sucessão ecológica, já que não existe uma depuração absoluta. O ecossistema atinge novamente o equilíbrio, mas em condições diferentes das anteriores, devido ao incremento da concentração de certos produtos e subprodutos da decomposição. Assim, em decorrência destes compostos, a comunidade aquática se apresenta distinta, ainda que em novo equilíbrio (VON SPERLING, 1996; CHAGAS; SOUZA, 2005).

Os tipos mais freqüentes de poluição orgânica derivam de lançamentos de esgotos domésticos e de efluentes industriais. Algumas substâncias presentes nos efluentes industriais impedem a realização dos processos biológicos capazes de depurar as águas de um rio ou riacho. Estes efeitos sinérgicos são responsáveis pelos mais graves casos de poluição fluvial (RUSSELL-HUNTER, 1970).

A poluição química é outra importante forma de poluição da água. Ela consiste na introdução de substâncias tóxicas nos corpos hídricos. Estas substâncias geralmente são provenientes de indústrias ou de áreas agrícolas onde são utilizados insumos como inseticidas, herbicidas e fungicidas. As substâncias tóxicas podem ser minerais, como os metais pesados, ou orgânicas. As substâncias

orgânicas sintéticas resistem à biodegradação, mantendo-se incólumes ao processo de autodepuração (BRANCO, 1993).

Os efluentes lançados pelas indústrias em rios e riachos geralmente contém uma grande quantidade de substâncias tóxicas e representam um grande risco a estes ecossistemas aquáticos. Os efluentes líquidos industriais são misturas complexas e, diferentemente dos esgotos domésticos que no geral apresentam uma composição rica em matéria orgânica, podem variar muito em sua composição (TABOSA, 2000). Nos efluentes industriais geralmente estão presentes grandes quantidades de produtos químicos tóxicos bem como metais pesados. Contudo, os efluentes de uma fábrica não são única e exclusivamente despejos industriais, ou seja, aqueles onde predominam agentes químicos, substâncias tóxicas e outros compostos que comumente escasseiam ou mesmo não se apresentam em quantidades ponderáveis no chamado esgoto sanitário. Nos despejos industriais podem também existir elevadas quantidades de matéria em suspensão ou emulsões que flutuam ou decantam, e até mesmo, abundância de matéria orgânica, como é o caso das águas servidas dos curtumes e dos laticínios. Nos despejos de uma indústria se alinham de um lado os esgotos sanitários e de outro o despejo industrial específico daquele estabelecimento (TINOCO, 2004).

A poluição de um curso de água não é determinada apenas pela qualidade dos poluentes que nele são despejados, mas principalmente pela capacidade de assimilação deste ecossistema. Esta capacidade está estritamente relacionada às interações entre as condições físicas, químicas e biológicas deste ambiente.

2.4 Problemas de saúde relacionados à qualidade da água

Provavelmente, a primeira demonstração científica de que certas doenças podem ter origem hídrica ocorreu em 1854, durante um surto de cólera, em Londres. Verificou-se na época que as pessoas infectadas utilizavam água de um mesmo poço (AWWA, 1964).

Atualmente, a relação entre qualidade da água e as doenças de veiculação hídrica são amplamente estudadas e divulgadas. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), a cada oito segundos, uma criança morre devido a uma doença relacionada à água. A cada ano, mais de cinco milhões de seres humanos morrem de alguma doença associada à água não potável, pois cerca de 80% de todas as enfermidades que se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade (VALENÇA, 2003). No Brasil, o Ministério da Saúde aponta que 70% dos leitos hospitalares são ocupados por pessoas que contraíram moléstias transmitidas por contato com água poluída (PROJETO, 2005).

Segundo Déoux e Déoux (1996), a contaminação pela água pode ocorrer através da ingestão (água e alimentos), contato cutâneo-mucoso (higiene, lazer e outras atividades) e por inalação (ducha e umidificação). O perigo mais conhecido é a poluição por bactérias, vírus e parasitas. A presença destes organismos na água de consumo, manifestando-se por problemas sanitários agudos, é de identificação bastante fácil e rápida.

As mais comuns doenças de transmissão hídrica são: febre tifóide, agente causador *Salmonela tifóide*; febre paratifóide, agentes *Salmonelas paratifóides* (A, B, C); disenteria bacilar, agente Bacilo desentérico; disenteria

amebiana, agente *Entamoeba histolítica*; cólera, agente Vibrião da cólera; diarreia, agente Enterovírus. *E. Coli*; hepatite infecciosa, agente Vírus tipo A e giardíase, agente *Giardia lamblia*. Além disto, várias doenças intestinais causadas por protozoários são transmitidas pela água ou por alimentos contaminados por ela (RICHTER, 1998 *apud* VALENÇA 2003).

Outro perigo é a presença de contaminantes químicos tóxicos na água, que raramente causam problemas agudos, mas se acumulam ao longo do tempo no organismo, causando sérios problemas em longo prazo. Alguns metais pesados são capazes de provocar efeitos tóxicos agudos e câncer em mamíferos devido a danos que causam ao DNA (MORAES; JORDÃO, 2002). Um dos aspectos mais graves da contaminação por metais pesados é a sua amplificação biológica nas cadeias tróficas.

Diversas doenças são conhecidas como sendo provocadas pela ingestão desequilibrada de muitos elementos, dentre as quais estão os excessos de cádmio, mercúrio e chumbo. Estas doenças estão relacionadas principalmente à proximidade e contato com resíduos resultantes de certas atividades industriais. No entanto, muitas são as controvérsias de causa e efeito citadas na bibliografia específica, entre elas: a relação da dureza da água com moléstias cardiovasculares; do chumbo com a esclerose múltipla; do cádmio com a hipertensão e aterosclerose; do alumínio com o mal de Alzheimer; e uma gama de compostos químicos e diversos tipos de câncer (LICHT, 2001). No quadro 2.1 estão apresentados os efeitos de algumas substâncias químicas sobre a saúde humana.

Quadro 2.1 Principais componentes químicos que podem afetar a saúde humana.

Substância		Principais efeitos sobre a saúde humana
Inorgânica	Arsênio	Em doses baixas causa debilidade muscular, perda de apetite e náusea. Em doses altas causa comprometimento do sistema nervoso central.
	Cádmio	Provoca desordem gastrointestinal grave, bronquite, enfisema, anemia e cálculo renal.
	Chumbo	Provoca cansaço, ligeiros transtornos abdominais, irritabilidade e anemia.
	Cianetos	Pode ser fatal em altas doses.
	Cromo	Em doses baixas causa irritação nas mucosas gastrointestinais, úlcera e inflamação da pele. Em doses altas causa doenças no fígado e nos rins, podendo levar à morte.
	Fluoretos	Em doses baixas melhoram o índice de fertilidade e crescimento e trazem proteção contra as cáries. Em doses altas provocam doenças nos ossos e inflamação no estômago e no intestino, causando hemorragias.
	Mercúrio	Causa transtornos neurológicos e renais, tem efeitos tóxicos nas glândulas sexuais, altera o metabolismo do colesterol e provoca mutações.
	Nitratos	Causam deficiência de hemoglobina no sangue em crianças, podendo levar à morte.
	Prata	Em doses extremamente altas é fatal para o homem. Provoca descoloração da pele, dos cabelos e das unhas.
Orgânica	Aldrin e Dieldrin	Afetam o sistema nervoso central. Em doses altas é fatal para o homem.
	Benzeno	A exposição aguda ocasiona depressão no sistema nervoso central. Estudos sugerem que existe relação entre exposição ao benzeno e leucemia.
	Clordano	Provoca vômitos e convulsões. Pode causar mutações.
	DDT	Causa problemas no sistema nervoso central.
	Lindano	Causa irritação do sistema nervoso central, náusea, vômitos, dores musculares e respiração debilitada.

Extraído de Barros *et al.* (1995).

2.5 Qualidade da água de um corpo hídrico

Na Lei Federal nº 9.433/97, a bacia hidrográfica é definida como a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Uma bacia hidrográfica compreende toda a área de captação natural da água da chuva, que proporciona escoamento para o canal principal e seus tributários. O limite superior de uma bacia é o divisor de águas, ou seja, o divisor topográfico. A delimitação inferior é a saída da bacia, isto é, sua confluência.

Todas as alterações ambientais ocorridas na bacia influenciam, direta ou indiretamente, a qualidade das águas dos corpos hídricos. Assim, é importante a avaliação geral dos problemas que ocorrem em uma bacia, quando se pretende diagnosticar a situação de seus cursos de água. Uma bacia hidrográfica, além de poder estar inserida em outras de maior tamanho, pode ainda conter um número variado de outras bacias menores, chamadas sub-bacias.

Uma importante medida para diagnosticar a situação ambiental de um curso de água é o monitoramento da qualidade de suas águas. Diversos estudos já demonstraram que as condições dos ecossistemas variam segundo suas qualidades biológicas, físicas e químicas, qualidades estas que podem ser quantificadas. Indicadores e índices físicos, químicos e biológicos têm sido usados para descrever, retratar e controlar as condições do meio ambiente.

2.5.1 *Parâmetros de qualidade da água*

A qualidade da água pode ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas. Na Resolução CONAMA 357/05 estão apresentados padrões para mais de 70 parâmetros de qualidade da água. Neste item serão apresentados apenas os parâmetros que foram analisados para o presente estudo:

- a) Oxigênio dissolvido (OD): É o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos. O OD é de essencial importância para os organismos aeróbios (VON SPERLING, 1996);
- b) Demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5): A DBO de uma amostra de água é a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante um determinado período de tempo, numa temperatura de incubação específica. Um período de tempo de 5 dias numa temperatura de incubação de 20 °C é freqüentemente usado e referido como $DBO_{5,20}$, DBO_5 , ou simplesmente DBO (CETESB, 2005);
- c) Temperatura: A temperatura da água pode influir no retardamento ou aceleração da atividade biológica, na absorção de oxigênio e precipitação de compostos. Quando se encontra ligeiramente elevada, resulta na perda de

gases pela água, gerando odores e desequilíbrio ecológico (VON SPERLING, 1996);

- d) Cor: A cor da água resulta da existência de substâncias em solução provenientes principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no corpo hídrico, podendo também estar associada à presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, plâncton, macrófitas ou de despejos coloridos contidos em esgotos industriais;
- e) Turbidez: A turbidez da água é dada pela presença de partículas em suspensão (silte, areia, bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos, entre outros) que podem ou não ser coloridas (BRANCO, 1972). Este parâmetro representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma (VON SPERLING, 1996);
- f) pH (Potencial Hidrogeniônico): Medida da concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução, indicando a acidez ou alcalinidade desta. Um valor de pH igual a 7 significa que a solução é neutra; pH maior que 7 indica condições básicas e abaixo de 7 condições ácidas (AWWA, 1964);
- g) Condutividade elétrica: A condutividade elétrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente elétrica. Este parâmetro está relacionado com a presença de íons dissolvidos na água, que são partículas carregadas eletricamente. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da água. Em águas continentais, os íons diretamente

responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade elétrica pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos ou agricultura (AMBIENTE, 2005);

- h) Sólidos dissolvidos totais (SDT): A quantidade e a natureza da matéria dissolvida e não-dissolvida que ocorre no meio líquido varia grandemente. Sólidos dissolvidos totais são todas as partículas, com exceção dos gases dissolvidos, presentes nos corpos d'água, podendo ser classificados de acordo com o tamanho e características químicas;
- i) Coliformes termotolerantes (CT): As bactérias do grupo coliforme constituem o indicador de contaminação fecal mais comum, sendo empregadas como parâmetro bacteriológico básico na caracterização e avaliação da qualidade das águas em geral (AWWA, 1964). Os coliformes termotolerantes são um subgrupo das bactérias do grupo coliforme, tendo como principal representante a *Escherichia coli*, de origem exclusivamente fecal (BRASIL, 2004b);
- j) Metais pesados: Certos metais pesados causam fortes impactos na estabilidade dos ecossistemas e provocam efeitos adversos nos seres humanos. Os padrões de qualidade da água estabelecidos pela Resolução

CONAMA 357/05 definem os limites de concentração a que cada substância presente na água deve obedecer (RIBEIRO *et al.*, 2005).

2.5.2 Índices de qualidade da água (IQAs)

Para avaliação da qualidade da água podem também ser utilizados índices, que são instrumentos matemáticos usados para transformar uma grande quantidade de dados em um simples número que representa o nível de qualidade de determinada amostra (STAMBUK-GILJANOVIC, 1999). A utilização de índices de qualidade da água (IQAs) tem como objetivo a simplificação de uma série de parâmetros em valores inteiros. Desta forma, esses índices são bastante úteis para transmitir informação a respeito da qualidade da água ao público em geral, podendo dar uma boa idéia da tendência de evolução da qualidade ao longo do tempo, além de permitir uma comparação entre diferentes cursos d'água ou entre diferentes pontos de um mesmo curso, sendo assim uma importante ferramenta para o gerenciamento de bacias hidrográficas.

O conceito de IQAs é baseado em uma comparação da concentração de contaminantes e valores de determinados parâmetros com os respectivos padrões ambientais. Entre as principais vantagens destes índices estão: a maneira simples e prática de se estimar a qualidade das águas; a facilidade na comunicação de resultados para o público não-técnico; o status maior do que o de parâmetros individuais; e o fato de representarem uma média de diversas variáveis em um único número, combinando assim unidades de medidas diferentes em uma única unidade. No entanto, a principal desvantagem consiste na perda de informação das variáveis individuais e da interação entre as mesmas. O índice, apesar de fornecer uma

avaliação integrada, jamais deverá substituir uma avaliação detalhada da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica (CETESB, 2005). Ele representa muito mais um indicativo de contaminação que deve ser considerado como instrumento de análise e alerta, pois depende de um conjunto de variáveis e de uma sistemática de atribuição que muitas vezes é de caráter subjetivo.

Os IQAs são aplicados em ambientes lóticos e lênticos de várias regiões do planeta. A escolha do índice a ser usado dependerá das fontes poluidoras existentes no local e do uso pretendido para a água em questão, além da possibilidade de realização das análises dos parâmetros utilizados. Os índices mais aplicados, por órgãos ambientais, redes de monitoramentos de qualidade da água e entidades de pesquisa, estão apresentados a seguir.

O índice mais conhecido no mundo é simplesmente denominado Índice de Qualidade de Água (IQA) e foi desenvolvido em 1970 pela Fundação Nacional de Saúde dos Estados Unidos (NSF). Este índice foi elaborado utilizando-se a opinião de 142 pessoas distribuídas naquele país que atuavam no gerenciamento dos recursos hídricos (CANTER, 1998 *apud* RIZZI, 2001). O IQA é uma espécie de nota atribuída à qualidade da água que varia de 0 a 100. A partir dos primeiros estudos para a criação deste IQA, muitos outros índices foram desenvolvidos de acordo com as necessidades locais.

No ano de 1998 a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) definiu um grupo de trabalho para revisão dos índices de qualidade da água. Este grupo foi constituído por técnicos da CETESB e de instituições de ensino e pesquisa do estado de São Paulo. O grupo encaminhou os resultados dos estudos à CETESB em 1999, propondo a adoção do IAP (Índice

de Qualidade da Água Bruta para Fins de Abastecimento Público) e do IVA (Índice de Qualidade da Água para Proteção da Vida Aquática).

Algumas substâncias tóxicas, como metais pesados e pesticidas, apresentam concentrações freqüentemente limitadas espacial e temporalmente a determinadas situações, razão pela qual não podem ser incluídas em índices mais amplos, propostos para áreas com diferenças hidrológicas, demográficas ou geológicas. No IQA proposto pela NSF este problema é contornado através de uma variável binária, o Índice de Toxidez (IT), que assume o valor zero, caso um dos elementos tóxicos ultrapasse o limite permitido, ou o valor um (1) em caso contrário. A nota final de um ponto de amostragem será o produto do IQA pelo IT (BRASIL, 2004a).

Em avaliações e estudos de pós-graduação sobre a qualidade da água na bacia do rio Paraíba do Sul, alunos dos Programas de Pós-Graduação em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) utilizaram 3 índices: o PRATI, que é um índice implícito de poluição; o DINIUS, um Índice de Contabilidade Social; e o McDuffie, um índice da poluição dos rios. A Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul utilizaram o Horton como índice geral de qualidade da água dos rios Miranda e Taquari/Antas respectivamente. Também existem estudos para o uso do Índice Smith no rio Miranda/MS (BRASIL, 2004a).

Tomazoni *et al.* (2003) determinaram a qualidade da água dos rios Anta Gorda, Brinco e Jirau, situados no estado do Paraná, através do Índice de Qualidade de Água Aditivo (IQA_a) e do Índice de Qualidade de Água Multiplicativo (IQA_m) .

Na cidade de Nova Iorque, o índice de Numerow e Sumimoto é utilizado para qualificação da água para navegação, refrigeração industrial, recreação e contato humano indireto e remoto.

Khan *et al.* (2003) aplicaram o Índice Canadense de Qualidade da Água (CWQI) e o Índice da Colúmbia Britânica (BWQI) em três bacias do leste canadense (bacia do rio Mersey, bacia do rio Point Wolfe e bacia do Dunk).

Outros índices adotados são o de Stoner (Abastecimento e Irrigação); O'Connor, que é dividido em dois: FAWL (Sustentação da Vida Selvagem) e PWS (Abastecimento Público após Tratamento); Deininger e Ladwehr (Abastecimento Público); Walsky e Parker (Recreação) (BRASIL, 2004a).

Outro importante índice é o IQA_B (Índice de Qualidade da Água de Bascarán), que proporciona um valor global de qualidade da água, incorporando valores individuais de uma série de parâmetros (BASCARÁN, 1979 *apud* RIZZI, 2001). O IQA_B é bastante flexível, pois permite a introdução ou exclusão de parâmetros de acordo com as necessidades ou limitações para a obtenção de dados, sendo possível definir um índice básico com um número reduzido de parâmetros e outro completo com maior número de parâmetros (RIZZI, 2001).

Pesquisadores da Universidade Nacional de Córdoba fizeram uso do IQA_B para verificação do impacto ambiental causado pela cidade de Córdoba (Argentina) no rio Suquía (PESCE; WUNDERLIN, 2000). Neste citado trabalho o IQA_B é denominado Índice Subjetivo de Qualidade da Água (WQI_{SUB}). Além disto, os autores utilizaram o Índice Objetivo de Qualidade da Água (WQI_{OBJ}) e o Índice Mínimo de Qualidade da Água (WQI_{MIN}), este último desenvolvido para avaliações a baixo custo, incluindo somente três parâmetros: turbidez, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica (ou sólidos dissolvidos).

Muitos outros índices de qualidade da água foram desenvolvidos e utilizados em todo o mundo, para as mais diversas formas de avaliação. É importante notar que todos os índices contemplam certo grau de subjetividade, pois seus resultados dependerão da escolha das variáveis que constituirão os principais indicadores das alterações da qualidade de água em determinada situação.

2.5.3 Legislação sobre qualidade da água

A legislação referente à qualidade das águas interiores é relativamente recente. Somente a partir das décadas de 1950 e 1960 foram estabelecidos critérios norte-americanos e soviéticos, ainda que rudimentares, para a proteção da vida aquática. No Brasil, apenas em 1976 foram estabelecidos os primeiros padrões para assegurar a qualidade das águas interiores, ressaltando-se que estes padrões eram apropriados para o uso humano (potabilidade) e não contemplavam as necessidades de preservação da vida aquática (BERTOLETTI, 2001).

Atualmente, a maioria dos países possui leis que regulam o uso e o consumo da água. Nos países mais desenvolvidos neste sentido, a poluição e o desperdício são severamente punidos, objetivando uma maior conscientização social e uso sustentável dos recursos naturais.

Os marcos legais básicos referentes ao uso da água no Brasil são: o Código de Águas, estabelecido pelo Decreto Federal 24.643, de 10 de julho de 1934; a Constituição Federal de 1988; e a Lei 9.433, de 08 de janeiro de 1997.

O Código das Águas já assegurava o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida, permitindo a todos, o uso de quaisquer águas públicas, conformando-se com os regulamentos

administrativos. Era impedida a derivação das águas públicas para aplicação na agricultura, indústria e higiene, sem a existência de concessão, no caso de utilidade pública, e de autorização nos outros casos. Em qualquer hipótese, dava-se preferência à derivação para abastecimento das populações (TUCCI *et al.*, 2000).

A Constituição de 1988 estabelece como “bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um estado da Federação, sirvam de limite com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais”. Estabelece ainda, como “bens dos estados, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União” (TUCCI *et al.*, 2000).

A Lei Federal 9.433 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamentou o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal e alterou o artigo 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989 (BRASIL, 1997).

Deve ser destacada também a Resolução CONAMA nº 357/05, de 17 de março de 2005, que trata da classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional, de acordo com a utilização destas, estabelecendo os respectivos padrões de qualidade para cada classe, além das condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2005). A classificação dos cursos de água doce de acordo com os usos previstos foi apresentada anteriormente na tabela 2.1.

Os padrões de qualidade são instrumentos legais promulgados em cada país, pela adaptação de diretrizes (que podem ser estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde), às prioridades nacionais, baseadas nas condições ambientais,

econômicas, culturais, sociais, tecnológicas e em seus condicionantes políticos institucionais (HESPANHOL, 2003). Os padrões de qualidade da água são, além disto, função dos usos previstos para o corpo hídrico.

Na Resolução CONAMA 357/05, os padrões de qualidade estão apresentados em tabelas que estabelecem a concentração máxima permitida, para uma substância, na água de um corpo hídrico ou no efluente a ser lançado neste.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INFLUENCIA DO RIACHO MUSSURÉ

3.1 Aspectos gerais

A área de estudo foi a bacia do riacho Mussuré, localizada entre as latitudes 7°11' e 7°13' Sul e as longitudes 34°52' e 34°56' Oeste. Esta unidade geográfica está inserida na bacia do rio Mumbaba que, por sua vez, é uma sub-bacia do rio Gramame. Assim, o riacho Mussuré é um tributário do rio Mumbaba, sendo este último o principal afluente da margem esquerda do rio Gramame. Neste contexto, a bacia do riacho Mussuré tem influência sobre a qualidade da água de trechos do rio Mumbaba e rio Gramame, sendo, desta forma, uma área de grande importância dentro da bacia do rio Gramame.

A bacia do rio Gramame está localizada entre as latitudes 7°11' e 7°23' Sul e as longitudes 34°48' e 35°10' Oeste, na região litorânea sul do estado da Paraíba, no nordeste do Brasil (Figura 3.1). Esta bacia ocupa uma área de 589,1 km² e perímetro de 123,3 km abrangendo parcialmente 7 municípios: João Pessoa, a capital do estado; Conde; Alhandra; Pedras de Fogo; São Miguel de Taipu; Santa Rita e Cruz do Espírito Santo. Apenas as sedes municipais de Pedras de Fogo e do Conde localizam-se no interior da bacia. A rede hidrográfica do rio Gramame orienta-se perpendicularmente à costa oriental do Nordeste, desembocando diretamente no Oceano Atlântico.

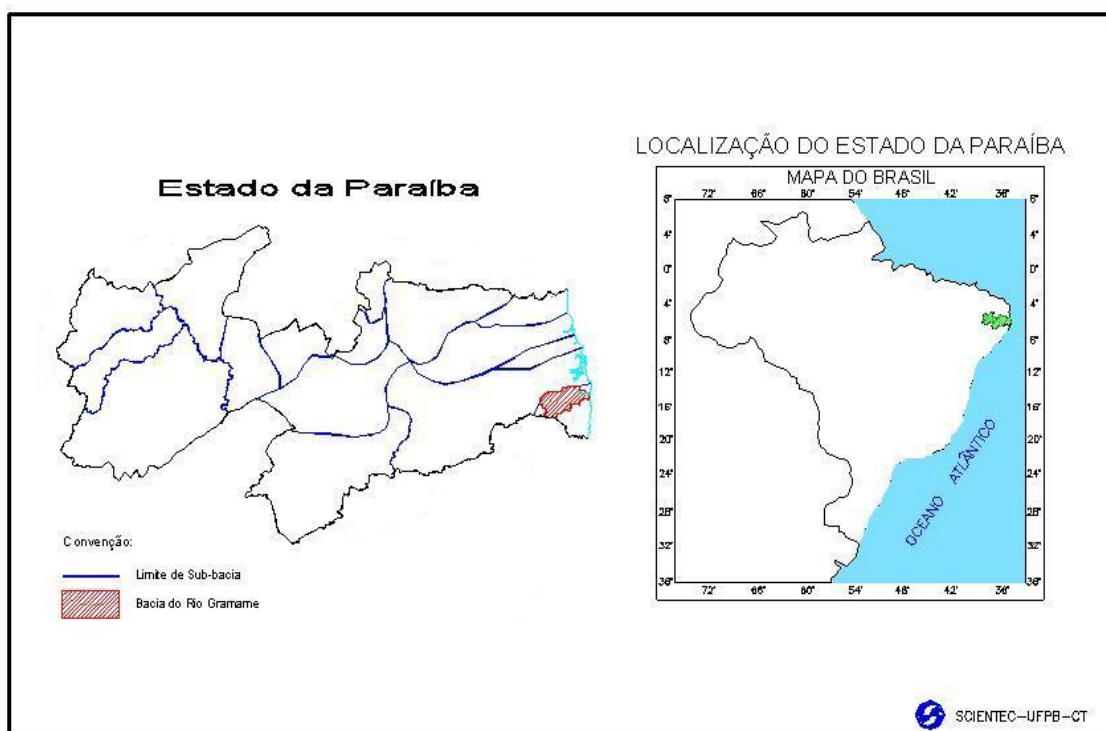


Figura 3.1 Localização da bacia do rio Gramame.

A referida bacia também abriga os reservatórios de Gramame/Mamuaba que, localizados no limite entre o médio e baixo curso do rio Gramame, são os maiores da região litorânea do estado da Paraíba, com um volume de armazenamento de 56,94 milhões de m^3 de água. Estes reservatórios são os principais mananciais de água para abastecimento público das cidades de João Pessoa, Bayeux, Santa Rita (apenas do distrito de Várzea Nova) e Cabedelo.

Também estão presentes na bacia os Distritos Industriais de João Pessoa e do Conde. Na figura 3.2 está apresentada a bacia do rio Gramame com destaque para a área de estudo, que engloba a bacia do riacho Mussuré e nela o Distrito Industrial de João Pessoa.

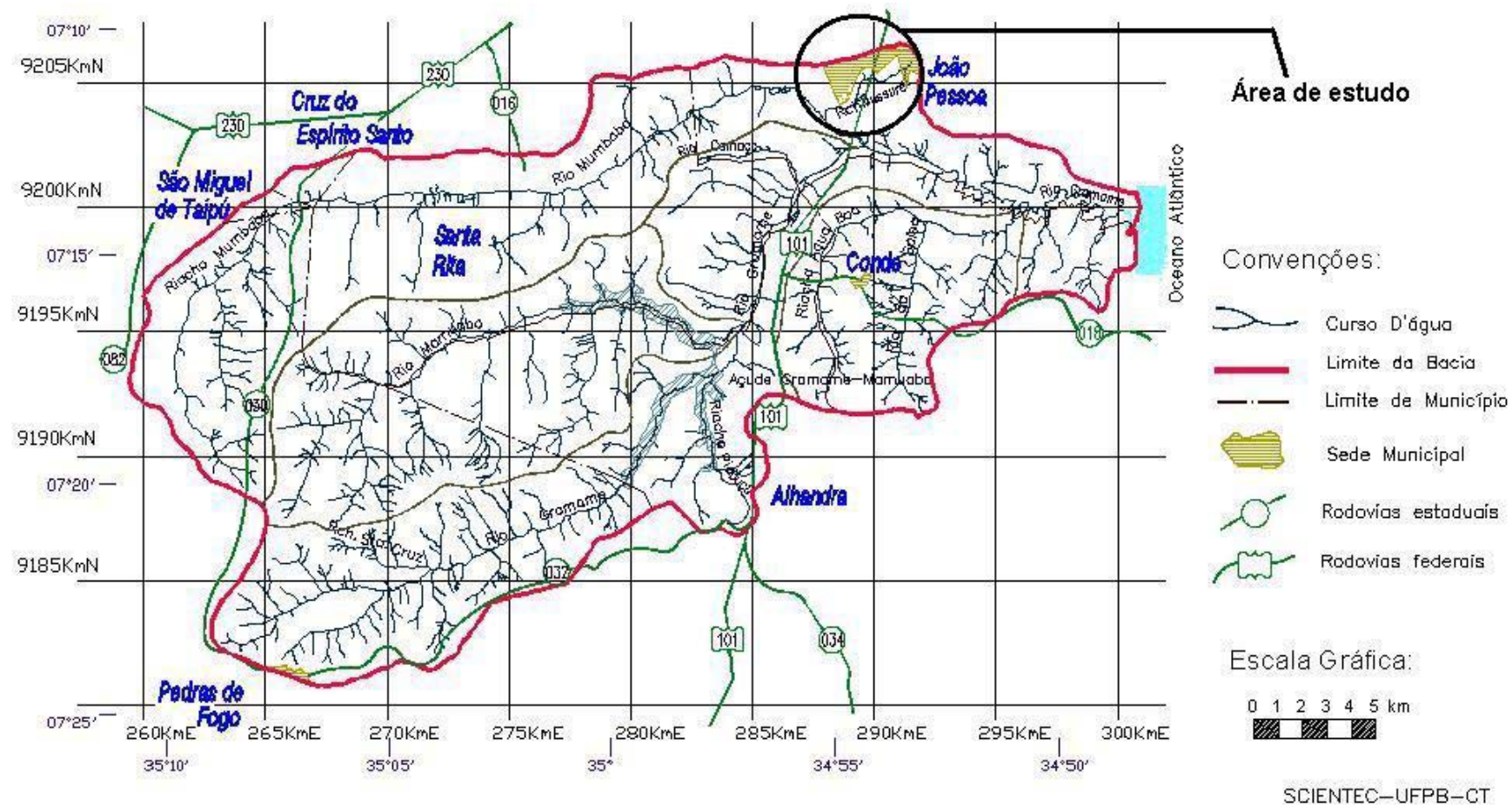


Figura 3.2 Bacia do rio Gramame - destaque para a área de estudo.

O rio Gramame abastece ainda várias comunidades ribeirinhas em toda sua extensão. Situação diferente é encontrada no entorno do riacho Mussuré, onde um pequeno número de famílias ribeirinhas habita. No entanto, suas águas são utilizadas pela população das áreas próximas para dessedentação de animais, irrigação de pequenas lavouras, lavagem de roupas e até mesmo recreação e banhos.

De acordo com a classificação climática de Köeppen (adaptada por Varejão e Silva, 1987), o clima predominante na bacia do rio Gramame é o tropical úmido, com variação de temperatura mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível, com médias de 25,6°C em janeiro e 23,0°C em julho. A bacia apresenta uma sazonalidade marcada por dois períodos distintos: período de chuvas, que compreende os meses de março a agosto, com máxima pluviométrica entre junho e julho (precipitação média de 221,1 mm/mês), e período seco, entre setembro e fevereiro, com mínima pluviométrica entre outubro e novembro (44,9 mm/mês). No quadro 3.1 estão as médias mensais e anuais das variáveis climáticas medidas na estação meteorológica do aeroporto Castro Pinto no período de 1978 a 1999. Pela proximidade do aeroporto, estes valores podem ser utilizados para caracterizar a climatologia da bacia do rio Gramame (SCIENTEC, 2000).

Quadro 3.1 Dados climatológicos médios medidos na estação meteorológica do aeroporto Castro Pinto, em Santa Rita/PB.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Temperatura média do ar (°C)	25,6	25,6	25,6	25,2	24,4	23,5	23,0	23,0	23,4	24,4	24,5	25,5	25,8
Temperatura. Máxima do ar (°C)	29,4	29,4	29,4	29,0	28,3	27,6	27,0	27,1	27,9	28,5	28,9	29,0	28,5
Temperatura do ar mínima (°C)	21,6	21,7	21,9	21,6	20,9	19,9	19,4	19,2	19,5	20,3	20,7	21,2	20,7
Umidade relativa (%)	73	74	75	78	80	81	80	78	75	73	73	72	76
Velocidade do vento (m/s)	3,3	3,3	3,0	2,9	3,0	3,4	3,5	3,8	3,7	3,5	3,7	3,4	3,4
Precipitação média (mm)	91,5	105,9	163,9	184,7	205,7	209,9	232,3	162,6	87,9	36,5	53,3	79,0	1613,2

3.2 O Distrito Industrial de João Pessoa

Em 1967 o governo do estado da Paraíba lançou uma série de incentivos para a instalação e operação do Distrito Industrial de João Pessoa. Com a aprovação de seus projetos financiados pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e com os incentivos fiscais disponibilizados na época, as indústrias começaram a se instalar em uma área com infraestrutura adequada para o desenvolvimento de suas atividades.

O Distrito Industrial está localizado às margens da BR 101, entre os quilômetros 85 e 92, no sentido João Pessoa – Recife, estando a aproximadamente 6 km do centro da capital paraibana e contando com uma área de 646 ha.

De acordo com a Companhia de Industrialização do Estado da Paraíba (CINEP), o Distrito Industrial de João Pessoa conta atualmente com 155 empresas, estando 83 em funcionamento. Estas indústrias são de pequeno, médio e grande porte e de diversos gêneros, sendo os principais: indústrias de alimentos e bebidas, metalúrgicas, indústrias de reciclagem, fabricação de móveis, tubos PVC, pré-moldados, produtos elétricos, indústrias têxteis, de calçados, produtos plásticos, tintas, gráficas, industrialização de algas marinhas, borracha, papel, adesivos, espuma, produtos cerâmicos e beneficiamento de granito e bentonita. Aproximadamente 4700 pessoas estão diretamente empregadas no Distrito Industrial de João Pessoa (SCIENTEC, 2000).

O serviço de energia elétrica utilizado pelo Distrito Industrial faz parte do sistema CHESF (Companhia Hidroelétrica do São Francisco) através da concessionária SAELPA (Sociedade Anônima de Eletrificação da Paraíba), com tensão de fornecimento 13,8kV, tensão de saída 220/380V e frequência de 60Hz. O

Distrito também dispõe de abastecimento de gás natural. O abastecimento de água é efetuado pela Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), utilizando a rede da cidade.

A área do Distrito é atendida pelo sistema de transporte coletivo urbano e dispõe de uma extensa zona residencial e da presença de entidades profissionalizantes como Sesi e Senai (ZENAIDE, 1996). As residências existentes nesta área não são atendidas por rede de esgoto e a coleta de lixo é avaliada como deficiente, com a constatação de que apenas 47% da área é atendida por este serviço (RIBEIRO, 2004).

Como a área do Distrito é cortada pelo riacho Mussuré, este passou a ser, desde o início das atividades no local, o principal receptor e diluidor dos efluentes líquidos ali gerados. Na figura 3.3 é possível perceber o trajeto das águas do riacho Mussuré.

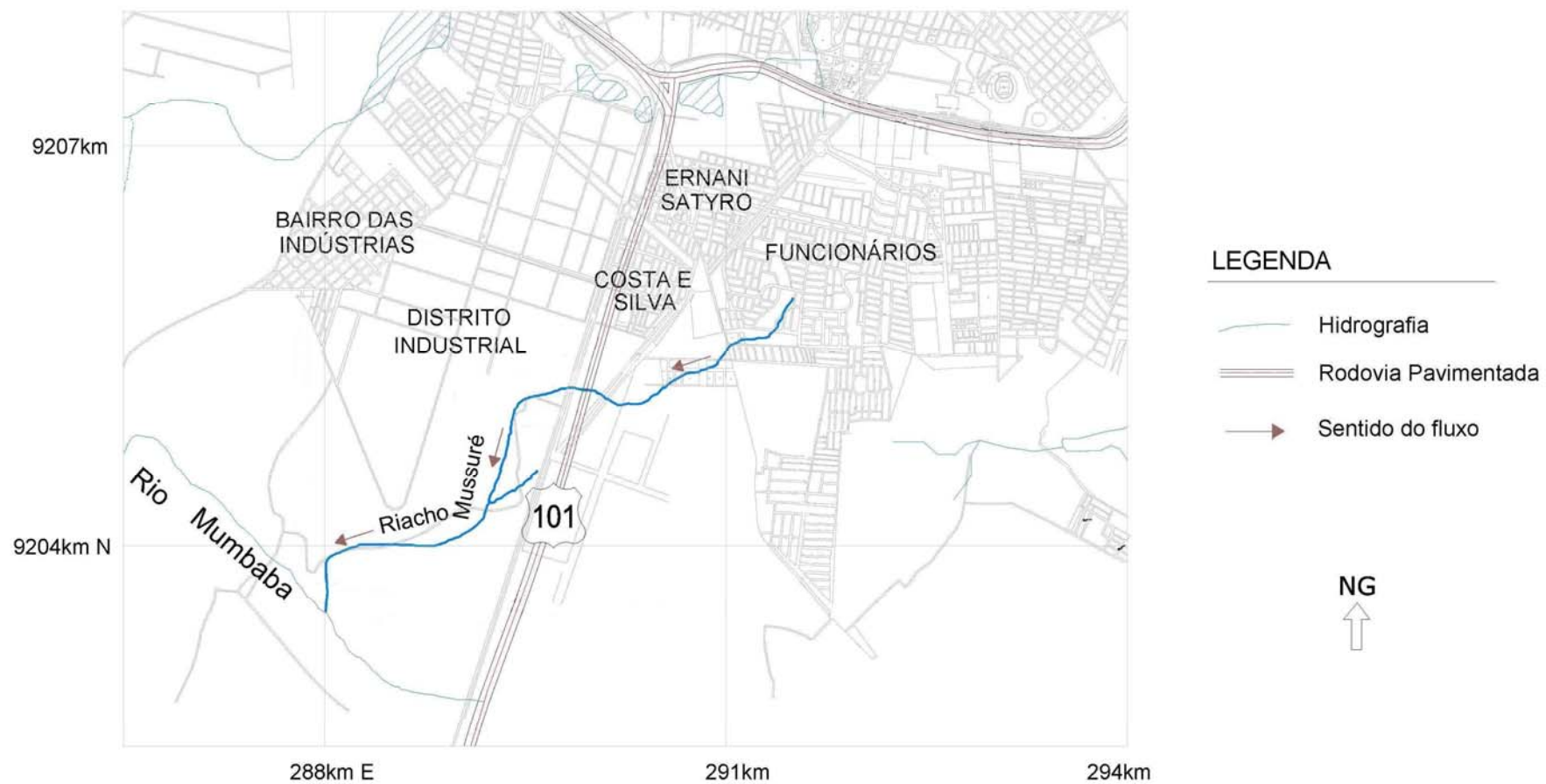


Figura 3.3 Localização do riacho Mussuré em relação ao Distrito Industrial, e aos bairros residenciais presentes na área.

De acordo com a CINEP, das 83 indústrias hoje em funcionamento, 59 lançam, direta ou indiretamente, seus efluentes líquidos no riacho. Na figura 3.4 é apresentado um gráfico com o número de indústrias que lançam seus efluentes líquidos no riacho Mussuré, separadas por tipologia industrial.

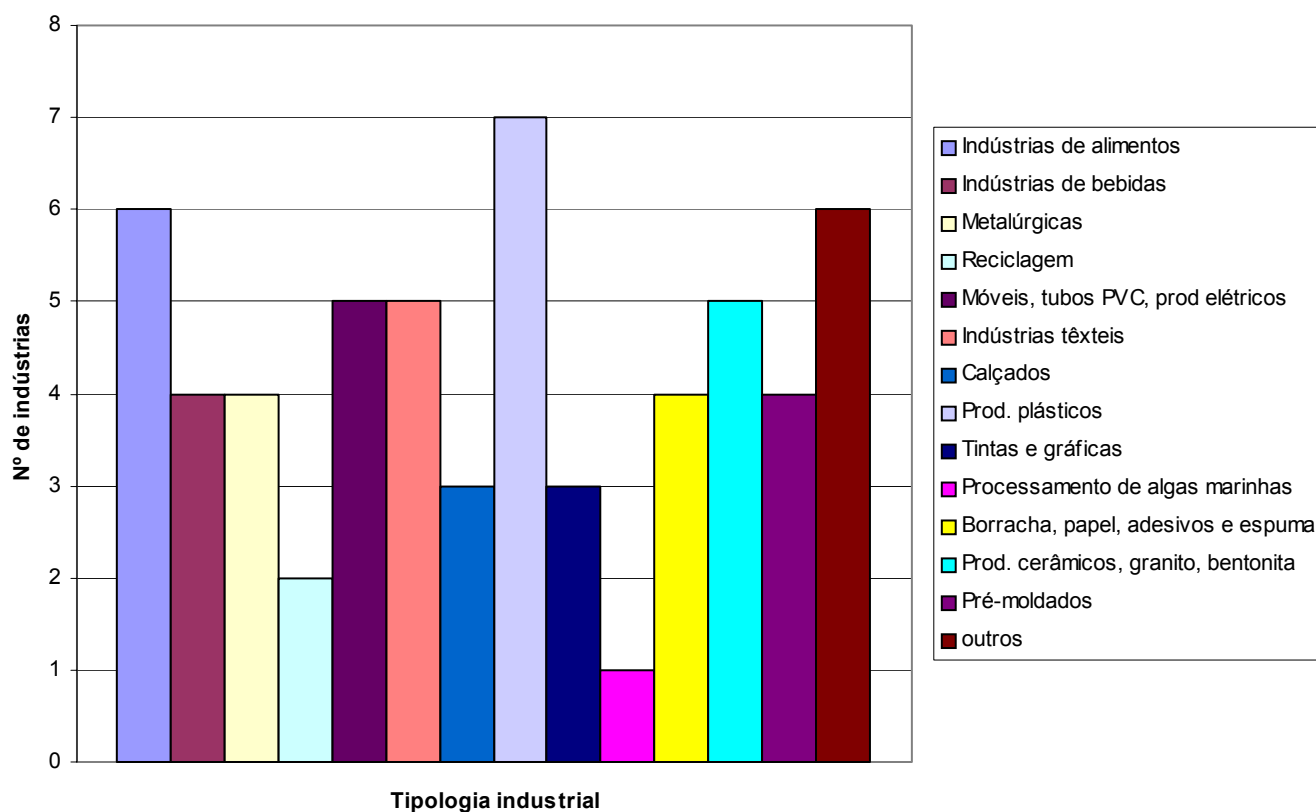


Figura 3.4 Número de indústrias que lançam seus efluentes líquidos no riacho Mussuré agrupadas por tipologia industrial.

Fonte: CINEP

Cada indústria é responsável pelo tratamento adequado de seus efluentes líquidos. No entanto, estes efluentes são descartados no riacho Mussuré de uma das seguintes maneiras: diretamente no curso de água, com ou sem tratamento; através de rede existente exclusivamente para as indústrias; em fossas sépticas.

Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame (SCIENTEC, 2000), a grande maioria das indústrias instaladas no Distrito Industrial de João Pessoa não conta com tratamento adequado e eficiente dos efluentes gerados, sendo desconhecidas suas características. Isto ocorre com mais frequência com unidades de pequeno porte, que deixam de adotar este tipo de tratamento para não onerar o custo do produto final, e que, devido à falta de fiscalização adequada, lançam estes efluentes nos cursos de água presentes na área, sem sofrer nenhuma punição.

4 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho foi desenvolvido nas etapas descritas a seguir:

4.1 Delimitação e caracterização da área de estudo – bacia do riacho Mussuré

Para a delimitação da bacia do riacho Mussuré, realizou-se uma pesquisa cartográfica junto aos órgãos competentes, onde foram escolhidas as cartas topográficas com escala 1:25.000, Datum horizontal SAD69 e equidistâncias entre as curvas de nível de 10 metros. As cartas foram digitalizadas e georreferenciadas em um programa tipo CAD. A delimitação da bacia foi feita tendo como base as curvas de nível digitalizadas, utilizando-se técnicas de identificação de divisores de águas e cotas altimétricas, respeitando as curvas de nível com seus respectivos valores.

A caracterização da área foi realizada através de informações levantadas *in loco*, complementadas com dados do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Gramame e do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais do Estado da Paraíba, além de cadastros, relatórios e livros informativos obtidos nos seguintes órgãos: Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), Secretaria do Planejamento do Estado da Paraíba (SEPLAN), Companhia de Industrialização do Estado da Paraíba (CINEP) e Federação das Indústrias do Estado da Paraíba (FIEP).

A partir de dados da SCIENTEC (2000), atualizados com informações disponibilizadas pela CINEP, foi organizado um mapa com a localização das indústrias presentes no Distrito Industrial de João Pessoa com o intuito de verificar quais delas lançavam seus efluentes líquidos no riacho Mussuré. Com as coordenadas geográficas destas indústrias foi possível localizá-las espacialmente, separando-as em 14 diferentes tipologias.

Todos os mapas apresentados nesta dissertação foram elaborados no Laboratório de Recursos Hídricos, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

4.2 Determinação da vazão do riacho Mussuré

Os trabalhos de medições para cálculo de vazão do riacho Mussuré foram realizados em duas seções previamente definidas. A primeira delas se encontra 100 metros a jusante da BR 101, ou seja, próxima da nascente do riacho. A segunda seção localiza-se 100 metros a montante da confluência com o rio Mumbaba. Estas medidas foram feitas no período de estiagem (29 de setembro de 2005, entre 09h00min e 11h00min), quando o curso de água apresenta baixa vazão.

O método de medição utilizado foi o do molinete, o qual consiste em mergulhar um pequeno rotor dentro da água e determinar a velocidade média do líquido neste ponto, contabilizando o número de voltas dentro de um determinado período de tempo (VILLELA; MATTOS, 1975; AGRA *et al.*, 2000).

Os dados obtidos foram organizados em uma planilha do programa EXCEL e trabalhados no programa MOLIN, versão 1.1, a fim de obter um valor de vazão para cada seção definida.

4.3 Estimativa da carga poluidora gerada pelas indústrias

Inicialmente, foram compilados os dados de vazões das indústrias que lançam seus efluentes líquidos no riacho Mussuré. Estes dados foram extraídos do cadastro industrial (SCIENTEC, 2000), atualizados com informações da CINEP. Nos poucos casos em que a vazão da indústria não foi disponibilizada, esta foi estimada através da vazão específica média, de acordo com a tipologia industrial, conforme citado em von Sperling (1996). Com a compilação destas vazões, foi estimada a carga total de lançamento de efluentes das indústrias no riacho Mussuré.

A carga de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) expressa em termos de massa (poluente) por unidade de tempo, foi calculada através da seguinte equação:

$$\text{carga de DBO (kg/dia)} = \frac{\text{concentração (g/m}^3\text{)} \cdot \text{vazão (m}^3\text{/dia)}}{1000 (\text{g/kg})} \quad (4.1)$$

A concentração (ou concentração de matéria orgânica) é referente à DBO dos despejos e foi estimada de acordo com von Sperling (1996), variando segundo o tipo da indústria e os processos nelas desenvolvidos.

Após a obtenção da carga de DBO lançada pelas indústrias no riacho Mussuré, calculou-se o equivalente populacional (E.P.) de DBO. Este importante parâmetro caracterizador dos despejos industriais traduz a equivalência entre o potencial poluidor (em termos de matéria orgânica) de uma indústria (ou de um conjunto delas) e de uma determinada população, a qual possui esta mesma carga poluidora (VON SPERLING, 1996).

O equivalente populacional (E.P.) é calculado através da seguinte equação:

$$E.P. = \frac{\text{carga de DBO da indústria (kg/dia)}}{\text{contribuição per capita de DBO (kg/hab.dia)}} \quad (4.2)$$

Como frequentemente utiliza-se 54 g DBO/hab.dia como contribuição per capita, a equação acima pode ser escrita como:

$$E.P. = \frac{\text{carga de DBO da indústria (kg/dia)}}{0,054 \text{ (kg/hab.dia)}} \quad (4.3)$$

4.4 Bancos de dados

Os dados de qualidade da água do riacho Mussuré foram obtidos com a Superintendência de Administração do Meio Ambiente - SUDEMA (parâmetros físico-químicos e bacteriológicos), complementados com determinações de metais pesados como atividade da pesquisa em questão.

Da SUDEMA, foram levantados dados de cinco estações de coleta, no riacho Mussuré (MS 00, MS 01, MS 01A, MS 02 e MS 03), que fazem parte da rede de monitoramento de qualidade de águas superficiais operadas por este órgão. As coletas foram realizadas mensalmente, durante o período da manhã. O levantamento compreendeu os anos de 1992 a 2004, sendo que, até dezembro de 1997, apenas o ponto MS 03 era monitorado. Além disso, o número de parâmetros analisados foi aumentando ao longo dos anos. Na tabela 4.1 está a descrição das estações de amostragem e na figura 4.1 apresenta-se a localização destas cinco estações ao longo do riacho Mussuré. Os períodos estudados e parâmetros analisados para cada estação estão apresentados na tabela 4.2.

Todos os procedimentos de coleta, preservação e análise das amostras seguiram a metodologia descrita em APHA (1995).

Tabela 4.1 Localização das estações de monitoramento no riacho Mussuré.

<i>Estação</i>	<i>Coordenadas UTM</i>		<i>Descrição</i>
	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	
MS 00	0289921	9205243	Cinco metros a jusante da ponte da BR 101. Lançamentos de esgotos domésticos e efluentes de apenas uma indústria estão a montante.
MS 01	0289808	9205232	Cinco metros a montante do tributário que drena a margem esquerda do riacho Mussuré. Há possibilidade de lançamentos industriais clandestinos a montante.
MS 01A	0289405	9205117	Grande quantidade de efluentes industriais, principalmente de malharias, gráficas e de beneficiamento de algas, é lançada a montante.
MS 02	0288694	9204020	Os batentes de aeração de uma indústria de bebidas, responsável pelo maior volume de efluentes lançados no riacho, estão cinco metros a jusante. O lançamento da rede de efluentes industriais do Distrito está a montante.
MS 03	0288017	9203657	Dez metros a montante da confluência com o rio Mumbaba. Os efluentes de todas as indústrias são lançados a montante desta estação.

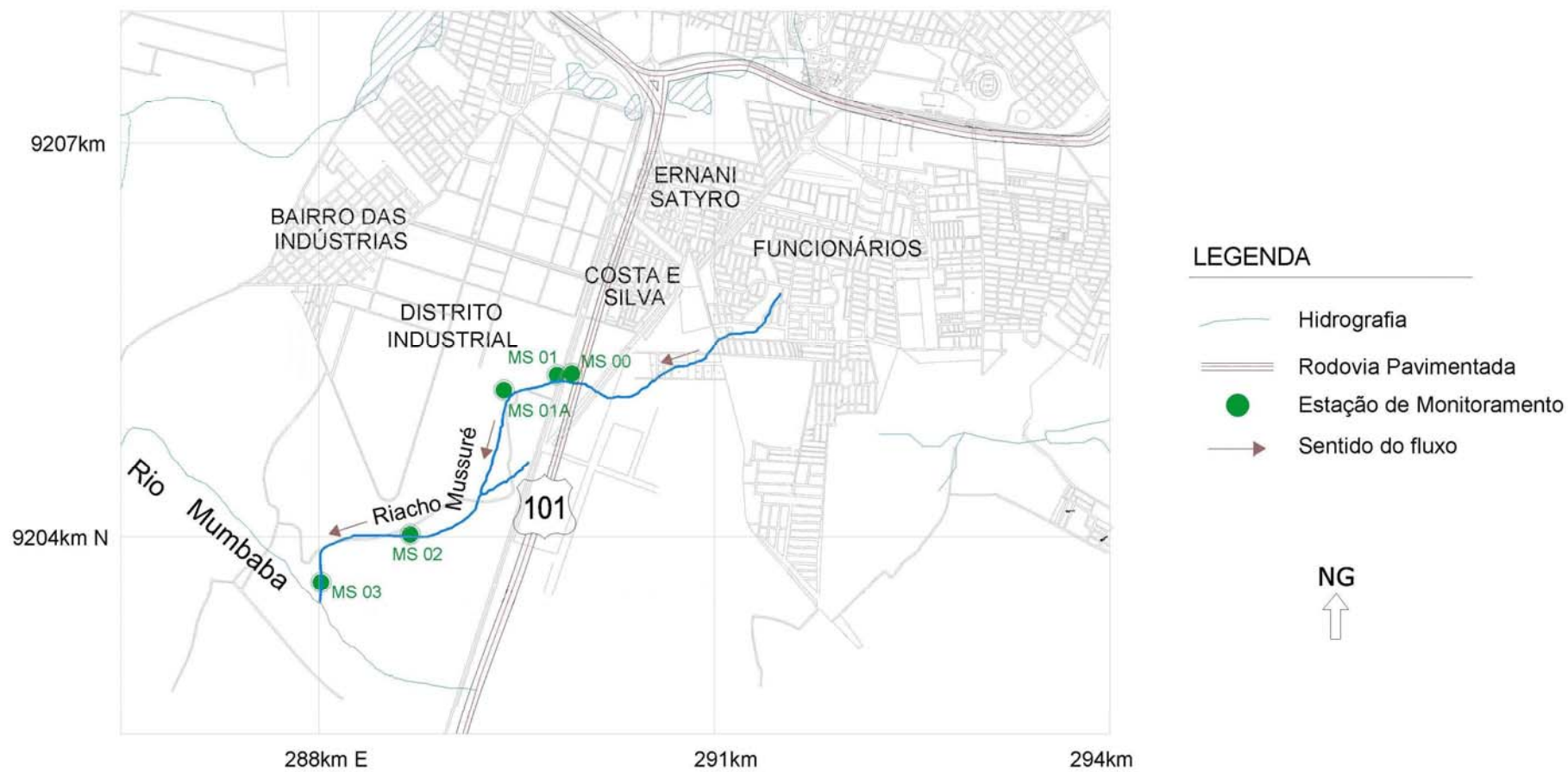


Figura 4.1 Estações de monitoramento ao longo do riacho Mussuré.

Tabela 4.2 Períodos estudados e parâmetros analisados nas cinco estações monitoradas pela SUDEMA, no riacho Mussuré.

Período de estudo	Estações de monitoramento	Parâmetros analisados
jan1992 - dez1997	MS 03	temperatura, cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅)
jan1998 – dez2002	MS 00, MS 01, MS 01A, MS 02, MS 03	temperatura, cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅) e condutividade elétrica
jan2003 – dez2003	MS 00, MS 01, MS 01A, MS 02, MS 03	temperatura, cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅), condutividade elétrica e sólidos dissolvidos totais (SDT).
jan2004 – dez2004	MS 00, MS 01, MS 01A, MS 02, MS 03	temperatura, cor, turbidez, pH, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅), condutividade elétrica, sólidos dissolvidos totais (SDT) e coliformes termotolerantes (CT)

Os metais analisados nas águas do riacho Mussuré foram: chumbo (Pb); cromo (Cr); cobre (Cu); zinco (Zn) e níquel (Ni). Estas substâncias foram escolhidas por estarem entre os metais tóxicos mais comumente encontrados nos efluentes industriais (BENN; MCAULIFFE, 1981).

Os dados relativos à presença de chumbo (Pb) e cromo (Cr) foram obtidos de coletas efetuadas durante a noite (entre as 22h30min e 23h30min) nas estações MS 01 e MS 02, em 12 de julho e 18 de agosto do ano de 2005. Estas

estações foram selecionadas por serem representativas da situação do riacho em relação ao lançamento dos efluentes líquidos das indústrias. O horário de coleta foi definido de acordo com informações dadas pela população da área de que o maior volume de descarga das indústrias ocorre durante a noite. As amostras foram coletadas superficialmente e armazenadas em garrafas de 2 litros. Para sua preservação, adicionou-se 2 mL de ácido nítrico para cada amostra, e estas foram acondicionadas em isopor até a chegada ao laboratório, onde foram refrigeradas. As amostras foram analisadas no Laboratório de Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), em um espectrofotômetro de absorção atômica (EAA), com emissão de chamas, modelo AG AA 7000 SBC.

Além disso, dados de concentração de cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni) e chumbo (Pb) foram disponibilizados pela SUDEMA. Estes dados foram obtidos através de coleta realizada em 16 de novembro de 2005, nas cinco estações de monitoramento.

Nos dois casos, todos os procedimentos de coleta e análise foram realizados segundo a metodologia descrita em APHA (1995).

4.5 Tratamento dos dados

Os dados foram analisados em etapas distintas, utilizando-se um programa computacional de estatística.

Na primeira etapa verificou-se o comportamento das variáveis ao longo do riacho Mussuré nas cinco estações de coleta de dados (análises espaciais). As análises espaciais possibilitaram a verificação da qualidade da água conforme o curso ia recebendo os efluentes industriais.

Para a verificação da influência do Distrito Industrial sobre a qualidade da água, foram comparados os valores dos parâmetros entre a primeira e a última estação de coleta através do teste não-paramétrico de Mann-Whitney (teste U). Este teste é utilizado para comparar as tendências centrais de dois grupos. Quanto mais baixo for o valor de U, maior será a evidência de que os grupos são diferentes (ARANGO, 2001; CALLEGARI-JACQUES, 2003). Foram testadas as diferenças entre as estações: MS 00, onde as águas contêm efluentes de apenas uma indústria e de esgotos domésticos, e MS 03, onde os efluentes de todas as indústrias estão a montante. Os grupos foram considerados significativamente diferentes quando a probabilidade de erro apresentou-se menor que 5%, ou seja, $p < 0,05$.

Na segunda etapa, realizaram-se análises descritivas de cada variável ao longo dos anos e por período sazonal (análises temporais). Com as análises temporais foi possível verificar a evolução da qualidade da água do riacho Mussuré ao longo dos 13 anos de estudo (janeiro de 1992 a dezembro de 2004) e a influência da sazonalidade nesta qualidade.

Foi verificada a relação entre os parâmetros e as variáveis ambientais temperatura média do ar e precipitação média, ao longo do ano, através do teste de correlação de Spearman. O coeficiente de correlação (r) é uma medida da intensidade de associação existente entre duas variáveis quantitativas, podendo variar entre -1 e +1. Valores negativos de r indicam uma correlação do tipo inversa, isto é, quando x aumenta, y diminui (ou vice-versa). Valores positivos para r ocorrem quando a correlação é direta, ou seja, x e y variam no mesmo sentido. Correlação máxima é verificada quando $r = -1$ ou $r = +1$, e ausência de correlação é dada por $r = 0$ (BEIGUELMAN, 2002; CALLEGARI-JACQUES, 2003). As correlações foram

consideradas significativas para uma probabilidade menor que 5% de erro, ou seja, $p < 0,05$.

Foi realizada também uma análise de comparação de grupos através do teste de Mann-Whitney (teste U), dividindo os dados entre a época chuvosa (de março a agosto) e a época seca (de setembro a fevereiro).

Além dos resultados dos parâmetros ao longo do tempo e do espaço, foi verificado o atendimento aos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 de 2005, para águas da classe 3, na qual está inserida o riacho Mussuré.

A medida de tendência central escolhida para analisar o conjunto de dados foi a mediana. A mediana é uma separatriz, ou seja, ela divide o conjunto de dados em dois subconjuntos com o mesmo número de elementos tais que a cada um deles pertencem todos os elementos menores ou todos os elementos maiores do que a mediana (AZEVEDO, 1979). A escolha da mediana se deu por esta não ser influenciada por valores extremos da série, podendo até mesmo não ser alterada por determinados valores que fogem muito da maioria dos resultados.

Gráficos de caixa (*box-plots*) foram utilizados para facilitar a visualização dos resultados, permitindo mostrar a mediana, os quartis (25% e 75% dos dados) e os limites inferior e superior.

A terceira etapa consistiu na análise multivariada dos dados, ou seja, foram utilizadas todas as variáveis simultaneamente na interpretação teórica do conjunto de dados. Foi desenvolvida uma análise de agrupamento para identificar as semelhanças entre os pontos de coleta, levando em consideração todos os parâmetros de qualidade da água disponíveis. Desta forma, utilizando um programa de estatística, construiu-se um dendrograma para os cinco pontos de monitoramento, incluindo os dados de 1998 a 2004, a partir de uma matriz de

similaridade, calculada pela distância de Bray-Curtis, e utilizando o método de agrupamento do encadeamento médio (MANLY, 1986; CLARKE; WARWICK, 2001). Um dendrograma é um tipo específico de diagrama que organiza determinados fatores e variáveis para obtenção de agrupamentos e ordenação hierárquica ascendente dos dados. Assim, foi possível separar os pontos de coleta em grupos relativamente homogêneos, com base no conjunto de dados disponíveis.

Os dados também foram estudados através de Análise dos Componentes Principais (PCA), processo em que se examina todo o conjunto de relações interdependentes entre as variáveis, levando-se em conta a variância total dos dados. O uso da Análise de Componentes Principais é recomendado quando a preocupação maior consiste na determinação do número mínimo de fatores que respondem pela máxima variância nos dados. Estes fatores são chamados de componentes principais (MALHOTRA, 2001).

Para fazer o PCA, foi construída, inicialmente, uma matriz de correlação de Pearson entre as variáveis OD, DBO, temperatura, cor, turbidez e pH. Esta matriz foi ordenada utilizando-se o método dos componentes principais, para visualização dos principais fatores físico-químicos que influenciavam na qualidade da água. Os dados compreenderam os anos entre 1992 e 2004.

4.6 Índices de qualidade da água

Foram calculados dois índices de qualidade da água: o Índice de Bascarán Adaptado (IQA_{BA}) e o Índice Objetivo de Qualidade da Água (IQA_{OBJ}).

O Índice de Bascarán (IQA_B) é calculado através da seguinte equação:

$$IQA_B = K \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i} \quad (4.4)$$

onde: C_i = valor percentual correspondente ao parâmetro, definido no quadro 4.1.

P_i = peso do parâmetro, definido no quadro 4.1.

K = constante de ajuste em função do aspecto visual das águas, representando a impressão subjetiva de qualidade da água: $K = 1,00$ para águas claras sem aparente contaminação; $K = 0,75$ para águas com ligeira cor, espumas, ligeira turbidez aparente não natural; $K = 0,50$ para águas com aparência de estarem contaminadas e com forte odor; $K = 0,25$ para águas negras que apresentam fermentações e fortes odores (PESCE; WUNDERLIN, 2000; RIZZI, 2001).

Quadro 4.1 Valores percentuais e pesos atribuídos aos parâmetros de qualidade de água para cálculo do Índice de Qualidade de Água (IQA_B), de acordo com o Método Bascarán (1979).

Parâmetro	pH	Condutividade (µmhos/cm)	Oxigênio Dissolvido (mg/l)	Redução Permanganato (mg/l)	Coliformes Totais (nº/100 ml)	Nitrogênio Amoniacal (ppm)	Cloretos (ppm)	Temperatura (°C)	Detergentes (mg/l)	Cor (hansen)	Turbidez (NTU)	CO ₂ Livre (mg/l)	Aspecto Aparente (qualidade)	Valor Percentual Vp %
Peso	1	4	4	3	3	3	1	1	4	2	4	3		
Valor Analítico Do Parâmetro	1	>16.000	0	>15	>14.000	>1,25	>1.500	>50 / > -8	>3,00	>250	>400	>60	Péssimo	0
	2	12.000	1	12	10.000	1,00	1.000	45 / -6	2,00	100	250	50	Muito Ruim	10
	3	8.000	2	10	7.000	0,75	700	40 / -4	1,50	60	180	40	Ruim	20
	4	5.000	3	8	5.000	0,50	500	36 / -2	1,00	40	100	30	Desagradável	30
	5	3.000	3,5	6	4.000	0,40	300	32 / 0	0,75	30	50	20	Impróprio	40
	6	2.500	4	5	3.000	0,30	200	30 / 5	0,50	20	20	10	Normal	50
	6,5	2.000	5	4	2.000	0,20	150	28 / 10	0,25	15	18	9	Aceitável	60
	9	1.500	6	3	1.500	0,10	100	26 / 12	0,10	10	15	8	Agradável	70
	8,5	1.250	6,5	2	1.000	0,05	50	24 / 14	0,06	5	10	7	Bom	80
Valor Analítico Do Parâmetro	8	1.000	7	1	500	0,03	25	22 / 15	0,02	4	8	5	Muito Bom	90
	7	<750	7,5	<0,5	<50	0	0	21 / 16	0	<3	<5	<3	Excelente	100
Parâmetro	Dureza ou Alcalinidade mg/l CaCO ₃	Sólidos Dissolvidos (mg/l)	Praguicidas (ppm)	Graxas e azeites (ppm)	Sulfatos (ppm)	Nitratos (ppm)	Cianetos (ppm)	Sódio (mg/l)	Calcio (mg/l)	Magnésio (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Nitritos (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	Valor Percentual
Peso	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	3	%
Valor Analítico Do Parâmetro	>1.500	>20.000	>2	>3	>1.500	>100	>1	>500	>1.000	>500	>500	>1	>15	0
	1.000	10.000	1	2	1.000	50	0,6	300	600	300	300	0,50	12	10
	800	5.000	0,4	1	600	20	0,5	250	500	250	200	0,25	10	20
	600	3.000	0,2	0,60	400	15	0,4	200	400	200	100	0,20	8	30
	500	2.000	0,1	0,30	250	10	0,3	150	300	150	50	0,15	6	40
	400	1.500	0,05	0,15	150	8	0,2	100	200	100	30	0,10	5	50
	300	1.000	0,025	0,08	100	6	0,1	75	150	75	20	0,05	4	60
	200	750	0,01	0,04	75	4	0,05	50	100	50	10	0,025	3	70
	100	500	0,005	0,02	50	2	0,02	25	50	25	5	0,010	2	80
Valor Analítico Do Parâmetro	50	250	0,001	0,01	25	1	0,01	15	25	15	1	0,005	1	90
	<25	<100	0	0	0	0	0	<10	<10	<10	0	0	<0,5	100

Extraído de Rizzi (2001).

Como o banco de dados não continha os valores de K correspondentes a cada coleta, foi feita uma pequena adaptação no IQA_B . O Índice de Bascarán Adaptado (IQA_{BA}) é calculado com a equação 4.4, sendo que o valor de K é atribuído segundo os seguintes critérios: K = 1,00 para águas com o valor do parâmetro cor menor ou igual a 20 mg Pt/L; K = 0,75 para águas com o valor de cor maior que 20 mg Pt/L e menor ou igual a 80 mg Pt/L; K = 0,60 para águas com o valor de cor maior que 80 mg Pt/L e menor ou igual a 200 mg Pt/L; K = 0,50 para águas com o valor de cor maior que 200 mg Pt/L, ou em casos extremos, em que o valor da cor não estava representado numericamente e sim pelo nome da cor não natural que as águas do riacho apresentavam naquele momento (e.g. cor vermelha, cor azul).

O Índice Objetivo de Qualidade da Água (IQA_{OBJ}) também é calculado através da equação 4.4, com a observação de que o valor de K não varia (K=1), resultando em:

$$IQA_{OBJ} = \frac{\sum C_i P_i}{\sum P_i} \quad (4.5)$$

Para o cálculo dos índices IQA_{BA} e IQA_{OBJ} foram utilizados os seguintes parâmetros: OD, DBO_5 , pH, turbidez, cor e temperatura.

Além do resultado quantitativo dos índices, correspondente a um valor (ou nota) entre 0 e 100, foram atribuídos resultados qualitativos conforme mostrado na tabela 4.3.

Tabela 4.3 Correspondência do resultado qualitativo de acordo com o resultado numérico de cálculo do Índice de Qualidade da Água (IQA_{BA} ou IQA_{OBJ}).

Resultado quantitativo do índice	Resultado qualitativo correspondente
$91 \leq \text{índice} \leq 100$	BOA
$61 \leq \text{índice} < 91$	ACEITÁVEL
$31 \leq \text{índice} < 61$	REGULAR
$16 \leq \text{índice} < 31$	RUIM
$0 \leq \text{índice} < 16$	PÉSSIMA

Adaptado do Método Bascarán

Também foi verificado, através da correlação de Spearman, se houve correlação entre os índices e as variáveis ambientais temperatura média do ar e precipitação média, ao longo do ano.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Delimitação e descrição da bacia do riacho Mussuré

A bacia do riacho Mussuré ocupa 12,94 km² de área e o seu perímetro possui 16,03 km. Sua área corresponde a 2,2% da área da bacia do rio Gramame, onde está inserida (Figura 5.1).

O riacho Mussuré tem aproximadamente 5,2 km de extensão, totalmente inseridos no município de João Pessoa, estando suas nascentes localizadas entre os bairros Costa e Silva e Funcionários. Além de atravessar bairros residenciais, o riacho em questão também corta o Distrito Industrial de João Pessoa, conforme dito anteriormente. Assim, ao longo de seu percurso, este pequeno curso de água recebe lançamento de esgotos domésticos, resíduos sólidos e as mais diversas cargas poluidoras industriais. O riacho Mussuré também está vulnerável a outras fontes de poluição, devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes químicos na agropecuária e às atividades de mineração que ocorrem na área. A bacia do riacho Mussuré está apresentada, em destaque, na figura 5.2.

Na figura 5.3 pode-se observar a localização das indústrias que lançam seus efluentes no riacho Mussuré, agrupadas por tipologia industrial. De acordo com a CINEP, as indústrias de produtos plásticos estão presentes em maior número na área (7 estabelecimentos), porém o maior volume de efluentes lançados no Mussuré é de responsabilidade das indústrias de bebidas (aproximadamente 248.285,8 m³ por mês).

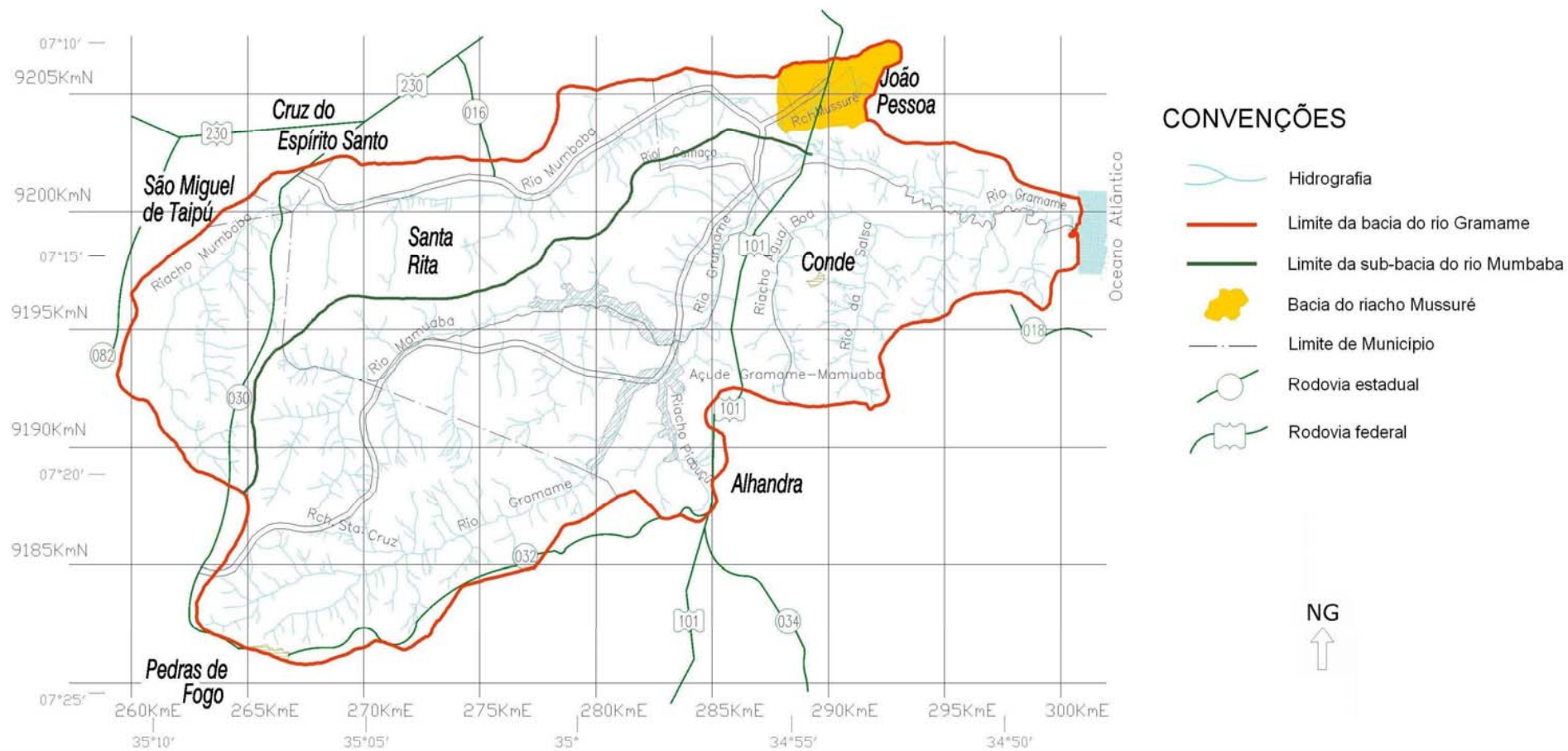


Figura 5.1 Localização da bacia do riacho Mussuré, na bacia do rio Gramame.

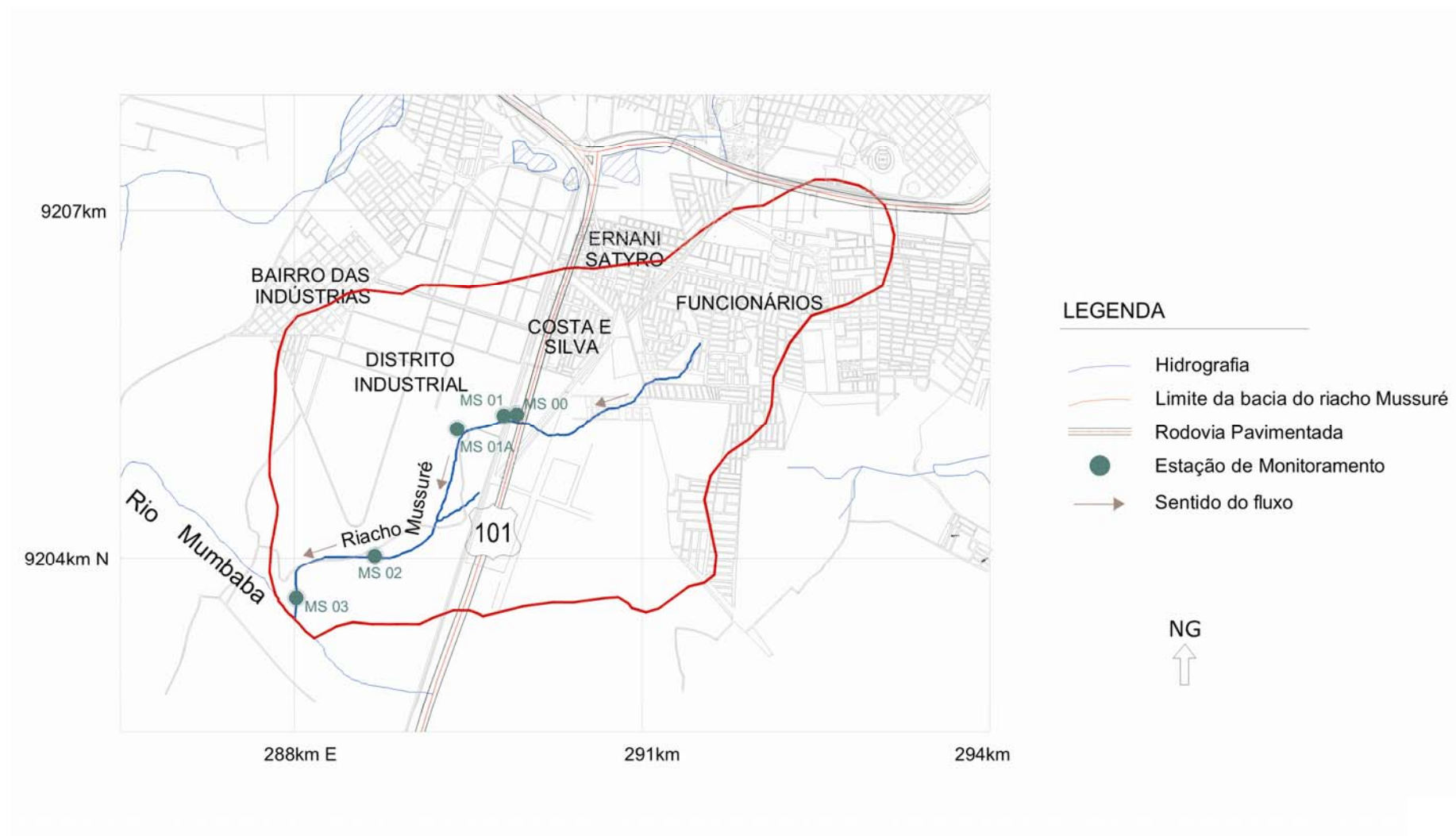


Figura 5.2 Bacia do riacho Mussuré, com destaque para os bairros residenciais, o Distrito Industrial e as estações de monitoramento de qualidade da água.

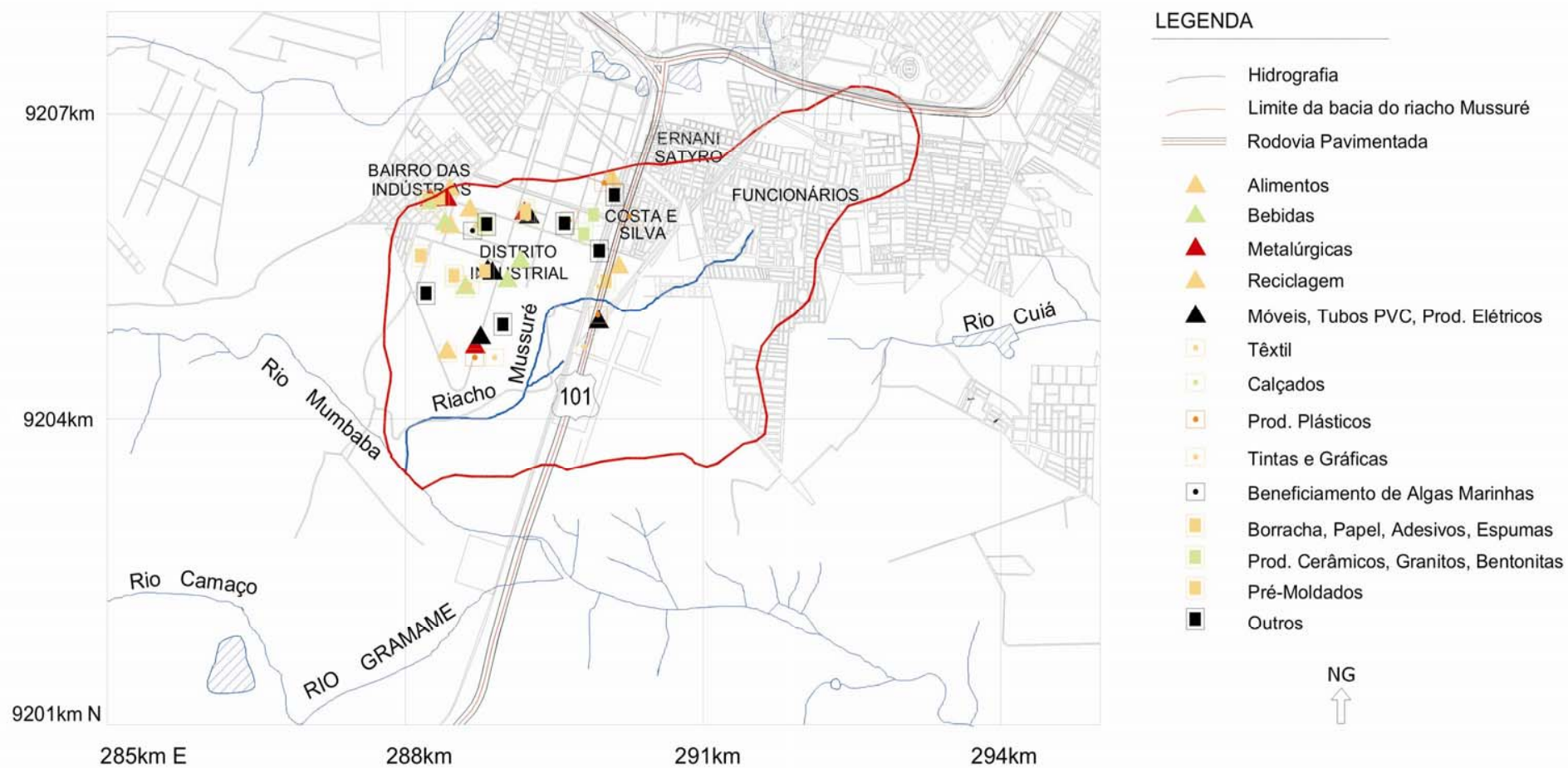


Figura 5.3 Localização das indústrias que lançam seus efluentes no riacho Mussuré, agrupadas por tipologia industrial.

O estudo de Ribeiro (2004) sobre o índice de salubridade ambiental por setores urbanos na cidade de João Pessoa, onde é avaliada, entre outras questões, a situação dos bairros Costa e Silva e Funcionários em relação aos domicílios atendidos por rede de esgotos e/ou tanque séptico e por coleta de lixo, reforça a hipótese de ser o riacho Mussuré um grande receptor dos mais diversos tipos de cargas poluentes. Os resultados do estudo mostram que não existe infra-estrutura disponível em relação ao provimento de esgotamento sanitário nos bairros citados, sendo que os esgotos domésticos ali produzidos são lançados nas ruas ou diretamente nos cursos d'água presentes. Quanto à avaliação do indicador de resíduos sólidos, estes bairros são atendidos por coleta de lixo adequada. Apesar disto, é comum a presença de uma grande quantidade de resíduos sólidos dispostos nas margens do riacho Mussuré.

Além destas fontes poluidoras, outros problemas ambientais têm ocorrido na bacia em estudo. Devido à interferência humana, através dos desmatamentos e do uso indiscriminado do solo, a paisagem foi gradativamente sendo transformada. A própria instalação do Distrito Industrial de João Pessoa estimulou a ocupação da área por aglomerações humanas e impulsionou o desenvolvimento de bairros residenciais. Atualmente, poucos testemunhos da vegetação original, que era representada principalmente por mata atlântica e vegetação de várzea, podem ser encontrados no local, ao lado de áreas de pastagem e pequenas lavouras de milho, mandioca, tomate e alface. Estes cultivos são feitos nas margens do riacho, de forma que possam ser irrigados com suas águas (Figura 5.4 e 5.5). Como consequência, a mata ciliar, considerada de preservação permanente pela lei federal nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, está gravemente comprometida.



Figura 5.4 Plantação de milho às margens do riacho Mussuré.

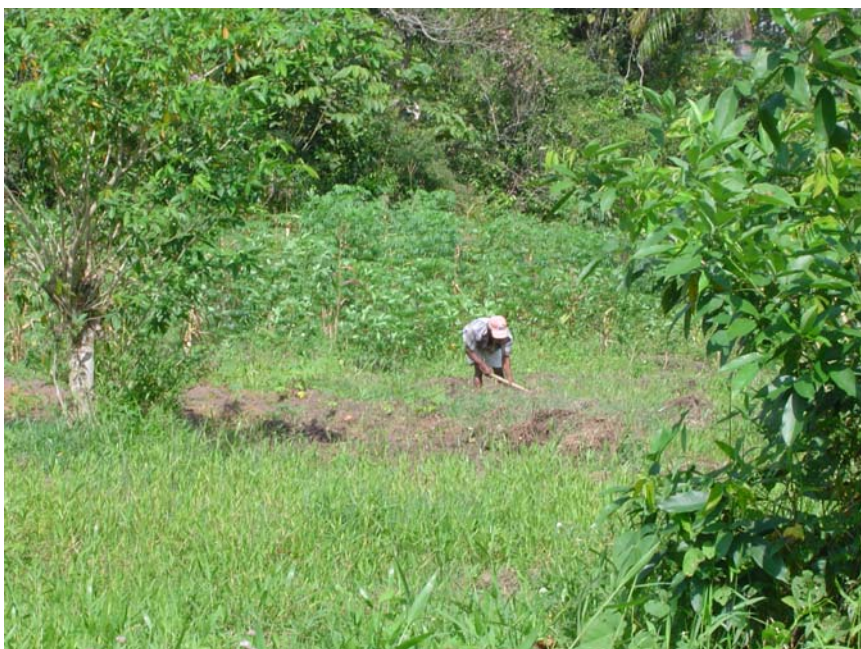


Figura 5.5 Agricultor preparando o solo para plantio de mandioca.

Também ocorrem na área atividades de mineração, principalmente exploração de areia e argila (Figura 5.6). Estas atividades estão provocando uma degradação intensa no ambiente, com efeito perturbador na paisagem, por requererem a remoção da vegetação, dos solos e das rochas. As conseqüências

imediatas são a erosão e o assoreamento dos cursos d'água. Quando realizado inadequadamente, este tipo de atividade torna o solo irrecuperável, pois a retirada de sua camada superficial, onde se encontra a maior parte dos microrganismos e da matéria orgânica, impede a recuperação natural da área. (BRAGA *et al.*, 2002).



Figura 5.6 Mineração na bacia do riacho Mussuré.

Um fato que pode ser facilmente percebido ao percorrer o riacho Mussuré, é que, a partir das proximidades da estação MS 01A até a afluição ao rio Mumbaba, seu leito é dominado por macrófitas aquáticas, principalmente pela espécie *Montrichardia linifera*, conhecida popularmente como Aninga (Figura 5.7).



Figura 5.7 Leito do riacho Mussuré dominado por macrófitas aquáticas (área próxima à estação MS 02).

Segundo relatos da população ribeirinha, há 20 anos toda esta área se apresentava livre da presença desta vegetação aquática, sendo possível nadar e pescar em locais que hoje estão completamente alterados fisicamente (Figura 5.8).



Figura 5.8 Detalhe da situação do leito do riacho Mussuré.

As macrófitas aquáticas são plantas herbáceas que crescem na água ou em solos saturados ou cobertos por água (AMBIENTE, 2005). A alta produtividade das macrófitas está relacionada principalmente com a falta de predadores e o aumento de nutrientes no ambiente (BEYRUTH, 1992 *apud* LEITE, 2001). O rápido desenvolvimento de algas e de macrófitas, em função do aumento dos nutrientes no meio, é conhecido como eutrofização cultural e, tanto pode ser positiva, servindo de alimento e possibilitando a produção de peixes, como negativa, favorecendo o desenvolvimento de vetores de doenças de veiculação hídrica e, no caso de mortalidade de algas, provocando redução acentuada do teor de oxigênio dissolvido, o que pode causar a mortalidade total dos peixes (TUNDISI, 1992). O aporte constante de resíduos industriais e urbanos, concentrados em locais limitados (rios e lagos) leva frequentemente a um crescimento acelerado de macrófitas aquáticas (LEITE, 2001).

Fidelman (2005) relaciona o desenvolvimento excessivo de macrófitas aquáticas na bacia do rio Cachoeira/BA à ocupação antrópica da área. Esta relação é justificada principalmente pelo lançamento de esgoto não tratado nos corpos hídricos. Estes lançamentos acabam por alterar a qualidade da água, particularmente pela introdução de matéria orgânica, criando condições favoráveis ao desenvolvimento das macrófitas.

Logo, pode-se inferir que o lançamento de efluentes domésticos e industriais nas águas do riacho Mussuré tem influenciado, em algum grau, o desenvolvimento destas macrófitas. Esta afirmação é evidenciada pela presença das macrófitas a partir de aproximadamente metade do curso do riacho, onde suas águas já receberam grande quantidade de matéria orgânica. Além disto, a

proliferação destas plantas ocorreu ao longo dos últimos 20 anos, ou seja, acompanhando a ocupação urbana e o desenvolvimento industrial da área.

Além da transformação da paisagem, o crescimento de grande quantidade de macrófitas pode causar mudanças químicas significativas nos sedimentos do leito fluvial. Estas mudanças alteram a qualidade da água, principalmente em corpos hídricos rasos e de pequena vazão (CHAMBERS; PREPAS, 1994), como é o caso do riacho em estudo.

5.2 Vazão do riacho Mussuré e estimativa da carga poluidora lançada pelas indústrias em seu curso

A vazão do riacho Mussuré foi medida em dois pontos no período de baixa pluviosidade (29 de setembro de 2005, entre 09h00min e 11h00min). Na primeira seção (aproximadamente 2 km a jusante das nascentes) a vazão medida foi de 128,2 L/s. Na segunda seção (100 m a montante da confluência com o rio Mumbaba, onde os efluentes líquidos de todas as indústrias já estão misturados às águas) a vazão foi de 390,6 L/s. Isto significa que a contribuição de efluentes do Distrito Industrial para a vazão do riacho é de aproximadamente 262,4 L/s.

No entanto, a descarga total das indústrias no riacho Mussuré foi estimada em 114,0 L/s, através do cadastro industrial (SCIENTEC, 2000), atualizado com informações da CINEP. Desta forma, como entre as duas seções de medição de vazão não há curso afluente, ou a vazão industrial foi subestimada, ou a parcela de outras contribuições é significativa, em especial a drenagem natural da área.

Mesmo considerando que esta vazão industrial tenha sido subestimada, a contribuição de 114,0 L/s representa aproximadamente 30% dos 390,6 L/s

medidos na segunda seção. Este fato é preocupante porque estes efluentes podem ter enorme influência na qualidade da água do riacho, e consequentemente, no equilíbrio de todo o ecossistema.

A carga poluidora (ou carga de DBO) foi estimada para cada indústria através da Equação (4.1), apresentada anteriormente. O somatório resultante corresponde à carga produzida por todas as indústrias que lançam seus efluentes líquidos no Mussuré:

$$\left(\begin{array}{l} \text{Carga de DBO lançada pelas} \\ \text{indústrias, no riacho Mussuré} \end{array} \right) = 36.242,89 \text{ kgDBO/dia}$$

O equivalente populacional (E.P.) foi calculado através da equação (4.3), e resultou em:

$$\text{E.P.} = 671.165 \text{ hab}$$

Este resultado significa que as indústrias que lançam seus efluentes no riacho Mussuré possuem um potencial poluidor (em termos de DBO) equivalente a uma população de 671.165 habitantes.

Por conter grandes concentrações de materiais orgânicos em seus efluentes, as indústrias têxteis, de papel, alimentos e bebidas (RUSSELL-HUNTER, 1970), presentes no Distrito Industrial de João Pessoa são as prováveis responsáveis por toda esta carga de DBO lançada no riacho Mussuré.

Segundo Campos (1999) e von Sperling (1996), a capacidade de assimilação da carga orgânica por um curso de água, pode ocorrer até um ponto aceitável e não prejudicial. Esta capacidade é função, principalmente: das condições ambientais; da vazão e qualidade dos efluentes e da vazão do curso de água.

No caso do riacho Mussuré, os dados de qualidade da água, que serão discutidos posteriormente, indicam que sua capacidade de assimilação da carga orgânica está sendo comprometida. Certamente, a baixa vazão do riacho, a elevada contribuição de efluentes e a qualidade destes, têm contribuído para este fato.

Projeções feitas por Campos *et al.* (2002) indicam que, no ano 2010, 159 indústrias estarão funcionando na sub-bacia do rio Mumbaba. A provável área de instalação destas indústrias será o Distrito Industrial de João Pessoa, por já possuir toda a infra-estrutura para a realização das atividades. Tudo indica que, como acontece atualmente, o riacho Mussuré seja o receptor dos efluentes líquidos de praticamente todas estas indústrias. Infere-se, portanto, que a carga recebida pelo riacho será ainda maior, com o avanço do desenvolvimento industrial da área.

Como a questão da destinação final adequada para os efluentes industriais é um dos mais complexos problemas atuais na área de estudo, a implantação de novas indústrias deve ser feita de forma planejada, de modo que os impactos causados ao meio circundante possam ser previsíveis e controláveis, possibilitando a manutenção dos ecossistemas ali presentes.

5.3 Análise espacial da qualidade da água do riacho Mussuré

A análise espacial possibilitou a verificação do comportamento dos parâmetros de qualidade da água e dos índices de qualidade ao longo do riacho Mussuré. Desta forma, foi possível avaliar a evolução da qualidade da água à medida em que o riacho ia recebendo os mais diversos tipos de poluentes.

5.3.1 Parâmetros de qualidade da água

Os dados de qualidade da água, para as cinco estações de monitoramento, foram analisados após o cálculo de estimadores estatísticos que descrevem cada parâmetro, todos eles apresentados no APÊNDICE A.

A avaliação da DBO é uma forma indireta de medição da quantidade de matéria orgânica existente no corpo de água. A figura 5.9 apresenta a DBO ao longo do riacho Mussuré, no período estudado. Verifica-se que nas duas primeiras estações de amostragem (MS 00 e MS 01) as medianas de DBO apresentaram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05, para um curso de água classe 3 (até 10,00 mg/L), ou seja, 4,80 mg/L nas duas estações. Este valor certamente não seria suficiente para prejudicar os usos previstos para as águas do riacho. Porém, na estação seguinte, MS 01A, foi encontrada uma mediana de 16,00 mg/L, o que indica uma grande concentração de matéria orgânica presente nos efluentes lançados a montante deste ponto.

Pela figura 5.9 também é possível perceber que, após a estação MS 01A, os valores de DBO diminuem gradualmente (mesmo com a presença de outros

lançamentos). Porém, apesar dos valores das medianas nas duas últimas estações estarem dentro dos limites impostos pela legislação vigente (DBO=9,20 mg/L na MS 02 e DBO=9,60 mg/L na MS 03), ocorreram grandes oscilações nos dados deste parâmetro, principalmente na estação MS 02 (mínima de 0,00 mg/L e máxima de 108,00 mg/L).

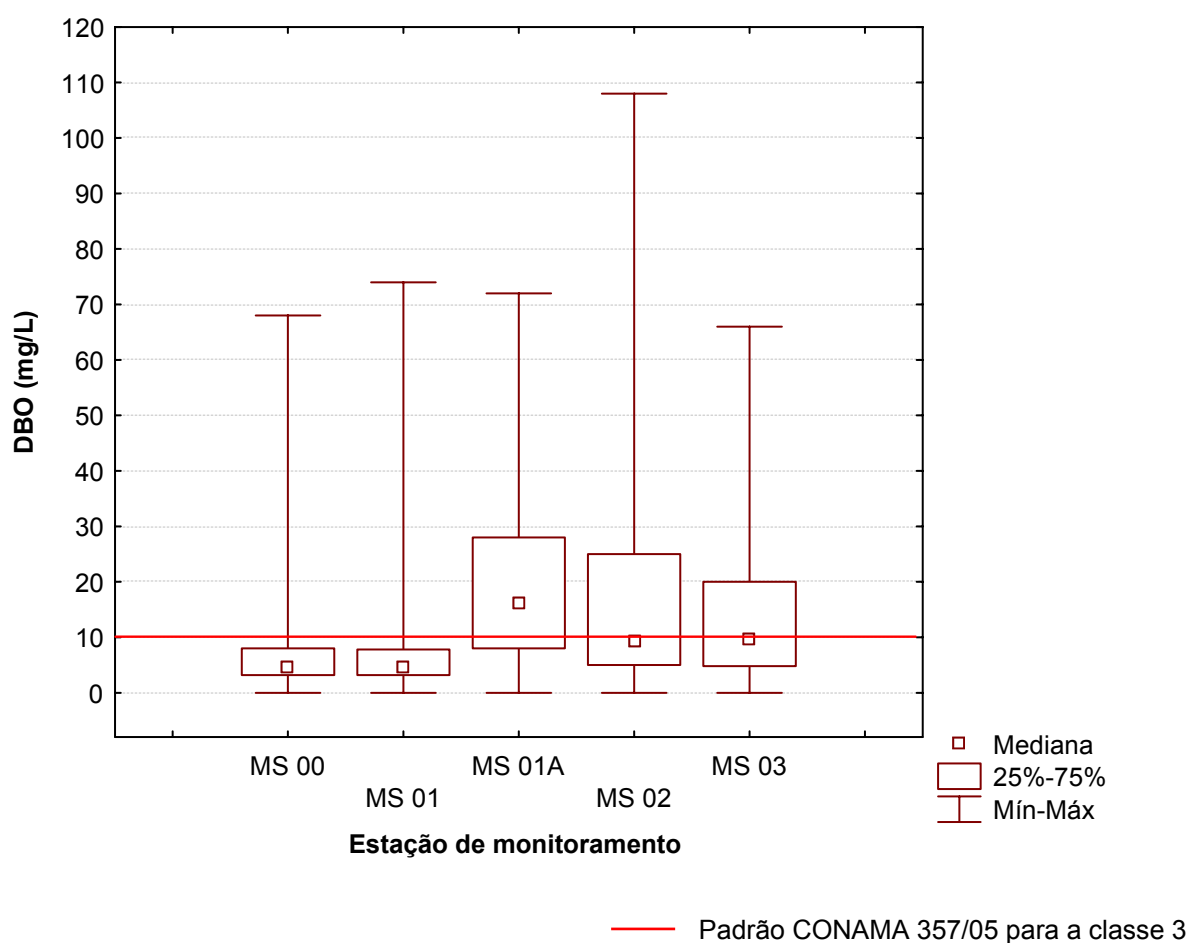


Figura 5.9 Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao longo do riacho Mussurê.

A diferença é significativa [$U=1643$; $p=0,00003$] entre a DBO na estação MS 00 e na MS 03, sendo maiores os valores na última estação. Este resultado mostra a contribuição do Distrito Industrial para os teores de matéria orgânica presentes nas águas do riacho. As descargas de indústrias têxteis, de papel, alimentos e bebidas são, provavelmente, as grandes responsáveis pelos valores de DBO encontrados, a partir da estação MS 01A.

A introdução de matéria orgânica em um curso de água resulta, indiretamente, no consumo de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 1996). Esta afirmativa pode ser constatada nas águas do riacho Mussuré, onde as concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) estão muito abaixo dos limites estabelecidos pelo CONAMA (4,00 mg/L) para um curso d'água de classe 3 (Figura 5.10). Com relação aos valores mínimo e máximo, os dados mostraram oscilações entre 0,00 mg/L e 6,00 mg/L, porém, as medianas de todas as estações se encontram abaixo de 1,50 mg/L.

A área de concentração crítica de OD, ou seja, a área em que a concentração de oxigênio dissolvido na água atinge os mínimos valores, está próxima da estação MS 02 (mediana de 0,20 mg/L). Como pôde ser notado na figura 5.9, os teores de DBO reduzem-se consideravelmente nesta área (de 16,00 mg/L na estação MS 01A para 9,20 mg/L na MS 02). Pode-se inferir que a estabilização da grande quantidade de matéria orgânica detectada em MS 01A resulta no maior consumo do oxigênio dissolvido pelas bactérias decompositoras, levando à situação apresentada a jusante, na estação MS 02.

Resultados semelhantes foram encontrados por Campolo *et al.* (2002), em estudo sobre a poluição do rio Arno, na Itália, e por Cunha *et al.* (2003), ao desenvolverem um modelo capaz de simular o comportamento dos parâmetros de qualidade da água em um rio, a jusante do ponto de lançamento de efluentes domésticos, ou seja, efluentes contendo grandes teores de matéria orgânica.

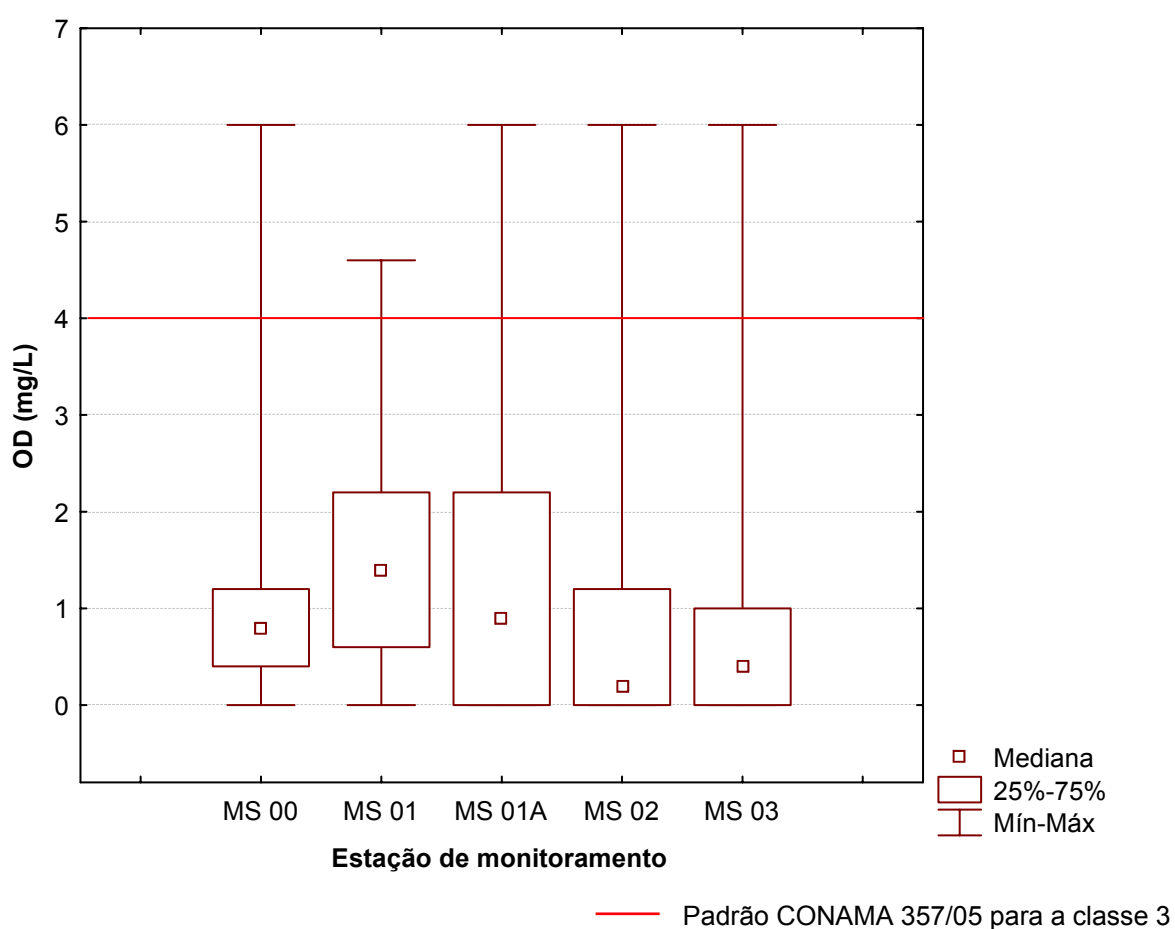


Figura 5.10 Variação da concentração de oxigênio dissolvido (OD) ao longo do riacho Mussuré.

As atividades desenvolvidas no Distrito Industrial têm grande influência nos teores de OD da água do riacho Mussuré. Os valores deste parâmetro na estação MS 00, onde as águas receberam efluentes de apenas uma indústria e de esgotos residenciais, são significativamente maiores que os valores de OD na estação MS 03, onde os efluentes de todas as indústrias estão a montante [$U=2175$; $p=0,0015$].

De acordo com von Sperling (1996), em termos ecológicos, a consequência mais nociva da poluição de um corpo d'água por matéria orgânica é a queda nos níveis de oxigênio dissolvido. O impacto atinge toda a comunidade aquática e cada redução nos teores de OD é seletiva para determinadas espécies.

Outros cursos de água situados em áreas urbanas também apresentam este tipo de problema. Almeida *et al.* (2004) encontraram valores de OD variando entre 1 e 7 mg/L, e DBO de até 100 mg/L, no rio Jaguaribe, que atravessa toda a cidade de João Pessoa e recebe esgotos domésticos, industriais e de matadouros clandestinos.

Segundo a SCIENTEC (2000), quando da elaboração do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do rio Gramame, foram encontrados, para o rio Mumbaba, valores médios de OD entre 6,1 e 6,6 mg/L, e DBO de 0,3 a 0,8 mg/L, em um ponto a montante da afluição do riacho Mussuré. A jusante desta confluência foram encontradas concentrações médias de OD bem mais baixas, entre 1,3 e 5,7 mg/L, e valores médios de DBO mais altos, entre 0,9 e 7,1 mg/L. O rio Gramame também apresentou grande variabilidade nos valores destes parâmetros ao longo de todo o seu curso, com OD variando entre 0,9 e 6,6 mg/L e DBO entre 0,4 e 14,2 mg/L.

A temperatura da água é um importante fator ecológico, tanto pela influência que pode exercer sobre os vários tipos de organismos, como pela relação existente entre ela e o teor de gases dissolvidos (BRANCO, 1972). Isto quer dizer que a temperatura tem influência direta sobre os teores de oxigênio dissolvido na água. Nas cinco estações estudadas as medianas dos valores de temperatura foram iguais, ou seja, 28°C (Apêndice A). Esse resultado significa que a temperatura da água do riacho Mussuré não é afetada pelos lançamentos de efluentes industriais.

Na avaliação do pH, as águas do riacho Mussuré apresentaram valores dentro do padrão CONAMA (entre 6,00 e 9,00) em todas as estações (Apêndice A). No entanto, na estação MS 01A foram observadas as maiores oscilações deste parâmetro (entre 5,96 e 12,05). Estas oscilações devem-se à diversidade dos compostos lançados a montante desta estação. Apesar disto, a mediana do pH da água nesta estação apresentou-se próxima da neutralidade (6,90).

Os valores das medianas da turbidez da água de todas as estações estiveram, no período estudado, dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA, de até 100 UNT (Apêndice A). A turbidez da água no riacho Mussuré não apresentou alteração significativa entre as estações MS 00 e MS 03 [$U=6321$; $p=0,686$]. Porém, os valores oscilaram exageradamente em um mesmo ponto (e.g. valores entre 0,43 UNT e 350,00 UNT na estação MS 01A), fato que tem como uma das causas prováveis o contínuo lançamento de efluentes a montante desta estação.

A remoção da cobertura vegetal, no entorno do riacho em estudo, também pode alterar a turbidez da água, por favorecer o maior carreamento de sólidos para o corpo hídrico. Consequentemente, os teores de Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) também devem ser afetados por este fator.

Os valores das medianas dos teores SDT (Apêndice A) permaneceram, em geral, dentro do limite CONAMA (até 500 mg/L) em todas as estações, durante o período estudado. Apenas na estação MS 01A, valores extremos estiveram acima deste limite (máximo de 1494 mg/L). Contudo, os efluentes industriais tiveram influência significativa [$U=22$; $p=0,00001$] no aumento dos valores de SDT quando comparadas a primeira e a última estação de amostragem.

A condutividade elétrica de uma solução é a capacidade desta em conduzir corrente elétrica através da concentração dos íons presentes (ESTEVES, 1988). A avaliação deste parâmetro permite indicar a presença de sais, minerais ácidos e contaminantes lançados em um curso de água (PESCE; WUNDERLIN, 2000).

A estação de monitoramento MS 03 apresentou a maior mediana (574,00 $\mu\text{S/cm}$) para os dados de condutividade elétrica (Figura 5.11), porém, a maior oscilação de valores ocorreu para MS 01A (entre 106,00 $\mu\text{S/cm}$ e 6756,00 $\mu\text{S/cm}$).

Provavelmente devido à grande quantidade de efluentes lançados pouco antes da estação MS 01A, a condutividade elétrica da água varia exageradamente a partir deste ponto, ou seja, a quantidade de sais dissolvidos na água é alterada de acordo com a quantidade e qualidade destes efluentes. Isto pode ser um fator limitante para algumas espécies aquáticas mais sensíveis. Na figura 5.11 é possível perceber que a condutividade elétrica da água apresenta-se mais elevada nas três últimas estações.

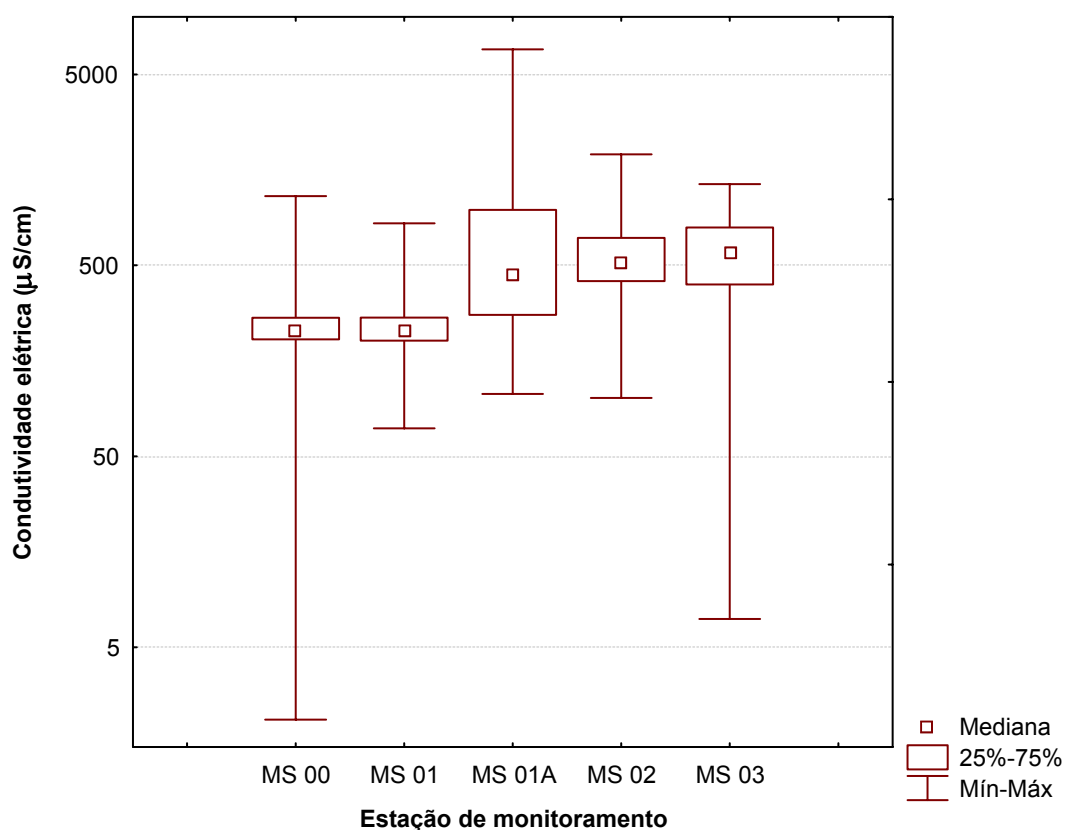


Figura 5.11 Variação da condutividade elétrica da água ao longo do riacho Mussuré.

Também houve diferença significativa nos valores de condutividade elétrica entre as estações MS 00 e MS 03 [$U=679$; $p=0,00001$], sendo maiores os valores observados no final do riacho. Contudo, não existe limite estabelecido pela Resolução CONAMA para condutividade elétrica da água.

Em estudo sobre a qualidade da água de vários corpos hídricos da bacia do rio Gramame, Machado (2003) encontrou, para a água do riacho Mussuré, valores de condutividade elétrica de 326,4 $\mu\text{S/cm}$ na estação MS 00 e 556,0 $\mu\text{S/cm}$ na MS 03. Estes valores estavam entre os maiores detectados na bacia, durante o período estudado. Entre os outros cursos avaliados no citado estudo, encontrou-se valores entre 141,6 $\mu\text{S/cm}$, na estação GR 07 do rio Gramame, e 408,2 $\mu\text{S/cm}$, na estação MB 03 do rio Mumbaba. Machado (2003) relacionou os altos valores de

condutividade elétrica observados nas estações MS 00, MS 03 e MB 03 ao lançamento de efluentes industriais.

Em avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu, no estado de São Paulo, Rodríguez (2001) considerou elevados os valores de condutividade elétrica da água no rio do Monjolinho, após o recebimento de efluentes domésticos e industriais. Estes valores variaram entre 113,0 e 133,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, notadamente bem mais baixos que os encontrados no riacho Mussuré.

Algumas variáveis como temperatura e pH podem influenciar os valores de condutividade. A carga orgânica também pode interferir nestes valores, já que várias substâncias orgânicas são ionizáveis e, portanto, podem contribuir para a elevação do valor na amostra (ESTEVES, 1988). Como, no presente estudo, os valores de temperatura e pH não variam significativamente ao longo do riacho, pode-se considerar que houve uma maior influência da carga orgânica para o aumento da condutividade elétrica na água do riacho Mussuré. Outros fatores como a geologia da bacia e o regime das chuvas também têm grande influência sobre este parâmetro.

A cor da água resulta da existência de substâncias em solução provenientes principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no meio ambiente, podendo também estar associada à presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, ou a plânctons, macrófitas e despejos coloridos contidos em efluentes industriais (ESTEVES, 1988). O padrão CONAMA estabelecido para cor verdadeira de um curso d'água enquadrado como classe 3 é de até 75,00 mg Pt/L. No presente trabalho observa-se que houve um aumento gradual dos teores de cor da água entre as estações MS 00 e MS 01A, apresentando esta última a maior mediana ao longo de todo o riacho (Figura 5.12). Verifica-se também pela figura

5.12, que houve uma pequena diminuição dos teores de cor nos pontos a jusante de MS 01A. Porém, as medianas deste parâmetro estão fora dos limites estabelecidos pela legislação vigente nas três últimas estações (95,00 mg Pt/L na MS 01A, 90,00 mg Pt/L na MS 02 e 85,00 mg Pt/L na MS 03), demonstrando uma alta carga de substâncias dissolvidas na água. Os efluentes industriais tiveram influência significativa no aumento dos teores de cor da água do riacho Mussuré [$U=1772$; $p=0,000001$].

As oscilações nos dados do parâmetro cor foram muito acentuadas, com variações de 20,00 mg Pt/L a 750,00 mg Pt/L. Este fato pode ter ocorrido devido à falta de constância na qualidade e quantidade dos efluentes lançados pelas indústrias e configura a contínua alteração das condições naturais do riacho, resultando em diversos efeitos negativos para a fauna e flora presentes.

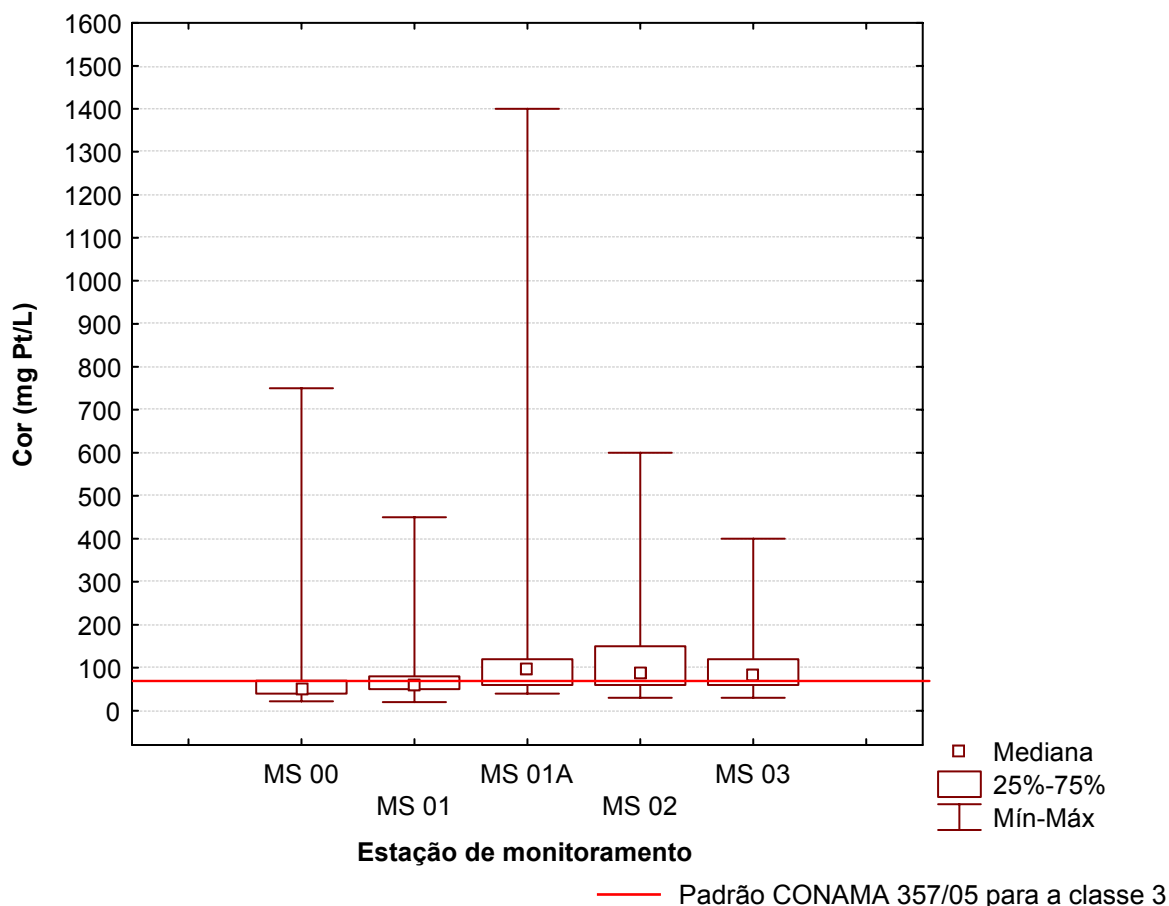


Figura 5.12 Variação do teor de cor ao longo do riacho Mussuré.

Em coleta efetuada durante a noite - por ser este o provável horário de maior volume de descarga das indústrias no riacho Mussuré - houve uma grande diferença no parâmetro cor entre duas estações de monitoramento. Duas amostras, coletadas no dia 12 de julho de 2005 entre 22h30min e 23h30min, mostraram que a água que passava na estação MS 02 possuía uma coloração não natural azul escura, completamente distinta da coloração verificada a aproximadamente 2,5 km a montante, na área próxima à estação MS 01. Na figura 5.13 está apresentada à esquerda a água coletada na estação MS 01, e à direita a água referente à estação MS 02.



Figura 5.13 Amostras de água coletadas durante a noite, em pontos distintos do riacho Mussuré: estação MS 01 (esquerda) e estação MS 02 (direita).

A água que foi coletada na estação MS 02 tinha uma cor não natural azul escura devido ao efeito direto dos lançamentos de efluentes das indústrias – provavelmente indústrias têxteis e gráficas – sobre a água do riacho.

Também foi estudado, ao longo do riacho Mussuré, o comportamento do parâmetro biológico coliformes termotolerantes.

Considerando que a água do riacho é utilizada, entre outras finalidades, para a dessedentação de animais criados confinados, utilizou-se o limite, imposto na Resolução CONAMA 357/05, de 1000 NMP por 100 mL de água, onde NMP significa o número mais provável de bactérias. Este limite não deve ser excedido em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano.

Neste caso, apesar de todas as estações de amostragem do riacho terem apresentado valores acima dos 1000 NMP/100 mL, apenas nas duas

primeiras (MS 00 e MS 01) 80% das amostras excederam este limite imposto pelo CONAMA (Figura 5.14).

Este é um dado preocupante, principalmente porque foi constatado em várias visitas feitas à área que as águas do riacho também são utilizadas para recreação de contato primário, principalmente por crianças. Apesar de não ser um dos usos previstos para suas águas, é importante avaliar os riscos desta utilização. Ao comparar a situação encontrada no riacho Mussuré com os limites estabelecidos pela legislação para este uso, caso em que devem ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000 (BRASIL, 2005), constata-se que estas águas estão impróprias devido à presença de resíduos e despejos, o que representa um risco para a saúde e o bem-estar desta população.

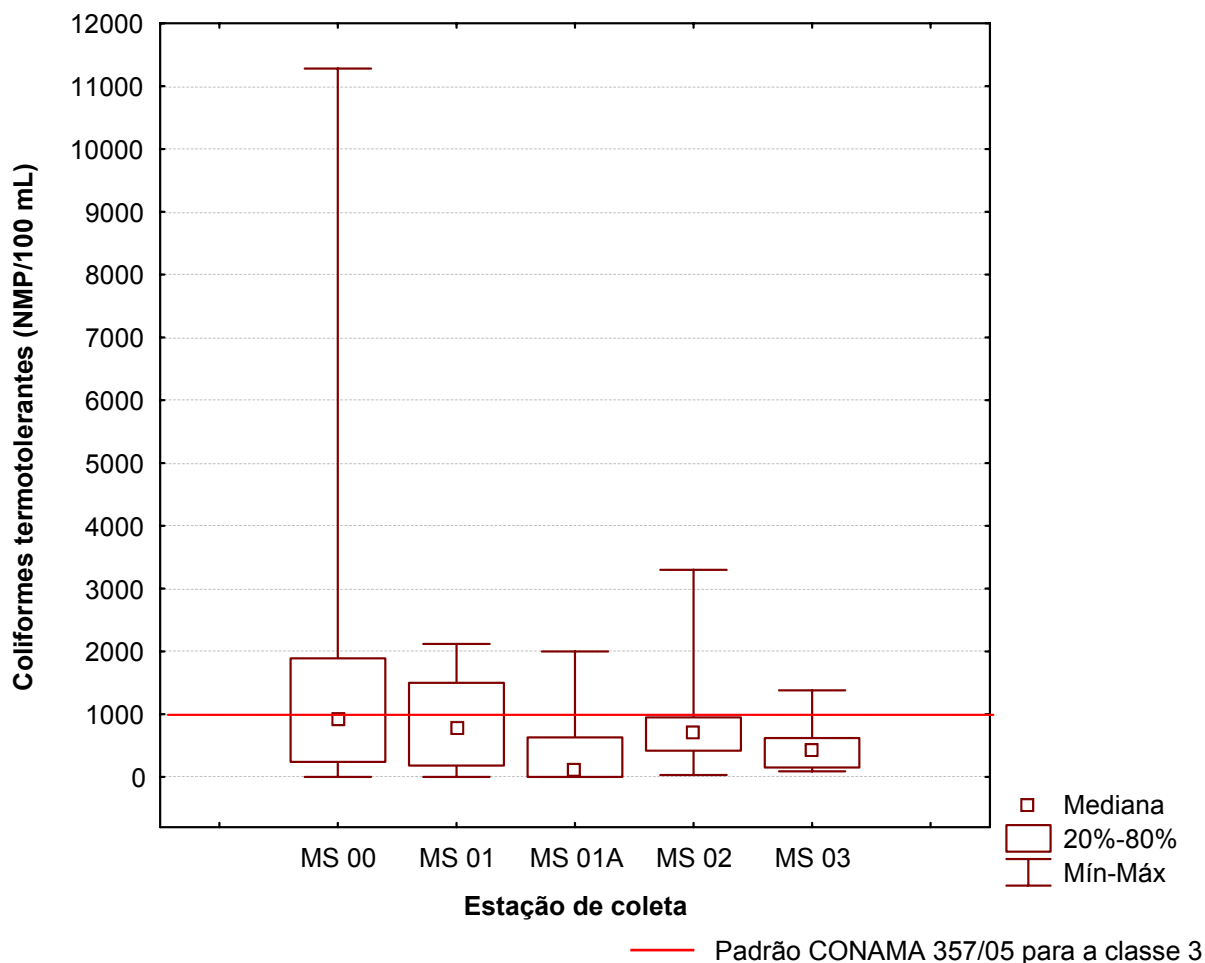


Figura 5.14 Variação do número de coliformes termotolerantes ao longo do riacho Mussuré.

A estação MS 00 apresentou os maiores valores de coliformes termotolerantes (mediana de 910 NMP/100 mL). Este fato certamente se deve aos lançamentos de esgotos domésticos que estão a montante deste ponto. Os valores decresceram até alcançarem mediana de 120 NMP/100 mL em MS 01A. Na estação MS 02 os valores voltaram a subir (mediana de 710 NMP/100 mL), tendo como causa provável o lançamento a montante da rede coletora do Distrito Industrial, por onde são conduzidos, além dos efluentes industriais, uma considerável quantidade de esgoto originário dos sanitários das indústrias. A estação MS 03 apresentou mediana de 440 NMP/100 mL.

Em estudo sobre a qualidade de dois rios de Pernambuco, Aprile *et al.* (2004) constataram a contaminação dos rios por esgotos de origem doméstica ao encontrarem valores de coliformes termotolerantes variando entre 200 e 134.000 NMP/100 mL no rio Capibaribe, e de 3.400 a 115.900 NMP/100 mL no rio Ipojuca.

5.3.2 *Análise multivariada dos parâmetros de qualidade da água*

Através de uma análise de agrupamento entre as cinco estações do riacho Mussuré, incluindo os parâmetros OD, DBO, temperatura, cor, turbidez, pH, condutividade elétrica e SDT, foi detectada a formação de três grupos similares (Figura 5.15). O primeiro grupo, formado pelos pontos MS 00 e MS 01 possui relativa similaridade com o grupo 2, composto apenas pelo ponto MS 01 A. O terceiro grupo contém os pontos MS 02 e MS 03. Estes agrupamentos permitem a percepção da variação geral dos parâmetros investigados ao longo do riacho estudado, possibilitando a detecção dos locais onde ocorre uma grande alteração na qualidade da água. Assim, é possível verificar que quando as águas estão passando pelas duas últimas estações, elas apresentam uma qualidade distinta da que possuíam ao passar pelas duas primeiras (MS 00 e MS 01, mais a montante).

Analisando os parâmetros separadamente e comparando com o resultado da análise de agrupamento, percebe-se a influência negativa dos efluentes industriais na qualidade da água do riacho Mussuré. É importante salientar que, no trecho em que o riacho apresenta a pior qualidade da água, ocorre a grande concentração de macrófitas aquáticas.

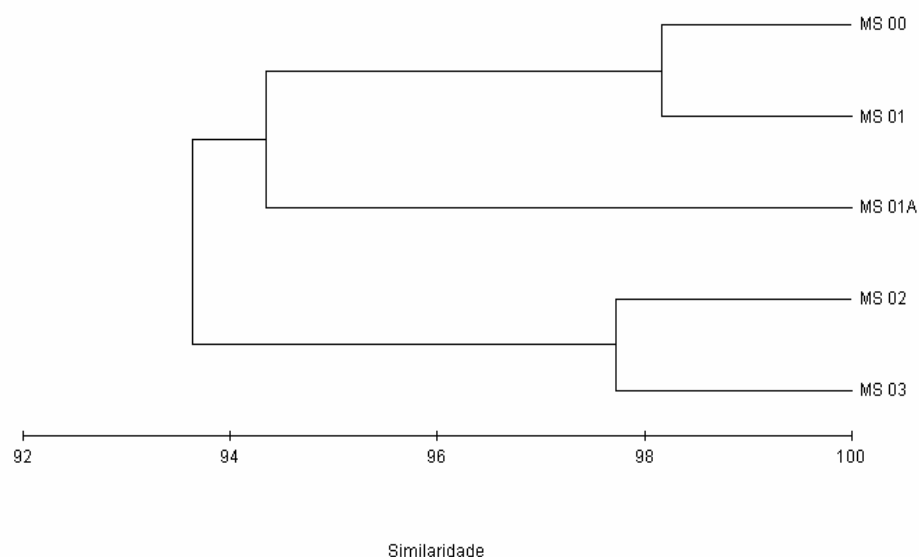


Figura 5.15 Dendrograma dos agrupamentos por similaridade entre os pontos de coleta ao longo do riacho Mussuré.

5.3.3 Índices de qualidade da água

Através do Índice Objetivo de Qualidade da Água (IQA_{OBJ}) foi possível ter uma idéia geral da qualidade da água ao longo do riacho Mussuré, levando em consideração os parâmetros OD, DBO_5 , pH, turbidez, cor e temperatura. Após o cálculo do índice para cada mês entre os anos de 1998 e 2004 observa-se que a estação de amostragem MS 01A apresentou a menor mediana, indicando um ponto crítico de qualidade de água ao longo do riacho (Figura 5.16).

O resultado qualitativo do IQA_{OBJ} classificou as águas de todas as estações como “regulares” (Tabela 5.1). Os valores de IQA_{OBJ} mais elevados, indicando uma melhor qualidade da água, foram encontrados nas estações MS 00

(mediana de 47,67) e MS 01 (mediana de 47,33). Mesmo assim, eles mostram a delicada situação da qualidade destas águas, já que seria necessário alcançar o valor de 61 para serem consideradas “aceitáveis”, conforme a tabela 4.3, apresentada anteriormente. Esta constatação fica mais evidente quando se observa que 75% dos casos analisados encontram-se abaixo deste valor, ou seja, menos de 25% dos valores tiveram uma qualificação aceitável. Além disto, as estações MS 01A e MS 02 apresentaram valores muito próximos da classificação “ruim” (Figura 5.16).

Através do teste de Mann-Whitney verificou-se a diminuição significativa da qualidade da água entre as estações MS 00 e MS 03 [$U=2509$; $p=0,0184$].

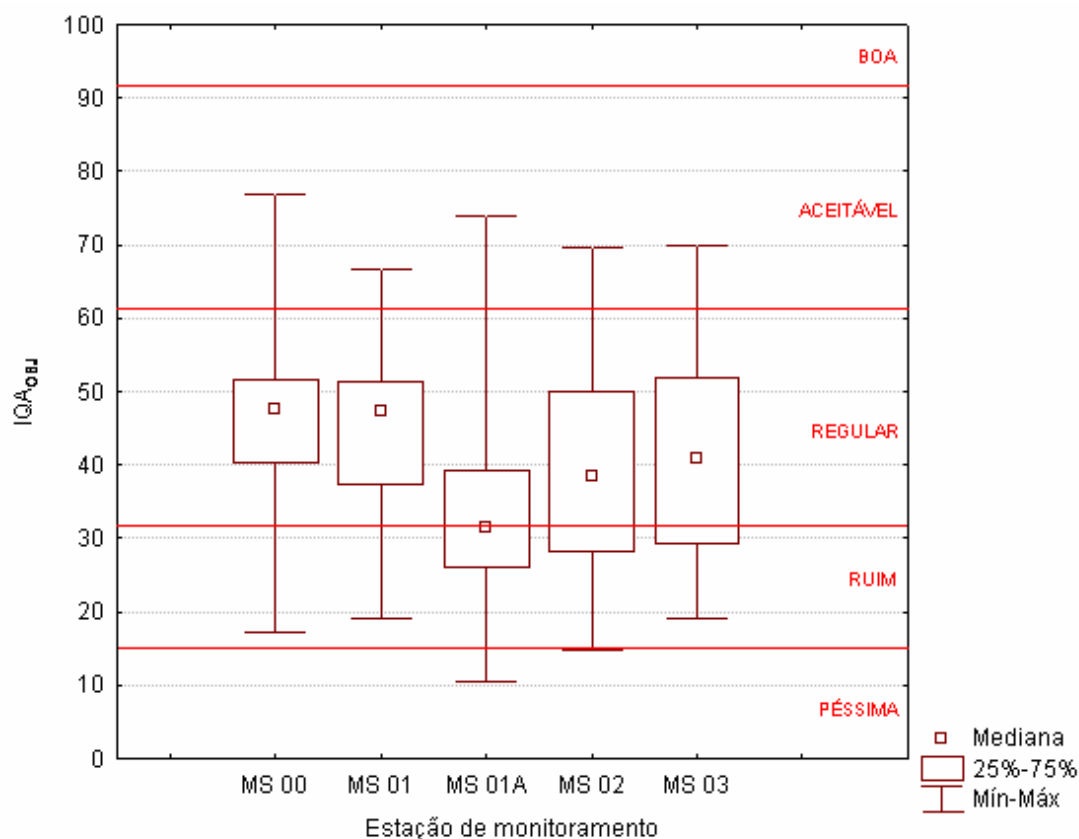


Figura 5.16 Variação do IQA_{OBJ} ao longo do riacho Mussuré.

Tabela 5.1 Resultados da qualidade da água do riacho Mussuré, medidos através do Índice Objetivo de Qualidade da Água (IQA_{OBJ}).

Estação	Resultado quantitativo	Resultado qualitativo
MS 00	47,67	REGULAR
MS 01	47,33	REGULAR
MS 01A	31,33	REGULAR
MS 02	38,33	REGULAR
MS 03	41,00	REGULAR

A variação dos resultados do Índice de Qualidade da Água de Bascarán Adaptado (IQA_{BA}) ao longo do riacho está apresentada na figura 5.17. Em comparação com o índice anterior (Figura 5.16), pode ser observado que as condições visuais relacionadas à cor da água têm um peso considerável nos resultados finais. Desta forma, o IQA_{BA} pode ser considerado mais rigoroso que o IQA_{OBJ}. Todos os resultados encontrados estão abaixo do valor 61, variando entre “regulares”, “ruins” e “péssimos”, conforme correspondência apresentada na tabela 4.3.

Na tabela 5.2 encontram-se os valores das medianas do IQA_{BA} para as cinco estações. Pode-se observar que as duas primeiras estações do riacho têm uma qualidade considerada “regular”, enquanto as três últimas estão classificadas como “ruins”. Novamente a estação MS 01A apresentou os menores valores (IQA_{BA} = 19,83), havendo uma ligeira recuperação da qualidade nas duas últimas estações. Mesmo assim, através do teste de comparação podemos confirmar que houve uma diminuição significativa entre a qualidade da água das estações MS 00 e MS 03

[$U=2342$; $p=0,0034$], mostrando a influência negativa do Distrito Industrial sobre a qualidade da água do riacho Mussuré.

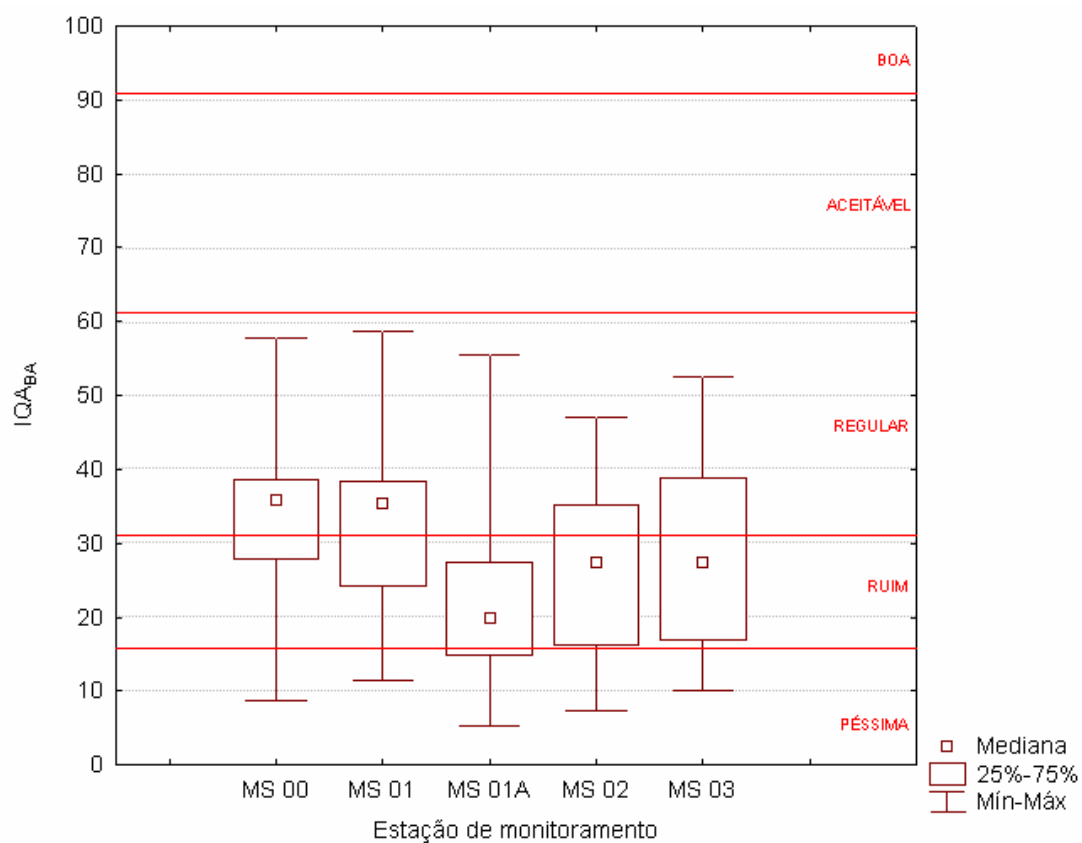


Figura 5.17 Variação do IQA_{BA} ao longo do riacho Mussuré.

Tabela 5.2 Resultados da qualidade da água do riacho Mussuré, medidos através do Índice de Qualidade da Água de Bascarán Adaptado (IQA_{BA}).

Estação	Resultado quantitativo	Resultado qualitativo
MS 00	35,75	REGULAR
MS 01	35,25	REGULAR
MS 01A	19,83	RUIM
MS 02	27,25	RUIM
MS 03	27,45	RUIM

O IQA_{BA} e o IQA_{OBJ} apresentaram comportamento similar em relação à qualidade da água ao longo do riacho Mussuré. Através dos dois índices utilizados percebeu-se que nas duas primeiras estações (MS 00 e MS 01) a qualidade da água estava melhor, que a estação MS 01A apresentava os piores resultados, e que nas duas últimas estações havia uma pequena melhora na qualidade da água. Os índices também possibilitaram a verificação da baixa qualidade da água do riacho ao longo de todo o seu curso, influenciada pelos efluentes lançados pelas indústrias.

Apesar de apresentarem informações similares, o IQA_{BA} é mais rigoroso que o IQA_{OBJ}. Este fato se deve à constante subjetiva K.

De acordo com Borja e Moraes (2003), além da dimensão objetiva, passível de ser avaliada por métodos quantitativos, a qualidade de um ambiente tem componentes subjetivos que exigem métodos no campo da avaliação qualitativa. Através de componentes subjetivos é possível incorporar à análise, direta ou indiretamente, a perspectiva de quem vivencia aquela qualidade que se pretende avaliar. Desta forma, o IQA_{BA} mostra-se mais adequado para a avaliação da qualidade da água do riacho Mussuré.

Verificou-se coerência entre os resultados obtidos através dos índices e os obtidos na análise multivariada. No dendrograma notou-se a variação na qualidade da água entre os trechos do riacho, através das diferenças entre as duas primeiras estações e as duas últimas. Com o uso dos IQAs percebeu-se que, após o recebimento de considerável carga de poluentes das indústrias, as águas do Mussuré apresentam pior qualidade nas três últimas estações.

A análise de índices permite avaliar as mudanças na qualidade da água devido ao efeito combinado de vários parâmetros. No caso do IQA_{BA} é levado em consideração, inclusive, um componente subjetivo. Contudo, os índices representam muito mais um indicativo de qualidade que deve ser considerado como instrumento de análise de certo modo limitado (RIZZI, 2001). Desta forma, é imprescindível que os parâmetros também sejam analisados separadamente.

5.4 Análise temporal da qualidade da água do riacho Mussuré

Na análise temporal da qualidade da água do riacho Mussuré foram utilizados dados de 1992 a 2004, referentes apenas à estação MS 03, para estudo do comportamento dos parâmetros e índices ao longo do tempo e entre períodos sazonais.

5.4.1 Parâmetros de qualidade da água

Os dados de qualidade da água para os anos estudados foram analisados após o cálculo de estimadores estatísticos que descrevem cada parâmetro, todos eles apresentados no APÊNDICE B. Além disto, foi calculada a estatística descritiva referente aos dois períodos sazonais (chuva e seca), apresentada no APÊNDICE C.

Os valores das medianas de DBO que se encontraram fora do padrão CONAMA (até 10,00 mg/L) corresponderam ao período entre os anos 1996 e 1999, e ao ano 2001 (APÊNDICE B). Os maiores teores de DBO foram constatados em 1998 (27,00 mg/L) e 1999 (24,00 mg/L).

A DBO varia bastante durante todo o ano (Figura 5.18), havendo correlação negativa significativa entre DBO e precipitação média ao longo do ano [$r=-0,77$; $p=0,0033$], ou seja, nos meses mais chuvosos houve uma diminuição da DBO. A comparação entre os valores do período chuvoso e seco mostrou que os valores foram significativamente maiores nos meses de estiagem, com mediana de 6,00 mg/L para o período chuvoso e 10,60 mg/L para o seco [$U=1552$; $p=0,0044$].

Estes resultados são semelhantes aos de outros trabalhos (SILVA; SACOMANI, 2001; BRANCO, 1972; CAMPOLO *et al.*, 2002), que afirmam ser o período seco o de pior qualidade da água, principalmente em relação à quantidade de matéria orgânica. Isto ocorre, principalmente, porque a vazão dos cursos de água é mais baixa neste período, enquanto que o volume de efluentes lançados não depende, na maioria dos casos, da sazonalidade.

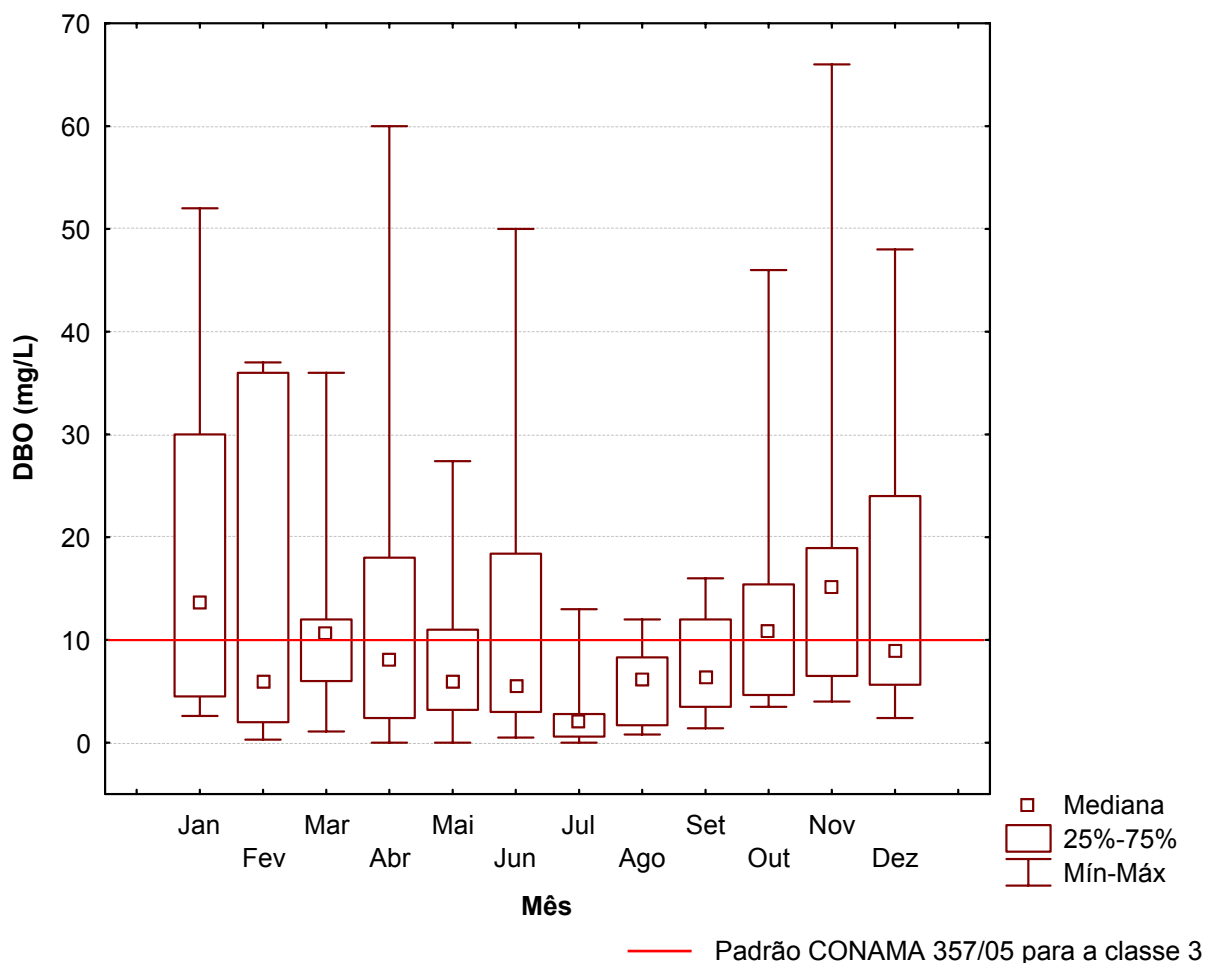


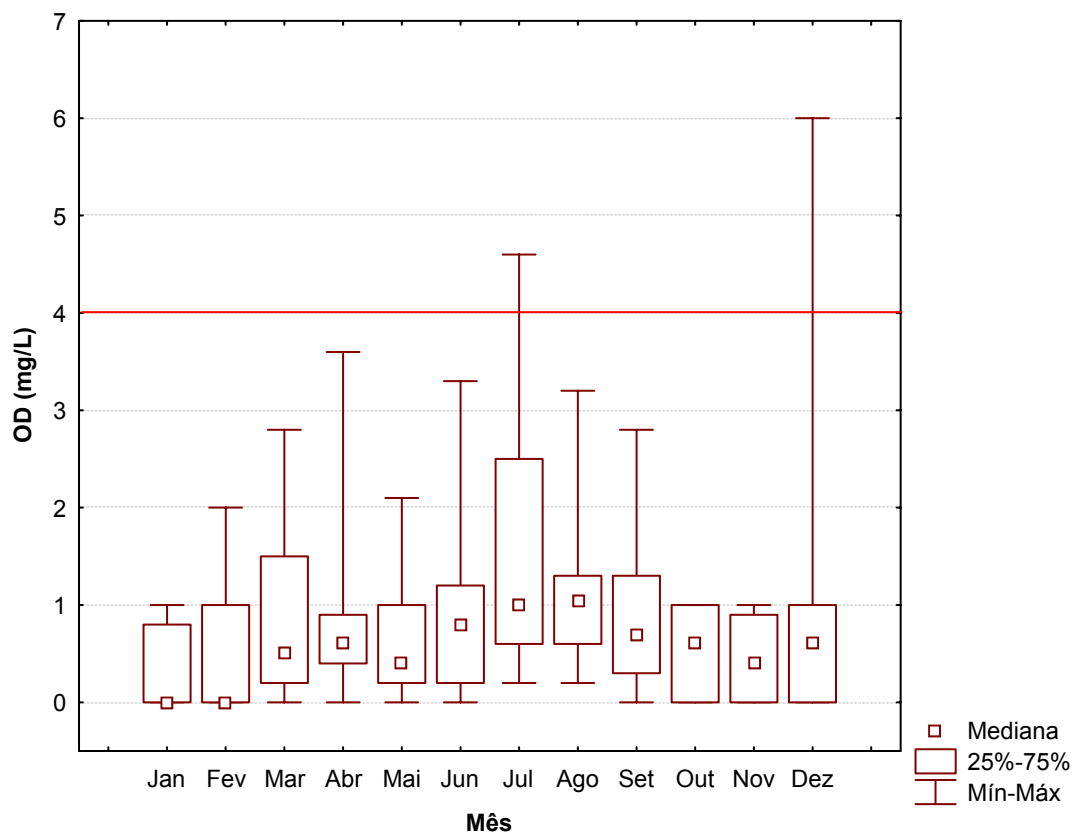
Figura 5.18 Variação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ao longo do ano.

Os teores de OD apresentaram uma pequena variação ao longo dos anos, com os maiores valores de mediana em 1992, 1993 e 1994 (1,00 mg/L, 1,00 mg/L e 0,90 mg/L respectivamente) e entre 2003 e 2004 (0,80 mg/L e 1,20 mg/L). Durante todo o período estudado, as medianas anuais dos teores de OD nas águas do riacho Mussuré foram muito inferiores ao valor considerado satisfatório pelo CONAMA (4,00 mg/L). O período entre 1995 e 2002 apresentou, ao mesmo tempo, os menores teores de OD e os maiores valores de DBO.

Além disto, os teores de OD na água do riacho Mussuré ficam muito abaixo do padrão do CONAMA, durante todo o ano, sendo fator limitante para várias espécies e criando, conseqüentemente, alterações no ecossistema (BRANCO, 1972;

RUSSELL-HUNTER, 1970). A análise da variação mensal ao longo do ano mostrou que os maiores teores de OD são verificados entre junho e agosto (Figura 5.19). Apesar da pequena variação da temperatura do ar ao longo do ano, houve correlação negativa significativa entre esta variável e o OD [$r=-0,83$; $p=0,0008$], sendo que os maiores valores de OD aparecem durante os meses mais frios. Este fator ambiental está fortemente relacionado de forma inversa à precipitação, já que, nesta região, os meses com menores temperaturas são também os meses chuvosos. Mesmo assim, não foi observada uma correlação entre OD e a precipitação média ao longo do ano [$r=0,31$; $p=0,319$].

Contudo, quando os meses foram agrupados em períodos chuvoso e seco, foi observado que a mediana da concentração de OD durante o período de chuva atingiu 0,80 mg/L, valor significativamente maior do que aquele obtido durante o período de seca, de 0,50 mg/L [$U=1719$; $p=0,005$]. Menores concentrações de OD na água, em períodos secos, ocorrem principalmente devido à menor vazão do curso hídrico (BORDALO *et al.*, 2001). Outro fator a ser considerado no resultado é a temperatura ambiente, que, na região do estudo, é maior no período seco, levando a um aumento na temperatura da água. A solubilidade do OD na água é inversamente proporcional à sua temperatura, o que resulta em uma diminuição natural das concentrações deste gás na água, durante este período do ano (BRANCO, 1972; VON SPERLING, 1996).



— Padrão CONAMA 357/05 para a classe 3

Figura 5.19 Variação dos teores de Oxigênio Dissolvido (OD) ao longo do ano.

Os valores de turbidez e pH estiveram dentro dos limites do CONAMA para todos os anos e durante os dois períodos sazonais. A turbidez da água, geralmente maior em períodos de chuva (RUSSELL-HUNTER, 1970), não foi influenciada pela sazonalidade, no riacho Mussuré.

As medianas do parâmetro cor apresentaram-se fora do padrão CONAMA entre 1997 e 2001. Além disto, em todos os anos estudados foram encontrados valores acima do padrão, o que demonstra a grande variabilidade de cor da água, de acordo com a qualidade e quantidade dos efluentes. Houve correlação significativa positiva entre a variável cor e a precipitação média ao longo do ano [$r=0,83$; $p=0,00078$]. Embora se observe que na época chuvosa há um

aumento dos teores de cor da água com o valor da mediana de 89,00 mg Pt/L, estes valores não apresentaram diferença significativa quando comparados com aqueles do período da seca, com 61,50 mg Pt/L [U=1249; p=0,505].

5.4.2 Análise multivariada dos parâmetros de qualidade da água

O estudo sobre a correlação entre as variáveis OD, DBO, cor, turbidez e pH, na água do riacho Mussuré, está resumido em uma matriz de correlação (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 Matriz de correlação entre variáveis de qualidade da água.

	OD	DBO	cor	turbidez	pH
OD	1,00	-0,75*	-0,71*	-0,68*	-0,65*
DBO		1,00	0,66*	0,74*	0,63*
cor			1,00	0,45	0,86*
turbidez				1,00	0,22
pH					1,00

* Correlação significativa com $p < 0,05$

Observa-se pela tabela 5.3 uma correlação significativa inversa entre OD e DBO, ou seja, nos meses em que a água apresenta baixos teores de OD, os valores de DBO tendem a estar maiores, ocorrendo o mesmo para a situação contrária. Esta relação pode ser explicada pelo fato de que quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior será a população de microrganismos decompositores. Consequentemente, a quantidade de oxigênio necessária à decomposição desta matéria orgânica leva à sua redução no meio aquático (BRANCO, 1993).

É importante salientar que os processos físicos, químicos e biológicos envolvidos nas variações de OD em um curso de água são extremamente complexos, e que as características locais possuem uma grande influência nestes processos (SILVA; SACOMANI, 2001).

Também pode ser observado na tabela 5.3 que existe correlação significativa inversa entre OD e cor, OD e turbidez e OD e pH. Entre DBO e os parâmetros cor, turbidez e pH, a correlação foi significativa positiva.

Os parâmetros cor e pH apresentam, entre si, correlação significativa positiva. Isto significa que quando a água do riacho Mussuré está mais escura, seu pH, em geral, está mais básico. Esta correlação provavelmente tem origem nos sólidos dissolvidos contidos nos efluentes industriais e domésticos, já que os sólidos dissolvidos são os constituintes responsáveis pela coloração na água, e também influenciam no pH (VON SPERLING, 1996).

Através de uma análise de componentes principais (PCA), pode-se observar que o primeiro componente principal, ou o fator mais importante na avaliação da qualidade da água através desta análise, explicou 66,21% da variância dos dados e pode ser interpretado como o oxigênio dissolvido na água, com valores positivos para o OD e negativos para a DBO. O segundo componente principal explicou somente 16,91% da variância, sendo representado pelo parâmetro turbidez no lado positivo e pelo pH no negativo (Figura 5.20).

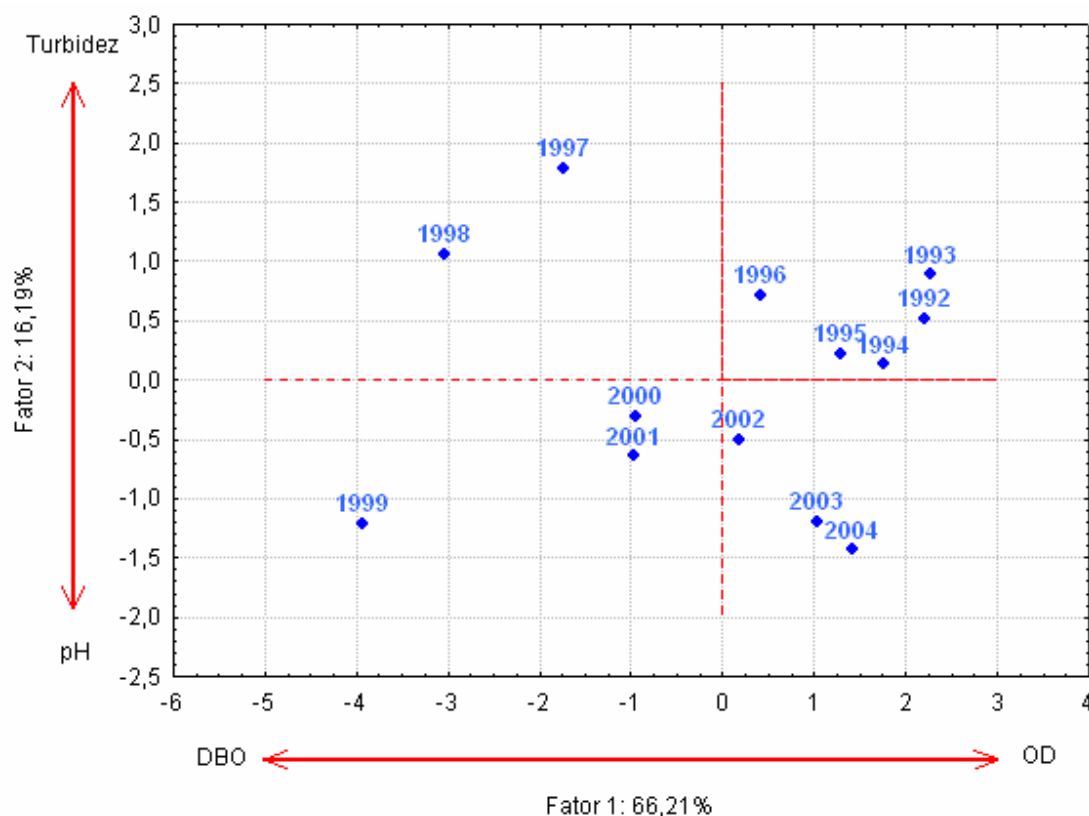


Figura 5.20 Análise de Componentes Principais dos parâmetros OD, DBO, pH e turbidez para o período entre 1998 e 2004.

Estes resultados mostram que as variáveis que possuem maior influência sobre a “qualidade geral” da água do riacho Mussuré estão relacionadas às concentrações de oxigênio dissolvido. Como a DBO tem uma influência direta sobre os teores de OD, estes dois parâmetros compõem o primeiro fator. É importante notar que outros parâmetros de qualidade da água também possuem influência ou são influenciados pelos teores de OD. A diferença em questão consiste no grau de relação entre estas variáveis, na situação estudada.

A análise de componentes principais permitiu, ainda, observar o comportamento da qualidade da água do riacho Mussuré ao longo dos 13 anos de

monitoramento. Os anos 1997, 1998 e 1999 apresentaram os piores valores de qualidade de água, com baixos valores de OD e altos valores de DBO (Figura 5.20).

5.4.3 Índices de qualidade da água

A avaliação através do IQA_{OBJ} também mostrou uma pior qualidade da água do riacho Mussuré entre os anos 1997 e 1999 apresentando medianas abaixo do valor 31, o que faz considerar este período como “ruim”. Os outros anos foram considerados “regulares” (Figura 5.21).

Quando analisada a variação ao longo do ano, os valores de IQA_{OBJ} apresentaram uma qualidade da água um pouco melhor nos meses do período chuvoso. Mesmo assim, todos considerados como de qualidade “regular” (Figura 5.22). Houve correlação negativa significativa entre o IQA_{OBJ} e a temperatura média do ar ao longo do ano [$r=-0,78$; $p=0,0025$], mas não houve correlação entre o IQA_{OBJ} e a precipitação média, o que foi corroborado pela análise sazonal deste índice, que mostrou que não houve diferença significativa entre o período de chuvas, com $IQA_{OBJ} = 44,29$ e o período seco, com $IQA_{OBJ} = 41,50$.

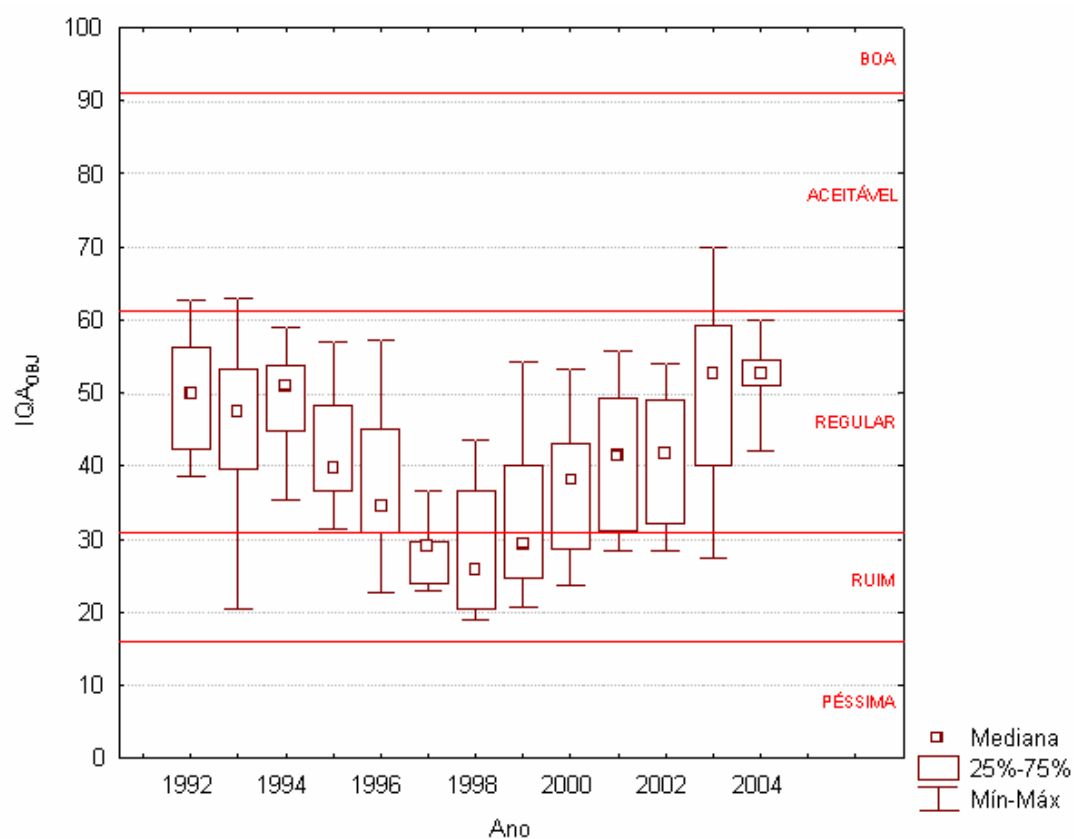


Figura 5.21 Variação do IQA_{OBJ} ao longo dos anos estudados.

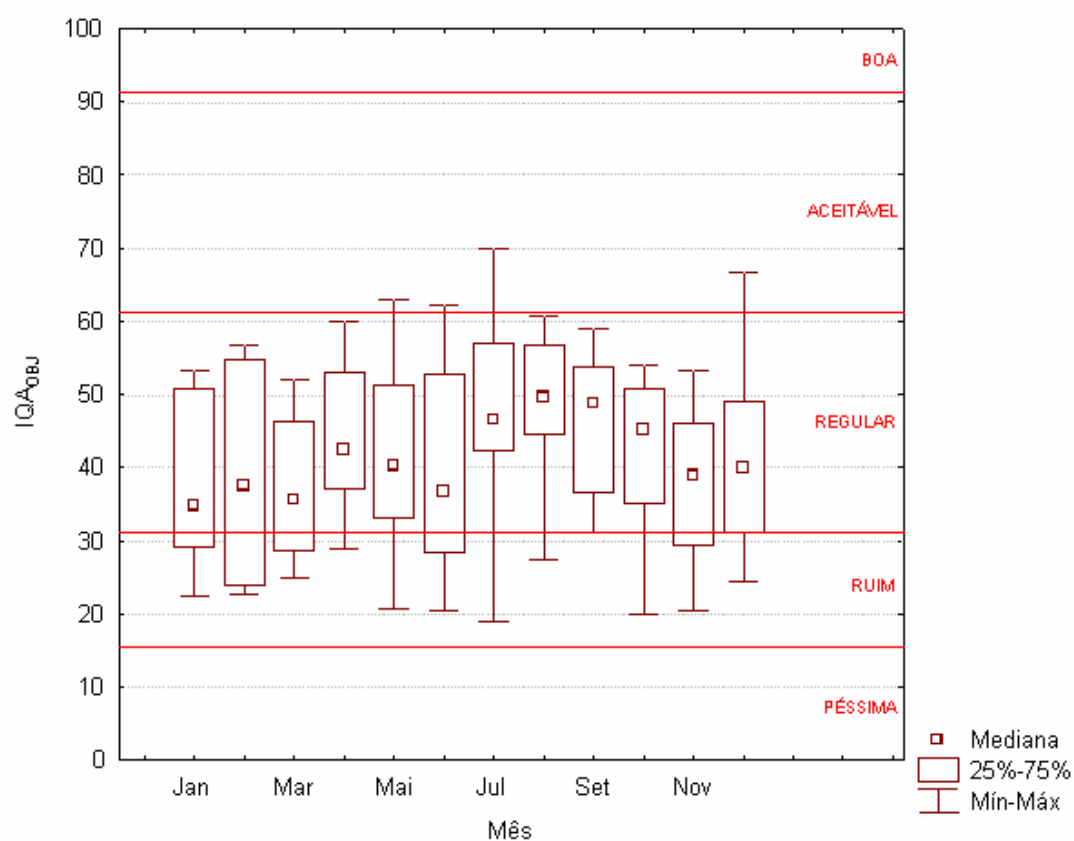


Figura 5.22 Variação do IQA_{OBJ} durante o ano.

As informações obtidas do IQA_{BA} , ao longo dos anos de estudo, foram semelhantes às do IQA_{OBJ} , com piores resultados de qualidade da água entre 1997 e 1999 (Figura 5.23). Porém, sendo mais rigoroso, por considerar a constante subjetiva K, o IQA_{BA} incluiu os anos de 1995 a 2002 como “ruins”.

Houve correlação negativa marginalmente significativa entre o IQA_{BA} e a temperatura média do ar [$r=-0,54$; $p=0,067$] e não houve correlação entre o IQA_{BA} e precipitação média ao longo do ano. Através do IQA_{BA} verificou-se um resultado de qualidade da água um pouco melhor durante o período de seca ($IQA_{BA} = 31,12$), em comparação ao período chuvoso ($IQA_{BA} = 28,65$), mas esta diferença não foi significativa. O comportamento da qualidade da água ao longo dos meses do ano, avaliado através do IQA_{BA} , está apresentado na figura 5.24.

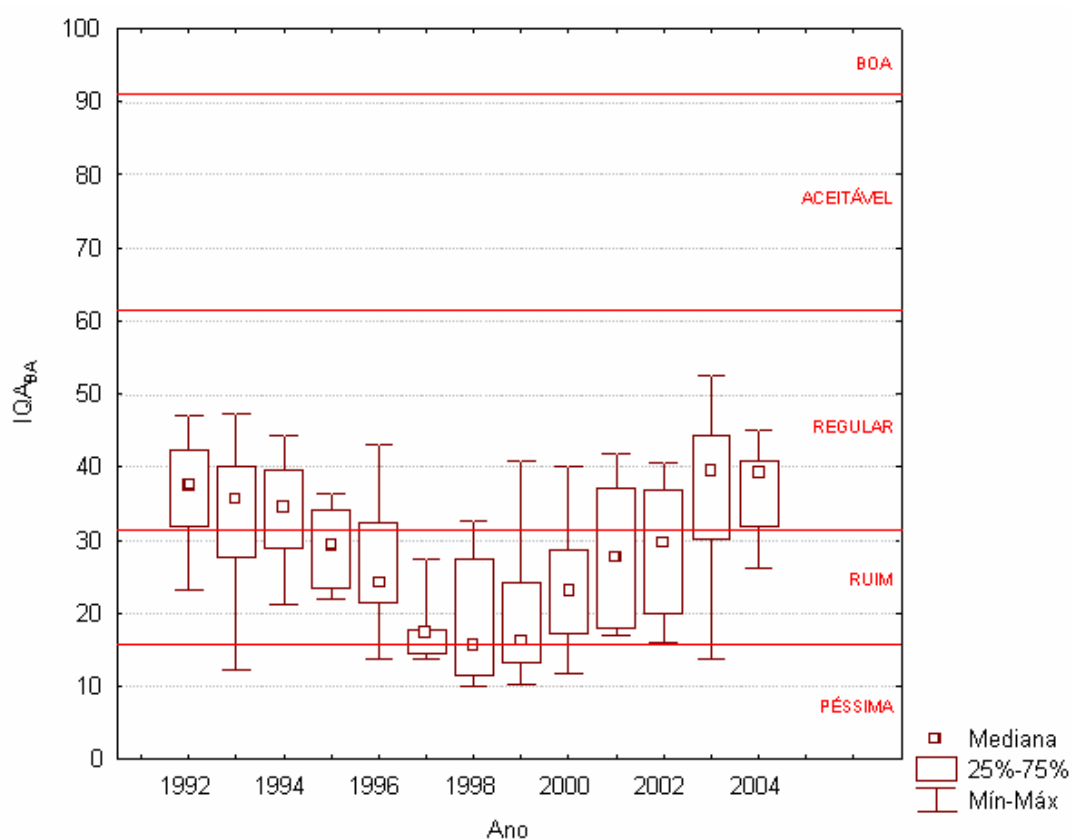


Figura 5.23 Variação do IQA_{BA} ao longo dos anos estudados.

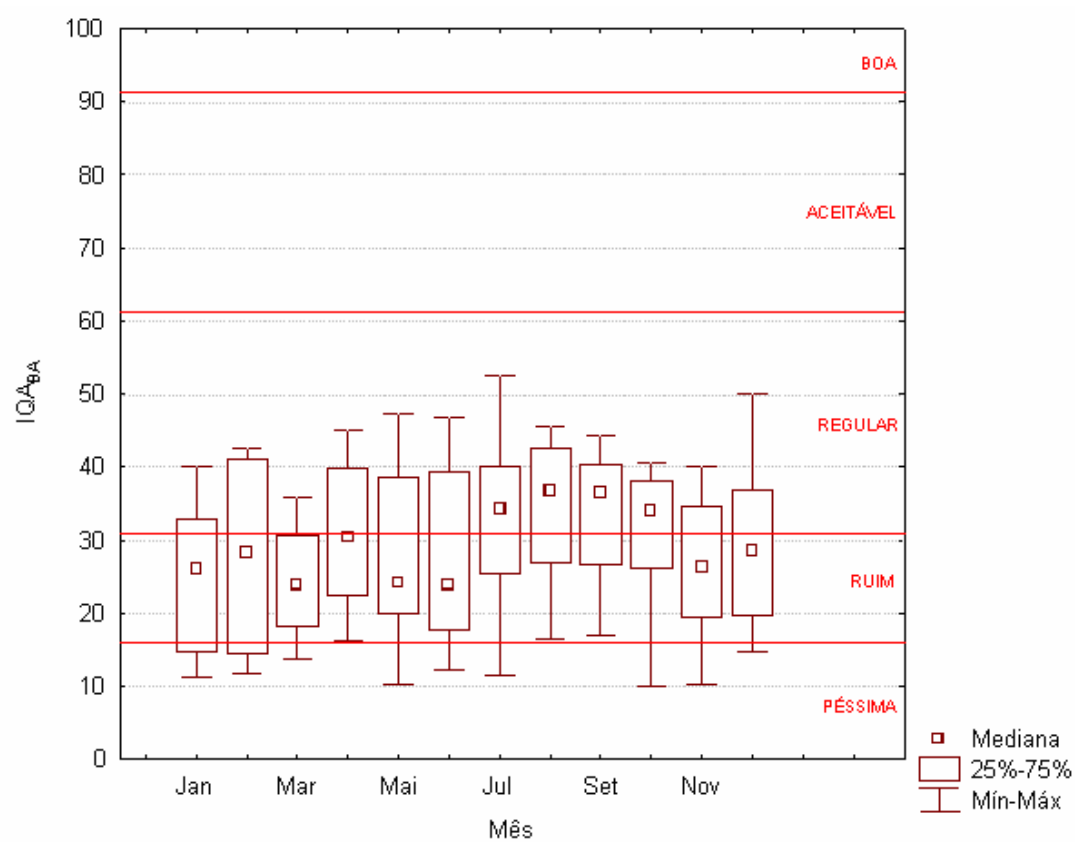


Figura 5.24 Variação do IQA_{BA} durante o ano.

5.5 Presença de metais pesados na água do riacho Mussuré

Os resultados referentes às concentrações de metais pesados nas águas do riacho Mussuré estão apresentados na tabela 5.4.

Tabela 5.4 Concentração de metais na água do riacho Mussuré.

Metal Pesado	Data de coleta	Estação de coleta					Limite CONAMA 357/05
		MS 00	MS 01	MS 01A	MS 02	MS 03	
Pb (mg/L)	12/07/2005 ⁽¹⁾	-	0,070	-	0,075	-	0,033
	18/08/2005 ⁽¹⁾	-	0,050	-	0,060	-	0,033
	16/11/2005 ⁽²⁾	-	0,170	-	0,220	-	0,033
Cr (mg/L)	12/07/2005 ⁽¹⁾	-	0,335	-	0,350	-	0,050
	18/08/2005 ⁽¹⁾	-	0,350	-	0,355	-	0,050
Cu (mg/L)	16/11/2005 ⁽²⁾	0,030	0,040	1,240	0,030	0,220	0,013
Zn (mg/L)	16/11/2005 ⁽²⁾	0,010	0,000	0,340	0,030	0,020	5,000
Ni (mg/L)	16/11/2005 ⁽²⁾	0,110	0,090	1,830	0,140	0,140	0,025

Fonte: (1) Coleta própria e análise realizada no Laboratório de Saneamento (UFPB)

(2) Coleta e análise realizadas pela SUDEMA.

Pode ser observado na tabela 5.4 que as águas do riacho Mussuré apresentaram, em todas as coletas, valores de chumbo acima da máxima concentração permitida pela Resolução CONAMA 357/05. Os valores correspondentes à coleta do dia 16 de novembro de 2005 foram alarmantes (0,170 mg/L de Pb na MS 01 e 0,220 mg/L de Pb na MS 02), alcançando mais de seis vezes o valor máximo permitido, de 0,033 mg/L.

Em investigação sobre a presença de chumbo em toda a bacia do rio Gramame, Machado (2003) também constatou altos teores deste metal nas águas do Mussuré, considerando o riacho como área crítica devido à presença do Distrito Industrial.

Conforme a tabela 5.4, o padrão CONAMA para cromo total é de 0,050 mg/L. As águas do Mussuré apresentaram valores bem acima deste limite para as duas estações, nas duas datas de coleta (aproximadamente sete vezes acima do máximo permitido).

É possível verificar também que o limite de teor de cobre na água é ultrapassado em todas as estações de coleta avaliadas, encontrando-se os piores valores nas estações MS 01A (1,240 mg/L de Cu) e MS 03 (0,220 mg/L de Cu).

Para a concentração de zinco total, o valor limite permitido é de 5,000 mg/L. As águas do riacho Mussuré apresentaram teores bem abaixo deste limite, nas cinco estações de coleta. Em investigação sobre a ocorrência de metais pesados na bacia do rio Gramame, Diniz *et al.* (2002) detectaram concentrações de zinco próximas às encontradas no riacho Mussuré. No estudo citado o rio Gramame apresentou 0,010 mg/L de zinco total.

As águas do Mussuré apresentaram valores de níquel total acima do limite do CONAMA, em todas as estações de monitoramento, sendo que a maior concentração foi encontrada na estação MS 01A (1,830 mg/L de Ni).

Altas concentrações de metais em ambientes aquáticos estão normalmente relacionadas a atividades humanas e não a causas naturais. Além disto, os metais verificados estão entre os mais comumente encontrados nos efluentes industriais (BENN; MCAULIFFE, 1981; BARRETO, 1999). Portanto, a

verificação de altas concentrações destes metais no corpo de água pode ser relacionada ao lançamento de efluentes industriais.

Além dos riscos para a saúde da população usuária destas águas, os valores de metais encontrados neste trabalho representam um grande risco para o equilíbrio ambiental do riacho Mussuré, já que os metais pesados reduzem a capacidade autodepurativa das águas, pois têm ação tóxica sobre os microrganismos responsáveis pela decomposição dos materiais orgânicos (FELLENBERG, 1980).

Quantidades mínimas de metais pesados têm, muitas vezes, um efeito rapidamente letal para muitos organismos responsáveis pela depuração natural das águas. Portanto, o lançamento em conjunto de substâncias tóxicas e de grande quantidade de material orgânico em um curso de água, produz efeitos negativos sinérgicos (RUSSELL-HUNTER, 1970).

Além disto, altos níveis de metais lançados em ecossistemas aquáticos podem resultar em eliminação seletiva de espécies de peixes, moluscos, crustáceos e outros seres aquáticos (BERVOETS, 2005; PHILLIPS; RAINBOW, 1993; LIANG *et al.*, 1999).

É importante ressaltar que os resultados sobre a concentração de metais, encontrados neste trabalho, devem ser levados em conta apenas como uma simples verificação sobre a presença destes elementos nas águas do riacho Mussuré. Para um diagnóstico mais preciso sobre a distribuição destes metais, ao longo do curso e do tempo, seria necessário um monitoramento que possibilitasse a formação de um banco de dados que abrangesse uma maior quantidade de coletas, em diferentes pontos do riacho e considerando a sazonalidade.

5.6 Riscos potenciais para a população usuária das águas do riacho Mussuré

As águas do riacho Mussuré contêm materiais flutuantes, e diversos tipos de resíduos sólidos (e.g. sacos plásticos, papelão e lixo) são encontrados nas margens e no leito, ao longo de todo o seu curso. A jusante da estação MS 01A é freqüente a presença de espumas não naturais e odor extremamente forte. Segundo relato de alguns moradores, os odores se agravam durante a noite, causando mal estar, vômitos e dores de cabeça, principalmente em crianças. Este é, provavelmente, o horário de maior volume de descarga das indústrias, de forma a evitar a ação da fiscalização.

A população ribeirinha e a residente nos bairros próximos à área de estudo utilizam as águas do riacho Mussuré principalmente para: irrigação de pequenas lavouras de milho, mandioca, alface, tomate e pastagens (Figura 5.25); dessedentação de animais (principalmente porcos e bois); lavagem de roupas (Figura 5.26 e 5.27); recreação e lazer (Figura 5.27).



Figura 5.25 Plantações às margens do riacho Mussuré: (a) Milho; (b) Alface.



Figura 5.26 Lavagem de roupas no riacho Mussuré.



Figura 5.27 Detalhe de uso das águas do riacho Mussuré para lazer e lavagem de roupas.

De acordo com Branco (1972), existe um elevado grau de complexidade na relação saúde e ambiente. A saúde humana não é afetada por alterações ecológicas ocorridas na água, pois esta não constitui o seu ambiente. Porém, é afetada por elementos misturados, transportados ou transmitidos pela água.

Através da análise sobre a presença de coliformes termotolerantes na água, é possível determinar, de forma indireta, a potencialidade desta água em transmitir doenças (VON SPERLING, 1996). Os esgotos domésticos produzidos nos bairros Costa e Silva e Funcionários, lançados a montante da estação MS 00, podem conter os mais variados organismos patogênicos.

Desta forma, a utilização da água do riacho Mussuré para recreação e lazer, e a ingestão de alimentos irrigados com esta água, representam riscos para a saúde da população usuária. É importante notar que os usos “recreação e lazer”, geralmente praticados por crianças que brincam e nadam no leito do riacho, ocorrem mais frequentemente na área próxima às estações MS 00 e MS 01. Como foi apresentado no item 5.3.1, nestas estações as águas apresentaram os maiores valores de coliformes termotolerantes do riacho. Além disto, para este tipo de uso, devem ser obedecidos os padrões de qualidade de balneabilidade, previstos na Resolução CONAMA nº 274, de 2000 (BRASIL, 2005). Como no riacho Mussuré há lançamentos de efluentes e resíduos ao longo de todo o seu curso, suas águas são, segundo esta Resolução, impróprias para este tipo de atividade e representam um risco para a saúde e o bem-estar humano.

Outro fato que deve ser considerado é que o crescimento descontrolado de plantas aquáticas em um corpo de água propicia o surgimento de vetores de diversas doenças e o impedimento, em grande parte, dos usos da água pela população (LEITE, 2001). Assim, a propagação de grande quantidade de macrófitas,

observada no leito do riacho Mussuré, representa mais um risco à saúde da população. A grande concentração destas plantas facilita o desenvolvimento de moluscos como os planorbídeos que transmitem a esquistossomose. Além disto, estas plantas favorecem a disseminação da malária, encefalite e de outras enfermidades causadas por mosquitos, já que os ambientes aquáticos pequenos e protegidos são ideais para a reprodução destes insetos (DALDORPH; THOMAS, 1991; PEDRALLI, 2000 *apud* LEITE, 2001).

Os altos teores de metais pesados encontrados nas águas do riacho Mussuré também representam um risco para a saúde da população usuária destas águas. Os metais e substâncias químicas misturadas aos efluentes industriais, causam, muitas vezes, intoxicações agudas. Em muitos casos, porém, a exposição contínua e prolongada de poluentes resulta em doenças crônicas, de difícil diagnóstico (COMO, 2003).

Desta forma, pode-se perceber que os lançamentos de efluentes domésticos e industriais no riacho Mussuré, além dos danos causados ao equilíbrio deste ecossistema, também podem causar sérios problemas de saúde a quem utiliza estas águas, direta ou indiretamente.

6 CONCLUSÕES

Através da análise e discussão dos dados levantados e determinados neste trabalho, foi possível concluir que:

- Vários problemas ambientais ocorrem na bacia do riacho Mussuré, como por exemplo, a degradação da mata ciliar, a substituição da vegetação de várzea e mata atlântica originais por pastagem e pequenas lavouras de milho, mandioca, tomate e alface, a remoção de vegetação e solo por atividades de mineração, a presença de resíduos sólidos e o crescimento exagerado de vegetação aquática. A presença do Distrito Industrial de João Pessoa e dos bairros Costa e Silva e Funcionários resulta em lançamentos de efluentes industriais e domésticos, que comprometem a qualidade da água do riacho;
- A carga orgânica lançada pelas indústrias nas águas do riacho foi estimada em 36.242,89 kgDBO/dia, o que equivale, em termos de DBO, à poluição produzida por uma população de 671.165 habitantes;
- O lançamento de efluentes industriais e domésticos tem resultado em diversas alterações na qualidade da água do riacho Mussuré, ao longo de seu curso;
- Notadamente, os valores de OD na água se apresentaram muito abaixo do limite permitido pela Resolução CONAMA 357/05, ao longo das cinco estações de monitoramento, durante todo o período estudado;
- A análise temporal dos parâmetros evidenciou a influência da sazonalidade na qualidade da água. Durante o período seco foram observados maiores valores de DBO e menores teores de OD;

- Os resultados obtidos através das análises multivariadas e do uso dos Índices de Qualidade da Água (IQAs) foram semelhantes aos encontrados através da análise dos parâmetros separadamente. Estas ferramentas mostram-se importantes quando se deseja obter informações objetivas, sobre a qualidade da água, levando em consideração diversas variáveis ao mesmo tempo;

- O IQA_{BA} e o IQA_{OBJ} apresentaram informações similares sobre o comportamento da qualidade da água ao longo do riacho Mussuré. Estes índices não apresentaram diferenças significativas entre o período de chuvas e o período seco. O IQA_{BA} foi o índice que melhor caracterizou a qualidade da água do riacho Mussuré;

- As concentrações dos metais analisados, em geral apresentaram-se acima dos limites da Resolução CONAMA 357/05;

- Como a população ribeirinha e residente nos bairros próximos à área de estudo utiliza as águas do riacho Mussuré principalmente para irrigação de pequenas lavouras e pastagens, dessedentação de animais, lavagem de roupas, recreação e lazer, os valores de metais pesados e coliformes termotolerantes encontrados na água representam um risco para a saúde desta população, principalmente para as crianças que brincam e nadam no leito do riacho;

- É de fundamental importância que os órgãos responsáveis tomem providências em relação à qualidade e quantidade dos efluentes domésticos e industriais lançados no riacho Mussuré, de forma a atender a Resolução CONAMA 357/05. Com as estimativas de desenvolvimento industrial da área, infere-se que, caso medidas não sejam tomadas, os impactos detectados neste estudo irão se agravar.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023:** informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2002. 24p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** informação e documentação - citações em documentos - apresentação. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2002. 7p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724:** informação e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro, RJ: [s.n.], 2002. 6p.

ADRIANCE, D.; MWINGA, R.; MURRAY, M. **Lições aprendidas em água, saneamento e saúde ambiental.** 1998. Disponível em:
<<http://www.careusa.org/careswork/whatwedo/health/casestudies/zambia/po.asp>>
Acessado em 3 de novembro de 2005.

AGRA, S. G. *et al.* **Medição de vazão e descarga sólida na bacia do rio Potiribu: Arroio Turcato, Pejuçara – RS.** [S.l.: s.n.], 2000. Disponível em:
<<http://www.iph.ufrgs.br/potiribu/publicacoes/file.asp?num=3&type=application/pdf>>.
Acessado em 27 de outubro de 2005.

ALMEIDA, T. M. *et al.* **Impacto das descargas urbanas na qualidade da água do rio Jaguaribe (João Pessoa - PB). Contribuição de terras úmidas naturais na depuração da água.** In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2004. Natal – RN. Anais do XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal: [s.n.], 2004.

AMBIENTE Brasil. Apresenta artigos, entrevistas, colunas e trabalhos científicos relacionados ao meio ambiente. [200-]. Disponível em:
<<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acessado em: 02 de novembro de 2005.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Água: tratamento e qualidade.** Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1964. 465p.

APHA – AWWA – WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 19a. ed. Washington, EUA: American Public Health Association, 1995. 953p.

APRILE, F. M.; PARENTE, A. H.; SIQUIERA, G. W. Capibaribe e Ipojuca pedem socorro. **Ciencia Hoje**. Rio de Janeiro – RJ, v. 35, n. 206, p. 67 – 70, jul. 2004.

ARANGO, H. G. **Bioestatística teórica e computacional**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001.

AZEVEDO, A. G. de. **Estatística básica**: cursos de ciências humanas e de educação por Amílcar Gomes de Azevedo e Paulo Henrique Borges de Campos. 2. ed. rev. e ampliada. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 248p.

BARROS, R. T. V. *et al.* **Saneamento**. Belo Horizonte, v.2: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p.

BARRETO, A. S. **Estudo da distribuição de metais em ambiente lótico, com ênfase na assimilação pelas comunidades biológicas e na sua quantificação no sedimento e na água**. 1999. 276p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1999.

BEIGUELMAN, B. **Curso prático de bioestatística**. 5. ed. Ribeirão Preto: Fundação de Pesquisas científicas de Ribeirão Preto, 2002.

BENN, F. R.; MCAULIFFE, C. A. **Química e poluição**. Rio de Janeiro: Livros técnicos e científicos; São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 1981. 134p.

BERTOLETTI, E. Ecotoxicologia aquática. *In*: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001. p. 219-228.

BERVOETS, L. *et al.* Fish community responses to metal pollution. **Environmental Pollution**. Antuérpia, Bélgica: Universiteit Antwerpen, n. 138, p. 338-349, 2005.

BOLLMANN, H. A. Metodologia para avaliação ambiental integrada. *In*: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001. p. 15-46.

BORDALO, A. A.; NILSUMRANCHIT, W.; CHALERMWAT, K. Water quality and uses of the Bangpakong river (Eastern Thailand). **Water Research**. [s.n.], v. 35, n. 15, p. 3635–3642, 2001.

BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Indicadores de saneamento: aspectos conceituais e metodológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 8, n. 1. p. 13-25, jan./mar. 2003.

BORTONI *et al.* **Aplicação de pacotes gráficos para o cálculo de vazões em canais abertos**. [S.l.: s.n.], 1999. Disponível em: <<http://www.unesco.org.uy/phi/libros/hidromecanica/Trab%205.doc>>. Acessado em 25 de outubro de 2005.

BRAGA, B. *et al.* **Introdução à engenharia ambiental**. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRANCO, S. M. **Poluição**. Rio de Janeiro: Ao livro técnico, 1972. 157p.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 1993. 71p.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Nacional do Meio Ambiente II - Seleção de Índices e Indicadores**. Brasília, DF: [s.n.], 2004a. Disponível em: <www.cprh.pe.gov.br/downloads/pnma2/qualidadeagua/selecaoIndiceIndicadoresFinal.pdf>. Acessado em: 23 de outubro de 2005.

_____. Portaria do Ministério da Saúde nº 518 de 25 de março de 2004 - Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 de março de 2004. 2004b.

_____. **Lei Federal nº 9.433/97 de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1997.

_____. Comissão Interministerial para Preparação da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CIMA). **O desafio do desenvolvimento sustentável**. Brasília: Cima, 1991.

_____. Câmara dos Deputados. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988.

_____. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 17 de fevereiro de 1986.

_____. **Lei nº 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Brasília, 15 de setembro de 1965.

_____. **Decreto-lei nº 24.643, de 10 de julho de 1934**. Institui o Código das Águas. Rio de Janeiro, 16 de julho de 1934.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003.

CAMPOLO, M.; ANDREUSSI, P.; SOLDATI, A. Water quality control in river Arno. **Water Research**. v. 36, p. 2673-2680, 2002.

CAMPOS, L. F.; QUININO, U. C. M.; GADELHA, C. L. M. Abastecimento industrial: estimativa da demanda na bacia do rio Gramame no estado da Paraíba. *In*: SILVA, T. C. da; SILANS, A. M. B. Passerat de; GADELHA, C. L. M. **Bacia do rio Gramame: Hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 2002. 196p. p. 75 – 80.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Glossário ecológico ambiental**. São Paulo: [s.n.], [200-]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Ambiente/glossario>>. Acessado em 22 de dezembro de 2005.

Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB. **Índices de qualidade da água**. São Paulo: [s.n.], [200-]. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acessado em 05 de março de 2005.

CHAGAS, P.; SOUZA, R. Study of the depuration capacity of a river, considering the propagation of a dynamic wave. **Hydrology Days**. [S.l.: s.n.], 2005. Disponível em: <<http://hydrologydays.colostate.edu>>. Acessado em 12 de dezembro de 2005.

CHAMBERS, P. A.; PREPAS, E. E. Nutrient dynamics in riverbeds: The impact of sewage effluent and aquatic macrophytes. **Water Research**. v. 28, n. 2, p. 453-464, fev.1994.

CLARKE, K. R.; GORLEY, R. N. **Primer v5**: User Manual/Tutorial. Plymouth, Reino Unido: Primer-E, 2001.

CLARKE, K. R.; WARWICK, R. M. **Change in marine communities**: An approach to statistical analysis and interpretation. 2 ed. Plymouth, Reino Unido: Primer-E, 2001.

COMO cuidar da nossa água. São Paulo: Bei, 2003. 176p. (Entenda e aprenda).

CUNHA, C. L. N.; ROSMAN, P. C. C.; MONTEIRO, T. C. N. Avaliação da poluição em rios usando modelagem computacional. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 8, n. 3, p. 126-134, jul./set. 2003.

DÉOUX, S.; DÉOUX, P. **Ecologia é a saúde**. O Impacto da deterioração do ambiente na saúde. Lisboa: Instituto Piaget, 1996. 565p.

DINIZ, F. E. G. *et al.* Investigação preliminar sobre a ocorrência de metais pesados na bacia do rio Gramame. *In*: SILVA, T. C. da; SILANS, A. M. B. Passerat de; GADELHA, C. L. M. **Bacia do rio Gramame**: Hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 2002. 196p. p. 69 – 74.

DUARTE FILHO, F. H. **A industrialização como sinônimo de progresso e desenvolvimento para Belo Jardim – PE**: Verdades, limites e contradições. 2002. 78p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2002.

EMBRAPA - Instituto Brasileiro de Pesquisa Agropecuária. **IMPACTO AMBIENTAL DAS ATIVIDADES HUMANAS**. [S.l.: s.n.], 2002. Disponível em: <<http://www.cana.cnpm.embrapa.br/impacana.html>>. Acessado em 04 de julho de 2004.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1988. 575 p.

FEEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Vocabulário básico de meio ambiente**. 4 ed. Rio de Janeiro: Petrobrás, Serviço de Comunicação Social, 1992. 246p.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas de poluição ambiental**. São Paulo: EPU, 1980.

FIDELMAN, P. I. J. Contribuição para mitigação dos impactos da macrófita aquática *Eichhornia crassipes* sobre a zona costeira da Região Sul da Bahia.

Revista de Gerenciamento Costeiro Integrado. Itajaí - SC, [no prelo]. Disponível em: <<http://coastalzone.net/pedro/publications.htm>>. Acessado em 23 de agosto de 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Centro de Documentação e Disseminação de Informações. **Normas de apresentação tabular**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 62p.

GADELHA, C. L. M.; DINIZ, F. E. G. Aspectos ambientais na bacia do rio Gramame: investigação preliminar. *In*: SILVA, T. C. da; SILANS, A. M. B. Passerat de; GADELHA, C. L. M. **Bacia do rio Gramame: Hidrologia e aspectos ambientais para a gestão dos seus recursos hídricos**. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 2002. 196p. p. 35 – 42.

GAZZONI, D. L. **Água, um recurso estratégico**. Disponível em: <<http://www.sercomtel.com.br/ice/agro>>. Acessado em 14 de julho de 2004.

GIANINI, R. J. Ambiente antrópico: a questão social e a saúde das populações humanas. *In*: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L. (org.). **Indicadores ambientais**. Sorocaba: s. n., 1997. p. 245-252.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil. *In*: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de água**. Barueri - SP: Manole, 2003.

KHAN, F.; HUSAIN, T.; LUMB, A. Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada. **The Journal Environmental Monitoring Assessment**. n. 88, p. 221-242, out/nov 2003.

LEITE, R. L. **Influência de macrófitas aquáticas sobre a qualidade da água de açudes do semi-árido da Paraíba**. 2001. 129p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2001.

LIANG, Y.; CHEUNG, R. Y. H.; WONG, M. H.; Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: bioaccumulation of trace metals in fish. **Water Research**. Pergamon Press, v. 33, n. 11, p. 2690±2700, 1999.

LICHT, O. A. B. **A geoquímica multielementar na gestão ambiental**. Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil. 2001. 209 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, 2001.

LIMA, E. B. N. R. **Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do rio Cuiabá**. 2001. 184 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Coordenação de Programas de Pós Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, W. P. **Função hidrológica da mata ciliar**. In: Simpósio sobre Mata Ciliar, 1989. São Paulo. Fundação Cargill: 1989. p. 25-42.

MACHADO, T. T. V. **Investigação da presença de chumbo (*plumbum*) na bacia do rio Gramame e suas possíveis implicações na saúde pública da região**. 2003. 114p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2003.

MACHADO, L. M. C. P. Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L. **Indicadores ambientais**. Sorocaba: [s. n.], 1997. p. 15-21.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing**: uma orientação aplicada. Porto Alegre: Artmed Editora Ltda., 2001.

MANLY, B. F. J. **Multivariate statistical methods**: A primer. Reino Unido: Chapman and Hall. 1986.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**. São Paulo. v.36, n.3, jun. 2002.

PALHANO, F. M. M. S. ; IDE, C. N. ; TROLI, A. C. *et al.* **Avaliação comparativa de índices de qualidade de água; rio Miranda, Córregos Bandeira e Cabaça**. In: I Simpósio de recursos Hídricos, 2000, Brasília. Disponível em:

<http://www.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/simposio_traba.htm> Acessado em 09 de março de 2005.

PESCE, S. F.; WUNDERLIN, D. A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquia River. **Water Research**. v. 34, n. 11, p. 2915±2926, 2000.

PHILLIPS, D. J. H.; RAINBOW P. S. The biomonitoring of trace metals and radionuclides. *In*: PHILLIPS, D. J. H. **Biomonitoring of trace aquatic contaminants**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers Ltd., 1993. p. 79–132.

POZZEBON, P. M. G. *et al.* **Mínima metodológica**. Campinas: Editora Alínea. 2004.

PROJETO Tietê. Disponível em:

<http://www.rededasaguas.org.br/nucleo/projeto_tiete.htm> Acessado em 18 de abril de 2005.

RIBEIRO, M. F. C. R. **Avaliação do índice de salubridade ambiental por setores urbanos dentro do conceito de cidades saudáveis: o caso de João Pessoa – PB**. 2004. 122f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2004.

RIBEIRO, M. L. *et al.* **Metais pesados em águas dos rios da bacia do alto Paraguai**. *In*: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa: [s.n.], 2005. CD-ROM.

RIZZI, N. E. Índices de qualidade de água. **Sanare. Revista Técnica Sanepar**. Curitiba. v. 15, n. 15. p. 11-20, jan./jun. 2001.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria - RS: Imprensa Universitária, 1997. 423p.

RODRÍGUEZ, M. P. **Avaliação da qualidade da água da bacia do Alto Jacaré-Guaçu/SP (ribeirão do Feijão e rio do Monjilinho) através de variáveis físicas, químicas e biológicas**. 2001. 145p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2001.

RUSSELL-HUNTER, W. D. **Aquatic productivity**. New York, EUA: The Macmillan Company, 1970. 306p.

SCIENTEC – Associação para o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Gramame**. v. 1, João Pessoa – PB: Laboratório de Recursos Hídricos, UFPB, 2000.

SILVA, A. M. M.; SACOMANI, L. B. Using chemical and physical parameters to define the quality of Pardo river water (Botucatu-SP-Brazil). **Water Research**. v. 35, n. 6, p. 1609-1616, 2001.

SILVA, G. A. da; SIMÕES, R. A. G. Água na indústria. *In*: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces do Brasil**: Capital ecológico, uso e conservação. São Paulo: Escrituras Editora, 1999. p. 339-369.

SOUSA, J. T. de; LEITE, V. D. **Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura**. 2 ed. Campina Grande: EDUEP, 2003. 135p.

STAMBUK-GILJANOVIC, N. Water quality evaluation by index in Dalmatia. **Water Research**. v. 33, n. 16, p. 3423-3440, 1999.

STATSOFT, INC. STATISTICA for Windows. Tulsa, Oklahoma, EUA. 1998.

SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004.

_____. **Inventário de resíduos sólidos industriais do estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004.

TABOSA, Wyllys A. F. **Bioensaios com lemna minor (linhaeus – 1753)**: Um estudo da toxicidade de efluente industrial no rio Gramame. 2000. 94 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente João Pessoa) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2000.

TINÔCO, J. D. **Recuperação da área degradada do rio Golandim - RN (Bacia do rio Potengi)**: Diagnóstico ambiental. *In*: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004, Natal – RN. Anais do XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal: [s.n.], 2004.

TOMAZONI, J. C. *et al.* A qualidade da água das bacias dos rios Anta Gorda, Brinco e Jirau – Sudoeste do Estado do Paraná. **Sanare. Revista Técnica Sanepar**. Curitiba, v. 20, n. 20, p. 28-34, jul./dez. 2003.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **A gestão da água no Brasil**: Uma primeira avaliação da situação atual e das perspectivas para 2025. [Relatório]. Global Water Partnership: Brasil, 2000.

TUNDISI, J. G. Ambiente, represas e barragens. **Ciência Hoje**. Volume especial Eco-Brasil, p. 40-46, maio 1992.

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. Site oficial. 2004. Disponível em: <www.unesco.org> Acessado em 15 de novembro de 2004.

VALENÇA, J. F. dos S. **Rio Salgado: Agente de agravos à saúde das populações ribeirinhas**. 2003. 109 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade UESC, 2003.

VAREJÃO E SILVA, M. A. **Atlas climatológico do Estado da Paraíba**. 2 ed. [S.l.: s.n.], 1987.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. Belo Horizonte: DESA/UFGM. v.1, 2.ed. 1996. 243p.

ZENAIDE, H. **História da CINEP**. João Pessoa: Texto Arte, 1996. 235p.

APÊNDICE A

Apêndice A - Estatísticas descritivas dos parâmetros de qualidade da água ao longo do riacho Mussuré, durante os anos de 1998 a 2004.

Parâmetro	Estação de monitoramento	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
OD (mg/L)	MS 00	0,80	0,00	6,00	1,01	1,03
	MS 01	1,40	0,00	4,60	1,40	1,03
	MS 01A	0,90	0,00	6,00	1,36	1,50
	MS 02	0,20	0,00	6,00	0,78	1,25
	MS 03	0,40	0,00	6,00	0,72	1,10
DBO (mg/L)	MS 00	4,80	0,00	68,00	7,16	9,01
	MS 01	4,80	0,00	74,00	7,39	9,99
	MS 01A	16,00	0,00	72,00	22,61	19,41
	MS 02	9,20	0,00	108,00	17,95	21,19
	MS 03	9,60	0,00	66,00	15,43	15,45
Temperatura (°C)	MS 00	28,00	26,00	30,00	28,00	0,90
	MS 01	28,00	26,00	31,00	27,84	0,96
	MS 01A	28,00	26,00	34,00	28,64	1,34
	MS 02	28,00	27,00	30,00	27,98	0,86
	MS 03	28,00	25,00	31,00	28,01	0,98
Cor (mg Pt/L)	MS 00	52,00	22,00	750,00	83,46	105,49
	MS 01	60,00	20,00	450,00	90,89	86,70
	MS 01A	95,00	40,00	450,00	141,11	118,06
	MS 02	90,00	30,00	600,00	133,37	123,84
	MS 03	85,00	30,00	400,00	125,12	100,11
Turbidez (UNT)	MS 00	6,50	1,60	250,00	22,50	46,14
	MS 01	9,50	1,70	260,00	23,46	38,73
	MS 01A	18,00	0,43	350,00	41,08	59,83
	MS 02	11,00	1,00	160,00	22,80	30,18
	MS 03	7,95	0,90	130,00	18,22	27,05
pH	MS 00	6,42	5,98	7,48	6,46	0,25
	MS 01	6,53	5,96	7,27	6,53	0,27
	MS 01A	6,90	5,96	12,05	7,85	1,91
	MS 02	7,05	6,31	9,87	7,10	0,52
	MS 03	7,02	6,34	9,28	7,21	0,64
Condutividade (μ S/cm)	MS 00	229,00	2,09	1152,00	252,31	129,46
	MS 01	226,50	70,00	830,00	239,04	87,94
	MS 01A	443,00	106,00	6756,00	830,64	1069,79
	MS 02	520,00	101,00	1907,00	573,88	280,79
	MS 03	574,00	7,04	1330,00	606,90	278,72
SDT (mg/L)	MS 00	148,80	97,24	345,44	160,00	49,92
	MS 01	143,00	47,60	191,08	138,40	29,93
	MS 01A	217,00	121,72	1494,00	438,12	434,18
	MS 02	333,00	161,84	443,36	325,41	71,44
	MS 03	309,00	158,44	484,84	317,83	82,99
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	MS 00	910,00	0,00	11280,00	1926,36	3186,70
	MS 01	780,00	0,00	2120,00	882,73	716,72
	MS 01A	120,00	0,00	2000,00	490,00	717,24
	MS 02	710,00	30,00	3300,00	886,36	852,40
	MS 03	440,00	90,00	1380,00	491,82	381,20

APÊNDICE B

Apêndice B - Estatísticas descritivas dos parâmetros de qualidade da água ao longo dos anos 1992 a 2004, na estação MS 03 do riacho Mussuré.

Parâmetro	Ano	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
OD (mg/L)	1992	1,00	0,40	3,60	1,20	0,80
	1993	1,00	0,00	2,50	1,23	0,64
	1994	0,90	0,20	1,60	0,92	0,38
	1995	0,60	0,00	2,80	0,96	1,06
	1996	0,60	0,00	1,20	0,57	0,35
	1997	0,00	0,00	0,40	0,08	0,18
	1998	0,10	0,00	2,80	0,46	0,88
	1999	0,00	0,00	3,20	0,44	0,91
	2000	0,20	0,00	0,80	0,33	0,33
	2001	0,00	0,00	0,40	0,10	0,17
	2002	0,50	0,00	2,80	0,72	0,94
	2003	0,80	0,00	4,60	1,25	1,44
	2004	1,20	0,40	6,00	1,64	1,50
DBO (mg/L)	1992	4,50	0,30	11,40	5,12	4,21
	1993	5,30	0,40	18,40	6,06	6,37
	1994	2,75	0,00	8,50	3,43	3,05
	1995	8,30	1,30	19,40	8,87	6,60
	1996	10,90	0,60	48,00	14,68	14,21
	1997	16,70	8,00	32,00	18,35	10,88
	1998	27,00	6,00	60,00	30,10	19,20
	1999	24,00	2,80	66,00	25,56	19,87
	2000	6,00	2,00	50,00	14,85	16,34
	2001	11,00	0,00	32,00	12,55	10,32
	2002	9,60	0,00	36,00	11,36	9,58
	2003	4,80	2,40	30,00	7,45	7,62
	2004	5,20	1,60	16,00	7,16	5,00
Temperatura (°C)	1992	26,00	23,00	28,00	25,83	1,70
	1993	26,00	25,00	28,00	26,42	1,00
	1994	27,00	25,00	28,00	26,67	0,78
	1995	27,00	25,00	29,00	27,00	1,41
	1996	27,00	26,00	28,00	26,96	0,81
	1997	27,50	26,50	28,00	27,30	0,57
	1998	29,00	27,00	30,00	28,44	1,01
	1999	28,00	27,00	29,00	28,08	0,79
	2000	27,50	25,00	31,00	27,75	1,66
	2001	28,00	27,00	29,00	27,90	0,88
	2002	28,00	27,00	29,00	27,96	0,81
	2003	28,00	27,00	30,00	27,92	0,90
	2004	28,00	27,00	29,00	28,08	0,51

Continuação do Apêndice B

Parâmetro	Ano	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Cor (mg Pt/L)	1992	50,00	35,00	125,00	55,42	23,69
	1993	50,00	25,00	500,00	94,25	131,93
	1994	72,50	50,00	175,00	85,25	36,44
	1995	60,00	40,00	200,00	90,00	62,18
	1996	75,00	50,00	150,00	80,83	28,11
	1997	100,00	60,00	120,00	100,00	24,49
	1998	100,00	50,00	300,00	132,00	88,92
	1999	200,00	70,00	350,00	193,67	93,52
	2000	132,50	60,00	400,00	155,00	102,71
	2001	85,00	50,00	400,00	112,00	103,79
	2002	65,00	45,00	400,00	131,25	131,77
	2003	55,00	30,00	350,00	81,04	87,66
	2004	60,00	48,00	120,00	69,83	23,42
Turbidez (UNT)	1992	8,50	3,00	15,00	8,50	4,10
	1993	10,00	5,00	200,00	29,33	55,00
	1994	8,00	5,00	34,00	11,33	9,54
	1995	6,00	3,00	100,00	20,71	35,23
	1996	14,00	6,00	38,00	15,42	9,28
	1997	27,00	16,00	39,00	26,40	8,50
	1998	26,00	4,80	80,00	32,52	24,93
	1999	14,00	3,40	110,00	28,33	36,33
	2000	14,00	5,80	100,00	25,81	31,75
	2001	8,50	3,00	17,00	8,91	4,48
	2002	7,50	2,00	54,00	15,01	17,87
	2003	2,85	2,00	130,00	15,59	36,64
	2004	2,00	0,90	4,40	2,20	0,99
pH	1992	6,56	6,31	7,04	6,61	0,21
	1993	6,38	6,04	7,24	6,42	0,32
	1994	6,40	6,25	6,77	6,42	0,17
	1995	6,44	6,30	6,70	6,47	0,15
	1996	6,66	6,30	7,01	6,65	0,18
	1997	6,83	6,78	7,01	6,86	0,09
	1998	7,05	6,38	7,78	7,12	0,41
	1999	7,98	7,02	9,18	8,07	0,75
	2000	7,14	6,98	9,28	7,49	0,79
	2001	7,18	6,65	7,49	7,13	0,25
	2002	6,86	6,44	7,74	6,92	0,35
	2003	6,91	6,34	7,04	6,80	0,23
	2004	6,92	6,59	7,14	6,88	0,17

APÊNDICE C

Apêndice C - Estatísticas descritivas dos parâmetros de qualidade por período sazonal dos anos 1992 a 2004, na estação MS 03 do riacho Mussuré.

Parâmetro	Período	Mediana	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
OD (mg/L)	chuva	0,80	0,00	4,60	0,97	0,95
	seca	0,50	0,00	6,00	0,62	0,90
DBO (mg/L)	chuva	6,00	0,00	60,00	9,25	11,23
	seca	10,60	0,30	66,00	15,39	15,00
Temperatura (°C)	chuva	27,00	23,00	29,00	27,07	1,24
	seca	28,00	25,00	31,00	27,73	1,22
Cor (mg Pt/L)	chuva	89,00	25,00	500,00	113,23	95,21
	seca	61,50	30,00	400,00	100,02	83,65
Turbidez (UNT)	chuva	9,00	1,80	200,00	23,35	35,25
	seca	8,00	0,90	100,00	12,49	14,59
pH	chuva	6,85	6,04	8,01	6,83	0,37
	seca	6,83	6,16	9,28	7,01	0,75