

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA**

Ivanice Magalhães da Silva

**COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E USOS DO FATOR
DE CONTAMINAÇÃO E ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO PARA OS
SEDIMENTOS DA MICROBACIA DO ARROIO JOÃO CORRÊA, SÃO
LEOPOLDO, RS, BRASIL**

SÃO LEOPOLDO

2008

IVANICE MAGALHÃES DA SILVA

**COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA E USOS DO FATOR
DE CONTAMINAÇÃO E ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO PARA OS
SEDIMENTOS DA MICROBACIA DO ARROIO JOÃO CORRÊA, SÃO
LEOPOLDO, RS, BRASIL**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Geologia da Universidade do Vale
do Rio dos Sinos – UNISINOS, para obtenção do
Título de Mestre (Área de Concentração:
Gerenciamento Ambiental)**

Orientador: Prof^o Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen

Co-Orientador: Prof^o Dr. Osmar Gustavo Wöhl Coelho

SÃO LEOPOLDO

2008

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos

S586c

Silva, Ivanice Magalhães da.

Comparação dos índices de qualidade da água e usos do fator de contaminação e índice de geoacumulação para os sedimentos da Microbacia do Arroio João Corrêa, São Leopoldo, RS, Brasil / Ivanice Magalhães da Silva. – 2008. 220 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Geologia, 2008. "Orientador: Prof^o Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen".

1. Água – Qualidade - Aspectos ambientais – João Corrêa, Arroio (RS). 2. Água – Poluição - Aspectos ambientais – João Corrêa, Arroio (RS). 3. Água – Análise. 4. Gestão ambiental. 5. Hidrologia. 6. Água – Qualidade – Medição. 7. Controle de qualidade da água – São Leopoldo (RS). 8. Geologia. I. Título.

CDU – 556.04:504.4.054

Catálogo na publicação:
Bibliotecário Flávio Nunes – CRB 10/1298

*À minha mãe,
minha primeira e melhor mestre,
fonte constante de inspiração e amor,
e que sempre compreendeu minha ausência, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos...

...a Deus, pois, sem sua ajuda, nada teria sido possível;
...a minha mãe, ao amor, a educação, ao exemplo, a simplicidade, aos princípios éticos, a determinação e a força;
...ao Prof^o Dr. Marco Antonio Fontoura Hansen, por aceitar a orientação, pela paciência e disponibilidade a sanar minhas dúvidas e acima de tudo pela amizade em todos os momentos;
...ao Prof^o Dr. Osmar Gustavo Wöhl Coelho pela co-orientação;
... ao Prof^o Dr. Friedrich W. Herms e Prof^a Dr^a Mariza Tsao pela disponibilidade e participação na banca examinadora;
...ao SEMAE que financiou as análises de água;
...aos laboratoristas do SEMAE Maristela Paim, Ezequiel Mugge, Sinclair Soares, Ana Paula Scherer e Geni da Silva que trabalharam em minhas análises;
...ao Sr. Tenente Coronel Igor José Caldeira de Abreu do 18^o Batalhão de Infantaria Motorizada, RS, pela liberação para realizar as coletas na área do 18^o Batalhão;
...ao Sr. Pedro Rodrigues, pela boa vontade e por permitir a realização das coletas em P4;
...aos Laboratórios de Sedimentologia e Geoquímica da UNISINOS, em especial ao laboratorista Marcelo Weber e a técnica química Jalir Torres pela atenção, paciência, competência e profissionalismo;
...ao funcionário Alessandro Ott Reinhardt do laboratório de Sensoriamento Remoto da UNISINOS – LASERCA, pelo auxílio no tratamento das imagens;
...a amiga Samara Lautert pelo carinho, força e incentivo oferecido em todos os momentos;
...aos amigos Antonio Antiquiera, Fabrício Ferreira, Leonardo Florisbal e Patrícia C. Antúnez, pelo companheirismo e ajuda nas coletas de campo;
...ao colega e amigo Luis E. Pertovt pela alegria e companheirismo em todas as horas;
...à Prosup/Capes pela bolsa de mestrado;
...aos professores do curso de Pós-Graduação, dos quais tive a oportunidade de ser aluna e que muito contribuíram a minha formação, como disse Einstein, receberam os estudos como herança, o respeitaram, o aumentaram e agora o transmitem.

ORAÇÃO DA ÁGUA

*“Bendito sejais, ó Deus Criador, pela água,
criatura vossa, fonte de vida para a Terra e os seres que a povoam.
Bendito sejais, ó Pai Providente, pelos rios e mares imensos,
pela benção das chuvas, pelas fontes refrescantes
e pelas águas secretas do seio da terra.
Bendito sejais, ó Deus Salvador,
pela água feita vinho em Cana,
pela bacia do lava-pés
e pela fonte regeneradora do Batismo.
Perdoai-nos, Senhor Misericordioso,
pela contaminação das águas,
pelo desperdício e pelo egoísmo
que privam os irmãos desse bem tão necessário à vida.
Dai-nos, ó Espírito de Deus,
um coração fraterno e solidário
para usarmos a água com sabedoria e prudência
e para não deixar que ela falte
a nenhuma de vossas criaturas.
Ó Cristo, Vós que também tivestes sede,
ensinai-nos a dar de beber a quem tem sede.
E concedei-nos com fartura a água viva
que brota de Vosso coração e
jorra para a vida eterna.
Amém.”*

RESUMO

O arroio João Corrêa percorre a zona Sul de São Leopoldo, totalizando 7 km de comprimento, com uma área de 9,73 km². Tem sua nascente na divisa, com o município de Sapucaia do Sul, junto ao horto florestal, atravessando São Leopoldo, recebendo durante o seu curso efluentes domésticos e/ou industriais. Procurando uma avaliação quantitativa dos impactos ambientais relacionados às atividades humanas, principalmente à matéria orgânica, devida aos nutrientes e aos metais pesados, foi focalizado por esta pesquisa uma avaliação simultânea da qualidade da água, dos sedimentos do fundo e seu relacionamento com dinâmica hidrológica. Com relação a escolha de indicadores ambientais, foi usada uma escala amplamente difundida dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos (sólidos dissolvidos totais e suspensos, tamanho de grão dos sedimentos, condutividade elétrica, cor, odor, temperatura, turbidez, alcalinidade, alumínio, bário, cádmio, carbono inorgânico, cloretos, cromo, demanda química do oxigênio, dureza, ferro, fosfatos, manganês, nitrogênio, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, oxigênio dissolvido, potenciais hidrogeniônico e redox, sulfatos, zinco, bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes, coliformes totais, clorofila, demanda bioquímica do oxigênio e matéria orgânica). A metodologia para as análises foi a adotada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*, 20^a Ed (1998). Pela avaliação, correlação estatística e análise multivariada foram aplicadas para elaborar os índices estatísticos da qualidade (IQA) e da carga metálica da água do arroio. Assim, alguns índices atuais foram comparados, como os da CETESB, NSF, FEAM, COMITESINOS, estatístico, estado trófico (IET) e de carga metálica para qualidade de água, assim como índice de geoacumulação e fator de contaminação para os sedimentos de fundo. Finalmente, uma comparação dos índices da água e as taxas da contaminação dos sedimentos foram realizadas. A qualidade da água encontrada para todos os índices aplicados foi regular á péssima segundo o índice estatístico e o mais restritivo foi o índice do COMITESINOS. As condições dos estados eutrófico e hipereutrófico da água foram encontradas pelo método de IET, o que poderia ser relacionado à dinâmica hidrológica. Encontrou-se também uma contaminação de baixa a moderada para os sedimentos, mas os índices do geoacumulação apontaram uma contaminação forte do cádmio no curso final do rio. Os usos recomendados para a água ao longo do arroio foram classificados no nível 4, que segue a definição N^o 357/2005 do CONAMA. Os níveis encontrados para bário, cádmio e chumbo estão apontando uma influência forte de atividades antrópicas na microbacia.

ABSTRACT

The João Corrêa creek, with 7 km length and a 9.7 km² micro basin (MbaJC), has its main source into the forested hilly landscape of Sapucaia county and flows through out the São Leopoldo city, receiving along his course several urban wastes and industrial effluents. Looking for a quantified evaluation of environmental impacts related to human activities, mainly due organic matter, nutrients and heavy metals, it was focused by this research a simultaneous assessment of water and bottom sediments quality and its relationship with hydrologic dynamics. Concerning the choice of environmental indicators, it was used first a widespread range of physical, chemical and microbiological parameters, (dissolved and suspended solids, grain size of sediments, electrical conductivity, color, smell, total solids, temperature, turbidity, alkalinity, aluminum, barium, cadmium, inorganic carbon, chlorides, chromium, lead, chemical demand of oxygen, hardness, iron, phosphates, manganese, nitrogen, ammoniac nitrogen, nitrite and nitrate, dissolved oxygen, hydrogen and redox potentials, sulfides, zinc, heterotrophic bacterias, thermotolerant coliformes, total coliformes, chlorophyll, biochemical oxygen demand and organic substances). The adopted analyses methodology was the described in *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20^a Ed (1998). By the way, statistical correlation and multivariate analysis were applied to build up statistical indexes of quality (IQA) and metallic load of the stream water. So far, some current water quality indexes were compared, as CETESB, NSF, FEAM, COMITESINOS, statistical, trophic state (TEI) and metallic load, as well accumulation factor and geoaccumulation indexes to bottom sediments. Finally, a full comparison of water indexes and sediments contamination rates was carried out. The water quality was found regular to very poor by statistical index; the most restrictive was the COMITESINOS index. Eutrophic and hipereutrophic water conditions were found by TEI method, what could be related to hydrological dynamics. It was also found a low to moderated contamination of sediments, but the geoaccumulation indexes pointed a strong contamination of cadmium in the final river course. The recommended uses of freshwater along the water stream were classified in level 4 following the CONAMA Resolution N° 357/2005. The levels found to Barium, Cadmium and Lead are pointing a strong influence of antropic activities in the micro basin.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Diagrama de Hjulström que relaciona as variações entre a velocidade média e o tamanho das partículas para os processos de erosão, transporte e deposição	67
FIGURA 2 - Mapa de localização da MbaJC	72
FIGURA 3 - Mapa de solos presentes na MbaJC	75
FIGURA 4 - Mapa de zoneamento da MbaJC	77
FIGURA 5 – Mapa dos bairros e pontos de amostragem da MbaJC	78
FIGURA 6 – Fluxograma da concepção metodológica para a MbaJC	82
FIGURA 7 - Mapa com fotografias ilustrativas dos pontos de amostragem da MbaJC	85
FIGURA 8 – Procedimentos para análise granulométrica dos sedimentos de fundo da MbaJC	86
FIGURA 9 - Passos utilizados no SPSS 15 para obtenção dos complementares que foram aplicados na obtenção do IQA estatístico	104
FIGURA 10 - Ano hidrológico da precipitação das estações para a MbaJC	110
FIGURA 11 - Curva-chave representando o P1, nos períodos de coleta da MbaJC	112
FIGURA 12 - Perfil de fundo de P1, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano	112
FIGURA 13 - Curva-chave representando o P2, nos períodos de coleta da MbaJC	113
FIGURA 14 - Perfil de fundo de P2, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano	113
FIGURA 15 - Curva-chave representando o P3, nos períodos de coleta da MbaJC	114
FIGURA 16 - Perfil de fundo de P3, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano	114
FIGURA 17 - Curva-chave representando o P4, nos períodos de coleta da MbaJC	115
FIGURA 18 - Perfil de fundo de P4, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano	115
FIGURA 19 - Curva-chave representando o P5, nos períodos de coleta da MbaJC	116
FIGURA 20 - Perfil de fundo de P5, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano	116
FIGURA 21 - Curva hipsométrica do leito do arroio João Corrêa	117
FIGURA 22 - Mapa dos tipos de solos, unidades de conservação e pontos de amostragem da MbaJC	118
FIGURA 23 - Percentual de seixo fino presente no sedimento de fundo relacionado com a vazão da MbaJC	119
FIGURA 24 - Percentual de seixo muito fino presente no sedimento de fundo relacionado com a vazão da MbaJC	120
FIGURA 25 - Percentual de areia muito grossa presente no sedimento de fundo relacionada com a vazão da MbaJC	121
FIGURA 26 - Percentual de areia grossa presente no sedimento de fundo relacionada com a altitude e a vazão da MbaJC	122
FIGURA 27 - Percentual de areia média presente no sedimento de fundo relacionada com a vazão da MbaJC	123
FIGURA 28 - Percentual de areia fina presente no sedimento de fundo relacionada com a vazão da MbaJC	123
FIGURA 29 - Percentual de areia muito fina presente no sedimento de fundo relacionada com a vazão da MbaJC	124

FIGURA 30 - Percentual de silte e argila presente no sedimento de fundo relacionada com a vazão da MbaJC	125
FIGURA 31 - Percentual da matéria orgânica presente no sedimento de fundo relacionada com a vazão da MbaJC	126
FIGURA 32 - Relação do silte e argila com a matéria orgânica presentes nos pontos de amostragens de fundo da MbaJC	127
FIGURA 33 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hujlstron no inverno	129
FIGURA 34 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hujlstron na primavera	129
FIGURA 35 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hujlstron no verão	130
FIGURA 36 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hujlstron no outono	130
FIGURA 37 - Variações das concentrações de cádmio nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e o valor de referência de poluição	131
FIGURA 38 - Variações das concentrações de cromo nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e o valor de referência de poluição	132
FIGURA 39 - Variações das concentrações de níquel nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e o valor de referência de poluição	133
FIGURA 40 - Variações das concentrações de chumbo nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e o valor de referência de poluição	134
FIGURA 41 - Variações das concentrações de fósforo nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e o valor de referência de poluição	135
FIGURA 42 - Variações da cor aparente nas amostragens de água da MbaJC	137
FIGURA 43 - Contribuição de efluente do bairro Santa Tereza próximo a P3 na MbaJC	138
FIGURA 44 - Contribuição de efluente do bairro São Miguel próximo a P6 na MbaJC	138
FIGURA 45 - Contribuição de efluente da ETE próximo ao P5 na MbaJC	139
FIGURA 46 - Variações da turbidez nas amostragens da água da MbaJC	141
FIGURA 47 - Variações de alumínio nas amostragens de água da MbaJC	142
FIGURA 48 - Variações de bário nas amostragens de água da MbaJC	143
FIGURA 49 - Variações de cádmio nas amostragens de água da MbaJC	144
FIGURA 50 - Variações de cobre nas amostragens de água da MbaJC	145
FIGURA 51 - Variações de cromo hexavalente nas amostragens de água da MbaJC	146
FIGURA 52 - Variações de chumbo nas amostragens de água da MbaJC	147
FIGURA 53 - Variações da DBO ₅ nas amostragens de água da MbaJC	148
FIGURA 54 - Variações de ferro total nas amostragens de água da MbaJC	149
FIGURA 55 - Variações de fósforo total nas amostragens de água da MbaJC	150
FIGURA 56 - Variações de manganês nas amostragens de água da MbaJC	151
FIGURA 57 - Variações de oxigênio dissolvido nas amostragens de água da MbaJC	153
FIGURA 58 - Variações de zinco total nas amostragens de água da MbaJC	156
FIGURA 59 - Variações de bactérias heterotróficas nas amostragens de água da MbaJC	157
FIGURA 60 - Variações de coliformes termotolerantes nas amostragens de água da MbaJC	158
FIGURA 61 - Resultado da aplicação do IQA na MbaJC aplicando CETESB	160
FIGURA 62 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA CETESB para a MbaJC	160
FIGURA 63 - Resultado da aplicação do IQA da NSF para a MbaJC	162

FIGURA 64 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA NSF para a MbaJC	162
FIGURA 65 - Resultado da aplicação do IQA para MbaJC utilizando o COMITESINOS para MbaJC	164
FIGURA 66 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA COMITESINOS para a MbaJC	165
FIGURA 67 - Resultado da aplicação do IQA da FEAM para a MbaJC	166
FIGURA 68 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA da FEAM para a MbaJC	167
FIGURA 69 – Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA estatístico para a MbaJC	173
FIGURA 70 - Mapa do índice do estado trófico para a MbaJC	175

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Faixa de valores do IQA e segundo nível de qualidade, faixa de variação e de cor de referência	59
TABELA 2 - Faixas de qualidade de água para o IQA do COMITESINOS	60
TABELA 3 - Nível de qualidade segundo FEAM	61
TABELA 4 - Faixas de qualidade para o IQA estatístico	62
TABELA 5 - Escala de valores para a classificação do IET	63
TABELA 6 - Classificação do Estado trófico segundo o índice de Carlson modificado	63
TABELA 7 - Nível de base natural dos metais pesados em $\mu\text{g g}^{-1}$	65
TABELA 8 - Classificação dos parâmetros pelo IGeo de metais pesados nos sedimentos, conforme o grau de poluição	66
TABELA 9 - Relação das ruas e avenida com a espessura do cano das áreas canalizadas da MbaJC	79
TABELA 10 - Localização dos pontos de amostragem	85
TABELA 11 - Elementos analisados e tamanho das peneiras utilizadas	87
TABELA 12 - Parâmetros e técnicas utilizadas para a avaliação da qualidade da água da MbaJC	90
TABELA 13 - Parâmetros determinados com a utilização da sonda multiparâmetros	90
TABELA 14 - Parâmetros e pesos relativos para cálculo do IQA da CETESB	93
TABELA 15 - Parâmetros e pesos relativos para cálculo do IQA do COMITESINOS	98
TABELA 16 - Parâmetros e pesos relativos para cálculo do IQA da FEAM	100
TABELA 17 - Dados referente às precipitações ocorrentes na MbaJC	111
TABELA 18 - Vazão nos pontos de coleta ao longo do perfil realizado na MbaJC	111
TABELA 19 - Resultado dos teores da MO nas diferentes épocas de amostragem	126
TABELA 20 - Ocorrência das maiores concentrações da granulometria de sedimento para os pontos de amostragem ao longo da MbaJC	128
TABELA 21 - Características sentidas e observadas durante o período da realização das amostragens	139
TABELA 22 - Resultado da aplicação do IQA da CETESB para a MbaJC	159
TABELA 23 - Resultados da aplicação do IQA da NSF para a MbaJC	161
TABELA 24 - Resultado da aplicação do IQA do COMITESINOS para a MbaJC	163
TABELA 25 - Resultado da aplicação do IQA da FEAM para a MbaJC	166
TABELA 26 - Matriz de correlação de <i>Pearson</i> para obtenção do IQA estatístico	168
TABELA 27 - Matriz de comunalidade	169
TABELA 28 - Resultados dos fatores comuns associados aos autovalores e variância	169
TABELA 29 - Comparação entre cargas de fatores não-rotacionada e rotacionada	170
TABELA 30 - Resultados do IQA estatístico para a MbaJC	172
TABELA 31 - IET obtido para a clorofila e o fósforo total nos diferentes pontos de coleta da MbaJC	174
TABELA 32 - Valores obtidos da aplicação do IET médio para a clorofila e o fósforo	174
TABELA 33 - Fator de contaminação para os metais pesados nos sedimentos da MbaJC	176
TABELA 34 - Valores de IGeo obtido a partir do <i>background</i> da área da MbaJC	178
TABELA 35 - Valores do IGeo obtido a partir do nível de base natural da EPA (1997)	179
TABELA 36 - Valores do IGeo obtido a partir do nível da base natural de Turekian e Wedepohl (1961)	180

TABELA 37 - Valores do IGeo obtido a partir do nível de base natural de Martin e Whilfield (1983)	181
TABELA 38 - Matriz de correlação de <i>Pearson</i> para obtenção do ICM	182
TABELA 39 - Matriz de comunalidade	183
TABELA 40 - Resultados dos fatores comuns associados autovalor e variância	183
TABELA 41 - Comparação entre cargas de fatores rotacionada e não rotacionada	184
TABELA 42 - Resultados do ICM para a MbaJC	186

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AH - Ácido Húmico

AF – Ácido Fúlvico

Al - Alumínio

AUS – Ausência

Bo - Boa

Ba - Bário

BH - Bactérias Heterotróficas

BHRS - Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos

B - Bom

Ca – Cálcio

CAESB – Companhia de Água e Esgoto de Brasília

Cd – Cádmi

Cdtv - Condutividade

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo

CL - Clorofila

Cl⁻ - Cloreto

CO₂ - Carbono Inorgânico

CO₃²⁻ - Carbonato

**COMITESINOS - Comitê de Preservação, Gerenciamento e Pesquisa da Bacia
Hidrográfica do Rio dos Sinos**

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

Cr - Cromo

Cr⁶⁺ - Cromo hexavalente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente - RS

Cte – Coliformes Termotolerantes

Cto – Coliformes Totais

Cu - Cobre

D - Detectado

DBO₅ - Demanda Bioquímica de Oxigênio medida em cinco dias

DNAE - Departamento Nacional de Energia

DNAEE - Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica

DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral

DQO - Demanda Química de Oxigênio

E - Excelente

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMBRATEL - Empresa Brasileira de Telecomunicações

EPA - *Environmental Protection Agency*

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

EX – Muito Fortemente Poluído

FC - Fator de contaminação

FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais

FEC – Forte a Muito Fortemente Poluído

FEE - Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Heuser

Fe – Ferro

FP – Fortemente Poluído

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler – RS

g - Gramas

GPS – *Global Positioning System*

HCO₃⁻ - Bicarbonato

HF – Ácido Fluorídrico

H₂O - Molécula de Água

ICM - Índice de Carga Metálica

ICP-AES – *Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IET - Índice do Estado Trófico

IET(CL) - Índice do Estado Trófico para a Clorofila

IET(P) - Índice do Estado Trófico para o Fósforo

IGeo - Índice de Geoacumulação

INV - Inverno

IQA - Índice de Qualidade da Água

kg - Quilograma

L - Litros

M - Média

Máx - Máxima

MbaJC - Microbacia do arroio João Corrêa

MC - Moderadamente Poluído

MDP - Moderadamente Poluído
MFP - Moderadamente a Fortemente Poluído
Mg – Magnésio
mg - Miligramas
Mín - Mínimo
mm - Milímetro
Mn - Manganês
MO - Matéria Orgânica
MP - Muito Poluído
MR – Muito Ruim
N – Nitrogênio
N₂ – Nitrogênio molecular
NBN - Nível de base natural
NBR - Norma Brasileira de Coleta e Preservação de Amostras
NC - Praticamente Não Poluído
ND - Não Detectado
Ni - Níquel
NH₃ - Amônia
NH₄⁺ - Amônio
NMP – Número mais Provável
NO₂⁻ - Nitrito
NO₃⁻ - Nitrato
NP - Não Poluído
NSF - *National Sanitation Foundation*
O₂ – Oxigênio Molecular Dissolvido
OD - Oxigênio Dissolvido
OH⁻ - Hidróxido
OMS – Organização Mundial de Saúde
ORP - Potencial Redox
OUT - Outono
P - Fósforo total
Pb – Chumbo
Pe - Péssima
PFG - Peso Final de Grosseiros

pH - Potencial Hidrogeniônico

PHI - Fi

PIA - Pesagem Inicial da Amostra

PIG - Peso Inicial de Grosseiros

PMD – Pouco a Moderadamente Poluído

PNRH - Política Nacional de Recursos Hídricos

PO₄³⁻ - Fosfato total

ppm – Partes por Milhão

PRES – Presente

PRI - Primavera

Re – Regular

Ru - Ruim

SEMA - Secretaria Especial do Meio Ambiente

SEMAE - Serviço Municipal de Águas e Esgotos de São Leopoldo

SEMPLA - Secretaria Municipal de Planejamento de São Leopoldo

SEUC - Sistema Estadual de Unidades de Conservação

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SNGRH - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SPSS – *Statistical Package for Social Sciences*

SO₄²⁻ - Sulfatos

STD – Sólidos Dissolvidos Totais

Sr - Estrôncio

TMa - Teor máximo

TMe - Teor médio

TMi - Teor mínimo

uC – Unidades de cor

UFC - Unidades Formadoras de Colônia

uH - Unidade Hazen

UNT - Unidade Nefelométrica de Turbidez

UNIAGUA - Universidade da Água

UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos

USEPA - *United States Environmental Protection Agency*

uT - Unidade de Medida de Turbidez

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

VER - Verão

VMP - Valor Máximo Permitido

WQI - *Water Quality Index*

Zn – Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 Caracterização do Problema.....	24
2 OJETIVOS.....	26
2.1 Objetivo geral.....	26
2.2 Objetivos específicos.....	26
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
3.1 Parâmetros e indicadores de qualidade da água.....	28
3.1.1 Qualidade da água - caracterização física, química e microbiológica.....	29
3.1.2 Características físicas.....	29
3.1.2.1 Condutividade.....	30
3.1.2.2 Cor.....	30
3.1.2.3 Odor e Sabor.....	31
3.1.2.4 Sólidos dissolvidos totais e suspensos.....	31
3.1.2.5 Temperatura.....	32
3.1.1.6 Turbidez.....	33
3.1.3 Características químicas.....	33
3.1.3.1 Alcalinidade.....	34
3.1.3.2 Alumínio.....	34
3.1.3.3 Bário.....	35
3.1.3.4 Cádmio.....	35
3.1.3.5 Carbono inorgânico livre.....	36
3.1.3.6 Cobre.....	36
3.1.3.7 Cloreto.....	37
3.1.3.8 Cromo.....	37
3.1.3.9 Chumbo.....	38
3.1.3.10 Demanda bioquímica de oxigênio.....	38
3.1.3.11 Demanda química de oxigênio.....	39
3.1.3.12 Dureza.....	40
3.1.3.13 Ferro total.....	41
3.1.3.14 Fosfato total.....	41
3.1.3.15 Fósforo total.....	42
3.1.3.16 Manganês.....	43
3.1.2.17 Matéria orgânica.....	43
3.1.3.18 Nitrogênio.....	44
3.1.3.19 Nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato.....	44
3.1.3.20 Oxigênio dissolvido.....	45
3.1.3.21 Potencial hidrogeniônico.....	46
3.1.3.22 Potencial redox.....	47
3.1.3.23 Sulfato.....	48
3.1.3.24 Zinco total.....	48
3.1.4 Características microbiológicas.....	49

3.1.4.1 Bactérias heterotróficas.....	49
3.1.4.2 Coliformes termotolerantes.....	50
3.1.4.3 Coliformes totais.....	51
3.1.4.4 Clorofila.....	51
3.2 Qualidade do sedimento - caracterização dos metais pesados.....	51
3.2.1 Cádmio.....	51
3.2.2 Chumbo.....	52
3.2.3 Cromo.....	52
3.2.4 Níquel.....	53
3.3 Elementos indicadores para qualidade da água e sedimento.....	53
3.4 Indicadores de qualidade ambiental.....	56
3.5 Critérios de qualidade de água baseado em indicadores de poluição.....	57
3.5.1 Índice de qualidade de água (IQA).....	57
3.5.2 IQA da CETESB.....	58
3.5.3 IQA da NSF.....	59
3.5.4 IQA do COMITESINOS.....	60
3.5.5 IQA da FEAM.....	60
3.5.6 IQA estatístico.....	61
3.5.7 Índice do estado trófico (IET).....	62
3.5.7.1 Oligotrófico.....	64
3.5.7.2 Mesotrófico.....	64
3.5.7.3 Eutrófico.....	64
3.5.7.4 Hipereutrófico.....	64
3.5.8 <i>Background</i>	64
3.5.9 Fator de contaminação.....	65
3.5.10 Índice de geoacumulação.....	65
3.5.11 Índice de carga metálica.....	66
3.6 Análise Granulométrica.....	66
3.6.1 Diagrama de Hjulström.....	67
3.7 Gestão dos recursos hídricos - normas e legislação ambiental.....	68
4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	71
4.1 Localização.....	71
4.2 Aspectos climáticos.....	73
4.3 Geologia.....	73
4.4 Geomorfologia.....	74
4.5 Pedologia.....	74
4.6 Uso e ocupação.....	76
4.7 Vegetação.....	80
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	82
5.1 Materiais e equipamentos.....	83
5.2 Métodos.....	83
5.3 Amostragem de campo e análises laboratoriais.....	86
5.3.1 Sedimento.....	86
5.3.2 Água.....	89

5.3.3 Medição da vazão.....	91
5.3.4 Medição de precipitação.....	91
5.4 Índices de qualidade da água.....	92
5.4.1 IQA da CETESB.....	92
5.4.2 IQA do COMITESINOS.....	98
5.4.3 IQA da FEAM.....	100
5.4.4 IQA estatístico.....	104
5.5 Índice do estado trófico	106
5.6 Nível de base natural (<i>background</i>).....	107
5.7 Índices de poluição.....	107
5.7.1 Fator de contaminação.....	108
5.7.2 Índice de geoacumulação.....	108
5.7.3 Índice de carga metálica.....	108
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	110
6.1 Análise da precipitação e vazões da MbaJC.....	110
6.2 Caracterização da MbaJC.....	117
6.3 Análises granulométricas.....	119
6.4 Análise de variáveis químicas dos sedimentos de fundo da MbaJC.....	131
6.5 Análise das variáveis da água da MbaJC.....	136
6.5.1 Análises físicas da água.....	136
6.5.2 Análises químicas da água.....	141
6.5.3 Análises microbiológicas da água.....	156
6.6 Análise da qualidade da água da MbaJC.....	158
6.6.1 Qualidade da água de acordo com o IQA da CETESB.....	159
6.6.2 Qualidade da água de acordo com o IQA da NSF.....	161
6.6.3 Qualidade da água de acordo com o IQA do COMITESINOS.....	163
6.6.4 Qualidade da água de acordo com o IQA da FEAM.....	165
6.6.5 Qualidade da água de acordo com o IQA estatístico.....	167
6.6.5.1 Análise estatística.....	168
6.6.5.2 Fórmula e estimativa do IQA estatístico.....	171
6.7 Índice do estado trófico	173
6.8 Índices de poluição.....	176
6.8.1 Fator de contaminação.....	176
6.8.2 Índice de geoacumulação.....	177
6.8.3 Índice de carga metálica	182
6.8.3.1 Fórmula e estimativa do ICM.....	185
7 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	187
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	190
APÊNDICE A - Padrões dos corpos de água doce conforme a Resolução do CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, Ministério do Meio Ambiente.....	200
APÊNDICE B – Dados da precipitação do ano hidrológico para a MbaJC, de junho a agosto de 2006.....	201
APÊNDICE C – Quadro com os dados hidrológicos dos pontos de amostragem ao longo da MbaJC.....	205

APÊNDICE D - Resultado das análises granulométrica dos sedimentos por gráfico de frequência (%) simples do arroio João Corrêa.....	207
APÊNDICE E - Resultados das análises químicas do fósforo, cromo, níquel, cádmio e chumbo realizada nos sedimentos de fundo da MbaJC.....	208
APÊNDICE F - Resultados das análises físicas e químicas da água da MbaJC, realizadas <i>in loco</i> com a sonda multiparâmetros YSI-6.600 no inverno (17/08/06).....	209
APÊNDICE G – Gráficos ilustrativos da análise física da água da MbaJC.....	210
ANEXO A – Curvas médias de variação da qualidade das águas.....	216
ANEXO B – Resultados das análises físicas, químicas e biológicas das águas da MbaJC, realizadas pelo SEMAE.....	217

1 INTRODUÇÃO

A água, importante recurso natural da Terra, é imprescindível para a geração e manutenção de todas as formas de vida. Lagos e rios são as principais fontes de água potável, mesmo constituindo, em seu conjunto, menos de 0,01% do suprimento total da água. Cada ser humano consome diariamente 2,5 litros de água doce para manter-se vivo (BRANCO, 1991; BAIRD, 2002), mas normalmente utiliza muito mais para cozinhar, lavar e para higiene. A estimativa do consumo de água residencial por pessoa é de 90 a 120 litros por dia nos centros urbanos.

A degradação desse recurso vem agravando as dificuldades para seu aproveitamento e intensificando sua escassez. No mundo inteiro, a qualidade das águas está sendo afetada pela poluição e pelo uso inadequado das terras. A água serve de *habitat* para inúmeras espécies de vegetais, animais e microrganismos que podem ser afetados pela alteração dos componentes da água. Por ser o único elemento indispensável para o desenvolvimento de uma região, a água talvez seja o principal elo entre os diferentes compartimentos de um ecossistema (BRANCO, 1991; EPA, 2006).

A sociedade precisa desenvolver, habilidades – conscientização, conhecimento, procedimentos e instituições – para administrar o uso da água, de forma integrada e abrangente, mantendo assim a qualidade e a quantidade do suprimento de água para as pessoas e para os ecossistemas (MÜLLER, J., 2005).

Vê-se a necessidade de recuperar, ou seja, restaurar a natureza que hoje se encontra tão maltratada pelo homem. A poluição com efluentes industriais e resíduos domésticos, sendo estes orgânicos ou inorgânicos, no estado sólido ou dissolvido, faz com que os cursos de água se tornem verdadeiros depósitos de resíduos da sociedade humana. Esse descaso pode estar associado à busca do desenvolvimento econômico e ao conforto do homem, assim acabam não dando o valor apropriado a esse bem.

Os esgotos contêm além de fezes humanas, restos de alimentos e detergentes, sendo atribuídos a estes a responsabilidade principal pela poluição da água, resultando em dois problemas sérios, a contaminação por bactérias patogênicas e por substâncias orgânicas capazes de serem transformadas por microrganismos.

Os metais pesados são despejados através de efluentes industriais e domésticos diretamente dentro dos rios ou arroios, sendo a ação desses metais prejudicial, diversificada e

profunda para o ser humano. Entre os mais perigosos estão o mercúrio, o cádmio e o chumbo (MAGOSSO e BONACELLA, 2003).

A humanidade precisa de maiores conhecimentos e informações para tomar atitudes concretas com as questões ambientais, os quais só podem ser adquiridos e transmitidos através de estudos científicos mais detalhados em áreas problemáticas, que a cada dia se alastram. É importante conservar os recursos hídricos, para garantir a qualidade. Por intermédio de estudos do meio ambiente podem ser realizados levantamentos, avaliações e lançar propostas para assim planejar e buscar soluções para os problemas.

Parâmetros físico-químicos e biológicos são análises importantes para a caracterização e interpretação da qualidade da água. Para este fim é necessário o monitoramento dos efluentes e cursos de água, cujos resultados permitirão conhecer a verdadeira situação em que este sistema se encontra. Existem inúmeras substâncias, presentes na água que não devem ultrapassar os limites máximos permitidos pela legislação vigente, pois se tornam nocivos a saúde em uso contínuo, assim como para a sobrevivência de organismos aquáticos.

1.1 Caracterização do Problema

Optou-se por estudar a Microbacia do arroio João Corrêa (MbaJC) pelo fato deste não apresentar nenhum estudo sistemático, que permita a avaliação das atuais condições, da nascente até a foz.

Uns dos poucos estudos disponíveis na literatura são referentes às análises realizadas na foz e no canal, que foram utilizados para avaliar a qualidade da água. Estudos de Robaina *et al.* (2000) e FEPAM (2006), permitiram enquadrar o arroio João Corrêa na faixa ruim (entre 26 a 50), de acordo com o Índice de Qualidade da Água (IQA) do Comitesinos (1990). Segundo Robaina *et al.* (2002), o arroio João Corrêa apresentou um risco ambiental baixo a moderado para a avaliação de metais pesados nos sedimentos correntes, a partir de análises realizadas em apenas dois pontos (canal e efluente do Rossi). Dos metais analisados (Cr, Cu, Zn, Pb, Ni, Cd) somente o zinco e o chumbo encontram-se na classe de moderado os demais apresentam valores considerados baixos para a análise numérica do grau de poluição utilizada.

O arroio João Corrêa está sendo altamente impactado, por receber distintas descargas de poluentes oriundas das canalizações de efluentes domésticos e industriais, da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e parte do deflúvio superficial urbano de São Leopoldo. A carga

de poluentes lançada no arroio atinge também o rio dos Sinos, colocando em risco os ecossistemas a este associados.

Algumas das atividades realizadas por indústrias situadas na MbaJC são a indústria gráfica, fabricação de rolamentos, distribuição de graxa automotiva, fabricação de armas, fundição de precisão, alumínio e ferro, fabricação de silicato de etila e ácido clorídrico, produção de peças em elastômeros termoplásticos.

2 OBJETIVOS

Os temas abordados a seguir são referentes aos objetivos geral e específicos para a área de estudo da Microbacia do arroio João Corrêa (MbaJC).

2.1 Objetivo Geral

Quantificar impactos ambientais causados na MbaJC pelos efluentes domésticos e industriais a partir da caracterização física, química e microbiológica de água e sedimentos.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste estudo são os seguintes:

- Avaliar a distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo, ao longo do arroio João Corrêa;
- Analisar a distribuição dos metais em água e sedimentos ao longo do arroio;
- Obter índices de qualidade de água, geoacumulação e de carga metálica;
- Caracterização da vazão;
- Realizar o enquadramento da água da MbaJC, segundo a Resolução do CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005;
- Comparar diferentes tipos de Índices de Qualidade de Água (IQA).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A qualidade das águas superficiais depende do clima, das rochas e solos, da vegetação, do ecossistema aquático e da influência do homem. Os fenômenos físicos, químicos e biológicos interagem no todo e não de forma isolada, mantendo relações com o meio e dependendo simultaneamente do mesmo, podendo sofrer variações positivas ou negativas. Assim como indicadores de alterações ambientais, deve-se considerar todos os parâmetros quantitativos ou qualitativos que podem ser capazes de evidenciar modificações nas análises da água e sedimentos (PORTO, 1991; MACHADO, 1997).

Nas cidades em desenvolvimentos a expansão dos centros urbanos é importante, mas o crescimento sócio-econômico modifica a composição física, química e biológica do ambiente, por meio das fontes antropogênicas que incluem os resíduos industrial e doméstico, sendo drenados diretamente dentro dos rios. O sedimento tem sido usado como indicador ambiental, as análises químicas fornecem informações significativas para a avaliação das atividades antropogênicas (SINGH *et al.*, 2002).

Os sedimentos são utilizados para identificação das fontes pontuais e distribuição dos poluentes, refletindo a qualidade do sistema aquático, são vetores de poluentes, pois sua natureza geoquímica permite tanto a adsorção como a liberação de poluentes capazes de afetar severamente a biota aquática e a qualidade da água. A comparação das concentrações totais em água e sedimentos de fundo, através de um perfil longitudinal ao longo do arroio, permite detectar anomalias metálicas e possíveis fontes de contaminação. O sedimento de fundo ou superficial é considerado como o resultado da interação de todos os processos, que ocorrem em um ecossistema aquático influenciando no metabolismo de todo o sistema (FÖRSTNER e WITTMAN, 1981; ESTEVES, 1998; MINELLA e MERTEN, 2006).

As análises realizadas em sedimentos aquáticos podem indicar a distribuição das concentrações naturais ou antrópicas de certos elementos, esses sedimentos representam toda a integração dos processos que ocorrem no sistema aquático à montante e precisa ser estudada para determinar a poluição ambiental. Atualmente, um dos problemas mais sérios que afetam o meio ambiente é a poluição química de natureza orgânica ou inorgânica, decorrente dos despejos residenciais e industriais, sendo estes atribuídos em sua grande maioria aos elementos-traço. Alguns são substâncias altamente tóxicas e não são compatíveis com a maioria dos tratamentos biológicos de efluentes existentes (SINGH *et al.*, 2002; AGUILAR *et al.*, 2002; MOREIRA e BOAVENTURA, 2003).

A introdução e a distribuição de metais pesados no sistema aquático ocorrem tanto naturalmente, por processos geoquímicos ou intemperismo, como através das ações antrópicas. Os metais apresentam uma alta permanência no meio hídrico, a avaliação dos níveis de contaminação metálica não deve ser baseada unicamente na comparação com índices legais, deve-se incorporar uma análise dinâmica das concentrações monitoradas na água e sedimento, de forma a compreender o comportamento do corpo hídrico, fornecendo bases sólidas para avaliar o risco a elas associadas (TRAVASSOS, 1994; YABE e OLIVEIRA, 1998; CARMO *et al.*, 2005).

O impacto ambiental causado por metais pesados através das atividades antrópicas é preocupante, principalmente, em ambientes em que as populações interagem diretamente. Através dos sedimentos, por serem um compartimento de acumulação de espécies poluentes a partir da coluna de água, tem-se a possibilidade de conhecer as principais fontes de poluição no sistema aquático. Entre os poluentes ambientais os metais pesados são os mais comuns, suas fontes podem ser naturais ou antrópicas podendo estar presente tanto nas águas como ser absorvidos nos sedimentos ou acumulados em organismos bentônicos. Quando retidos nos sedimentos estes podem atuar como portadores e dissipadores. Por meio da avaliação de metais em sedimentos verifica-se que estes permanecem por longos períodos no ambiente. Pelo fato de não serem biodegradáveis permanecem nos ciclos biogeoquímicos, sendo as águas naturais seu principal meio de condução, podendo assim acumular-se em níveis elevados no ecossistema aquático. A biodisponibilização do acúmulo desses metais pode ser afetada devido às mudanças ambientais, por reações de oxi-redução ou ainda re-suspensão. Assim os metais presentes nos sedimentos podem ser disponibilizados novamente para a coluna de água (JESUS *et al.*, 2004; SINGH *et al.*, 2005; COTTA *et al.*, 2006).

3.1 Parâmetros e indicadores de qualidade da água

Os padrões da qualidade da água são utilizados para que se possam regulamentar as classes de qualidade da água, dependendo do uso a que ela está destinada, atendendo aos propósitos de: manter a qualidade do curso da água ou definir a meta a ser atingida e os níveis de tratamento a serem adotados na bacia, de modo que os efluentes lançados não alterem as características do curso da água pelo padrão estabelecido pela CONSEMA N° 128/06. Os padrões que regulamenta a classificação dos corpos de água superficiais é a Resolução do

CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, conforme apêndice A. Esses padrões são utilizados para proteger a qualidade e assegurar os usos previstos.

A potabilidade da água segue a definição estabelecida pela Organização Mundial da Saúde (OMS), onde água potável é aquela que apresenta aspecto límpido e transparente, não apresente gosto ou cheiro objetável, que não contenha nenhum tipo de microrganismo que possa causar doença ou qualquer outra substância com concentrações que venham a trazer prejuízos à saúde. No Brasil esses padrões são definidos pela Portaria N° 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, que apresenta valores máximos permitidos (VMP) de concentração para as diferentes substâncias presentes na água.

3.1.1 Qualidade da água - caracterização física, química e microbiológica

Os conceitos de qualidade da água e poluição estão comumente interligados, porém, a qualidade da água reflete sua composição quando afetada por causas naturais e por atividades antropogênicas. A poluição, entretanto, decorre de uma mudança na qualidade física, química, radiológica ou biológica do ar, água ou solo, que podem ser prejudiciais ao uso presente, futuro e potencial do recurso (BRANCO, 1991).

A água contém diferentes componentes que podem ser divididos em químicos, físicos e microbiológicos. Estes por sua vez podem ter origem do próprio ambiente ou introduzido por atividades humanas.

Para as análises das águas e a correta avaliação dos parâmetros, que serão utilizados neste estudo, a definição dessas propriedades (físicas, químicas e microbiológicas) é de suma importância, por serem os indicadores da qualidade da água, avaliados por condições e padrões específicos, pois estas podem apresentar concentrações superiores às estabelecidas na legislação vigente.

3.1.2 Características físicas

A água possui inúmeras propriedades físicas, fundamentais na formação e manutenção dos sistemas aquáticos.

O ser humano por intermédio dos sentidos consegue perceber alterações ocorridas nas águas, através das características físicas de potabilidade, as quais se espera que seja inodora,

incolor e insípida. Mas a água presente na natureza apresenta cor, devido à presença de material orgânico em decomposição, cheiro e até gosto, que são retiradas por tratamentos e desinfecções.

Os parâmetros físicos que foram utilizados neste estudo são: condutividade, cor, odor, sólidos totais dissolvidos e suspensos, temperatura, turbidez descritas a seguir.

3.1.2.1 Condutividade

A água pura possui a capacidade de solubilização de substâncias, principalmente de sais, que fazem com que as águas naturais tenham, em geral, altos valores de condutividade elétrica. Essa condutividade depende da estequiometria do mineral dissolvido (ânions e cátions presente) da sua concentração (APHA, 1998). A condutividade aumenta também com a temperatura (LIBÂNIO, 2005).

Os íons são carregados para os corpos de água por intermédio das chuvas ou despejos de esgotos. A condutividade pode fornecer informações sobre o metabolismo aquático, informações sobre a magnitude da concentração iônica, auxiliar na detecção das fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos e de diferenças geoquímicas (ESTEVES, 1998).

A condutividade é expressa em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S cm}^{-1}$), apresenta características similares aos sólidos totais dissolvidos. Em águas naturais pode apresentar valores de condutividade inferiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$, podendo atingir até $1.000 \mu\text{S cm}^{-1}$ quando as águas recebem cargas de efluentes domésticos e industriais (GASTALDINI e MENDONÇA, 2001; LIBÂNIO, 2005).

3.1.2.2 Cor

A cor da água é uma característica derivada da existência de substâncias dissolvidas, sendo o resultado dos processos de decomposição da matéria orgânica que ocorrem no meio ou do húmus dos solos adjacentes, ou ainda devido à presença de alguns íons metálicos, como ferro e manganês, além de plâncton, macrófitas e outros resíduos industriais e esgotos domésticos de origem antropogênica ou lixiviação de vias urbanas. Destes, pode-se destacar os ácidos húmicos (PORTO *et al.*, 1991; BRAGA *et al.*, 2002; VON SPERLING, 2005). As cores são resultados da ação dos ácidos húmicos em solução e em suspensão, que podem variar do verde ao amarelo, do amarelo ao marrom escuro, e preto quando apresentam muito húmus (KLEEREKOPER, 1990).

A unidade para medir a cor é da escala de Hazen (mg Pt-Co L^{-1}) e se expressa no resultado como unidade Hazen (uH) ou unidades de cor (uC). De acordo com o Ministério da Saúde (2004) o padrão da cor aparente para aceitação para consumo humano é 15 uH. O CONAMA N° 357/05 estabelece os padrões de 75 mg Pt L^{-1} , para as classes 2 e 3.

3.1.2.3 Odor e Sabor

A água pura não produz sensação de odor ou sabor nos sentidos humanos. O odor é uma característica estética prejudicial ao consumo da água para o abastecimento público. O sabor é a interação entre o gosto (salgado, doce, azedo e amargo) e o odor (sensação olfativa) (VON SPERLING, 2005).

Os produtos que causam odor ou sabor à água resultam na maioria das vezes de compostos orgânicos voláteis, podendo ser originados da decomposição da matéria orgânica, atividades biológicas de alguns microrganismos, principalmente, algas e cianobactérias, ou de origem antropogênica (PORTO *et al.*, 1991; GASTALDINI e MENDONÇA, 2001).

De acordo com a legislação, as águas para o abastecimento devem estar virtualmente livres de substâncias que podem causar odor ou sabor (CONAMA, 2005).

3.1.2.4 Sólidos dissolvidos totais e suspensos

A classificação dos sólidos é realizada de acordo com seu tamanho e características químicas. Quanto ao seu tamanho pode ser classificados em sedimentáveis, em suspensão, colóides e dissolvidos. Os sólidos sedimentáveis são aqueles que se depositam no fundo, quando se deixa a amostra em repouso no período de uma hora (PORTO *et al.*, 1991).

Os sólidos dissolvidos totais (STD) são constituídos por carbonato, bicarbonato, cloreto, sulfato, fosfato e possivelmente de cálcio, magnésio, potássio, pode ainda ter pequenas quantidades de ferro, manganês entre outras, ou seja, todas as substâncias presentes na água contribuem para a carga de sólidos. Altas concentrações destes sólidos são objetáveis devido aos possíveis efeitos fisiológicos, ao sabor mineral e as conseqüências econômicas (BATALHA e PARLATORE, 1977).

Os sólidos em suspensão aumentam a turbidez da água, diminuindo assim sua transparência. Segundo Braga *et al.* (2002), com o aumento da turbidez ocorre à redução nas taxas de fotossíntese, prejudicando assim a procura de alimento para algumas espécies, ocasionando um desequilíbrio na cadeia alimentar.

Em saneamento, sólidos nas águas correspondem a toda matéria que permanece como resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos presentes na água (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos (utilizando-se balança analítica ou de precisão) (CETESB, 2006a).

Nos estudos de controle de poluição das águas naturais e, principalmente, nos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos) e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos) (CETESB, 2006a).

De acordo com a legislação os sólidos dissolvidos totais não podem ultrapassar a 500 mg L⁻¹ (CONAMA, 2005).

3.1.2.5 Temperatura

A temperatura é uma medida de intensidade de calor. Pode influenciar nos processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água, e também na solubilidade dos gases dissolvidos. Com o aumento da temperatura nas águas a solubilidade dos gases decresce e os sais minerais crescem, a maioria dos organismos depende de uma faixa de temperatura ideal e ou preferencial para sobreviver. A temperatura é importante para a produtividade biológica, sendo o principal fator limitante na distribuição geográfica de muitas espécies de plantas e animais (KLEEREKOPER, 1990; PORTO *et al.*, 1991; VON SPERLING, 2005).

O aumento da temperatura pode ocasionar efeitos danosos à flora e a fauna, mas de forma indireta, visto que esse aumento implicará numa maior movimentação dos seres aquáticos, conseqüentemente ocasionando um incremento no consumo de oxigênio dissolvido por parte desses organismos e uma diminuição no poder de retenção do gás oxigênio através desse líquido. As alterações de temperatura sofridas na água são oriundas da insolação ou ainda dos despejos industriais, quando de origem antrópicas (DERISIO, 2000; LIBÂNIO, 2005).

Segundo Pádua (1997), as águas são classificadas como frias quando a média da temperatura anual é de 19 °C ou menores.

A legislação brasileira não estabelece temperatura máxima para a água, os padrões canadenses e americanos estipulam como valor máximo 15 °C (LIBÂNIO, 2005).

3.1.2.6 Turbidez

A turbidez da água é o grau de redução que a luz sofre, ao atravessá-la, conferindo uma aparência turva a mesma por efeito da presença da matéria em suspensão. Essas partículas suspensas transportam matéria orgânica adsorvida, que podem causar cor, sabor e odor. Esse material em suspensão pode apresentar-se finamente dividido ou em estado coloidal, podem ser opacas ou transparentes, coloridas ou incolores, mas obstruem a passagem da luz na massa da água, exercendo um efeito quantitativo sobre a penetração de luz, opondo-se a transparência da água. Reduz a fotossíntese da vegetação submersa e algas, assim como o desenvolvimento das plantas aquáticas, podendo por sua vez suprimir a produtividade de peixes, influenciando as comunidades biológicas. Pode ainda afetar os usos doméstico, industrial e recreacional da água. Os esgotos sanitários e diversos efluentes industriais do processo de erosão provocam elevações na turbidez das águas, esta também podem ocorrer naturalmente em função de partículas de rochas, argilas, siltes, algas e outros microrganismos (PORTO *et al.*, 1991; BRAGA *et al.*, 2002; VON SPERLING, 2005; CETESB, 2006a).

A turbidez é encontrada em quase todas as águas superficiais, em valores elevados, podendo atingir até 2.000 uT. Após uma precipitação de chuvas as águas de superfície tendem a aumentar seus valores de turbidez.

De acordo com os padrões de água do CONAMA (2005), os teores máximos desejáveis e permitidos para a turbidez de água doce, que se enquadram dentro da classe 1 são de até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT). Para os padrões de aceitação de consumo humano são de até 5 UNT, segundo Brasil (2004).

3.1.3 Características químicas

Os parâmetros químicos são os índices mais importantes que caracterizam a qualidade da água, estão ligados ao poder de dissolver e reagir em maior ou menor intensidade quase todas as substâncias.

Através de análises realizadas, os parâmetros químicos podem ser relacionados a valores que permitem classificar o grau de contaminação, a origem ou ainda a natureza dos principais poluentes e os efeitos que os mesmos podem ocasionar nas águas.

Os parâmetros químicos utilizados neste estudo são: alcalinidade, alumínio, bário, cádmio, carbono inorgânico, cobre, cloreto, cromo hexavalente, chumbo, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, dureza, ferro total, fosfato total, fósforo total, matéria orgânica, manganês, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, pH, potencial redox, sulfato e zinco total.

3.1.3.1 Alcalinidade

Alcalinidade é a capacidade que um ecossistema aquático tem de neutralizar ácidos. Sua ocorrência na água é devido principalmente à presença de bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidróxido (OH^-), quase sempre de metais alcalinos ou alcalinos-terrosos (sódio, potássio, cálcio, magnésio, hidrogênio, lítio, berílio, rubídio, estrôncio, célio, bário, frâncio e rádio), em níveis elevados pode dar sabor desagradável a água (BATALHA e PARLATORE, 1977; ESTEVES, 1998; BRAGA *et al.*, 2002; LIBÂNIO, 2005).

As formas de alcalinidade que podem ocorrer num sistema hídrico são decorrentes do pH, quando apresentar valores entre 4,4 e 8,3 a alcalinidade é proveniente apenas de bicarbonatos, com pH entre 8,3 a 9,4 de carbonatos e bicarbonatos e quando este pH for maior que 9,4 são oriundas do hidróxidos e do carbonatos. Os valores mais elevados de alcalinidade estão associados à decomposição de matéria orgânica, atividade respiratória de microrganismos e do lançamento de efluentes industriais (VON SPERLING, 2005; LIBÂNIO, 2005).

Nos padrões de qualidade de água não consta valor da alcalinidade por não apresentar significado sanitário. Segundo a EPA (2006), não se pode recomendar valor desejável pelo fato da alcalinidade estar associada a outros constituintes.

3.1.3.2 Alumínio

O alumínio (Al) é o principal constituinte de um grande número de componentes atmosféricos, particularmente de poeira derivada de solos e partículas originadas da combustão de carvão. Na água, o alumínio é complexado e influenciado pelo pH, temperatura e a presença de fluoreto, sulfato, matéria orgânica e outros ligantes.

O alumínio é pouco solúvel em pH entre 5,5 e 6,0, devendo apresentar maiores concentrações nos sedimentos de fundo, onde o pH é menor e pode ocorrer anaerobiose. O aumento da concentração de alumínio está associado com a geologia da área, o período de chuvas e, portanto, com a alta turbidez.

A principal via de exposição humana não ocupacional é pela ingestão de alimentos e água. O acúmulo de alumínio através do consumo de água potável com mais de $100 \mu\text{g L}^{-1}$ tem sido associado a danos neurológicos, como perda da memória, e a um pequeno aumento de casos de demência senil do tipo Alzheimer. Não há indicação de carcinogenicidade para o alumínio (EMBRATEL, 1983; BAIRD, 2002).

As concentrações de alumínio em águas naturais são normalmente pequenas, na ordem de $10^{-6} \mu\text{g L}^{-1}$. Os valores padrões aceitáveis para a presença de alumínio em águas normais, são de no máximo $0,0001 \mu\text{g L}^{-1}$ (BAIRD, 2002; CONAMA, 2005).

3.1.3.3 Bário

Os sais de bário (Ba) são encontrados em pequenas quantidades nas águas naturais, quando em grandes concentrações podem ser decorrentes de despejos industriais. São utilizados na elaboração de fogos de artifício, fabricação de vidro e inseticidas. Seu teor não deve ultrapassar $0,7 \text{ mg L}^{-1}$ (EMBRATEL, 1983; CONAMA, 2005).

A presença de bário nos corpos de água quando em altas concentrações representa na maioria das vezes poluição ambiental. Em geral ocorre nas águas naturais em baixas concentrações, podendo variar de $0,7 \text{ g L}^{-1}$ a 900 g L^{-1} . A ingestão de bário, em doses superiores às permitidas, pode causar desde um aumento transitório da pressão sanguínea, por vasoconstrição, até sérios efeitos tóxicos sobre o coração.

3.1.3.4 Cádmio

O cádmio (Cd) é um elemento poluente em águas que pode ter origem das descargas industriais e resíduos de mineração. Não apresenta nenhuma qualidade que o torne benéfico ou essencial aos processos vitais da natureza. Seus efeitos em humanos são cumulativos e profundos principalmente nos rins e fígado, podendo ainda ocasionar uma alta pressão arterial, destruição dos glóbulos vermelhos e do tecido testicular, fazendo que o indivíduo tenha uma vida biológica de 10 a 30 anos (EMBRATEL, 1983; MANAHAN, 1993).

Nas águas naturais o cádmio é encontrado nos sedimentos de fundo e nas partículas em suspensão. É um elemento obtido da refinação de complexos de zinco e outros metais

(BATALHA e PARLATORE, 1977). Os despejos de galvanoplastia são os maiores contribuintes para o aumento de suas concentrações na água (DERISIO, 2000)

Os valores máximos permitidos limitam a quantidade de Cd em $0,001 \text{ mg L}^{-1}$, a presença deste em teores elevados é preocupante por se tratar de um elemento muito tóxico. O cádmio é encontrado em águas naturais em concentrações bastante baixas (EMBRATEL, 1983; DERISIO, 2000; CONAMA, 2005).

3.1.3.5 Carbono inorgânico livre

O carbono inorgânico pode ocorrer no ambiente aquático, sob três formas principais: carbono inorgânico livre ($\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{CO}_3$), íons bicarbonato (HCO_3^-) e íons carbonato (CO_3^-). Estas formas estão fundamentalmente relacionadas com o pH do meio. A sua distribuição na coluna de água em função de fatores bióticos (atividades dos organismos) e abióticos (o pH e a temperatura).

Os compostos de carbono chegam aos ambientes aquáticos através de descarga de dejetos domésticos e industriais, lixiviação de rochas, decomposição de matéria orgânica vegetal, ou ainda, pela respiração de micro e macrorganismos, além da oxidação de restos mortos de organismos (KLEEREKOPER, 1990).

3.1.3.6 Cobre

O cobre (Cu) é distribuído na natureza principalmente na forma de sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos. As fontes de cobre para o meio ambiente incluem corrosão de tubulações de latão por águas ácidas, efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial e contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas do cobre como fungicida e pesticida no tratamento de solos e efluentes, além de precipitação atmosférica de fontes industriais. No homem, a ingestão de doses excessivamente altas pode acarretar irritação e corrosão da mucosa, danos capilares generalizados, problemas hepáticos e renais e irritação do sistema nervoso central seguido de depressão. Em pequenas concentrações o Cu é benéfico e essencial, sua carência pode provocar problemas de anemia (EMBRATEL, 1983; DERISIO, 2000).

Os sais de cobre, quando presentes na água em concentração superior a 1 mg L^{-1} , produzem sabor metálico, mas os teores de cobre são permitidos até $0,009 \text{ mg L}^{-1}$ (EMBRATEL, 1983; CONAMA, 2005).

3.1.3.7 Cloreto

O cloreto (Cl) na forma iônica é um dos principais ânions inorgânicos presentes na água. Sendo este resultante da dissolução de sais com íons, por exemplo, cloreto de sódio. Sua presença nas águas tem origem na dissolução de minerais, intrusão de águas salinas, águas utilizadas na irrigação, de origem antropogênica por despejos doméstico ou industrial (APHA, 1998; VON SPERLING, 2005).

Quando os íons cloreto estão presentes nas águas em altas concentrações ocasionam alterações no sabor, transmitindo um sabor salgado repulsivo. Em quantidades razoáveis não são prejudiciais à saúde humana. A tolerância dos seres humanos para a presença de cloreto varia de acordo com o clima e hábitos alimentares da pessoa. No geral, é a associação do cálcio, magnésio, sódio e potássio com o cloreto que produz o efeito nocivo. Níveis muito altos caracterizam a presença de esgotos sanitários ou matéria orgânica, efluentes industriais diversos (químicos, de tintas, explosivos, fósforo, papel, galvanoplastia, bebidas carbonatadas e processamento de alimentos) aumentando o poder de corrosão da água (EMBRATEL, 1983).

A quantidade de cloreto em soluções nas águas naturais é tolerada até 250 mg L^{-1} , mas em geral as quantidades destes são menores (CONAMA, 2005).

3.1.3.8 Cromo

O cromo (Cr) é obtido do minério cromita, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. Baixos teores de cromo trivalente são necessários ao metabolismo humano e animal, porém o hexavalente não tem função nenhuma ao organismo humano, além de ser extremamente tóxico. Quase todo cromo hexavalente existente no meio ambiente é proveniente de atividades humanas (WHO, 1988).

É um elemento raramente encontrado em águas naturais não poluídas. O cromo trivalente presente nas águas decorre, principalmente, do lançamento de despejos de curtumes. Quando ocorre a presença de cromo hexavalente é devido aos despejos indústrias, que utilizam processos de cromagem de metais, galvanoplastia, processamento de tintas, corantes e vernizes, curtumes, fertilizantes, explosivos, cerâmica, vidro, papel, soldagens de ligas metálicas, fundições, lâmpadas, produção de ligas ferro-cromo, de industriais de cromatos e de circulação de água de refrigeração, onde é utilizado para o controle de corrosão (EMBRATEL, 1983; WHO, 1988; DERISIO, 2000).

Os compostos de cromo produzem efeitos cutâneos, nasais, bronco-pulmonares, renais, gastrintestinais e carcinogênicos.

Os padrões limitam a presença do cromo total em águas naturais até $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (CONAMA, 2005).

3.1.3.9 Chumbo

O chumbo (Pb) é um elemento tóxico, mesmo quando ingerido em pequenas quantidades, porque possui efeito cumulativo no organismo. A intoxicação pública se manifesta, principalmente, por sintomas gastrintestinais, seguidos de perturbações neurológicas e hematológicas. Uma intoxicação crônica por este metal pode levar a uma doença denominada saturnismo, que ocorre na maioria das vezes, em trabalhadores expostos ocupacionalmente. Outros sintomas de uma exposição crônica ao chumbo, quando o efeito ocorre no sistema nervoso central, são: tontura, irritabilidade, dor de cabeça e perda de memória. Quando o efeito ocorre no sistema periférico, o sintoma é a deficiência dos músculos extensores. A toxicidade do chumbo, quando aguda é caracterizada pela sede intensa, sabor metálico, inflamação gastrintestinal, vômitos e diarreias. A presença de chumbo na água é causada pela poluição por despejos industriais, ou pelo contato com o metal dos encanamentos (EMBRATEL, 1983; MANAHAN, 1993; DERISIO, 2000).

Em sistemas aquáticos, o comportamento dos compostos de chumbo é determinado principalmente, pela hidrossolubilidade. Concentrações de chumbo acima de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ inibem a oxidação bioquímica de substâncias orgânicas, e são prejudiciais para os organismos aquáticos inferiores. Concentrações de Pb entre $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ empobrecem a fauna, e a partir de $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ a nitrificação é inibida na água.

Segundo o CONAMA (2005) os valores padrões limitam o Pb em $0,01 \text{ mg L}^{-1}$.

3.1.3.10 Demanda bioquímica de oxigênio

A capacidade da matéria orgânica presente em uma amostra de água natural em consumir oxigênio é chamada demanda bioquímica de oxigênio, DBO_5 (BAIRD, 2002).

A DBO_5 é a quantidade de oxigênio necessário para depurar a matéria orgânica biodegradável lançada na água. Portanto, indica a presença de matéria orgânica, que pode ter origem nos esgotos cloacais ou nos efluentes industriais. Os maiores aumentos em termos de DBO_5 num corpo d'água, são provocados por despejos de origem predominantemente

orgânica. Quanto maior a concentração de DBO_5 na água, haverá uma tendência de redução na concentração do oxigênio que está dissolvido na água (DERISIO, 2000; FEPAM 2006).

A demanda bioquímica de oxigênio é utilizada como medição do potencial poluidor em certas substâncias biodegradáveis em relação ao consumo de oxigênio dissolvido. Essa demanda pode ser suficientemente grande para consumir o oxigênio dissolvido da água, que condiciona a morte de todos os organismos aeróbicos de respiração subaquática. O uso desse processo permite avaliar um efeito importante da poluição sem a necessidade do processo analítico, que consiste em identificar todos os compostos orgânicos presentes e determinar estequiometricamente a quantidade de oxigênio que cada um deles necessita para a sua oxidação (BRANCO, 1978, 1991; BRAGA *et al.*, 2002).

É um teste padrão, onde a DBO_5 é avaliada experimentalmente para determinar as concentrações de oxigênio dissolvido, antes e após um período, durante o qual uma amostra selada de água é mantida no escuro à temperatura constante de 20 °C, a amostra é submetida a análises no decorrer de cinco dias, para determinar o oxigênio residual (PORTO *et al.*, 1991; DERISIO, 2000; BAIRD, 2002).

O CONAMA Nº 357/05 estabelece o limite de DBO medido em cinco dias numa temperatura de 20 °C até 3 mg L⁻¹ O₂ para a classe 1, de até 5 mg L⁻¹ para a classe 2 e de até 10 mg L⁻¹ para a classe 3.

3.1.3.11 Demanda química de oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessário para que ocorra a oxidação de matéria orgânica, através de um agente químico. O aumento desta concentração nas águas é decorrente aos despejos industriais, pois o alto valor de DQO indica uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio (DERISIO, 2000; CETESB, 2006a; UNIAGUA, 2006).

A DQO é um teste indireto de medida, pelo qual se avalia a quantidade de oxigênio dissolvido consumido em meio ácido para degradar a matéria orgânica biodegradável ou não (PORTO *et al.*, 1991; VON SPERLING, 2005).

A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica, este teste é empregado, principalmente, para operação de sistemas de tratamento de efluentes e caracterização de efluentes industriais.

As alterações provocadas pelo lançamento de efluentes com carga orgânica, podem afetar a composição da fauna e da flora do meio, aumentando o consumo de oxigênio

dissolvido e, conseqüentemente, modificando as condições aeróbicas no curso d'água. No caso da diminuição dos índices de oxigênio dissolvido, pode ocorrer à proliferação de organismos anaeróbicos, que estão relacionados aos fortes odores, pela liberação de gases como metano e o gás sulfídrico. Podendo ser também fonte de proliferação de vermes, larvas e insetos.

3.1.3.12 Dureza

A dureza (CaCO_3) é definida como a soma dos cátions polivalentes expressados numa quantidade de CaCO_3 (BATALHA e PARLATORE, 1977). Sendo a dureza proporcional ao conteúdo de sais de cálcio e magnésio, estes em ordem decrescente de abundância na água, são bicarbonatos (HCO_3^-), sulfatos (SO_4^{2-}), cloretos (Cl) e nitratos (NO_3^-). Normalmente a quantidade de cálcio é duas vezes maior do que a de magnésio, estes valores podem ser diferentes em determinados tipos de água. A dureza pode ser classificada em dureza carbonato, quando associada a HCO_3^- e CO_3^{2-} ou dureza não carbonato associada a outros ânions, especialmente Cl e SO_4^{2-} (VON SPERLING, 2005).

O índice de dureza é utilizado para medir certos cátions importantes que estão presentes em amostra de águas naturais, dado que este índice mede a concentração total de íons Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo estes os principais responsáveis pela dureza da água de abastecimento. Em termos químicos, o índice de dureza é definido como: $\text{dureza} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$ (BAIRD, 2002).

Assim os principais íons metálicos causadores de dureza são cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}), tendo um papel secundário o íon de ferro (Fe^{2+}) associado ao nitrato, manganês (Mn^{2+}) quase sempre vinculado ao íon sulfato e ao estrôncio (Sr^{2+}) que se associa ao cloreto. Algumas vezes, também podem ser considerado como contribuintes de dureza, o alumínio. Quando de origem natural é devido à dissolução das rochas calcáreas e dolomíticas ricas em cálcio e magnésio, ou ainda, decorrente do lançamento de efluentes industriais (DI BERNARDO, 2005; LIBÂNIO, 2005).

A dureza total da água pode ser classificada como dureza temporária e permanente, quando temporária desaparece com o calor e permanente não desaparece com o calor, ou seja, não é removida com a fervura da água. Uma água caracterizada como dura é desagradável ao paladar, gasta muito sabão para formar espuma, mancha louças, deposita sais em equipamentos e dá lugar a depósitos perigosos nas caldeiras e aquecedores (APHA, 1998).

Em termos de tratamento e abastecimento público de água, a dureza pode ser classificada em água mole (dureza < 50 mg L⁻¹), dureza moderada (entre 50 a 150 mg L⁻¹), água dura (de 150 a 300 mg L⁻¹) ou ainda água muito dura (> 300 mg L⁻¹). Para as águas potáveis os valores permitidos não podem ultrapassar a 500 mg L⁻¹ (BRASIL, 2004; VON SPERLING, 2005).

3.1.3.13 Ferro total

Os compostos de ferro (Fe) são muito comuns nas águas naturais, pois se originam da dissolução de compostos de rochas e solos. Conferem à água sabor metálico e têm o inconveniente de manchar de amarelo ou avermelhado as roupas e a louça sanitária, e podem provocar corrosão das tubulações pelo desenvolvimento de bactérias ferruginosas, pois o ferro constitui nutriente para algumas espécies de bactérias do gênero *Chrenotrix* e *Gallionella* (DI BERNARDO, 2005; LIBÂNIO, 2005).

O ferro existe nas águas, em geral, sob a forma de bicarbonato solúvel. Quando, entretanto, a água é enriquecida em oxigênio o carbonato ferroso é transformado em hidróxido férrico, através da reação: $4 \text{Fe} (\text{HCO}_3)_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2 \rightarrow 4 \text{Fe} (\text{OH})_3 + 8 \text{CO}_2$. O hidróxido férrico resultante é insolúvel e precipita. O pH tem grande influência na velocidade dessa reação. Assim, em baixos valores de pH, a formação de hidróxido somente se torna apreciável quando a água se acha saturada de oxigênio, ao passo que com pH igual a 7, o ferro precipita em grande quantidade, mesmo em concentração de oxigênio de apenas 0,5 mg L⁻¹ (BRANCO, 1978).

O limite máximo de teor de Fe admitido pelo padrão brasileiro é de 0,3 mg L⁻¹ (CONAMA, 2005). Este limite foi estabelecido, não pelo fato de ser tóxico. A sua presença em concentrações mais altas, acima deste limite, confere à água sabor metálico (EMBRATEL, 1983).

3.1.3.14 Fosfato total

O fosfato (PO₄³⁻) é muito importante para os seres vivo, nas diferentes formas em que se apresenta. Mas, o fosfato inorgânico dissolvido é a principal forma assimilada pelos vegetais aquáticos, assumindo uma maior relevância (ESTEVES, 1998).

A origem do fosfato nas águas pode provir de adubos, decomposição de matéria orgânica, material particulado presente na atmosfera, esgotos domésticos e industriais. É o principal responsável pela eutrofização artificial. A liberação de fosfato na coluna d'água

ocorre mais facilmente em baixas quantidades de oxigênio. O fosfato é indispensável para o crescimento de algas, pois faz parte da composição dos compostos celulares. O zooplâncton e os peixes excretam fezes ricas em fosfato, a maior parte do fosfato contido na biomassa proveniente do fitoplâncton, das macrófitas aquáticas, do zooplâncton, do nécton e dos bentos é liberada para a coluna d'água, após a morte destes organismos (ESTEVES, 1998; UNIAGUA, 2006).

Segundo CONAMA (2005) os valores máximos permitidos para a presença de fosfato total em corpos de água é $0,025 \text{ mg L}^{-1}$.

3.1.3.15 Fósforo total

O fósforo (P) apresenta-se em quantidades muito pequenas na composição das águas naturais, sendo os sais de fósforo um dos elementos indispensáveis para os organismos aquáticos. Considerado o principal fator limitante à produtividade na maioria dos ecossistemas aquáticos, quando presente em quantidade excessiva pode ocasionar uma eutrofização (ESTEVES, 1998; BRAGA *et al.*, 2002).

Despejos orgânicos, especialmente esgotos domésticos, bem como alguns tipos de despejos industriais, podem enriquecer as águas em fósforo. Nestes, os detergentes e superfosfatados empregados em larga escala doméstica constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicas em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos e laticínios apresentam fósforo em quantidades excessivas. As águas drenadas em áreas agrícolas e urbanas também podem provocar a presença excessiva de fósforo em águas naturais (BRANCO, 1978; VON SPERLING, 2005; CETESB, 2006a).

Todo fósforo presente nas águas encontra-se sob diferentes formas de fosfato, sendo atualmente agrupados em apenas cinco formas: fosfato particulado, fosfato orgânico dissolvido, fosfato inorgânico dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo, fosfato total dissolvido e fosfato total originado da dissolução de compostos do solo e decomposição da matéria orgânica (ESTEVES, 1998; LIBÂNIO, 2005).

Segundo os padrões do CONAMA (2005) o valor máximo permitido para o fósforo total para ambientes lóticos e tributários intermediários é $0,1 \text{ mg L}^{-1}$.

3.1.3.16 Manganês

O manganês (Mn) é um metal cinza escuro semelhante ao ferro, embora seja mais duro e quebradiço. Os óxidos, carbonatos e silicatos de manganês são os mais abundantes na natureza e caracterizam-se por serem insolúveis na água. A sua solubilidade depende também do pH, do teor de CO₂ e oxigênio dissolvido na água. Essas relações existentes entre pH, oxigênio, gás carbônico, teor de ferro e manganês fazem com que haja uma variação deste último nas várias camadas de uma massa d'água estratificada, bem como nas diferentes estações do ano, uma vez que os fatores mencionados, especialmente a quantidade de gases dissolvidos, variam com a temperatura da água e, portanto, com a profundidade ou época do ano. Isto pode contribuir, ainda para o estabelecimento de ciclos de vida dos organismos que sofrem influência do teor desses metais (BRANCO, 1978).

O manganês apresenta inconveniente semelhante aos do ferro. Porém, é menos comum e sua coloração característica é marrom (BRAGA *et al.*, 2002). Encontra-se em geral associado ao ferro e, como este, quando presente na água, confere-lhe sabor metálico. Em doses elevadas o manganês é tóxico, produzindo alterações neurológicas que podem levar a morte (EMBRATEL, 1983).

O padrão norte-americano admite o limite máximo de 0,05 mg L⁻¹, ao passo que o brasileiro permite 0,1 mg L⁻¹ (CONAMA, 2005).

3.1.3.17 Matéria orgânica

A matéria orgânica (MO) existente nas águas é originada tanto do ambiente aquático como terrestre, uma vez que esse material é captado em toda a bacia de drenagem. Pode ser de origem autóctone, quando formada por atividade sintetizante dos próprios organismos autótrofos, que compõem a população da massa d'água ou alóctone, quando provém do solo lavado pelas chuvas, ou, principalmente, pela contribuição antropogênica, através do lançamento de esgotos domésticos ou industriais (BRANCO, 1978; ERTEL *et al.*, 1986; KÖRDEL *et al.*, 1997).

A matéria orgânica da água é necessária na nutrição dos seres heterótrofos e aos autótrofos, como fonte de nutrientes e gás carbônico, no entanto em grandes quantidades podem ocasionar cor, turbidez, consumo de oxigênio dissolvido por parte dos organismos decompositores e também poderá elevar os teores de gás carbônico, por meio da decomposição da matéria orgânica das margens ou do fundo (KLEEREKOPER, 1990).

A MO consiste de uma mistura de compostos em vários estágios de decomposição, sendo resultante da degradação biológica de resíduos de plantas e animais e das atividades sintética de microrganismos. Contêm compostos que a agrupam em substâncias não húmicas e húmicas. Quando não húmicas incluem-se aquelas com características químicas definidas (carboidratos, proteínas, aminoácidos, gorduras, graxas e ácidos orgânicos de baixo peso molecular), já as húmicas são mais estáveis (ácido húmico-AH, ácido fúlvico-AF e humina) (DI BERNARDO, 2005).

3.1.3.18 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é um elemento muito importante para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos, participando na formação de proteínas, um dos compostos básicos da biomassa, além de ser requerido em maiores concentrações para o crescimento dos microrganismos. Em geral, muito escasso nas águas (ESTEVES, 1998).

Suas principais fontes são: o ar (assimilado por algumas algas), a água da chuva, os produtos de erosão e a matéria orgânica em decomposição (folhas ou esgotos).

Os compostos de nitrogênio encontram-se nas águas sob a forma de nitrogênio orgânico na forma dissolvida, nitrogênio molecular (N_2), amônia (livre N_3 e ionizada NH_4^+), nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). As duas primeiras são formas reduzidas e as duas últimas oxidadas (GASTALDINI e MENDONÇA, 2001; LIBÂNIO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Os esgotos sanitários constituem em geral, a principal fonte de lançamento de nitrogênio orgânico em águas naturais. Isso se dá devido à presença de proteínas e nitrogênio amoniacal, resultante da hidrólise sofrida pela uréia na água. Efluentes industriais também são responsáveis por grande parte de descargas de nitrogênio orgânico e amoniacal nas águas. Escoamento das águas pluviais vindas de áreas agrícolas contribui para a presença de diversas formas de nitrogênio (CETESB, 2006).

O limite máximo permissível de acordo com os padrões para a potabilidade é de 10 mg L⁻¹ (BRASIL, 2004).

3.1.3.19 Nitrogênio amoniacal, Nitrito e Nitrato

O nitrogênio amoniacal, nitrato (NO_3^-) e o nitrito (NO_2^-) estão ligados aos processos de produção e de decomposição. Quando se encontra referência à concentração de amônia, estão englobadas as concentrações das duas formas de nitrogênio amoniacal (NH_3 e NH_4^+). O íon amônio (NH_4^+) é muito importante para os organismos produtores, pois sua absorção é

energeticamente mais viável. As altas concentrações do íon amônio podem ter grandes implicações ecológicas, uma vez que este pode influenciar na quantidade de oxigênio dissolvido na água. Para oxidar 1,0 mL do íon amônio são necessários cerca de 4,3 mL de oxigênio, em pH alcalino, este íon se transforma em gás amônia (NH_3 livre, gasoso), que dependendo da concentração pode ser tóxico para os organismos aquáticos (ESTEVES, 1998).

O nitrato e o íon amônio são as principais fontes de nitrogênio para os produtores primários num ecossistema aquático. A fase intermediária destes dois elementos é representada pelo nitrito que é encontrado em baixas concentrações. A ocorrência de nitritos em água indica processos biológicos ativos influenciados por poluição orgânica (ESTEVES, 1998).

A presença de nitrato é considerada como indicadora de matéria orgânica na água. O excesso pode resultar em metahemoglobinemia, doença caracterizada pelo aparecimento de coloração azulada na pele e nas mucosas devida à destruição dos glóbulos vermelhos do sangue, pode ocorrer em bebês recém-nascidos, como em adultos com uma determinada deficiência enzimática (EMBRATEL, 1983; BAIRD, 2002; DI BERNARDO, 2005; VON SPERLING, 2005).

Concentrações de nitrato superior a 5 mg L^{-1} demonstram condições sanitárias inadequadas, pois a principal fonte de nitrogênio nitrato são dejetos humanos e de animais. O nitrato estimula o crescimento de plantas, sendo que organismos aquáticos como algas, florescem na presença deste, quando em elevada concentração pode conduzir a um desenvolvimento exagerado.

Portanto, quando se encontra muito nitrogênio amoniacal na água pode-se dizer que esta é pobre em oxigênio dissolvido e que o ambiente deve ter muita matéria em decomposição. O padrão permitido para o nitrogênio amoniacal varia conforme os índices do pH sendo $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ para $\text{pH} = 7,5$; 2 mg L^{-1} para $\text{pH} = 7,5 = 8,0$; 1 mg L^{-1} para $\text{pH} < 8,0$; e $= 8,5$ e $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ em $\text{pH} > 8,5$.

Para o nitrato é 10 mg L^{-1} e o nitrito sua aceitação é de 1 mg L^{-1} (CONAMA, 2005).

3.1.3.20 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) presente nas águas é fundamental para a vida dos organismos, visto que a maioria destes necessita desse elemento para sobreviver, incluindo os organismos responsáveis pela autodepuração em águas naturais. O oxigênio é um gás muito

pouco solúvel em água, variando a solubilidade entre 15 mg L⁻¹ a 0 °C até 8 mg L⁻¹ a 25 °C, dependendo da pressão (altitude) e sais dissolvidos (GASTALDINI e MENDONÇA, 2001).

A presença do oxigênio, quando em altas concentrações, beneficia a vida aquática e favorece a depuração da matéria orgânica lançada nos corpos hídricos. Em baixas concentrações (< 2,0 mg L⁻¹) pode ocasionar mortandade de peixes e outros seres vivos do meio, caso o oxigênio for totalmente consumido pode-se apresentar as condições anaeróbias (ausência de oxigênio), com possível geração de maus odores (VON SPERLING, 2005; FEPAM, 2006).

Como a solubilidade dos gases aumenta quando a temperatura diminui, a quantidade de O₂ que se dissolve a 0 °C (14,7 ppm) é menor do que a quantidade dissolvida a 35 °C (7,0 ppm). A concentração de oxigênio dissolvido em água é baixa, e, por conseguinte, precária do ponto de vista ecológico (BAIRD, 2002).

O agente oxidante mais importante em águas naturais é o oxigênio molecular dissolvido, O₂. Sob reação, cada um de seus átomos de oxigênio é reduzido do estado de oxidação zero até o estado de -2, quando forma H₂O ou OH⁻. A semi-reação que ocorre em solução ácida é $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$, enquanto a que ocorre em solução aquosa alcalina é $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$.

Em águas poluídas, a quantidade de oxigênio dissolvido é ainda menor do que em condições naturais. A razão de saturação de O₂ em água limpa é de 0,80 mg L⁻¹, por razões práticas, assume-se que 8 mg L⁻¹, seja o teor máximo de dissolução de oxigênio na pior situação ambiental (PORTO *et al.*, 1991). Através da medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos dos resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos, durante a oxidação bioquímica podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo de água natural manter a vida aquática.

O oxigênio dissolvido é o principal parâmetro para a caracterização dos efeitos de poluição por despejos orgânicos. Os valores para o oxigênio dissolvido em qualquer amostra não pode ser inferior a 6 mg L⁻¹ (VON SPERLING, 2005; CONAMA 2005).

3.1.3.21 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH) é a medida de concentração relativa dos íons de hidrogênio numa solução, consiste em uma reação numérica que expressa equilíbrio entre íons (H⁺) e íons (OH⁻), definindo acidez, neutralidade ou alcalinidade (DERISIO, 2000; VON SPERLING, 2005).

O valor do pH, que indica a acidez ou alcalinidade da solução em análise tem variação de zero a 14. Quando apresentar um valor de pH 7 indica uma solução neutra, para os índices de pH maiores de 7 são alcalino e para os valores menores de 7 são ácidos. No caso de predominar íons (OH⁻) o pH será maior que 7, sendo este alcalino. As maiores alterações do ponto de vista deste indicador são provocadas por despejos de origem doméstica, industrial, dissolução de rochas e da decorrência da atividade de algas. É importante ressaltar que, os organismos aquáticos (fitoplâncton e zooplâncton) estão, geralmente, adaptados às condições de neutralidade, e como consequência de alterações bruscas do pH da água pode ocorrer prejuízo para tais organismos (DERISIO, 2000; LIBÂNIO, 2005; UNIAGUA, 2006).

A medição do valor de pH é imprescindível para qualquer análise de água, o efeito nocivo e também a disponibilidade biológica de muitas substâncias dependem do valor do pH. Muitas das reações químicas são afetadas por esse valor.

As concentrações de pH são influenciadas pela temperatura e por sais minerais, os valores fora das faixas recomendadas podem alterar o sabor da água e ainda favorecer a adição de alguns constituintes para a água, o que ocorre com o ferro, cobre, zinco, cádmio e chumbo, dificultando a descontaminação das águas. Águas altamente alcalina na maioria das vezes, apresentam um alto pH e geralmente um elevado nível de sólidos dissolvidos, em menor escala outro contribuinte é a amônia em conjunto com o fósforo, sílica, boro e ácidos orgânicos (MANAHAN, 1993).

Segundo CONAMA (2005) os valores do pH devem se situar entre 6 a 9 para as águas doces e destinadas ao consumo humano.

3.1.3.22 Potencial redox

O potencial redox (ORP) mede a capacidade do ambiente de fornecer elétrons a um agente oxidante, ou em retirar elétrons de um agente redutor, caracterizando o estado oxidação-redução na água. A estabilidade de um elemento em um determinado número de oxidação em particular depende da variação de energia envolvida na adição ou remoção de elétrons. Os íons de um mesmo elemento e que se apresentam em diferentes estados de oxidação formam o sistema redox sendo este expresso por um determinado valor. O potencial de oxi-redução representa um potencial elétrico entre um eletrodo de metal inerte, o eletrodo indicador e um eletrodo padrão. O potencial redox é expresso normalmente pelo símbolo ϵ e, quando baseado no eletrodo padrão de H, com E_h (ESTEVES, 1998; GASTALDINI e MEDONÇA, 2001).

O valor de Eh negativo significa que existem elétrons das substâncias dissolvidas na água facilmente disponíveis, sendo o meio de natureza muito redutora, no caso de valores positivo as substâncias dissolvidas predominantes são agentes oxidantes, de maneira que existem poucos elétrons disponíveis para causar redução (BAIRD, 2002).

3.1.3.23 Sulfato

O sulfato (SO_4^{2-}) encontra-se nas águas como resultado da lixiviação do gesso e de outros minerais comuns. Também é produzido como resultado final da oxidação do sulfeto, sulfito, tiosulfato e da matéria orgânica no ciclo do enxofre. Estes são fontes de energia para as sulfobactérias, que transformam o sulfito em sulfato. Pode originar-se de numerosas descargas industriais. As águas com altos níveis de sulfato podem apresentar efeito laxativo característico do sulfato de sódio e de magnésio (BATALHA e PARLATORE, 1977).

O teor de sulfato presente nas águas é limitado, conforme o padrão máximo de 250 mg L^{-1} (CONAMA, 2005).

3.1.3.24 Zinco total

O zinco (Zn) é oriundo de processos naturais e antrópicos, destacando-se a produção de zinco primário, combustão de madeira, incineração de resíduos, siderurgias, cimento, concreto, cal e gesso, indústrias têxteis, termoelétricas e efluentes domésticos. Alguns compostos orgânicos de zinco são aplicados como pesticidas.

O Zn é um elemento essencial e benéfico para o metabolismo humano (DERISIO, 2000). Algumas atividades realizadas pelo organismo dependem de sua presença como a insulina e diversos compostos enzimáticos, só se torna prejudicial à saúde quando ingerido em concentrações muito altas, levando às perturbações do trato gastrintestinal. Um adulto deve consumir de 10 a 15 mg dia^{-1} . Para as crianças a partir dos seis anos, o consumo deve ficar em torno de $0,3 \text{ mg kg}^{-2}$. O Zn é eliminado através das fezes e urina numa média de 10 mg dia^{-1} (BATALHA e PARLATORE, 1977).

O limite máximo permissível na água é de $0,18 \text{ mg L}^{-1}$, quando presente acima do limite, confere à água gosto desagradável e em altas concentrações é tóxico (EMBRATEL, 1983; CONAMA, 2005).

3.1.4 Características microbiológicas

A água é habitada por vários tipos de microrganismos de vida livre, que podem alterar o meio através de suas atividades biológicas. Outros microrganismos têm origem externa e, ocasionalmente, são introduzidos na água, podendo estes ser parasitários e ou patogênicos, os quais utilizam a água como veículo.

Os parâmetros microbiológicos são fundamentais para definir a qualidade sanitária da água, os parâmetros analisados neste estudo são bactérias heterotróficas, coliformes termotolerantes, coliformes totais e clorofila.

3.1.4.1 Bactérias heterotróficas

As bactérias heterotróficas (BH) indicam a ocorrência de poluição microbiana, entretanto esse grupo não possui ação patogênica, embora algumas delas possam atuar como patógenos oportunistas (*pseudomonas* e *aeromonas*), especialmente, para indivíduos debilitados imunologicamente. Uma ocorrência excessiva deste grupo indica infestações gerais, utiliza o carbono orgânico como fonte de energia (LIBÂNIO, 2005). Realizam a decomposição de carboidratos, proteínas, ácidos orgânicos e álcoois, produzindo, sobretudo NO^{3-} e SO^{4-} . As bactérias heterotróficas alimentam-se, principalmente, da matéria orgânica que conseguem decompondo organismos mortos entre as bactérias mais representativas deste grupo destaca-se o gênero *Siderocapsa*.

O controle da população das BH é de fundamental importância, visto que densidades elevadas de microrganismos na água podem determinar a deterioração de sua qualidade como o desenvolvimento de cor e sabor, podendo ainda em quantidades elevadas impedir a detecção de coliformes, seja devido à produção de fatores de inibição, seja por um desenvolvimento mais intenso.

A contagem de BH determina a densidade de bactérias que são capazes de produzir unidades formadoras de colônia (UFC), na presença de compostos orgânicos contidos em meio de cultura apropriada, sob condições pré-estabelecidas de incubação igual a 35,0 °C mais ou menos a 0,5 °C por 48 horas. Em 20% das amostras mensais para coliformes totais deve-se realizar a contagem de BH, quando estas exceder a 500 UFC por mL e uma coleta e inspeção local (BRASIL, 2004; DI BERNARDO, 2005).

3.1.4.2 Coliformes termotolerantes

As bactérias do grupo coliforme termotolerantes (Cte) são consideradas as principais indicadoras de contaminação fecal, sendo utilizadas para medir a possível ocorrência de bactérias de origem animal, seu percentual de variações em fezes humanas é de 3% a 4%, enquanto que nas fezes dos animais é de 3% a 8%. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal (CONAMA, 2005; LIBÂNIO, 2005).

Estas bactérias reproduzem-se ativamente a temperatura de 44 °C a 45 °C, valor que permite fermentar a lactose, com produção de ácidos, gás e aldeído (CONAMA, 2005). São muitas vezes usadas como indicadores da qualidade sanitária da água, e não representam por si só um perigo para a saúde, servindo antes como indicadores da presença de outros organismos causadores de problemas para a saúde. Apesar de não serem patogênicos, indicam que a água recebeu material fecal e pode conter microorganismos patogênicos, inclui-se nos coliformes termotolerantes os gêneros bacterianos *Escherichia* e em menor escala *Citrobacter*, *Klebsiella* e *Enterobacter* (BRAGA *et al.*, 2002; DI BERNARDO, 2005; LIBÂNIO, 2005).

Um ser humano adulto expele diariamente em suas fezes de 50 bilhões a 400 bilhões de bactérias coliformes. Este parâmetro é um importante indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos e que transmitem doenças como febre tifóide, febre paratífóide, desenteria bacilar e cólera (BATALHA e PARLATORE, 1977; CETESB, 2006a).

A presença na água de consumo humano de um número significativo de microorganismos do grupo coliforme indica que esta água recebeu esgotos domésticos e que a mesma não está sendo tratada ou o tratamento está sendo conduzido de forma inadequada.

O uso das bactérias coliformes termotolerantes para indicar poluição sanitária mostrou-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme "total", porque as bactérias fecais estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente, sendo a *Escherichia coli* o indicador patogênico de origem fecal mais importante, pois quando presente indica que o meio está contaminado por fezes (BRASIL, 2004; CETESB, 2006a).

Os coliformes termotolerantes não devem exceder o limite de 200 coliformes por 100 mililitros para a classe 1, de 1.000 para a classe 2 e de 2.500 para a classe 3 (CONAMA, 2005). Para a Portaria Nº 518/2004 os coliformes termotolerantes devem estar ausentes em 100 mL (BRASIL, 2004).

3.1.4.3 Coliformes totais

Os coliformes totais (Cto) são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, capazes de se desenvolver na presença de sais biliares ou agentes que fermentam a lactose, produzindo ácido, gás e aldeído. O grupo coliforme é formado por um número de bactérias, que inclui os gêneros *Escherichia*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Enterobacter*, entre outros gêneros e espécies também pertencentes a este grupo (BRASIL, 2004; DI BERNARDO, 2005; CETESB, 2006a).

Segundo a Portaria N° 518, de 25 de março de 2004 em vigência, para o padrão de potabilidade da água uma análise deverá apresentar ausência de coliformes em 100 mL L⁻¹ de amostra (BRASIL, 2004), caso encontrado, representa tratamento inadequado, contaminação posterior ou nutriente em excesso na água tratada (VON SPERLING, 2005).

3.1.4.4 Clorofila

A clorofila (CL) é um dos pigmentos responsáveis pelo processo fotossintético e representa aproximadamente de 1% a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas. Por este motivo é um indicador algal, utilizada na avaliação indireta da biomassa de algas, é considerada a principal variável indicadora de estado trófico dos ambientes aquáticos (CARLSON e SIMPSON, 1996; GASTALDINI e MEDONÇA, 2001; CETESB, 2006a).

Segundo o CONAMA (2005) os valores máximos para a presença de clorofila em águas doces são de 10 µg L⁻¹.

3.2 Qualidade do sedimento - caracterização dos metais pesados

O sedimento de fundo é o compartimento que reflete todos os processos que ocorrem em um ambiente aquático (ESTEVES, 1998).

A avaliação química do sedimento de fundo também proporcionará um diagnóstico da condição e concentração dos elementos químicos presentes, os metais pesados apresentam uma grande afinidade por agrupamentos orgânicos contidos nas frações de solo e sedimentos conferindo as propriedades de bioacumulação na cadeia alimentas e persistência no ambiente.

3.2.1 Cádmi

As ocorrências de cádmio (Cd) nos sedimentos aquáticos são devido ao intemperismo, erosão do solo e da camada da rocha viva, descargas atmosféricas, vazamentos de aterros,

fertilizantes e uso de lodos de esgotos. O cádmio proveniente de efluentes industriais pode ser adsorvido a materiais particulados, servindo como depósito para este metal e ser emitido a coluna d'água mais tarde. O cádmio adsorvido por superfícies de minerais como argilas e materiais orgânicos é facilmente bioacumulado ou liberado quando ocorrem distúrbios ambientais, como modificação do pH, salinidade e potencial redox (WHO, 1992; ATSDR, 1997).

Os valores de referência para a classificação quanto à poluição dos sedimentos segundo U.S.EPA são $> 6 \text{ ug g}^{-1}$ para muito poluído (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006).

3.2.2 Chumbo

O chumbo (Pb) é um elemento que está distribuído sobre toda a crosta terrestre, as maiores fontes naturais de chumbo são as emissões vulcânicas, intemperismo geoquímico e névoas aquáticas. O chumbo secundário é obtido através da recuperação de sucatas e rejeitos, que constituem importantes fontes emissoras deste metal. Quando se deposita nos rios pode ser proveniente da atmosfera, da lixiviação do solo, do escoamento superficial oriunda de fontes naturais ou antropogênicas, o metal que alcança a água é adsorvido aos sólidos suspensos e sedimentos (ATSDR, 1993; WHO, 1995).

Os valores de referência para a classificação quanto a poluição dos sedimentos segundo U.S.EPA são de $< 40 \text{ ug g}^{-1}$ para não poluído, $40 - 60 \text{ ug g}^{-1}$ moderadamente poluído e de $> 60 \text{ ug g}^{-1}$ para muito poluído (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006).

3.2.3 Cromo

O cromo (Cr) não ocorre livre na natureza, mas numa grande variedade de minerais na crosta terrestre, sendo estes na forma de seus compostos. Os dois minerais mais importantes do cromo são a Crocoíta (PbCrO_4) e a Cromita (FeCr_2O_4), é o principal minério de cromo.

Atualmente, usa-se muito o cromo como metal para revestimento, devido a sua notável resistência a corrosão e ao elevado poder protetor de suas camadas, também é utilizado na liga de ferro-cromo, com resistência à altas temperaturas, ligas com resistência à corrosão, ligas com resistência à corrente elétrica, sais de cromo – indústria de tintas, coloração de vidros; indústria têxtil, fabricação de fitas K7 e VHS.

Os valores de referência para a classificação quanto à poluição dos sedimentos segundo U.S.EPA são de $< 25 \text{ ug g}^{-1}$ para não poluído, $25 - 75 \text{ ug g}^{-1}$ moderadamente poluído e de $> 75 \text{ ug g}^{-1}$ muito poluído (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006).

3.2.4 Níquel

O Níquel (Ni) tem como principal origem geoquímica às rochas magmáticas (máficas e ultramáficas). Os minerais de níquel são: os sulfetos - milerita e pentlandita (FeNi_3S_8), que se apresentam associados a outros sulfetos metálicos em rochas básicas, freqüentemente acompanhados de cobre e cobalto, o outro mineral é a garnierita ou silicato hidratado de níquel e magnésio, que se encontra associado às rochas básicas (peridotitos), concentrando-se por processos de intemperismo nas partes alteradas.

As principais aplicações do Ni são em ligas ferrosas e não-ferrosas para consumo no setor industrial, em material militar, em moedas, em transporte/aeronaves, em aplicações na construção civil, ligas para fabricação de imãs, em ligas elétricas, magnéticas e de expansão, ligas de cobre-níquel. O metal é muito usado sob a forma pura, para proteção de peças metálicas, oferecendo grande resistência à oxidação.

Os valores de referência para a classificação quanto à poluição dos sedimentos segundo U.S.EPA são de $< 20 \text{ ug g}^{-1}$ para não poluído, $20 - 50 \text{ ug g}^{-1}$ moderadamente poluído e de $> 50 \text{ ug g}^{-1}$ muito poluído (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006).

3.3 Elementos indicadores para qualidade da água e sedimento

O uso de indicadores de qualidade de água consiste no emprego de variáveis que se correlacionam com as alterações ocorridas na microbacia, sejam estas de origem antrópica ou natural. A avaliação da qualidade da água em microbacia sob diferentes usos pode ser feita pelo uso de técnicas estatísticas multivariadas, sendo assim Toledo e Nicoletta (2002) realizaram monitoramento em uma microbacia de Guaíra, São Paulo, onde calcularam um índice de qualidade da água (IQA) através do uso da técnica de análise fatorial e do método de Bartlett, para os quais obtiveram diferenças significativas entre os pontos de coleta de água a montante e a jusante do município de Guaíra. O uso da técnica de análise fatorial permitiu também avaliar as condições de deterioração da qualidade da água, com vistas à obtenção de indicadores específicos, os quais poderão ser monitorados ao longo do tempo.

Robaina *et al.* (2000, 2002) realizaram análises das águas e sedimento do rio dos Sinos inclusive no arroio João Corrêa, para a determinação do grau de poluição. Os dados levantados foram comparados com a Resolução do CONAMA Nº 20/86, as condições sanitárias tiveram bases nos dados da FEPAM (1990 a 1998), e os dados coletados para as variáveis utilizadas foram submetidos às análises de variância de estado, estação de amostragem, mensal e anual. Para a análise de poluição por metais pesados nos sedimentos de

correntes, basearam-se nos parâmetros de toxicidade potencial para o homem e para a biota aquática, devido ao freqüente lançamento de metais por empresas situadas na região.

Franzen (2001) realizou análises de sedimentos no arroio Sapucaia e cita ser uma ferramenta útil para o diagnóstico das condições prevalentes no ambiente aquático, pois esse tipo de análise não requer amostragens de alta freqüência, uma vez que os sedimentos podem reter os poluentes. Segundo os resultados obtidos as concentrações de metais nas águas fluviais apresentam valores inferiores aos estabelecidos pelos limites de classes de uso das águas, o fósforo total apresentou limites acima de 50% dos estabelecidos para as classes 1, 2 e 3 e os sedimentos são pouco a moderadamente poluídos pelos metais analisados.

Em estudos realizados por Singh *et al.* (2002) em seis afluentes do rio Ganga Plain na Índia, revelaram que os centros urbanos são a fonte da poluição por metais pesados (Cr, Ni, Cu, Zn, Pb e Cd) nos sedimentos, em análises realizadas, sendo classificado como altamente perigoso quanto a contaminação.

As avaliações da qualidade de corpos de água não devem ficar restritas aos resultados do IQA, o qual considera normalmente parâmetros relacionados as propriedades organolépticas, equilíbrio ecológico e riscos sanitários mais imediatos. Devem ser considerados também os metais pesados e hidrocarbonetos tóxicos, pois estes podem apresentar concentrações elevadas mesmo em análises onde o IQA se enquadra na faixa de ótimo. O IQA estatístico apresenta praticidade e a agilidade, implicando no monitoramento efetivo da qualidade da água, através das variáveis mais significativas. Assim como a utilização de índices do COMITESINOS (1993) e de carga metálica, o IQA estatístico mostrou-se uma ferramenta eficiente para a identificação e avaliação das variáveis mais impactantes na qualidade da água (JUNIOR *et al.*, 2003; MAKHAMRA, 2004).

Ronchi *et al.* (2003) realizaram estudos no arroio Peão utilizando variáveis físico-químicas, onde avaliaram a contaminação da água, solo e sedimento. Para a classificação das águas utilizaram variáveis clássicas discutidas em FEPAM (1999), APHA (1995) e Ronchi *et al.* (2000). O IQA foi determinado utilizando a análise estatística multivariada e os resultados foram comparados entre si e com os níveis estabelecidos pelos parâmetros do CONAMA (1986) e USEPA (1992). Os resultados obtidos através da utilização destas variáveis classificaram as águas do arroio Peão na classe 4, as quais são destinadas somente a navegação e harmonia paisagística. Já os sedimentos recentes, para os elementos analisados e seus respectivos critérios de aceitabilidade de poluição, foram classificados como não-poluídos em todos os pontos de coleta, com exceção do cromo hexavalente caracterizado

como moderadamente poluído. Com a utilização do índice de geoacumulação (IGeo) os pontos de amostragem foram enquadrados na classe 1 (pouco a moderadamente poluídos).

Segundo Bilich e Lacerda (2005), para caracterizar a qualidade da água, são utilizados diversos parâmetros, os quais representam as suas características físicas, químicas e biológicas, sendo estes indicadores da qualidade da água e representam impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso. Em estudo realizado para avaliar a qualidade da água de todos os pontos de captação da Companhia de Água e Esgoto de Brasília (CAESB), nos últimos dez anos utilizaram o índice de qualidade de água (IQA) e o sistema de informação geográfica (SIG), constatando que o padrão de qualidade é bom, sofrendo poucas alterações ao longo dos dez anos, a piora na qualidade da água ocorre na estação de verão, que compreende o período de chuva.

Prado e Novo (2006) realizaram estudo no reservatório de Barra Bonita para avaliar o estado trófico, através da utilização do Índice de Estado de Trofia (IET) de Carlson (1977) modificado por Toledo *et al.* (1983), onde consideraram os dados obtidos na superfície da água do reservatório na estação chuvosa em 1990 e 2002, para detectar as possíveis fontes de poluição. Todos os pontos analisados em 2002 enquadraram-se no estado eutrófico, no qual o processo foi intensificado pela entrada de nutrientes por fontes pontuais e difusas. Sendo que em 1990, os dados obtidos apresentaram situações diferenciadas, onde obtiveram os estados eutrófico, mesotrófico e oligotrófico para os diferentes pontos amostrados. Os quais são decorrentes da contribuição dos esgotos domésticos, de fontes pontuais de poluição e da entrada de poluentes por fontes difusas, como a agricultura.

Em monitoramento da qualidade das águas realizado pela FEPAM (2006) (que integra hoje a Rede de Monitoramento do Pró-Guaíba) nos diferentes pontos do rio dos Sinos (um ponto na foz do arroio João Corrêa) foram realizados estudos estatísticos utilizando o IQA e seus resultados interpretados com a Resolução do CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. O rio dos Sinos apresenta na nascente uma faixa boa (71 a 90), em seu trecho superior sua qualidade é regular (51 a 70), em seu trecho médio apresenta uma tendência ao decréscimo da qualidade, no início, notas na faixa ruim (26 a 50) e declina para a faixa muito ruim (inferior a 25) e no seu trecho final está no intervalo da faixa ruim, mas não apresenta tendência ao decréscimo. De acordo com o resultados, a área canalizada do arroio João Corrêa apresenta altas concentrações de metais pesados (chumbo, cromo total, cádmio, cobre, mercúrio, níquel e zinco) acima da classe 1 e também de coliformes fecais, com concentrações médias em torno de $200.000 \text{ nmp } 100 \text{ mL}^{-1}$ (classe 4).

3.4 Indicadores de qualidade ambiental

O termo indicador é originário do Latim *indicare*, que significa descobrir, destacar apontar, anunciar, estimar. Entende-se por indicador aquela informação que explicita o atributo que permite a qualificação das condições dos serviços, e por Índice o parâmetro que mede o indicador, atribuindo-lhe valores numéricos (GARCIAS, 2001).

Os indicadores são dados que permite quantificar, qualificar ou mensurar algum elemento desejado, facilitando a compreensão dos dados, melhorando a qualidade de pesquisas como ferramenta de auxílio à decisão, são modelos simplificados da realidade com a capacidade de facilitar a compreensão dos fenômenos (MAGALHÃES JUNIOR, 2007).

Em 1965 Horton, pesquisador alemão apresentou formalmente o primeiro índice de qualidade de água, referindo-se a este como uma ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública (DERÍSIO, 2000). Os mais utilizados foram desenvolvidos por Brown, McClelland, Deininger e Tozer nos Estados Unidos (EUA), financiado pela agencia americana National Sanitation Foundation (NSF) na década de 70, esses pesquisadores apresentaram um índice de qualidade de água bastante similar em sua estrutura, ao Índice de Horton. No ano de 1971, Prati, Pavanello e Pesarin (*apud* OTT, 1978), propoem um IQA europeu aditivo sem peso ou índice implícito de poluição de Prati. Em 1973 surgiu o índice de poluição de rios por Mcduffie. No ano de 1976, Landwehr e Deininger desenvolveram uma forma multiplicativa para evitar problemas ocorriam quando um subíndice apresentava valores extremamente baixos de qualidade de água. Em 1978 Ott propôs um modelo de uniformização e agregação de dados em indicadores ambientais, levando em consideração a seleção das variáveis para compor o índice. O índice de Dinius (*apud* OTT, 1978) propôs o desenvolvimento de um sistema rudimentar de contabilidade social que mediria os custos e impactos das medidas de controle de poluição. Em 1996 Cisneros cria no México o índice de disponibilidade de água (SILVA *et al.*,1999). No ano de 1987, Smith propôs um índice geral relacionado com a legislação da Nova Zelândia, para uso específico de qualidade de água.

Bollmann e Marques (2000) modificarão o modelo de Ott (1978), o qual foi estruturado em três etapas: escolha dos parâmetros que comporão o índice, uniformização das informações através do cálculo de subíndices próprios para cada variável, reunião das informações para compor o índice final.

O interesse do Brasil por tais índices cresceu desde que o Conselho Nacional de Meio Ambiente em seu relatório anual de 1972, manifestou a necessidade da utilização de índices para o meio ambiente.

Segundo Otto (1978) existe três tipos básicos de índices de qualidade de água:

- Índices elaborados a partir da opinião de especialistas;
- Índices baseados em métodos estatísticos;
- Índices biológicos (cujos dados necessários para sua formulação ainda não são rotineiramente obtidos em programas de monitoramento).

Em geral, um Índice de Qualidade de Água (IQA) é um número adimensional que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido da agregação de dados físico-químicos e bacteriológicos por meio de metodologias específicas (DERÍSIO, 2000).

3.5 Critérios de qualidade de água baseado em indicadores de poluição

Os temas abordados a seguir são referentes ao índice de qualidade da água (IQA), da CETESB, NSF, COMITESINOS, FEAM, estatístico, índice de estado trófico (IET), fator de contaminação (FC), índice de geoacumulação (IGeo) e o índice de carga metálica (ICM).

3.5.1 Índices de qualidade da água (IQA)

O IQA é um número simples que expressa a qualidade geral da água em um determinado local e tempo, baseado em várias variáveis de qualidade de água. A utilização do IQA é bastante útil para transmitir informação a respeito da qualidade da água ao público em geral. Uma das vantagens no seu uso é a uniformidade dos critérios para apresentação e a fácil compreensão, podendo dar uma idéia geral da tendência de evolução da qualidade ao longo do tempo, permitindo comparação relativa entre os sistemas hídricos. Qualquer outro uso, que necessite de maior detalhamento da qualidade da água, deve-se avaliar os parâmetros de interesse individualmente (COMITESINOS, 1990; PORTO *et al.*, 1991).

Na seleção dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade de água, deve-se levar em conta os usos previstos para o corpo d'água e as fontes de poluição existentes na sua área de drenagem. A combinação destes parâmetros possibilita a utilização de índices que podem representar a situação de determinado corpo d'água de forma confiável (DERÍSIO, 2000).

Os IQAs baseiam-se na utilização de variáveis de poluição podendo estar ser físicas, químicas e biológicas, quantificando a água, quanto ao maior ou menor grau de risco a saúde humana sobre a forma de um valor único denominado nota de qualidade (PEREIRA, 2002).

Para a interpretação ecológica da qualidade das águas faz-se necessário à utilização de métodos simples e que forneçam informações objetivas e interpretáveis, para isso o uso de índices de qualidade de água é uma tentativa que todo o programa de monitoramento prevê, como forma de acompanhar, através de informações resumidas a possível deterioração dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo (TOLEDO e NICOLELLA, 2002).

3.5.2 IQA da CETESB

O IQA é uma adaptação realizada pela CETESB a partir do IQA desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos, em 1970, que selecionou os parâmetros relevantes, através de um grupo de especialistas, para avaliar a qualidade das águas e atribuiu, para cada um deles, um peso relativo.

A CETESB utiliza os seguintes parâmetros para avaliar a qualidade das águas, quais sejam:

- Coliformes termotolerantes;
- Fósforo total;
- Demanda bioquímica de oxigênio;
- Nitrogênio total;
- Oxigênio dissolvido;
- pH;
- Resíduo total;
- Temperatura; e
- Turbidez.

O IQA calculado permite classificar a qualidade da água em uma escala que vai de péssima a ótima. Quando utilizadas para informar sobre a qualidade da água, o IQA pode variar de zero a 100. Quanto maior for o valor do IQA, melhor será a qualidade da água, conforme mostrada na tabela 1.

As curvas médias de variação da qualidade das águas em função de sua concentração para cada um dos parâmetros são apresentadas no anexo A, onde os valores obtidos para cada uma das variáveis são comparados com as curvas existentes para verificar se os valores obtidos para a qualidade relativa (q_s) são satisfatórios ou não.

De acordo com a CETESB (2006b), o IQA tem por objetivo avaliar a aptidão que as águas brutas apresentam para a produção de água potável.

TABELA 1:
Faixa de valores do IQA e segundo nível de qualidade, faixa de variação e cor de referência

Nível de qualidade	Faixa de variação	Cor de referência
Ótima	$79 < \text{IQA} = 100$	azul
Boa	$51 < \text{IQA} = 79$	verde
Regular	$36 < \text{IQA} = 51$	amarelo
Ruim	$19 < \text{IQA} = 36$	laranja
Péssima	$\text{IQA} = 19$	roxo

Fonte: adaptado da CETESB (2007)

3.5.3 IQA da NSF

A *National Sanitation Foundation* (NSF) desenvolveu em 1970 nos Estados Unidos, o Índice de Qualidade da Água (*Water Quality Index - WQI*) embasado no método DELPHI (*Rand Corporation*), na tentativa da definição de um sistema de acompanhamento eficaz aos programas de monitoramento dos recursos hídricos, sendo um método padronizado para comparar a qualidade da água dos diferentes corpos d'água.

Este índice considera a existência de um vetor de qualidade, fatores de ponderação, funções de qualidade e funções de agregação, que consiste num questionário lançado a um painel de peritos sobre a inclusão de 32 variáveis no valor de índice. Deste processo, foram selecionadas nove variáveis, que passaram a constituir o índice de qualidade da água, sendo a cada uma delas atribuído em peso relativo variando de 7% a 17%.

O WQI é calculado utilizando nove fatores escolhidos, alguns foram considerados mais importantes do que outros, então uma média ponderada é utilizada para combinar os valores. Os parâmetros utilizados para a determinação do índice de qualidade da água são oxigênio dissolvido (0,17), coliformes termotolerantes (0,16), pH (0,11), DBO₅ (0,11), temperatura (0,10), fósforo total (0,10), nitrato (0,10), turbidez (0,08) e sólidos totais dissolvidos (0,07).

Na aplicação do IQA NSF, foram definidas classes para avaliar a qualidade físico-química e microbiológica das águas superficiais, ou seja, numa escala de classificação da qualidade da água em que os valores variam de 0 - 100 e são divididos em várias faixas correspondentes aos termos gerais descritivo, sendo muito ruim (0-25), ruim (25-50), média (50-70), bom (70-90), ou excelente (90-100), um maior número é indicativo de uma melhor qualidade da água.

A planilha de versão para o cálculo do WQI, segundo a NSF está disponível na página <http://www.water-research.net/watrqualindex/waterqualityindex.htm>.

3.5.4 IQA do COMITESINOS

O IQA do COMITESINOS (1990) é uma modificação do IQA desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF) dos Estados Unidos, que considerou para a determinação do índice de qualidade de água oito variáveis, sendo estes:

- Oxigênio dissolvido;
- Coliformes termotolerantes;
- pH;
- Demanda bioquímica de oxigênio;
- Fosfato total;
- Nitrato;
- Turbidez;
- Sólidos totais dissolvidos

A interpretação do valor do IQA do COMITESINOS é realizada dentro de um conjunto de faixas de qualidade de água, sendo esta apresentada na tabela 2.

TABELA 2:
Faixas de qualidade de água para o IQA do COMITESINOS

Faixas de IQA	Classificação	Cor de referência
0 - 25	Muito ruim	preta
26 - 50	Ruim	vermelha
51 - 70	Regular	amarela
71 - 90	Bom	verde
91 - 100	Excelente	azul claro

Fonte: adaptado COMITESINOS (1993)

3.5.5 IQA da FEAM

A Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) de Minas Gerais utilizam os parâmetros para os cálculos do IQA, que representam as características físico-químicas e biológicas, que foram estabelecidas pela *National Sanitation Foudantion* (NSF) nos Estados Unidos, que desenvolveu o índice de qualidade da água através de pesquisa de opinião junto a vários especialistas da área ambiental. Considerou nove parâmetros representativos sendo o

oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, variação de temperatura, turbidez e resíduos totais (FEAM, 2005).

Os valores do índice variam entre 0 e 100, que correspondem aos níveis de qualidade descritos conforme especificado na tabela 3 a seguir.

TABELA 3:
Nível de qualidade segundo FEAM

Nível de qualidade	Faixa	Cor representativa
Excelente	90 < IQA = 100	azul
Bom	70 < IQA = 90	verde
Médio	50 < IQA = 70	amarelo
Ruim	25 < IQA = 50	laranja
Muito Ruim	0 = IQA = 25	vermelho

Fonte: adaptado da FEAM (2005)

Assim definido, o IQA reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos.

3.5.6 IQA estatístico

O IQA estatístico utiliza a análise fatorial de variáveis físicas, químicas e biológicas da água, como proposto por Haase e Possoli (1993). Sendo esta uma técnica de interdependência, onde todas as variáveis analisadas são simultaneamente consideradas, relacionando umas com as outras.

A utilização da análise fatorial permite condensar as informações em diversas variáveis originais em um conjunto menor de variáveis estatísticas, com perda mínima de informações. Possibilitando o resumo e a redução dos dados, auxiliando na relação de um subconjunto representativo de variáveis, o que permitirá a compreensão de quais variáveis poderão atuar juntas e quantas realmente serão consideradas como tendo impacto na análise, obtendo no final um conjunto de fatores mais representativo e parcimonioso possível (HAIR JUNIOR *et al.*, 1998). Segundo Bollmann e Marques (2000) a importância relativa de cada variável será dada pelo seu grau de correlação com as demais.

É uma técnica da análise multivariada, que estuda a correlação de um conjunto de “n” variáveis ($X_1, X_2... X_n$), permitindo substituí-lo por outro conjunto menor de variáveis hipotéticas ou fatores comuns, cuja estrutura simplificada deve explicar a maior parte da variabilidade das variáveis originais (HAIR JUNIOR *et al.*, 1998). Mais precisamente,

procura-se encontrar combinações lineares de variáveis de tal modo que a correlação entre essas combinações seja máxima (BOLLMANN e MARQUES, 2000).

A tabela 4 representa as faixas de qualidade arbitrária utilizada para a classificação da variação do IQA estatístico. O IQA tem distribuição com média igual a zero e variância igual a um. Portanto, espera-se que 99% dos valores estejam entre -3 e $+3$. Quanto maior o valor do IQA, pior a qualidade da água, e quanto mais negativo o IQA, melhor a qualidade da água.

TABELA 4:
Faixas de qualidade para o IQA estatístico

Faixa arbitrária	Qualidade	Cor representativa
-3 a -2	Excelente	azul
-2 a -1	Boa	verde
-1 a 0	Regular	amarelo
0 a 1	Ruim	laranja
1 a 2	Muito ruim	vermelho
2 a 3	Péssima	preta

Fonte : adaptado Makhamra (2004)

3.5.7 Índice do estado trófico (IET)

O IET tem por finalidade classificar corpos de água em diferentes graus de trofia, avaliando assim a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes, ao crescimento das algas e a produção de plantas aquáticas (CARLSON e SIMPSON, 1996).

O processo de eutrofização em um sistema aquático pode ocorrer naturalmente ou artificialmente. Quando artificial, o processo é induzido pelo homem, e caracteriza-se pelo envelhecimento precoce do sistema aquático. Neste caso, os nutrientes apresentaram diferentes origens, sendo oriundas de efluentes domésticos e industriais ricos em nutrientes decorrentes do processo desordenado de urbanização. De acordo com Von Sperling (2005) a drenagem pluvial urbana transporta uma carga muito maior de nutrientes que os demais tipos de ocupação da bacia, contribuindo para a elevação no teor algal, assim como os esgotos urbanos associados ao maior fator de deterioração, pois contém nitrogênio e fósforo, presente nas fezes e urina, restos de alimentos, detergentes e outros subprodutos das atividades humanas, sendo estas contribuições superiores às originadas pela drenagem urbana.

Segundo Esteves (1998), a eutrofização artificial é um processo dinâmico, no qual ocorrem profundas modificações qualitativas e quantitativas nas comunidades aquáticas, nas condições físicas e químicas do meio e no nível de produção do sistema, podendo ser considerada uma forma de poluição.

O IET é empregado com a utilização de diferentes variáveis como clorofila, fósforo total, transparência (disco de Secchi), nitrogênio. Para a classificação do IET utiliza-se uma escala de valores de números inteiros entre zero e 100, que será atribuído ao corpo de água baseado no seu estado de trofia (CARLSON, 1977; CARLSON e SIMPSON, 1996).

O fósforo tem sido apontado como o principal responsável pelos processos de eutrofização (ESTEVES, 1998). É um fator limitante no crescimento das algas, e correlaciona-se diretamente com a biomassa (PEREIRA e RODRIGUES, 2006).

Segundo Carlson (1977) a clorofila é a variável mais exata para determinar a biomassa algal. A transparência deve somente ser usada se não houver nenhum método melhor disponível, uma vez que os valores de transparência muitas vezes não são representativos do estado de trofia.

A classificação do IET utilizando as diferentes variáveis com a escala de valores para determinar o estado de trofia encontra-se relacionado na tabela 5:

TABELA 5:
Escala de valores para a classificação do IET

Classificação do estado trófico				
Estado trófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico
Fósforo total	< 10	10 - 0	31 - 100	>100
Nitrogênio	< 350	350 - 350	651 - 1200	>1200
Clorofila	< 3,5	3,5 - 9,0	9,1 - 2,5	>25
Disco de Secchi	> 4,0	2 - 4	1,0 - 2, 1	<1,0

Fonte: adaptado de Carlson e Simpson (1996)

Os estados de trofia adotados para a classificação do IET estão relacionados na tabela a seguir:

TABELA 6:
Classificação do Estado Trófico segundo o Índice de Carlson modificado

Estado trófico	Critério	Classe do IET
Oligotrófico	IET = 44	1
Mesotrófico	44 < IET = 54	2
Eutrófico	54 < IET = 74	3
Hipereutrófico	IET > 74	4

Fonte: adaptado da CETESB (2006c)

3.5.7.1 Oligotrófico

O estado de trofia oligotrófico caracteriza-se por corpos de água limpos, que apresentam baixa produtividade, não ocorrendo interferências indesejáveis sobre os usos da água. A classe determinada para o estado oligotrófico é 1, e o IET é menor ou igual a 44.

3.5.7.2 Mesotrófico

São aqueles corpos de água com produtividade intermediária, possui possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis na maioria dos casos. O estado mesotrófico é enquadrado dentro de uma classe 2, com IET se situa no intervalo maior do que 44 a 54.

3.5.7.3 Eutrófico

Os eutróficos caracterizam-se por apresentar corpos de água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, sendo na maioria das vezes afetadas por atividades antrópicas, ocorrendo neste caso alterações indesejáveis na qualidade da água, assim como interferências nos seus múltiplos usos. A classe determinada para o estado eutrófico é a 3, com IET se situa no intervalo maior do que 54 a 74.

3.5.7.4 Hipereutrófico

Nos estágios de hipereutrofia os corpos de água são afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutriente, comprometendo acentuadamente os seus usos. Pode estar associado aos episódios de floração de algas e mortandade de peixes, causando assim conseqüências indesejáveis sobre as atividades pecuárias nas regiões ribeirinhas. O estado hipereutrófico é classificado como classe 4, com IET maior do que 74.

3.5.8 Background

As amostras de *background* são obtidas sob as mesmas condições em áreas geograficamente próximas a área de estudo, esperando-se que as concentrações sejam representativas para serem utilizadas nas análises dos elementos da região, pois estas devem possuir características geológicas similares as do sedimento em estudo e também deverão ser submetidas aos mesmos procedimentos analíticos (POLETO e GONÇALVES, 2006).

Os valores médios de nível de base naturais globais são propostos por Martin e Meybeck (1979), conforme tabela 7. Os índices de Turekian e Wedepohl (1961) utilizam os valores de referência do folhelho-padrão, assim como EPA *apud* Rodrigues (1997). Já os índices de Martin e Whitfield (1983) referem-se às médias das concentrações dos elementos encontrados nas águas dos vinte maiores rios do mundo.

TABELA 7:
Nível de Base Natural dos metais pesados em $\mu\text{g g}^{-1}$

Nível de Base Natural	Cd	Cr	Ni	Pb
Turekian e Wedepohl (1961)	0,3	90	52	19
Martin e Whitfield (1983)	1	100	90	100
EPA (<i>apud</i> Rodrigues 1997)	0,22	90	68	23

Fonte: modificado de Casartelli (1983); Franzen (2001); Soares (2004)

3.5.9 Fator de contaminação

O fator de contaminação (FC) em sedimentos é utilizado para estimar a contribuição antrópica dos metais pesados e estabelecer ao longo do perfil realizado a contaminação mais significativa do sedimento, permitindo verificar a ordem de grandeza, quanto o nível natural dos sedimentos foi excedido o qual irá indicar o enriquecimento ou caso contrário o empobrecimento do elemento no sedimento de fundo (HAKANSON, 1980; SOARES *et al.*, 2004).

3.5.10 Índice de geoacumulação

O índice de geoacumulação (IGeo) é um indicador de poluição causada por metais pesados no ambiente aquático. Estabelecendo uma relação entre os teores de metais encontrados na região em análise e um valor referencial, equivalente a média mundial para metais associados às argilas (MÜLLER, G., 1979).

Este índice é agrupado numa escala de sete intervalos que variam de zero a seis e estão relacionados com o grau crescente de poluição (Tabela 8), onde o valor mais elevado reflete um enriquecimento superior ao *background* de aproximadamente 100 vezes ($2^6 = 64 \times 1,5$).

TABELA 8:
Classificação dos parâmetros pelo IGeo de metais pesados nos sedimentos,
conforme o grau de poluição

Intensidade de poluição	Abreviaturas	Acumulação no sedimento	Classe IGeo
Muito fortemente poluído	EX	> 5	6
Forte a muito fortemente poluído	FEC	4 - 5	5
Fortemente poluído	FP	3 - 4	4
Moderado a fortemente poluído	MFP	2 - 3	3
Moderadamente poluído	MC	1 - 2	2
Pouco a moderadamente poluído	PMD	0 - 1	1
Praticamente não poluído	NC	< 0	0

Fonte: adaptado de Müller (1979) e Singh *et al.* (1997)

3.5.11 Índice de carga metálica

No índice de carga metálica (ICM), os elementos metálicos presentes na água apresentam uma carga total, que depende das características geológicas e das atividades desenvolvidas em suas proximidades e que são lançadas diretamente no sistema aquático, deve-se considerar também as intensidades destas atividades.

A carga metálica proveniente de efluentes industriais apresenta-se dissolvida na água, enquanto que a proveniente de processos naturais como o escoamento superficial encontra-se associado ao material particulado em suspensão.

A solubilização ou precipitação dos metais na água depende dos fatores matéria orgânica dissolvida e, principalmente, pH e Eh, potencial de oxi-redução. Em baixas concentrações de oxigênio (baixo potencial redox), ocorre, por exemplo, a oxidação e consequentemente a solubilização do ferro, enquanto que em ambiente aeróbio e pH levemente básico, grande parte do ferro é precipitada sob a forma de hidróxido de ferro trivalente e/ou fosfato férrico (ESTEVES, 1998).

3.6 Análise granulométrica

As análises granulométricas permitem saber a granulometria do material coletado, sendo uma das propriedades físicas fundamentais, para estabelecer uma expressão quantitativa da distribuição granulométrica (SUGUIO, 1973).

3.6.1 Diagrama de Hjulström

Os sedimentos que chegam ao curso d'água apresentam diferentes granulometrias e passam por processos diferenciados de transporte sendo este determinado pelas condições locais e do escoamento. A dinâmica do transporte fluvial está intimamente relacionada com a velocidade das águas. Os rios apresentam secções onde ocorre o trabalho geológico, que compreende os processos que podem agir no modelo fluvial, sendo estes a erosão, o transporte e a deposição. A erosão é provocada pela remoção de materiais do leito e da margem do rio, sendo este resultante da pressão da água em movimento ou pelos materiais arrastados pela corrente e que se chocam com o leito e com a margem. O transporte ocorre após a remoção do leito e das margens, já a deposição corresponde à parte terminal do processo de transporte e consiste no acumulo dos detritos no leito e nas margens do rio (CHRISTOFOLETTI, 1981; SILVA et al., 2003).

O diagrama de Hjulström (Figura 1) representa as curvas experimentais que explicam a influência da velocidade da corrente e da dimensão dos materiais, nos processos de erosão, transporte e deposição. Quanto maior for a velocidade do fluxo maior será a tendência a erosão e quanto maior for a partícula, mais difícil será o transporte desta e maior a tendência a deposição.

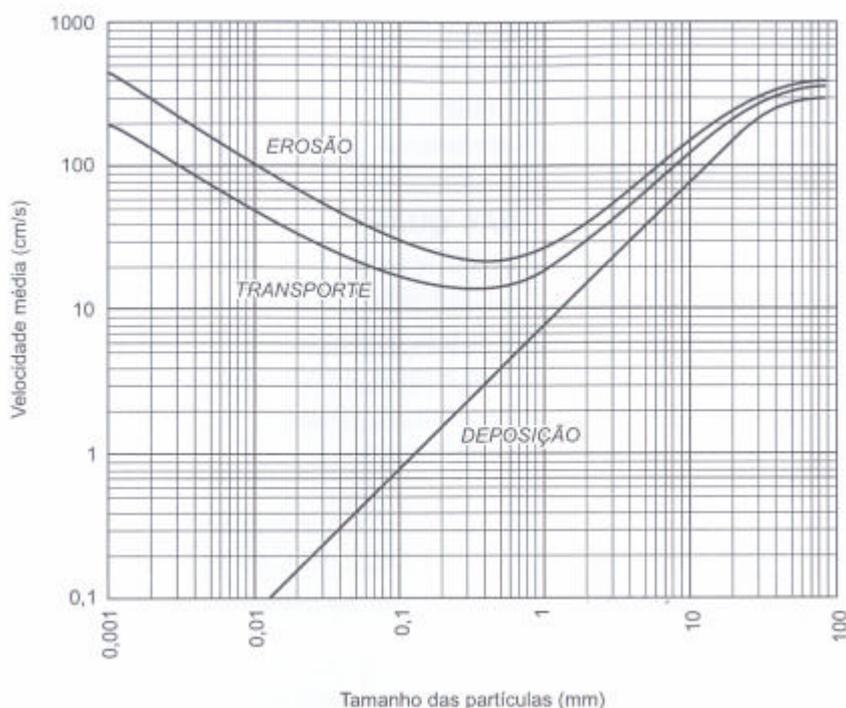


Figura 1 – Diagrama de Hjulström que relaciona as variações entre a velocidade média e o tamanho das partículas para os processos de erosão, transporte e deposição.

Fonte: Hjulström (*apud* CHRISTOFOLETTI, 1981)

3.7 Gestão dos recursos hídricos – normas e legislação ambiental

A água existente deve suprir todas as demandas, em quantidade e qualidade, a gestão dos recursos hídricos vem sendo desenvolvida, para solucionar questões relativas à escassez desse recurso, disponibilizando para todos, seja seres humanos, fauna, flora e as futuras gerações.

No Brasil a gestão dos recursos hídricos teve início na década de 30 vinculada a questão agrícola, em 1933 criou-se a Diretoria de Águas no Ministério da Agricultura, substituída pelo Serviço de Águas, sendo em 1934 transferido para o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral atual Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), sendo neste ano editado o Código das Águas, atualmente em vigor (BRASIL, 1934).

O Código das Águas foi estabelecido pelo Decreto Nº 24.643, de 10 de julho de 1934, sendo este proveniente de um modelo de gerenciamento de águas orientado por tipos de uso, o qual tratava-se de uma etapa da administração denominada modelo burocrático com o objetivo de fazer cumprir os dispositivos legais sobre águas. Esse modelo de gestão tinha como consequência os conflitos de uso e de proteção das águas e a realimentação do processo de elaboração de novos instrumentos legais para reforçar o esquema legal o que acarretava num conjunto de leis e normas, muitas vezes conflitantes e de difícil interpretação. A segunda etapa foi o modelo econômico-financeiro, o qual fazia uso de instrumentos econômicos e financeiros, por parte do poder público, para promover o desenvolvimento nacional e regional, além de induzir a obediência das normas legais vigentes (BONSOI e TORRES, 1997). O Código das Águas representa um dos primeiros instrumentos de controle do uso dos recursos hídricos do país e a base para a gestão pública do setor de saneamento.

Para Young e Young (2007), o Código das Águas foi o principal marco divisório, que abordou a proteção dos recursos hídricos através da regulamentação da apropriação da água, a qual apresenta mecanismos que assegura a utilização sustentável e garante o acesso público das águas.

A gestão dos recursos hídricos sofreu mudanças na estrutura governamental durante o modelo econômico-financeiro, sendo em 1961 o DNPM integrado ao Ministério das Minas e Energia. Em 1965, o Serviço de Águas do Ministério da Agricultura foi transformado em Divisão e passou a Departamento Nacional de Energia (DNAE), o qual em 1968 teve nova designação para Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). No ano de 1972 foi criada a Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), que daria suporte ao controle de poluição, principalmente dos sistemas hídricos.

Em 1984 é criado o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o qual em 1986 estabelece a classificação das águas em todo o território nacional, por meio da Resolução Nº 20/86, estabelecendo classes, para as águas doces, salobras e salinas, sendo adotado limites e ou condições de qualidade a serem respeitadas para cada uma das classes. O enquadramento das classes visa assegurar as águas qualidade compatível com os usos exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate a poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

No ano de 1997 foi sancionada a Lei Nº 9.433, da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), e para implementar a nova legislação é criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Esta lei atribuiu princípios, normas e padrões de gestão de água (BRASIL, 1997). Segundo Ioris (2006) essa nova estrutura institucional foi introduzida, para dar resposta aos problemas sócio-ambientais do passado, sendo a aprovação da PNRH o ponto culminante da década de 90. Cujas missão é “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

O Art.11 estabelece que “o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efeito exercício dos direitos de acesso à água”.

O Rio Grande do Sul é um dos estados que possui leis de organização administrativa para o setor de recursos hídricos. A Lei Estadual Nº 10.350/94 estabelece no Art. 1º que “a água é um recurso natural de disponibilidade limitada e dotado de valor econômico que, enquanto bem público de domínio do Estado, terá sua gestão definida através de uma Política de Recursos Hídricos nos termos desta Lei” (ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL, 1994).

Segundo Bollmann e Marques (2000) ao avaliar a qualidade ambiental está, sobretudo, discutindo as intervenções humanas sobre esse ambiente, a qual deve-se basear na proposição de indicadores que se dá pela agregação das informações que possibilitaram a interpretação das variáveis mais importantes. Em 2005, o CONAMA através da Resolução Nº 357/2005 considera a necessidade de reformular a classificação dos corpos de água, por ser essencial à defesa de seus níveis de qualidade assegurando seus usos preponderantes, quanto ao seu enquadramento, este deve estar baseado nos níveis de qualidade que devem possuir para atender as necessidades da comunidade.

Ainda que as atividades antrópicas continuem causando danos, através dos despejos de efluentes industriais e domésticos lançados diretamente dentro dos corpos de água. O Estado do Rio Grande do Sul por meio da CONSEMA cria a Resolução Nº 128/2006, que fixa

padrões quanto a emissão de efluentes líquidos para as águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul, considerando a necessidade de readequação da forma de controle e fiscalização das atividades geradoras de carga poluidora lançada nos recursos hídricos.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo será apresentada a localização da MbaJC assim como os aspectos relativos ao clima, geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo.

4.1 Localização

O arroio João Corrêa está localizado no município de São Leopoldo, RS. Geograficamente este município situa-se na encosta inferior da região nordeste do Rio Grande do Sul, na latitude de 29°45'37" S, longitude 51°08'50" W e a 26 metros do nível médio do mar, próximo a Prefeitura Municipal, localizado na região metropolitana de Porto Alegre, RS. Está 100% inserido na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (BHRS), que apresenta uma área territorial de 3.820 km² e abrange 32 municípios. O curso principal d'água apresenta uma extensão de 190 km, no município de São Leopoldo percorre 20 km.

São Leopoldo faz divisa com os municípios de Portão, Novo Hamburgo, Estância Velha e Sapucaia, possui uma área de 102,3 km² e sua população é de 214.904 habitantes (FEE, 2006). As feições fisiográficas desta região são as planícies do rio dos Sinos e o morro de Paula.

No curso inferior do rio dos Sinos, a qualidade da água está comprometida pela entrada de poluentes oriundos de resíduos domésticos e industriais, que são lançados nos cursos d'água sem tratamento adequado. A rede hidrográfica municipal que deságua diretamente ou indiretamente no rio dos Sinos é composta por nove arroios, estando estes tributários em ambas às margens do rio dos Sinos, que corta a cidade, sendo o arroio João Corrêa um dos principais afluentes da margem esquerda. Parte significativa dos poluentes no rio dos Sinos é proveniente de afluentes menores, que estão diretamente submetidos à grande parte dos problemas ambientais, com conseqüente impacto ambiental no rio principal (STRIEDER *et al.*, 2003). Segundo os dados da série histórica mensal de 1993 até 2006, os arroios que mais degradam a qualidade do rio dos Sinos são o Luiz Rau, em Novo Hamburgo e o João Corrêa, em São Leopoldo (FEPAM, 2006).

O arroio João Corrêa percorre a zona Sul de São Leopoldo, totalizando 7 km, sendo 3,2 km de canalização fechada, possui uma área de 9,73 km² com um perímetro de 15,45 km. Tem sua nascente na divisa com o município de Sapucaia do Sul, junto ao horto florestal, atravessando São Leopoldo no sentido sul-norte, e na porção central passa de leste-oeste (Figura 2).

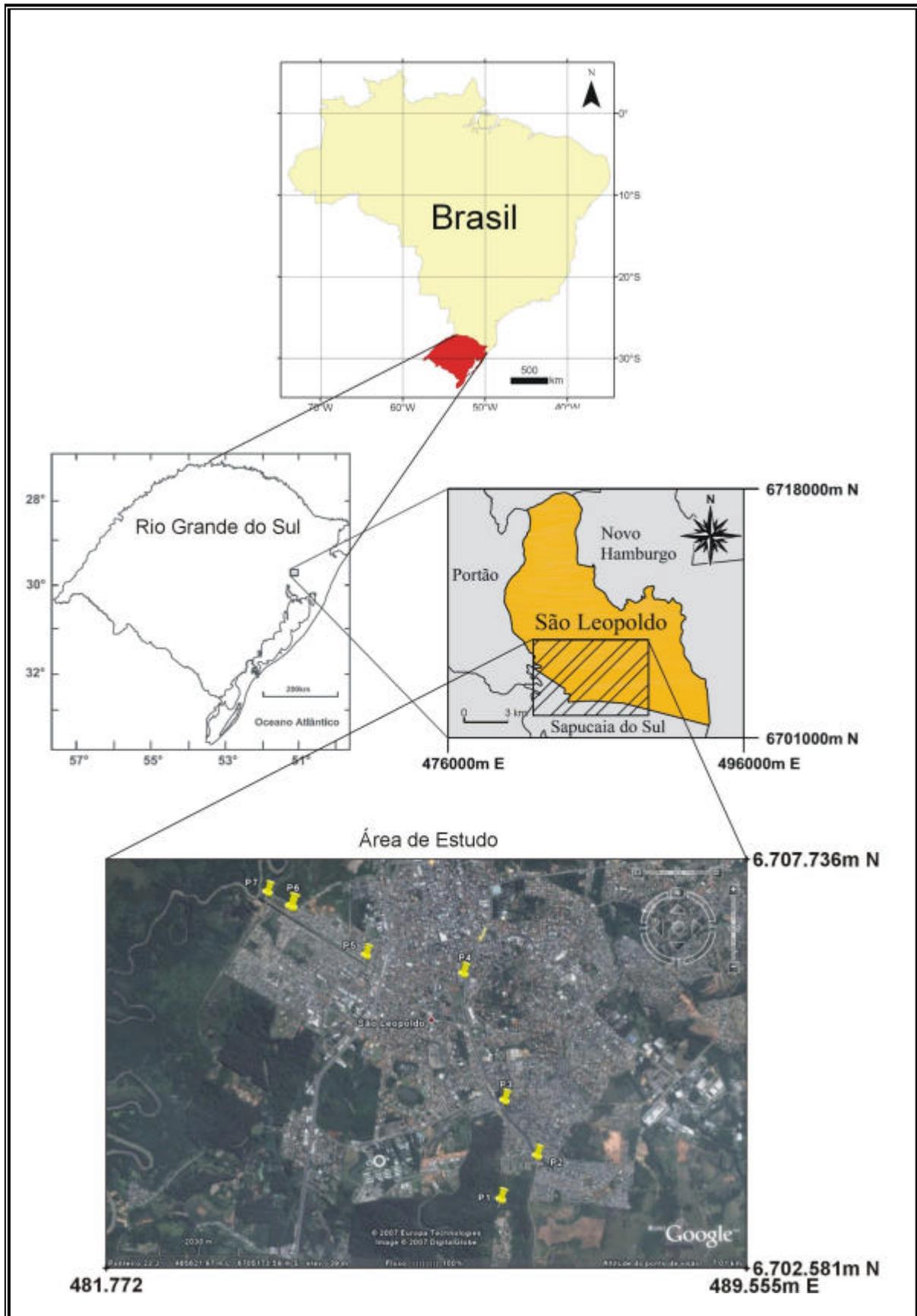


Figura 2 - Mapa de localização da MbaJC. Marcadores em amarelo representam os pontos de amostragem deste estudo.

Fonte: IBGE (2007) e Google Earth (2007)

4.2 Aspectos climáticos

A área da Microbacia do arroio João Corrêa está inserida no domínio climático da região de Porto Alegre, sendo este é de clima subtropical úmido, com verões quentes, invernos frios e chuvosos. A temperatura média de 24,5 °C (janeiro) e 14,3 °C (julho), com a temperatura média anual de 19,4 °C, mínima absoluta de -0,7 °C e máxima absoluta de 40,4 °C. A precipitação pluviométrica média anual é de 1.324 mm (IBGE, 1986).

4.3 Geologia

A geologia da Microbacia do arroio João Corrêa é formada pelas formações Pirambóia e Rio do Rasto, Depósitos Colúvio aluviais e Aluviais (DATASinos, 2006).

Segundo Zeltzer *et al.* (1992) o arroio João Corrêa percorre terrenos sedimentares, apresentando fácies constituídas por sedimentos cujas dimensões variam de areias até siltes e depósitos de lamias. Cortando ainda terrenos avermelhados, de arenitos médios a finos intercalados com camadas argilosas.

Os depósitos aluviais são restritos as calhas e as zonas de várzeas do rio dos Sinos e arroio João Corrêa, sendo estes formados por sedimentos, que foram depositados ao longo do tempo e são compostos por areias quartzosas, seixos, grânulos e apresentam ainda lamias nas zonas de várzeas.

Encontram-se também na planície de inundação do rio dos Sinos com o arroio João Corrêa, os depósitos colúvios aluviais, sendo estes formados por fragmentos de rochas e por sedimentos clásticos misturados aos materiais mais finos, que extravasam os canais nas cheias (planícies de inundação).

A Formação Pirambóia é formada por arenitos muito finos, finos a siltitos, vermelho-amarelados, com laminações plano-paralelas, estratificações cruzadas acanaladas de baixo ângulo e sigmoidais (CASTRO *et al.*, 1994).

Segundo Faccini *et al.* (2003) corresponde à porção basal eólica, constituída por dunas eólicas e interdunas. As dunas eólicas correspondem às faixas de afloramento dos depósitos da Formação Pirambóia, formadas por fácies de arenitos, apresentando estratificação cruzadas acanaladas ou tangenciais. A maior parte dessas estratificações é de médio a grande porte e ocorrem como conjuntos assintóticos na base com exposições verticais paralelas ao fluxo. As interdunas podem ocorrer sob duas formas de acordo com a geometria e sua constituição faciológica, que pode ser: fácies de arenitos tabulares amalgamados, compostos por arenitos com laminação plana, maciços ou bioturbados, estes são constituídos pela superposição de

camadas planas, centimétricas e são compostas por arenitos finos e apresentam estratificações plana-paralela ou cruzadas de baixo ângulo ou ainda com porte muito pequeno; e fácies de pelitos lenticulares laminados ou maciços.

A Formação Rio do Rasto integra o Grupo Passa Dois é a unidade sedimentar mais antiga presente nesta região (Paleozóico, Permiano Superior) situada em zonas mais baixas do relevo. Composta por arenitos finos a muito finos, lenticulares, siltitos e argilitos com cores avermelhadas, esverdeadas e amareladas. Com laminações plana-paralelas, estratificações cruzadas tangenciais de pequena e grande escala, estratificações lenticulares de pequeno porte com lentes conectadas (ZELTZER *et al.*, 1992).

4.4 Geomorfologia

As unidades geomorfológicas da BHRS estão constituídas pelo Planalto dos Campos Gerais, Serra Geral e Patamares da Serra Geral nas partes altas, médias e quase toda parte baixa. A Planície Lagunar e Alúvio-Coluvionar ocorre discretamente na parte baixa. As planícies de inundação e canais fluviais representam o terceiro domínio que se caracteriza por terrenos com sedimentos inconsolidados (PAULA, 1995).

O município de São Leopoldo caracteriza-se por duas unidades geomorfológicas, os Patamares da Serra Geral e a Depressão Periférica. Os Patamares da Serra Geral ocupa uma extensão de 1,74 km², a sudeste do município, formado por relevo residual, em forma de colinas e vales fluviais, com aprofundamentos entre 57 a 75 metros associados a ocorrência de morros testemunho e a cristas simétricas (TEIXEIRA, 2002).

A Planície aluvial da BHRS corresponde às áreas planas e baixas, com declives entre 0% e 2%, formadas por sedimentos quaternários, correspondendo às formas de planícies e terraços fluviais, possuem baixa drenabilidade. O lençol freático encontra-se próximo à superfície do solo, com áreas de descarga de aquíferos (TEIXEIRA, 2002).

4.5 Pedologia

A Microbacia do arroio João Corrêa esta inserida numa área que apresenta os solos do tipo PLANOSSOLOS HIDROMÓRFICOS Eutróficos arênicos e ARGISSOLOS VERMELHOS Distróficos arênicos (DATASinos, 2006), observados na figura 3.

Os PLANOSSOLOS HIDROMÓRFICOS Eutróficos arênicos são solos que apresentam uma textura arenosa desde a superfície até o início do horizonte B plânico, que ocorre entre 50 a 100 cm de profundidade (EMBRAPA, 1999). Estão distribuídos na planície

de inundação do rio dos Sinos ao longo da Formação Sanga do Cabral, neste estudo denominada de Formação Pirambóia, onde se encontra a foz do arroio João Corrêa.

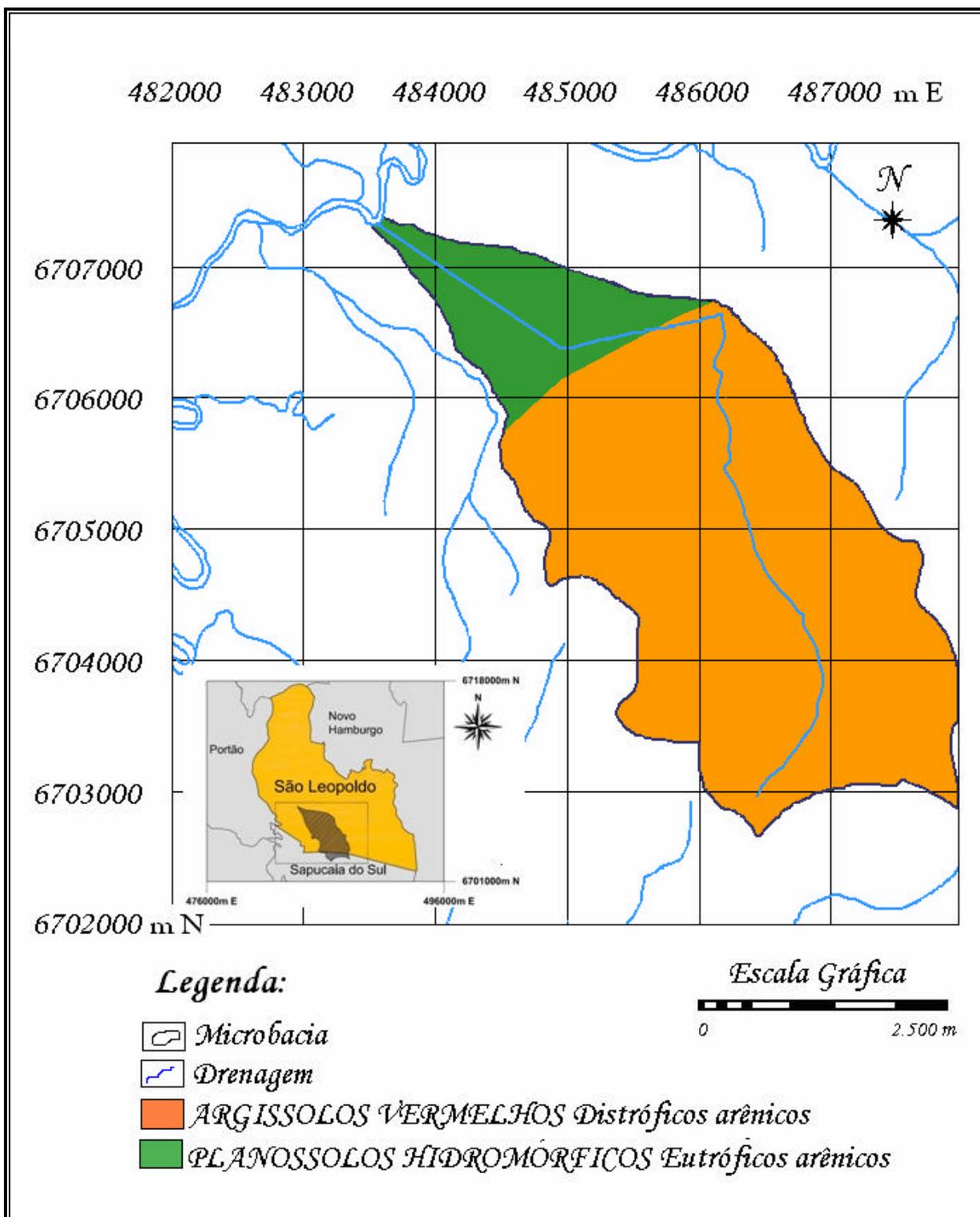


Figura 3 - Mapa de solos presentes na MbaJC.
Fonte: adaptada da Carta topográfica de São Leopoldo (1980)

Estes solos apresentam o horizonte A ou A+E de textura com espessura de 50 a 100 cm até o início de B, sendo característicos de áreas inundáveis, textura em relevo plano a

suavemente ondulado. São caracterizados pela presença de horizontes A-E-Bt-C, com o horizonte A, geralmente, de cor escura e o horizonte E de cor clara (tipo E albino), ambos de textura mais arenosa, com mudança súbita para o horizonte Bt (tipo B plânico), bem mais argilosa, de cor cinzenta com ou sem mosquedos vermelhos e ou amarelos (TEIXEIRA, 2002).

Os ARGISSOLOS VERMELHOS Distróficos arênicos ocupam a maior parte da área da MbaJC, são solos com textura arenosa desde a superfície até o início do horizonte B textural, que ocorre entre 50 a 100 cm de profundidade (EMBRAPA, 1999). Sua ocorrência se estabelece com relevo suave, sendo estes geralmente profundos a muito profundos e bem drenados, apresentando um perfil com uma seqüência de horizontes A-Bt-C ou A-E-Bt-C, onde o horizonte Bt é do tipo B textural. Seu horizonte apresenta um incremento de argila, em relação ao horizonte A ou E, sua textura é mais argilosa, com presença de cerosidade nos agregados estruturais e com tendências para apresentar processos erosivos, acentuados pela presença de falhamentos geológicos (TEIXEIRA, 2002).

4.6 Uso e ocupação

A área da MbaJC é formada por diferentes zonas, sendo estas industrial, especial, residencial e comercial, segundo o Mapa de Zoneamento da Prefeitura Municipal de São Leopoldo elaborado conforme a Lei Municipal Nº 2.133/1981 (Figura 4).

A zona industrial desta microbacia concentra-se na avenida Mauá, no lado esquerdo do arroio João Corrêa (canalização fechada), as indústrias de grande porte localizadas neste local são: Amadeo Rossi S.A. Metalúrgica e Munições, Bins S.A. Indústria de Artefatos de Borracha, Rolamentos Mar Metalúrgica Ltda e a Rotermund Ltda. Já a zona comercial encontra-se no centro, onde parte deste comércio situa-se na av. João Corrêa.

A zona especial fica entre a divisa dos municípios de São Leopoldo e de Sapucaia do Sul é formada pelo Horto Florestal ou Reserva Florestal Padre Balduino Rambo incorporada ao Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC), em 16 de outubro de 2002, o qual foi dividido em 1961, quando Sapucaia separou-se de São Leopoldo, ficando metade para cada município.

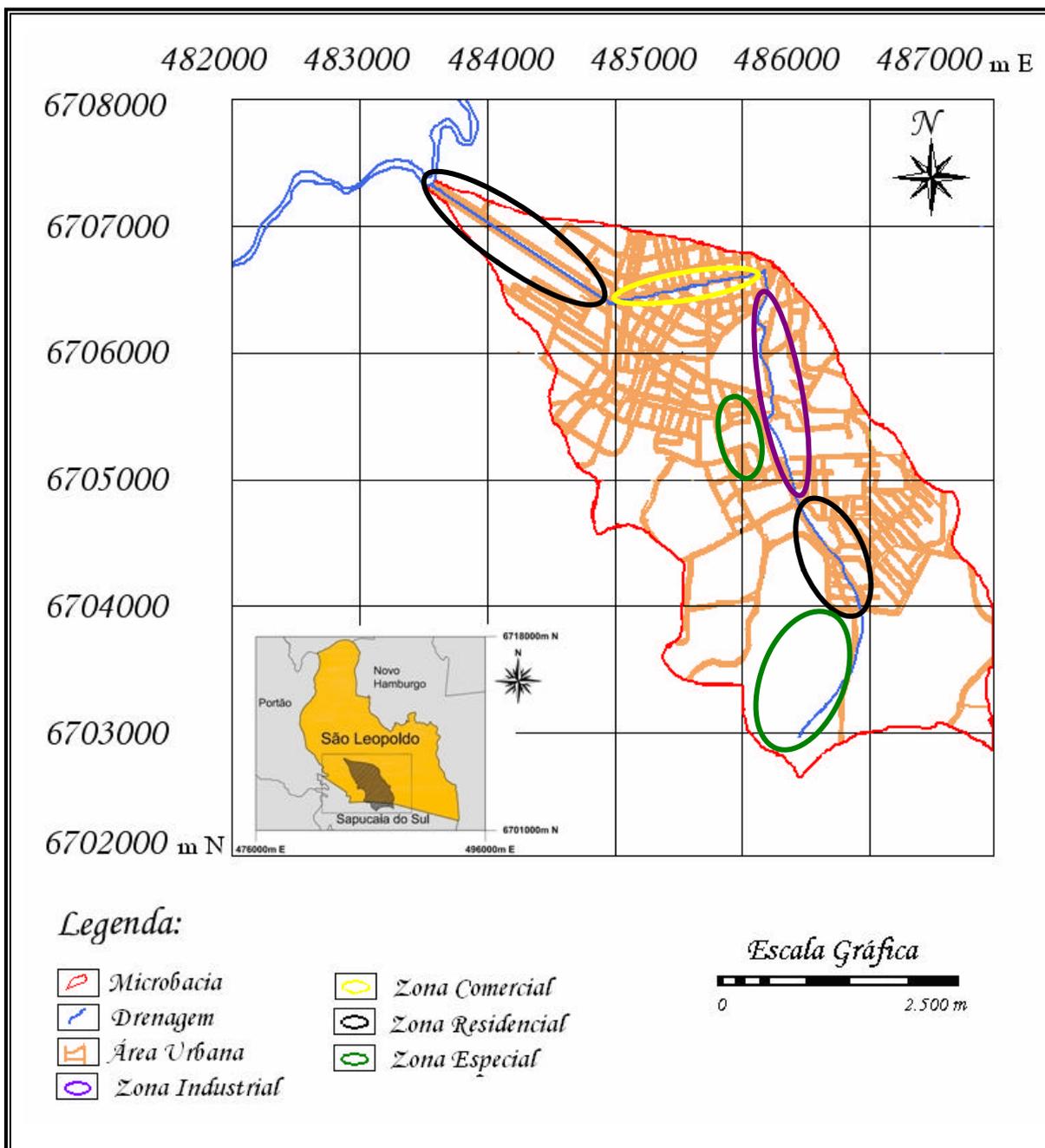


Figura 4 - Mapa de Zoneamento da MbaJC.
Fonte: adaptada da Carta topográfica de São Leopoldo (1980)

Formando a zona residencial tem-se o total de nove bairros situados na MbaJC, são estes os bairros Vicentina, São Miguel, Centro, Fião, Morro do Espelho, Cristo Rei, Padre Reus, Santa Tereza e Duque de Caxias (Figura 5).

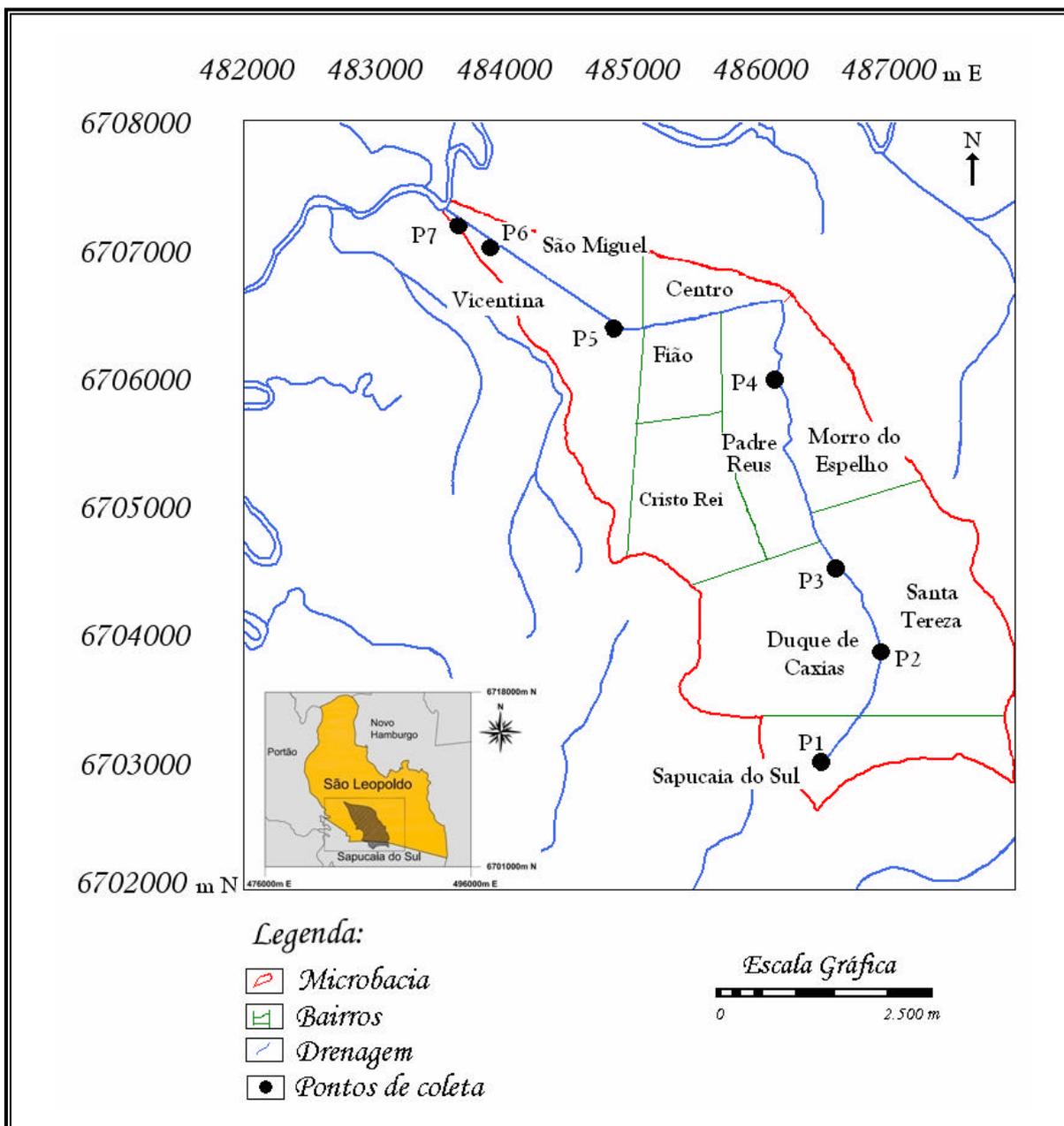


Figura 5 - Mapa dos bairros e pontos de coletas presentes na MbaJC.

Fonte: adaptada da Carta topográfica de São Leopoldo (1980)

O arroio recebe as canalizações e efluentes oriundas destes bairros, em alguns pontos, muitas destas residências liberam seus dejetos domésticos diretamente dentro do arroio, como ocorre no loteamento da av. Mauá, acima da Estação Unisinos, nas residências próximas ao antigo curtume Pinheiro.

Segundo Teixeira (2002), os bairros Duque de Caxias, Santa Tereza, Vicentina e São Miguel possuem subdivisões em vilas e algumas delas apresentam situação irregular junto aos órgãos responsáveis.

A rede de drenagem do arroio João Corrêa que chega ao rio dos Sinos foi modificada, através do desvio de seu curso original e canalizada, nos trechos em que passa pela avenida Mauá e João Corrêa. Esta canalização é fechada, com blocos de cimento, recebendo diferentes efluentes em seu percurso original e na área desviada dos bairros pelo qual passa.

Tem sua nascente na Reserva Florestal Padre Balduino Rambo, em Sapucaia do Sul, onde ocorre vegetação nativa ao longo do arroio, mas percebe-se que a mesma sofre influências em suas proximidades por canalizações oriundas de loteamento, que está sendo ampliado em suas proximidades.

Quando o arroio João Corrêa percorre a av. Mauá recebe na sua margem direita os efluentes de seis canalizações e na margem esquerda nove canalizações, conforme dados fornecidos pela prefeitura de São Leopoldo, através do Departamento de Estudos e Projetos (SEMPLA). Estas canalizações apresentam as seguintes dimensões conforme a tabela 9:

TABELA 9:
Relação das ruas e avenida com a espessura do cano das áreas canalizadas da MbaJC

Margem direita	Espessura do cano (mm)
Rua Viamão	1.000 x 1.200
Rua Alvorada	600
Rua Córrego	1.000
Rua Brasil Camoreto Gall	1.200
Rua John Kennedy	1.200
Fábrica Rossi	1.000
Margem esquerda	Espessura do cano (mm)
Rua Itororó	400
Rua Riachuelo	600
Rua Humaitá	600
Rua Avaí	400
Rua General Osório	400
Avenida Emília Prass	1.000
Rua da Alegria	400
Avenida João Alberto	400
Avenida Unisinos	1.500 x 1.100 (pontilhado)

Fonte: São Leopoldo (1995)

A partir da Estação Unisinos até o 19º batalhão de Infantaria Motorizada (fundos) esta canalização é fechada, apresenta uma abertura de mais ou menos 5 m é fechada novamente até as proximidades da BR 116, quando percorre a avenida João Corrêa sua canalização é

fechada na maior parte, ao chegar no início da rua São Domingos esta canalização é aberta, novamente, até a rua Jacy Porto localizada entre os bairros Vicentina e São Miguel, seguindo até o rio dos Sinos.

Na parte inferior do arroio João Corrêa é freqüente a colocação de resíduos domésticos gerados por residências de famílias carentes, onde recebe também canalizações dos bairros Vicentina e São Miguel, além da liberação do efluente da ETE.

Os resíduos sólidos que são depositados nas proximidades e margem do arroio por parte dos moradores acabam sendo transportados para seu leito, os quais ficam presos nas grades de passagem de água na casa de máquinas. Estes são retirados e depositados numa pequena área na lateral direita da casa de máquinas até ser recolhido. Em sua foz ocorre a mineração e depósito de areia para fins comerciais.

4.7 Vegetação

O município de São Leopoldo está inserido dentro do Bioma Mata Atlântica, apresenta as formações vegetais constituída pela Floresta Estacional Semidecidual e Vegetação das Formações Pioneiras (IBGE, 1986; IBGE, 2007), região onde se encontra inserida a MbaJC.

As vegetações das Formações Pioneiras encontram-se nas planícies baixas de inundações do rio dos Sinos, onde predominam gramíneas e ciperáceas, os locais mais altos e secos a vegetação predominante é gramíneo-lenhosa, juntamente, com espécies arbóreas e arbustivas, ao longo da margem a vegetação é arbustiva e arbórea. A Floresta Estacional Semidecidual ocorre nas áreas de relevo suavemente ondulado e estende-se até a planície de inundação do rio dos Sinos, nas proximidades deste foram cortadas cedendo o lugar para loteamentos urbanos (TEIXEIRA, 2002).

A vegetação presente ao longo do arroio João Corrêa é mínima, com exceção da nascente a qual está localizada dentro da Reserva Florestal Padre Balduino Rambo, apresenta na sua cobertura vegetal variações, desde reflorestamento com sub-bosque, sendo estes os mais desenvolvidos, com presença de áreas com plantas exóticas e nativas típicas de mata secundária, constituído por uma cobertura vegetal nativa característica, mas observa-se em suas proximidades uma grande interferência pela quantidade de eucaliptos (*Eucalyptus sp*).

Na margem direita do arroio João Corrêa a partir do início do bairro Duque de Caxias até a estação do Trensurb da UNISINOS, tem-se a ocorrência de maricá (*Mimosa bimucromata*), trombeta-de-anjo (*Brugmansia suaveolens*), mamoneiro (*Ricinus communis*), inhame (*Colocasia antiquorum*), amoreira-negra (*Morus nigra*). Sendo o maricá e a trombeta-

de-anjo indicadores de solos com intensa umidade, também verificou-se a presença na nascente, assim como na foz.

No trecho inferior do arroio João Corrêa entre os bairros Vicentina e São Miguel há presença de mamona, esta ocorre em solos em processos de degradação. Os demais pontos encontram-se na área urbana e canalizada, não ocorrendo presença de vegetação nativa.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxograma a seguir permite uma visualização das etapas realizadas para a elaboração do produto final.

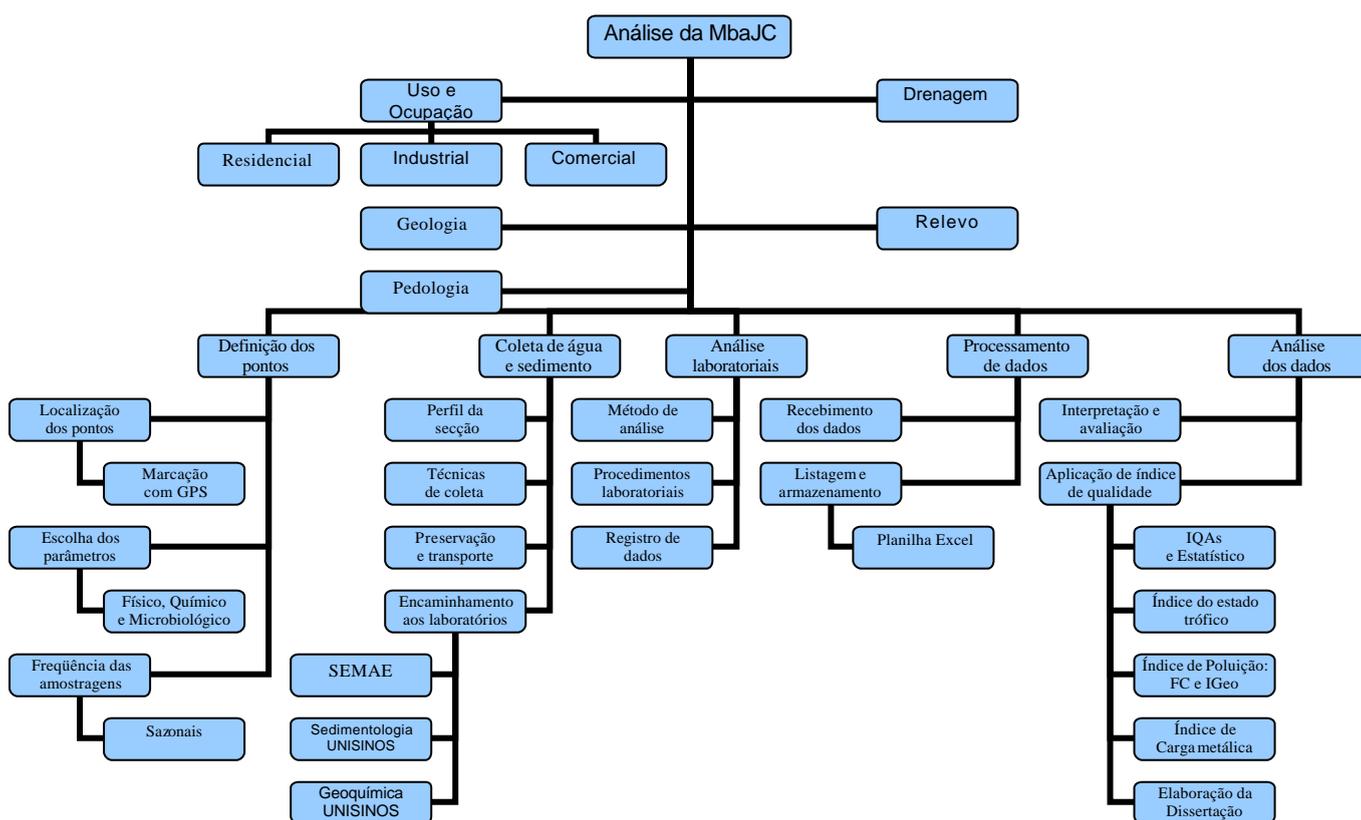


Figura 6 - Fluxograma da concepção metodológica para a MbaJC

No primeiro momento foi realizada a delimitação da MbaJC utilizando carta do Serviço Geográfico do Exército, para após fazer a caracterização da drenagem, uso e ocupação, geologia, relevo e pedologia o que resultou na elaboração de mapas. As etapas seguintes foram a definição e a localização dos pontos de coleta, escolhas dos parâmetros e frequência das amostragens. As coletas de água e sedimentos ocorreram com as técnicas determinadas pelos laboratórios do SEMAE e da UNISINOS, sendo as amostras encaminhadas a estes. As análises ocorreram utilizando métodos e procedimentos específicos para os parâmetros analisados e os resultados registrados. Paralelamente as coletas realizaram-se o perfil da secção nos pontos de amostragens. Os dados foram processados após o encaminhamento dos resultados pelos laboratórios, os quais foram armazenados e listados

em planilhas Excel. A análise dos dados deu-se através da interpretação e avaliação dos mesmos, os quais foram aplicados os índices de qualidade. Através dos resultados obtidos elaborou-se o presente estudo.

5.1 Materiais e equipamentos

Os materiais e equipamentos utilizados no desenvolvimento deste estudo encontram-se relacionados a seguir:

- Carta topográfica de São Leopoldo Folha SH.22-V-D-VI-4 MI-2970/4, na escala 1:50.000;
- Mesa digitalizadora Digicon Ao;
- *Software Autodesk Map 5*;
- *Software ILWIS Academic 3.0*;
- *Software Excel 2003*;
- *Software SPSS 15*;
- Máquina fotográfica digital Fujifilm S3000;
- Receptor GPS Garmin III Plus, com antena DGPS;
- Sonda Multiparâmetros (YSI Incorporate - Environmental Monitoring Systems, modelo 6.600);
- Micromolinete Flometer 1, marca Geopacks;
- pH Testr 2;
- Termômetro, com escala interna;
- Frascos de vidro e de polietileno para as coletas de água;
- Sacos plásticos para as coletas de sedimento.

5.2 Métodos

Para a avaliação e classificação das águas do arroio João Corrêa foram realizadas análises físicas, químicas e biológicas, no laboratório do Serviço Municipal de Águas e Esgotos de São Leopoldo (SEMAE) e na UNISINOS, com a utilização da sonda multiparâmetros. Para a determinação da qualidade das águas foram empregados o Índice de Qualidade da Água (IQA) da CETESB, NSF, COMITESINOS, FEAM, estatístico, o Índice do Estado Trófico (IET), de Índice de Carga Metálica presente e o Índice de Estabilidade Geoquímica dos Metais.

As análises granulométricas, químicas e biológicas dos sedimentos foram realizadas nos laboratórios de Sedimentologia e de Geoquímica da UNISINOS, para as quais foram empregados os índices de geoacumulação e o fator de contaminação. Foram também realizadas medição da vazão e obtidos dados das precipitações relativas aos períodos que antecederam as coletas.

Realizou-se, inicialmente, uma inspeção em toda a extensão do arroio João Corrêa, para levantar os fatores que influenciam a qualidade da água, determinando assim onde se encontravam as fontes poluidoras, o destino dos resíduos e despejos perigosos. Após foram estabelecidos os pontos de amostragem de água e sedimentos, sendo as coletas realizadas sazonalmente.

Os pontos definidos ao longo do arroio foram P1: na nascente (*background*); P2 e P3: pontos de recebimento dos efluentes domésticos dos bairros Duque de Caxias e Santa Tereza; P4: ponto de recebimento dos efluentes industriais; P5: ponto adjacente ao lançamento da estação de tratamento de esgoto; P6: ponto de recebimentos dos efluentes do bairro São Miguel e Vicentina e P7: na foz do arroio João Corrêa. Os mesmos estão identificados na figura 7. Os pontos de amostragem foram mapeados e georreferenciados utilizando o sistema de coordenadas UTM (Universa Transversa Mercator), e utilizando um receptor GPS (Global Positioning System) Garmin III Plus, com antena DGPS, para determinação das coordenadas dos pontos de coletas. As altitudes foram confrontadas com os dados de um altímetro Pauling-Paluk. (Tabela 10).

As coletas de água e sedimento foram realizadas em quatro períodos de amostragens, num intervalo de três meses (agosto, outubro, dezembro de 2006 e abril de 2007). Esta frequência levou em consideração os períodos de estiagem, normal e de cheia, distribuídas ao longo de um ano hidrológico, com controle da vazão nos períodos de cheia e na seca. As amostras de água e de sedimento foram coletadas, em agosto de 2006, período de cheia, enquanto que as realizadas em outubro e dezembro de 2006, na estiagem e as coletas realizadas em abril de 2007, no período normal.

Para as coletas e preservação das amostras utilizou-se a norma técnica estabelecida pelos laboratórios, seguindo a NBR 9.898 (ABNT, 1987). A metodologia utilizada para as análises físicas, químicas e microbiológicas da água foram as descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20ª Ed (1998). Os resultados obtidos para as diversas variáveis de qualidade da água foram analisados e permitiram o enquadramento, conforme as classes estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005 (Apêndice A).

A determinação da escala de estudo segue Hansen e Lanna (2001), que definem como microbacia áreas inferiores a 10 km².

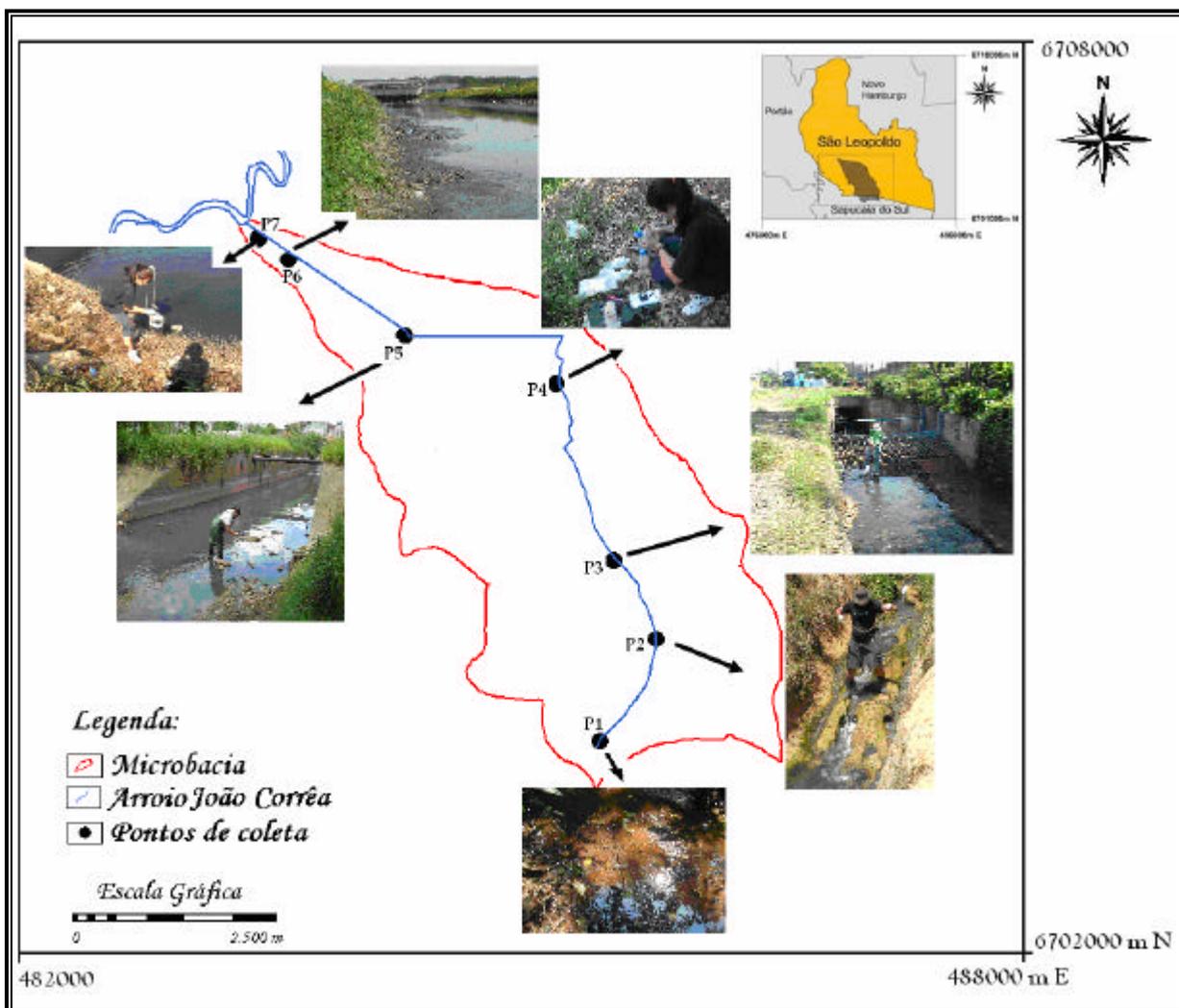


Figura 7 - Mapa com fotografias ilustrativas dos pontos de amostragem da MbaJC.
Fonte: adaptada da Carta topográfica de São Leopoldo (1980) e observações em campo

TABELA 10:
Localização dos pontos de amostragem

Coordenadas em UTM			
Pontos de Amostragem	Latitude	Longitude	Altitude (m)
P1	486482	6703341	67
P2	486953	6703873	40
P3	486559	6704578	34
P4	486073	6706194	17
P5	484849	6706453	6
P6	483910	6707072	4
P7	483620	6707278	3

Os mapas foram produzidos a partir da digitalização da Carta topográfica de São Leopoldo, folha com nomenclatura SH.22-V-D-VI-4 MI-2970/4, na escala 1:50.000 (BRASIL, 1980), no *software Autodesk Map 5* e mesa digitalizadora, para após serem importadas pelo ILWIS 3.3 Academic (*Integrated Land and Water Information System*), onde foram gerados os mapas de pedologia, de bairros e dos pontos de coleta.

5.3 Amostragem de campo e análises laboratoriais

As amostragens de água e sedimento utilizam técnicas distintas, conforme descrição a seguir.

5.3.1 Sedimento

A figura 8 apresenta as etapas do processo realizado para as análises granulométricas dos sedimentos de fundo da MbaJC.

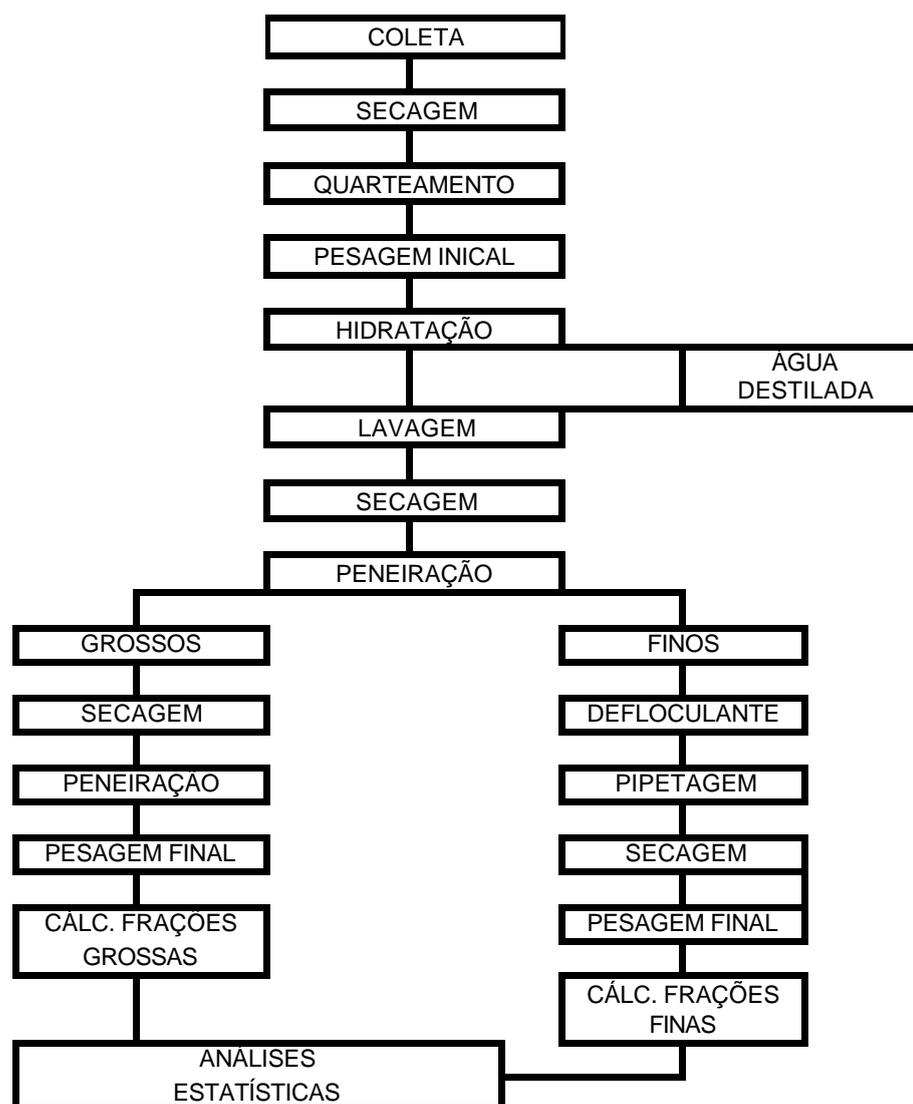


Figura 8 – Procedimentos para análise granulométrica dos sedimentos de fundo da MbaJC.
Fonte: adaptado de Suguio (1973)

As amostras de sedimento de fundo foram coletadas com amostrador de arrasto, que é um tubo de aço inoxidável, que apresenta uma extremidade aberta e com pequenos furos na lateral e no fundo para a saída da água. Este tubo possui uma alça superior, onde uma corda de tamanho variável é amarrada para proceder o arrasto (LEIPNITZ e AGUIAR, 2002; LEIPNITZ *et al.*, 2005).

Coletou-se aproximadamente 1 kg de amostra de sedimentos, a qual foi embalada em sacos plásticos e etiquetada com as informações identificadoras do ponto de coleta e encaminhadas aos laboratórios de Sedimentologia, da UNISINOS.

As análises realizadas foram de determinação dos teores de matéria orgânica e as diferentes classes de granulometria nos seis pontos de amostragens (P1, P2, P3, P5, P6 e P7) respeitando a sazonalidade amostral. Para a determinação dos processos de erosão, transporte e deposição utilizou-se o diagrama de Hjulström. As amostragens de sedimentos não foram realizadas em P4, pelo fato da canalização neste ponto ser cimentada e não ter sedimento acumulado.

No laboratório de Sedimentologia da UNISINOS foram realizadas as análises granulométricas e de matéria orgânica, considerando-se os intervalos das classes granulométricas das peneiras de 1 PHI (Tabela 11) segundo Wentworth (1922), para a metodologia este laboratório segue a descrita em Suguio (1973).

Os sedimentos coletados foram acondicionados em bacias de plástico e levados à estufa para secagem, a uma temperatura máxima de 60 °C, para não haver a perda da matéria orgânica, até massa constante. Posteriormente o material foi desagregado, sendo retirado pedregulhos que não fazem parte do sedimento.

TABELA 11:
Elementos analisados e tamanho das peneiras utilizadas

Elementos analisados	Malha da peneira (mm)	PHI
Seixo fino	4,00	-2,00
Seixo muito fino	2,00	-1,00
Areia muito grossa	1,00	0,00
Areia grossa	0,50	1,00
Areia média	0,250	2,00
Areia fina	0,125	3,00
Areia muito fina	0,062	4,00
Silte/Argila	< 0,062	5,00

Fonte: adaptado de Wentworth (1922)

As amostras foram passadas por uma peneira de malha 9,52 mm, para isolar o material mais grosso. Após este procedimento, foi realizado o quarteamento. O objetivo foi fracionar a amostra, sem que ela perca suas características iniciais. O material foi passado pelo quarteador, tipo Jonnes, tantas vezes quanto necessário, até atingir a quantidade ideal de material, que foi de aproximadamente 40 g, para isso foi utilizada uma balança semi-analítica. Após o quarteamento realizou-se a pesagem inicial da amostra (PIA), em balança analítica, com precisão de quatro casas decimais.

Após a pesagem foi realizada a hidratação da amostra, onde ela foi colocada imersa em água destilada por 24 horas. Após este período ela foi para o dispersor, onde foi agitada por um período de 2 a 5 min. Para a lavagem utilizou-se água destilada e uma peneira com malha 0,062 mm acoplada a um funil, que deixou passar o material menor sendo este transportado para uma proveta de 1.000 mL, onde foram adicionadas 0,67 g de oxalato de sódio, cuja função é a de evitar a floculação da argila contida na amostra. Completou-se o processo preenchendo a proveta com água destilada até a marca, homogeneizando a solução manualmente.

A amostra foi seca a uma temperatura de 60 °C, para após realizar uma nova pesagem utilizando-se uma balança analítica, obtendo-se assim o peso inicial de grosseiros (PIG).

As amostras passaram por outra peneiração, utilizando peneiras com malhas de 5,66 a 0,062 mm. Após esta peneiração as amostras foram novamente pesadas para a obtenção do peso final de grosseiros (PFG). Os dados obtidos foram lançados em planilha Excel para análise granulométrica de grosseiros.

Para as análises granulométricas finas foram realizadas sete pipetagens para cada amostra, para isso colocou-se as amostras pesadas em recipientes numerados de 1 a 7, agitando. Ao parar de agitar disparou-se o cronômetro e, em intervalos de tempo pré-estabelecidos introduziu-se a pipeta numa altura específicas (nas cinco primeiras pipetagens aos 10 cm e as últimas a 5 cm) na proveta, de onde retirou-se 20 mL de material colocando nos copos identificados e pré-pesado a seco e temperatura constante.

As análises dos metais pesados foram realizadas no laboratório de Geoquímica, a técnica utilizada seguiu o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 20^a Ed. O método de digestão utilizado foi uma adaptação do método 3.051 (EPA, 1992), realizado em chapa elétrica e a leitura da concentração dos metais foi feita por espectrometria de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP-AES). Para cada um dos elementos analisados realizou-se a triplicata, onde foram determinadas as concentrações de cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), níquel (Ni) e o fósforo (P).

O preparo da solução consistiu em digerir uma amostra de sedimento total até 0,5 g em 10 mL de HNO₃ concentrado por 10 minutos, utilizando aquecimento por microondas. A amostra foi colocada em vasos de digestão de teflon com 120 mL de capacidade, juntamente com o ácido, sendo fechado e aquecido dentro da cavidade. A irradiação foi realizada para cada grupo de seis vasos a 574W por 10 minutos. A temperatura de cada grupo foi elevada a 175 °C em menos de 5,5 minutos e o tempo restante entre 170 e 180 °C, para o balanço de 10 minutos de ciclo de irradiação.

Ao término do ciclo do microondas, realizou-se um resfriamento mínimo de 5 minutos dentro da cavidade, antes da remoção para resfriamento em banho de água fria. Quando a temperatura ambiente foi atingida, cada sistema foi pesado e registrado sua massa. Após o resfriamento, o conteúdo do vaso foi diluído e analisado pelo método SW-846. A determinação das concentrações foi feita sobre a massa original da amostra.

5.3.2 Água

As amostras de água foram coletadas por imersão contra o fluxo de corrente, para evitar turbilhonamento, utilizando-se frascos de vidro (1 L e 250 mL) e de polietileno (1 L). Em cada ponto de coleta os frascos utilizados foram identificados com etiquetas, para os diferentes parâmetros e armazenadas em caixas de isopor com gelo e encaminhadas ao laboratório do SEMAE.

O pH da água também foi determinado, no próprio local de amostragem com medidor de pH digital Testr 2, previamente calibrado com solução tampão 4,0 e 7,0. A temperatura realizada por leitura direta em termômetro de mercúrio, com escala interna, assim como através da sonda multiparâmetros.

Os parâmetros físicos, químicos e biológicos processados no laboratório do SEMAE e a técnica utilizada são apresentados na tabela 12 e os resultados no anexo B. As análises realizadas com a utilização da sonda encontram-se relacionadas na tabela 13 e seus resultados no apêndice F.

TABELA 12:
Parâmetros e técnicas utilizadas para a avaliação da qualidade da água da MbaJC

Parâmetros	Unidades	Técnicas utilizadas
Alcalinidade	mg L ⁻¹ CaCO ₃	Volumetria de neutralização
Alumínio	mg L ⁻¹ Al	Aluminon (baseado no Standard)
Bário	mg L ⁻¹ Ba	Turbidimétrico
Bactérias heterotróficas	UFC	Contagem
Cádmio	mg L ⁻¹ Cd	Ditizona
Carbono inorgânico livre	mg L ⁻¹ CO ₂ livre	Alcalinidade e pH
Cobre	mg L ⁻¹ Cu	Bicinchoninate (baseado no Standard)
Coliformes termotolerantes	NMP100 mL ⁻¹	Tubos múltiplos
Coliformes totais	NMP100 mL ⁻¹	Tubos múltiplos
Cloreto	mg L ⁻¹ Cl	Mohr
Cromo hexavalente	mg L ⁻¹ Cr	Difenilcarbazida
Cor aparente	mg L ⁻¹ Pt	Colorimetria
Chumbo	mg L ⁻¹ Pb	Ditizona
DQO	mg L ⁻¹ O ₂	Espectrofotometria
DBO ₅	mg L ⁻¹ O ₂	Winkler
Dureza	mg L ⁻¹ CaCO ₃	Complexometria
Ferro total	mg L ⁻¹ Fe	Fenantrolina
Fosfato total	mg L ⁻¹ PO ₄ ³⁻	Colorimétrico com ácido ascórbico
Fósforo total	mg L ⁻¹ P	Colorimétrico com ácido ascórbico
Manganês	mg L ⁻¹ Mn	Oxidação com periodato
Matéria orgânica	mg L ⁻¹ O ₂ consumido	Oxi-redução
Nitrato	mg L ⁻¹ NO ₃ ⁻	Ácido fenoldissulfônico
Nitrito	mg L ⁻¹ NO ₂ ⁻	Diazotização
Oxigênio dissolvido	mg L ⁻¹ O ₂ dissolvido	Iodométrico
pH	-	Potenciometria
Temperatura	°C	Termometria
Turbidez	uT	Colorimetria
Sulfato	mg L ⁻¹ SO ₄ ²⁻	Turbidimétrico
Zinco total	mg L ⁻¹ Zn	Zincon

Fonte: APHA (1998); UNT: Unidades Nefelométrica de Turbidez, NMP: Número mais provável, UFC: Unidades formadoras de colônia

TABELA 13:
Parâmetros determinado com a utilização da sonda multiparâmetros

Parâmetros	Unidade
Amônia	mg L ⁻¹
Clorofila	µg L ⁻¹
Condutividade	µS cm ⁻³
Potencial redox	mV
Sólidos Totais Dissolvidos	g L ⁻¹

As amostras da água realizadas em fevereiro de 2007 foram descartadas, devido a problemas técnicos com o equipamento espectrofotômetro de absorção atômica do laboratório do SEMAE. Para não comprometer os resultados, optou-se por realizar uma nova coleta em abril para todos os parâmetros analisados por este laboratório. Os resultados das análises são média das triplicatas para cada amostra.

5.3.3 Medição da vazão

O método utilizado para a medição da vazão foi o descrito por Santos *et al.* (2001), onde a medida envolveu grandezas geométricas da seção (área, perímetro molhado, raio hidráulico, largura superficial e profundidade média) e grandezas referentes ao escoamento (velocidade e vazão).

Define-se como área molhada a área da seção transversal ao escoamento ocupada pela água, expressa em metros quadrados. Perímetro molhado é definido como o comprimento da linha de contato entre a superfície molhada e o leito, expresso em metros. Raio hidráulico é o quociente da área molhada pelo perímetro molhado, expresso em metros. A largura superficial é definida como o comprimento da linha horizontal da área molhada, a profundidade média é o quociente de área molhada pela largura superficial (CHEVALLIER, 1993).

Em campo realizou-se a medida da seção transversal, do perímetro molhado e da velocidade da água, a qual foi tomada utilizando um micromolinete Flometer 1, previamente calibrado. Para a determinação da velocidade média realizou-se a soma das velocidades obtidas dividindo pelo número de medidas realizadas em cada ponto.

Para uma análise adequada dos dados quali-quantitativos da MbaJC, medições simultâneas de vazão foram realizadas nos pontos de amostragem de água e sedimento (17.08.06, 23.10.06, 11.12.06 e 17.04.07), em cinco pontos (P1, P2, P3, P4 e P5), não sendo possível realizar em P6 e P7 devido à influência do rio dos Sinos com o fator remanso, e do acúmulo do lodo e da lâmina d'água muito baixa, que impossibilitou o correto funcionamento do micromolinete para a obtenção da velocidade.

5.3.4 Medição de precipitação

Os dados de precipitação para a Microbacia do arroio João Corrêa estão relacionados para os meses em que foram realizadas as coletas e acumuladas em planilhas *Excel*, conforme apêndice B (DEFESA CIVIL, 2007), os mesmos também foram normalizados aos dias

precedentes de chuvas. Os dados para a precipitação foram coletados em pluviômetro tipo cunha com capacidade 130 mm, área de captação de 15 cm², divisão de 2,5 mm e material de poliestireno cristal.

5.4 Índices de qualidade de água

A utilização de diferentes IQAs permitiu determinar o mais restritivo para a MbaJC, embora todos tenham sido modificados da NSF estes apresentam diferenças quanto aos pesos estipulados para cada parâmetros, a substituição de parâmetros ou a não utilização e a determinação de valores.

Comparando todos com o NSF verifica-se que:

A CETESB realizou uma adaptação e adota o nitrogênio total ao invés do nitrogênio nitrato, uma vez que nesse caso os rios se mostram comprometidos por esgotos domésticos, que são ricos em outras formas de nitrogênio, tais como o nitrogênio orgânico e o amoniacal. Sendo assim, utiliza-se a curva do nitrogênio, considerando o nitrogênio total; converte o fósforo para fosfato, para a determinação do OD% considera a temperatura e a altitude, os pesos dos coliformes termotolerantes, DBO₅, pH e sólidos totais dissolvidos apresentam diferenças.

O COMITESINOS adota apenas oito parâmetros, não fazendo uso da variação de temperatura, a partir de testes realizados não houve variação significativa para adotar esta variável. Realizou-se então um redimensionamento dos pesos em função da exclusão da temperatura.

A FEAM adota os mesmos parâmetros, mas com pesos diferentes para a maioria deles, para a determinação do OD% considera a temperatura, cloretos e a altitude, sendo este utilizado pelo Ministério de Meio Ambiente..

A descrição da metodologia aplicada para a aplicação dos diferentes tipos de índices de qualidade de água encontra-se descritos a seguir:

5.4.1 IQA da CETESB

O algoritmo do produtório empregada no estudo para obter o IQA segue abaixo:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \dots(1)$$

Onde:

IQA = índice de qualidade da água, um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva "curva média de variação de qualidade", em função de sua concentração ou medida; e

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

Os parâmetros aplicados para a obtenção deste IQA e os valores correspondentes aos pesos relativos para w_i são apresentados na tabela 14. Cada parâmetro recebeu um peso de acordo com sua importância relativa no cálculo do IQA.

TABELA 14:
Parâmetros e pesos relativos para cálculo do IQA da CETESB

Parâmetros	Pesos relativos (w_i)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Fósforo total	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08
Total	1,00

Fonte: CETESB (apud PNMA II, 2007)

O IQA reflete a interferência por esgotos sanitários e outros materiais orgânicos, nutrientes e sólidos. No caso de não se dispor do valor de algum dos nove parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado.

Os dados utilizados para o cálculo do IQA foram acondicionados em planilha no *software* Excel, para o desenvolvimento dos cálculos. A seguir são descritas as fórmulas utilizadas para cada um dos parâmetros utilizados, onde as letras referem-se à coluna e o número a linha modificado de CETESB (apud PNMA II, 2007).

Oxigênio dissolvido (OD)

$$C_5 = (14,62 - (0,3898 B_5) + (0,006969 (B_5^2) - (0,00005896 (B_5^3)))) \times ((1 - 0,0000228675 B_6))^{5,167}$$

Onde:

C_5 = equação geral para o cálculo de oxigênio dissolvido considerando a temperatura e a altitude;

B_5 = temperatura;

B_6 = altitude.

$$C_6 = B_4 \times 100 / C_5$$

Onde:

B_4 = valor medido de OD em mg L^{-1} de O_2 ;

C_5 = equação geral para O_2 , considerando a temperatura e altitude;

C_6 = equação geral para cálculo de OD, envolvendo temperatura, altitude e valor médio de OD, em mg L^{-1} de O_2 .

a) Quando o valor de OD saturado % = 50

$$q_1 = ((0,34 C_6) + (0,008095(C_6^2)) + (1,35252 \times 0,00001 (C_6^3))) + 3)$$

Onde:

q_1 = Subíndice para oxigênio dissolvido

b) Quando $50 < \text{OD saturado \%} = 85$

$$q_1 = ((-1,266 C_6) + (0,058(C_6^2)) - (3,803435 \times 0,0001 (C_6^3))) + 3)$$

c) Quando $85 < \text{OD saturado \%} = 100$

$$q_1 = (3,7745 \times (C_6^{0,704889})) + 3)$$

d) Quando $100 < \text{OD saturado \%} = 140$

$$q_1 = ((2,9 C_6) - (0,02496 C_6^2) + (5,60919 \times 0,00001 (C_6^3))) + 3)$$

e) Quando $\text{OD saturado \%} > 140$

$$q_1 = 47 + 3$$

$$\text{Subíndice} = q_1^{0,17} = F_7^{0,17} = C_{12}$$

Temperatura (°C)

Considera-se que a diferença da temperatura é zero, uma vez que nossos cursos hídricos não apresentam grandes diferenças a montante e a jusante do ponto escolhido, sendo assim o subíndice é igual a 94.

$$\text{Subíndice} = q_2^{0,10} = C_6$$

Coliformes termotolerantes (Cte)

$$C_{19} = 0, q_3 \text{ é } 100$$

Onde:

$$C_{19} = \text{coliformes termotolerantes em NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$$

a) Quando $C_{19} > 0$; $\text{COLI10} > 0$? $C_{21} = \log C_{19} \log 10^{-1}$

Onde:

C_{21} = parâmetro que serve para calcular o subíndice q_3 para coliformes com frações decimais de 10^1 a 10^5 .

b) Quando $C_{21} = 1$; $\text{COLI10} = 1$

$$q_3 = 100 - (33 C_{21})$$

c) Quando $C_{21} > 1$ ($\text{COLI10} > 1$) ou $C_{21} = 5$ ($\text{COLI10} = 5$)

$$q_3 = 100 - (37,2 C_{21}) + (3,60743 (C_{21}^2))$$

d) Quando $C_{21} > 5$ ($\text{COLI10} > 5$)

$$q_3 = 3$$

$$\text{Subíndice} = q_3^{0,15} = F_{22}^{0,15} = C_{25}$$

pH

a) Quando $C_{28} = 2$, $q_4 = 2$

Onde:

C_{28} = medida de pH em unidades de pH.

$$q_4 = 3$$

$$\text{Subíndice} = q_4^{0,12} = F_{29}^{0,12} = C_{39}$$

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

a) Quando $\text{DBO} = 5$

$$q_5 = 99,96 \times (2,71828^{-0,1232728} \times C_{42})$$

Onde:

C_{42} = medida de DBO em mg L^{-1} de O_2

b) Quando $5 < \text{DBO} = 15$

$$q_5 = 104,67 - (31,5463 \times \log C_{42})$$

c) Quando $15 < \text{DBO} = 30$

$$q_5 = 4394,91 \times (C_{42}^{-1,99809})$$

d) Quando $\text{DBO} > 30$

$$q_5 = 2$$

$$\text{Subíndice} = q_5^{0,10} = F_{43}^{0,10} = C_{47}$$

Nitrogênio total (N)

a) Quando $C_{50} = 10$

Onde:

$$C_{50} = \text{N total}$$

$$q_6 = 100 - (8,169 \times C_{50}) + (0,3059 \times (C_{50}^2))$$

b) Quando $10 < C_{50} = 60$

$$q_6 = (101,9 + 23,1023 \log (C_{50}))$$

c) Quando $60 < C_{50} = 100$

$$q_6 = (159,3148 \times 2,7928 (C_{50} \times (-0,0512842)))$$

d) Quando $C_{50} = 100$

$$q_6 = 1$$

$$\text{Subíndice} = q_6^{0,10} = F_{51}^{0,10} = C_{55}$$

Fosfato total (PO_4^{3-})

a) Conversão de fósforo para fosfato total

$$\text{PO}_4 = B_{58} \times 3,066$$

Onde:

$$\text{PO}_4 = \text{fosfato}$$

$$B_{58} = \text{valor do fósforo total em mg L}^{-1} \text{ de P}$$

$$3,066 = \text{fator de conversão de fósforo para fosfato}$$

b) Quando $C_{58} = 1$

$$q_7 = 99 \times (\exp (-0,91629 \times C_{58}))$$

c) Quando $1 < C_{58} = 5$

$$q_7 = 57,6 - (20,178 \times C_{58}) + (2,1326 \times (C_{58}^2))$$

d) Quando $5 < C_{58} = 10$

$$q_7 = 19,8 \times (\exp(-0,13544 \times C_{58}))$$

e) Quando $C_{58} > 10$

$$q_7 = 5$$

$$\text{Subíndice} = q_7^{0,10} = F_{59}^{0,10} = C_{63}$$

Turbidez (UNT)

a) Quando $C_{66} = 55$

Onde:

C_{66} = medida de turbidez em UFT

$$q_8 = 100,17 - (2,67 \times C_{66}) + 0,03775 \times (C_{66}^2)$$

b) Quando $25 < C_{66} = 100$

$$q_8 = 84,76 \times (2,71828^{(-0,016206 \times C_{66})})$$

c) Quando $C_{66} > 100$

$$q_8 = 5$$

$$\text{Subíndice} = q_8^{0,08} = F_{67}^{0,08} = C_{70}$$

Resíduo total (STD)

a) Quando $C_{73} = 150$

Onde:

C_{73} = medida de resíduo total em mg L^{-1}

$$q_9 = 79,75 + (0,166 + C_{73}) - (0,001088 \times (C_{73}^2))$$

b) Quando $150 < C_{73} = 500$

$$q_9 = 101,67 - (0,13917 \times C_{73})$$

c) Quando $C_{73} > 500$

$$q_9 = 32$$

$$\text{Subíndice} = q_9^{0,08} = F_{74}^{0,08} = C_{77}$$

Cálculo do IQA CETESB

$$\text{IQA} = (\text{OD})^{0,17} + (\text{Cte})^{0,15} + (\text{pH})^{0,12} + (\text{DBO}_5)^{0,10} + (\text{PO}_4^{3-})^{0,10} + (\text{°C})^{0,10} + (\text{UNT})^{0,08} + (\text{STD})^{0,08}$$

5.4.2 IQA do COMITESINOS

O IQA do COMITESINOS (1990) utilizada a fórmula multiplicativa descrita na equação a seguir:

$$\text{IQA} = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad \dots(2)$$

Onde:

? = símbolo de produtório;

qi = qualidade relativa do i-ésimo parâmetro;

wi = número relativo do i-ésimo parâmetro;

i = número de ordem do parâmetro (1 a 8).

O COMITESINOS define a qualidade relativa de cada parâmetro por meio de curvas de variação, que relaciona o respectivo valor do parâmetro a uma nota, que varia de 0 a 100.

Na tabela 15 encontram-se os pesos relativos para o cálculo do IQA segundo o COMITESINOS.

TABELA 15:
Parâmetros e pesos relativos para cálculo do IQA da COMITESINOS

Parâmetros	Pesos relativos (wi)
Oxigênio dissolvido	0,19
Coliformes termotolerantes	0,17
pH	0,13
Demanda bioquímica de oxigênio	0,11
Fosfato total	0,11
Nitrato	0,11
Turbidez	0,09
Sólidos totais dissolvidos	0,09
Total	1,00

Fonte: adaptado do COMITESINOS (1993)

Para facilitar o cálculo da qualidade relativa (q_i) estabeleceram equações para cada nuvem de pontos “valor da característica x nota” (BENDATI *et al.*, 2003), as quais estão relacionadas a seguir:

pH

$$q = \exp(-0,0131 * (\text{pH})^3 + 2,5278 * 10^{-5} * \exp(\text{pH}) + 1,38718 * (\ln(\text{pH}))^3 - 1,871314 * \ln(\ln(\text{pH})))$$

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

$$q = \exp(4,60934 - 0,130825 * (\text{DBO}_5) + 0,0014955 * (\text{DBO}_5)^2 - 2,06527 * 10^{-5} * (\text{DBO}_5^3))$$

Oxigênio dissolvido

$$q = 2,982 + 0,338879 * ((\text{OD} / \text{OD}_{\text{SAT}}^{-1}) * 100) + 0,0003415 * ((\text{OD} / \text{OD}_{\text{SAT}}^{-1}) * 100)^3 - 3,094 * 10^{-6} * ((\text{OD} / \text{OD}_{\text{SAT}}^{-1}) * 100)^4 + 2,6476 * 10^{-13} * ((\text{OD} / \text{OD}_{\text{SAT}}^{-1}) * 100)^7$$

Nitrato (NO₃⁻)

$$q = 96,887435 - 7,39622 * (\text{NO}_3) + 0,3135386 * (\text{NO}_3)^2 - 0,0067919 * (\text{NO}_3)^3 + 6,9235918 * (\text{NO}_3)^4 - 2,647822 * 10^{-7} * (\text{NO}_3)^5$$

Turbidez (UNT)

$$q = \exp(4,567765 - 0,0209573 * (\text{Turbidez}) + 4,1215 * 10^{-5} * (\text{Turbidez})^2 - 5,319846 * 10^{-8} * (\text{Turbidez})^3)$$

Fosfato total (PO₄³⁻)

$$q = 1 / (0,009962 + 0,0137639 * \text{PO}_4 + 0,00076279 * (\text{PO}_4)^2)^{-1}$$

Coliformes termotolerantes (Cte)

$$q = \exp(-0,074302 * \ln(\text{coli}) - 3,50713 * 1 / (\text{coli}) - 3,816887 * (1 / (\text{coli}))^2 + 4,38849 * (\exp(1 / (\text{coli})) - 0,0178695 * (\ln(\text{coli}))^2)$$

Sólidos totais dissolvidos (STD)

$$q = \exp(4,404 + 0,0011838 * (\text{STD}) - 9,1605 * 10^{-6} * (\text{STD})^2 + 6,48885 * 10^{-9} * (\text{STD})^3)$$

Cálculo do IQA COMITESINOS

$$IQA = (OD)^{0,19} + (Cte)^{0,17} + (pH)^{0,13} + (DBO_5)^{0,11} + (PO_4^{3-})^{0,11} + (NO_3^-)^{0,11} + (UNT)^{0,09} + (STD)^{0,09}$$

5.4.3 IQA da FEAM

O IQA da FEAM é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondente aos parâmetros conforme a equação 3.

$$IQA = \prod_{i=0}^9 q_i^{w_i} \quad \dots(3)$$

Onde:

IQA = Índice de qualidade da água, um número de 0 a 100;

q_i = qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de qualidade;

w_i = peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade, entre 0 e 1.

Os parâmetros utilizados pela FEAM assim como os pesos atribuídos para o cálculo do IQA, estão listados na tabela 16, seguindo a importância relativa para o cálculo.

TABELA 16:
Parâmetros e pesos relativos para cálculo do IQA da FEAM

Parâmetros	Pesos relativos (w_i)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes termotolerantes	0,15
pH	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Nitrato total	0,10
Fosfato total	0,10
Variação na temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totais	0,08
Total	1,00

Fonte: adaptado da CETESB (apud PNMA II, 2007)

A FEAM determinou equações para o cálculo do índice de qualidade para cada parâmetro, baseando-se nas curvas da NSF, através de regressões polinomiais e com auxílio do programa Excel.

Oxigênio dissolvido (OD)

O primeiro passo é a determinação da concentração de saturação de oxigênio:

$$C_s = (14,2 * e^{-0,0212T} - (0,0016 * C_{Cl} * e^{-0,0264T})) * (0,994 - (0,0001042 * H))$$

Onde:

C_s = concentração de saturação de oxigênio (mg L^{-1});

T = temperatura ($^{\circ}\text{C}$);

C_{Cl} = concentração de cloreto (mg L^{-1});

H = altitude (m).

Segundo passo é calcular a porcentagem de oxigênio dissolvido, dada pela fórmula:

$$\%OD = (OD C_s^{-1}) * 100$$

Onde:

OD% = porcentagem de oxigênio dissolvido;

OD = oxigênio dissolvido (mg L^{-1});

C_s = concentração de saturação de oxigênio dissolvido (mg L^{-1}).

Para OD% saturação = 100

$$Q_s = 100 * (\text{sen}(y1))^2 - [(2,5 * \text{sen}(y2) - 0,018 * OD\% + 6,86) * \text{sen}(y3)] + 12/e^{y4} + e^{y5} e:$$

$$y1 = 0,01396 * OD\% + 0,0873$$

$$y2 = p/56 * (OD\% - 27)$$

$$y3 = p/85 - (OD\% - 15)$$

$$y4 = (OD\% - 65)/10$$

$$y5 = (65 - OD\%)/10$$

Para $100 < OD\%$ saturação = 140

$$q_s = -0,00777142857142832 * (OD\%)^2 + 1,27854285714278 * OD\% + 49,8817148572$$

Para OD% saturação > 140

$$q_s = 47,0$$

Coliformes termotolerantes (Cte)

Para Cte = 10^5 NMP 100 mL

$$q_s = 98,24034 - 34,7145 * (\log(Cte)) + 2,614267 * (\log(Cte))^2 + 0,107821 * (\log(Cte))^3$$

Para Cte > 105 NMP mL

$$q_s = 3,0$$

Potencial hidrogeniônico (pH)

Para pH = 2,0

$$q_s = 2,0$$

Para 2,0 < pH = 6,9

$$q_s = -37,1085 + 41,91277 * \text{pH} - 15,7043 * \text{pH}^2 + 2,417486 * \text{pH}^3 - 0,091252 * \text{pH}^4$$

Para 6,9 < pH = 7,1

$$q_s = -4,69365 - 21,4593 * \text{pH} - 68,4561 * \text{pH}^2 + 21,638886 * \text{pH}^3 - 1,59165 * \text{pH}^4$$

Para 7,1 < pH = 12

$$q_s = -7.698,19 + 3.262,031 * \text{pH} - 499,494 * \text{pH}^2 + 33,1551 * \text{pH}^3 - 0,810618 * \text{pH}^4$$

Para pH > 12,0

$$q_s = 3,0$$

Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

Para DBO₅ = 30 mg L⁻¹

$$q_s = 100,9571 - 10,7121 * \text{DBO}_5 + 0,49544 * (\text{DBO}_5)^2 - 0,011167 * (\text{DBO}_5)^3 + 0,0001 * (\text{DBO}_5)^4$$

Para DBO₅ > 30 mg L⁻¹

$$q_s = 2,0$$

Nitrato total (NO₃⁻)

Para NO₃ = 10 mg L⁻¹

$$q_s = -5,1 * \text{NO}_3 + 100,17$$

Para 10 < NO₃ = 60 mg L⁻¹

$$q_s = -22,853 * \ln(\text{NO}_3) + 101,18$$

Para 60 < NO₃ = 90 mg L⁻¹

$$q_s = 10.000.000.000 * (\text{NO}_3)^{-5,1161}$$

Para $\text{NO}_3 > 90 \text{ mg L}^{-1}$

$$q_s = 1,0$$

Fosfato total (PO_4^{3-})

Para $\text{PO}_4 = 10 \text{ mg L}^{-1}$

$$q_s = 79,7 * (\text{PO}_4 + 0,821)^{-1,15}$$

Para $\text{PO}_4 > 10,0 \text{ mg L}^{-1}$

$$q_s = 5,0$$

Turbidez (UNT)

Para $Tu = 100$

$$q_s = 90,37 * e^{(-0,0169 * Tu)} - 15 * \cos(0,0571 * (Tu - 30)) + 10,22 * e^{(-0,231 * Tu)} - 0,8$$

Para $Tu > 100$

$$q_s = 5,0$$

Sólidos totais dissolvidos (STD)

Para $\text{STD} = 500$

$$q_s = 133,17 * e^{(0,0027 * \text{STD})} - 53,17 * e^{(-0,0141 * \text{STD})} + [(-6,2 * e^{(-0,00462 * \text{STD})}) * \text{sen}(0,0146 * \text{STD})]$$

Para $\text{STD} > 500$

$$q_s = 30,0$$

Variação de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Pelo fato da temperatura média do Brasil não condizer com as variações de temperaturas estipuladas pela NSF, tem-se:

$$?T = 0$$

Para $-0,625 < ?T = 0625$

$$q_s = 4,8 * ?T + 93$$

$$q_s = 93$$

Cálculo do IQA FEAM

$$\text{IQA} = (\text{OD})^{0,17} + (\text{Cte})^{0,15} + (\text{pH})^{0,12} + (\text{DBO}_5)^{0,10} + (\text{NO}_3^-)^{0,10} + (\text{PO}_4^{3-})^{0,10} + (\text{°C})^{0,10} + (\text{UNT})^{0,08} + (\text{STD})^{0,10}$$

5.4.4 IQA estatístico

Na figura 9 estão relacionados os passos utilizados para o IQA estatístico, baseado em Bisquerra *et al.* (2004) e Hair Junior *et al.* (1998).

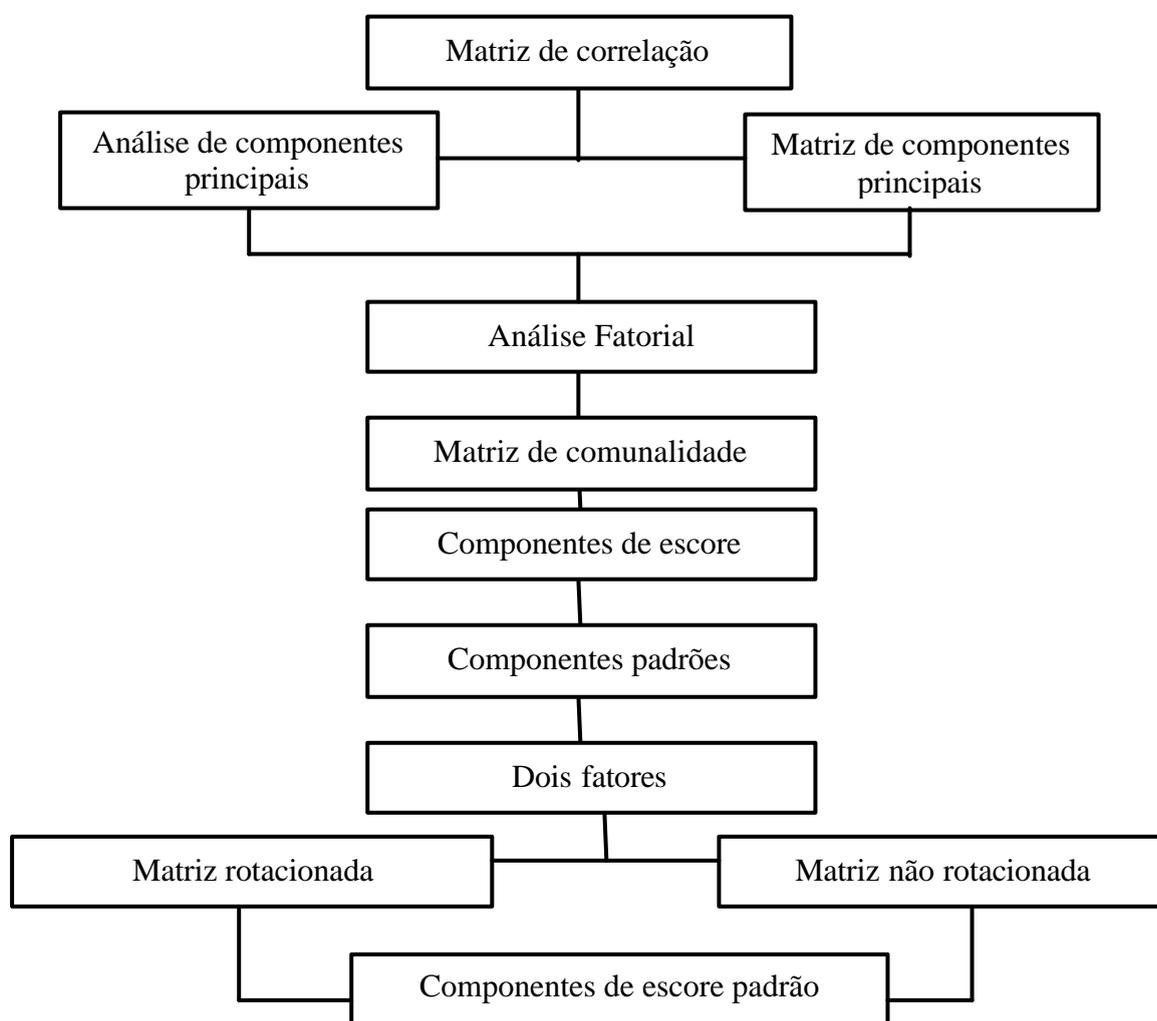


Figura 9 - Passos utilizados no SPSS 15 para obtenção dos complementares que foram aplicados na obtenção do IQA estatístico

A matriz de dados (Anexo B) foi lançada no *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS 15) e inter cruzados, após realizou-se a depuração dos dados, ou seja, a primeira análise dos dados a fim de encontrar erros de codificação das variáveis e corrigí-las e consistí-las,

para após realizar a escolha das variáveis relevantes. A partir da matriz de dados selecionados obteve-se a matriz de correlação utilizando a matriz de correção de *Pearson*, identificando as variáveis mais significativas. Realizando-se a seguir a análise de componentes principais a qual teve por objetivo verificar se uns poucos componentes explicam a maior parte da variância de dados. Esta técnica identifica um novo conjunto de variáveis como combinações lineares das variáveis originais, buscando assim novas coordenadas que tivessem variância máxima e que não se correlacionavam entre si. A matriz de componentes principais também foi analisada para confirmar assim qual destes dois grupos representava o conjunto de variáveis mais inter-relacionadas e que pudessem refletir uma avaliação mais geral, que pudesse ser aplicada para a MbaJC.

Os resultados auxiliaram na seleção de um subconjunto representativos de variáveis para a correlação da análise fatorial com uma perda mínima de informações.

No modelo da análise fatorial, cada variável X_i , pode ser expressa como uma função linear de um número menor de fatores comuns, somando a um componente de variação residual, de acordo com a equação 4 de Haase e Polossi (1993), apresentada a seguir.

$$X_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{ij} f_j + e_i \quad \dots (4)$$

Onde:

λ_{ij} = a carga fatorial de i -ésima variável, no j -ésimo fator comum, reflete a importância do j -ésimo fator comum na composição de i -ésima variável,

f_j = são fatores comuns,

e_i = são fatores específicos, representantes da variação residual específica de i -ésima variável.

Para a determinação dos subíndices que devem fazer parte do IQA foi utilizado o teste de *Bartlett*, descrito por Haase e Possoli (1993), sendo este (Equação 5):

$$IQA = \sum \text{subíndices} * Z_i \quad \dots(5)$$

Onde:

Z_i = é a variável padronizada para cada ponto de amostragem, $Z_i = (x_i - \mu)/\sigma$; e

μ = e σ são a média aritmética e o desvio padrão da variável x_i .

A matriz de comunalidade foi gerada automaticamente pelo programa SPSS 15, a qual determinou as estimativas da variância compartilhada, ou comum, entre as variáveis por meio da soma em linha de cargas fatoriais ao quadrado. A utilização de escores fatoriais é-se necessário, uma vez que este permitiu criar um novo conjunto de variáveis para substituir o original, representando o grau em que cada indivíduo tem o escore elevado no grupo de itens, que têm cargas elevadas em um fator (HAIR JUNIOR *et al.*, 1998).

Para a interpretação dos fatores obtiveram-se os componentes padrões que dão origem a dois fatores distintos a matriz rotacionada e a matriz não rotacionada.

Para a matriz rotacionada os eixos dos fatores foram rotacionados em torno da origem até que uma posição seja alcançada, redistribuindo a variância dos primeiros fatores para os últimos e a matriz não rotacionada extrai os fatores na ordem de sua importância, onde o fator 1 é um fator geral com quase toda a variável com carga significativa, explicando a maior variância, já o fator 2 está baseado na quantia residual de variância (HAIR JUNIOR *et al.*, 1998). Após a análise dos componentes para determinar qual o apropriado, realizou-se o cálculo dos fatores determinando assim o mais apropriado, neste processo soma-se todos os valores correspondente para todas as variáveis, o resultado obtido é dividido com cada variável, obtendo assim o valor de escore padrão.

Os escores fatoriais do fator escolhido definem o valor para a fórmula do IQA, sendo esta utilizada para calcular o índice de qualidade da água em cada ponto para todas as coletas realizadas.

5.5 Índice do estado trófico

O método para determinar o IET que foi adotado é o utilizado pela CETESB (2006c), que aplica o índice introduzido por Carlson (1977) e modificado por Toledo *et al.* (1983) e Toledo (1990) que alterou as expressões originais para adequá-las aos ambientes subtropicais, onde utiliza três variáveis para as avaliações de estado trófico em função dos valores obtidos: transparência (disco de Secchi), clorofila e fósforo total.

Para os cálculos do IET consideraram-se apenas duas variáveis, a clorofila (CL) em $\mu\text{g L}^{-1}$, e fósforo total (P) em $\mu\text{g L}^{-1}$.

O valor do IET é calculado individualmente para cada variável e depois aplicado o IET médio. O IET foi calculado a partir dos valores de dois parâmetros, cujas expressões são dadas pelas equações 6 e 7:

$$\text{IET(P)} = 10 \{ 6 - [\ln (80,32 P^{-1}) \ln 2^{-1}] \} \quad \dots(6)$$

$$\text{IET(CL)} = 10 \{ 6 - [(2,04 - 0,695 \ln \text{CL}) \ln 2^{-1}] \} \quad \dots(7)$$

Onde:

P = concentração de fósforo total medida à superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$

CL = concentração de clorofila a medida à superfície da água, em $\mu\text{g L}^{-1}$

ln = logaritmo natural.

Nos meses em que estejam disponíveis dados de ambas as variáveis o resultado apresentado nas tabelas de IET, será a média aritmética simples dos índices relativos ao fósforo total e a clorofila, segundo a equação 8:

$$\text{IET(médio)} = [\text{IET (P)} + \text{IET (CL)}] 2^{-1} \quad \dots(8)$$

Onde:

IET (P) = média aritmética simples do fósforo total

IET (CL) = média aritmética simples da clorofila

5.6 Nível de base natural (*background*)

Para determinar o nível de contaminação nos sedimentos de fundo por metais pesados foi necessário estabelecer os níveis de base natural (NBN) de cada elemento analisado no ambiente natural.

Como não há registros sobre os níveis naturais de metais, nas formas dissolvida e particulada para a MbaJC, tornou-se necessário determinar para a área um índice de *background*. Optou-se por utilizar os níveis naturais dos elementos de P1 do arroio João Corrêa, por ser uma área, que ainda encontra-se preservada e pela importância de se ter base nos dados geoquímicos da área, pois estes retrataram melhor as condições dos sedimentos de fundo. Assim como os valores médios de NBN globais da EPA (*apud* RODRIGUES 1997), Turekian e Wedepohl (1961) e Martin e Whitfield (1983), realizando uma comparação entre eles, os quais foram utilizados por Casartelli (1983), Frazen (2001), Ronchi (2003) e Soares (2004).

5.7 Índices de poluição

Os índices de poluição para água e sedimento aplicados na MbaJC estão descritos a seguir:

5.7.1 Fator de contaminação

O FC dos sedimentos foi calculado através do quociente entre a concentração do metal no sedimento e o seu nível de base natural ou *background* no sedimento.

A fórmula para calcular o fator de contaminação é apresentada na equação 9:

$$FC = Me_s / NBN_{Me} \quad \dots(9)$$

Onde:

FC = Fator de contaminação;

Me_s = Concentração do metal no sedimento;

NBN_{Me} = *background* ou concentração natural do metal na área de estudo

Segundo a classificação de Hakanson (1980), para os valores de FC menores que 1 indicam baixa contaminação, para valores entre 1 e 3 contaminação moderada, nos valores entre 3 e 6 contaminação considerável e valores maiores que 6 alta contaminação.

5.7.2 Índice de geoacumulação

O índice de geoacumulação foi determinado por:

$$IGeo = \log_2 C_n (1,5 \cdot B_n)^{-1} \quad \dots(10)$$

Onde:

C_n = a concentração do elemento “n” na fração (< 2 μm) do sedimento;

B_n = o *background* geoquímico do elemento; e

1,5 = o fator usado para minimizar possíveis variações do *background*, causadas por diferenças litológicas.

5.7.3 Índice de carga metálica

As variáveis utilizadas para calcular o índice de carga metálica (ICM) foram correlacionadas numa matriz de *Pearson*, para os quais aplicou-se o nível de significância, comunalidade, sendo aplicada também uma rotação ortogonal (tipo Varimax) aos fatores comuns. Sabe-se que para os valores obtidos podem ocorrer variações entre positivo e negativo, por este fato a equação 11 é representada a seguir:

$$IM = x*Fe + y*Mn + z*Ba + n*Cd + t*Cu + a*Zn + w*Cr + c*Pb \quad \dots(11)$$

Onde:

x = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o ferro;

y = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o manganês;

z = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o bário;

n = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o cádmio;

t = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o cobre;

a = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o zinco;

w = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o cromo, e

c = valor obtido numa matriz de *Pearson* para o chumbo.

O índice da carga metálica é expresso de acordo com uma faixa de grandeza arbitrária, que pode variar do negativo ao positivo, entre -3 e -2 muito baixa, -2 e -1 baixa, entre -1 e 0 regular, entre 0 e 1 média, entre 1 e 2 alta e entre 2 e 3 muito alta.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados do monitoramento do sistema água - sedimento de fundo da MbaJC são a seguir descritos e analisados:

6.1 Análise de precipitação e vazões da MbaJC

Os dados obtidos para os índices pluviométricos nos meses em que foram realizadas as coletas encontram-se no apêndice B. Analisando estes dados (Figura 10) em relação às estações do ano hidrológico para a MbaJC, verifica-se que o outono (259,3 mm) apresenta os índices de precipitação mais elevados, seguido do inverno (244,5 mm), do verão (215,5 mm) e da primavera (156,7 mm). Portanto, para a caracterização pela quantidade de chuvas no ano em que ocorreram as amostragens, pode-se considerar a primavera como uma estação crítica devido ao período de estiagem e o outono com período de cheia com o maior poder de diluição dos contaminantes. Observa-se que o mês de fevereiro apresentou um comportamento anômalo na série hidrológica elevando os índices pluviométricos do verão.

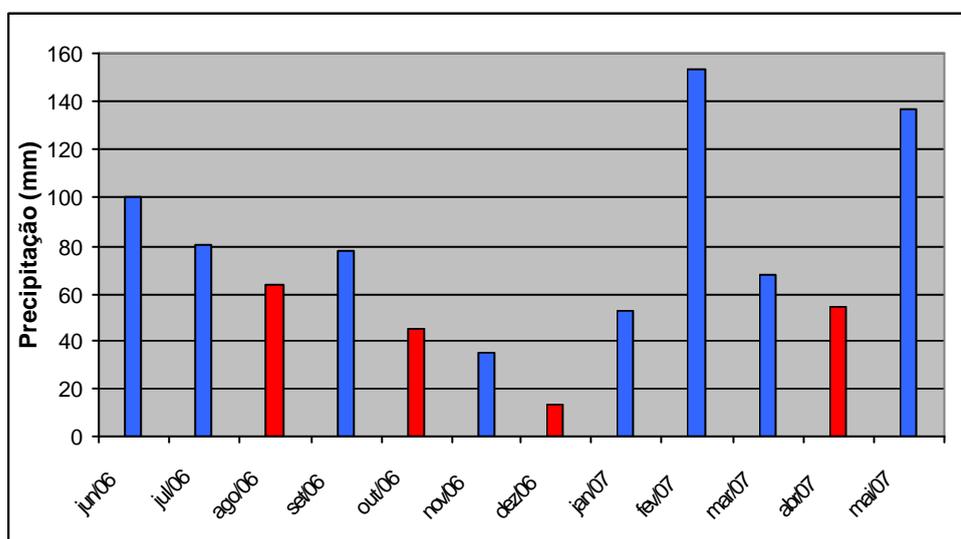


Figura 10 - Ano hidrológico da precipitação das estações para a MbaJC.
Colunas vermelhas: meses das amostragens

Levando-se em consideração, somente o mês em que se realizaram as coletas, agosto/06 (inverno) apresentou os maiores índices pluviométricos com 63,5 mm, seguido de abril/07 (outono) com 54 mm, de outubro/06 (primavera) com 44,5 mm e de dezembro/06

com 13,5 mm. Para as precipitações médias analisou-se somente a semana em que antecedeu os dias das amostragens. Obteve-se no inverno uma precipitação de 10 mm mantendo o nível alto até a data da coleta, para a primavera obteve-se 3,15 mm, mas o nível encontrava-se baixo, pelo fato das chuvas terem ocorrido duas semanas antes das amostragens, no verão com 0,4 mm, apresentando o menor índice pluviométrico, mesmo com chuvas na semana da coleta estas não foram significativas para influenciar no nível do arroio João Corrêa e no outono, com 2,1 mm (Tabela 17).

TABELA 17:
Dados referente às precipitações ocorrentes na MbaJC

Data da coleta	Estação	Chuvas do mês (mm)	Chuvas antecedente a coleta (mm)	Dias antecedentes de chuvas	Precipitação média (mm)
17.08.06	Inverno	63,5	30	3	10,00
23.10.06	Primavera	44,5	41	13	3,15
11.12.06	Verão	13,5	2	5	0,40
17.04.07	Outono	54,0	21	10	2,10

Fonte: Chuvas do mês adaptado da Defesa civil (2007)

As vazões encontradas para cinco dos sete pontos de amostragem do arroio João Corrêa encontram-se na tabela 18. Em P6 e P7 não foram realizadas as medições da vazão devido ao fator remanso do rio dos Sinos e à dificuldade de se realizar a travessia.

TABELA 18:
Vazão nos pontos de coleta ao longo do perfil realizado na MbaJC

Estação	Vazão ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)				
	P1	P2	P3	P4	P5
Inverno	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$5,39 \cdot 10^{-2}$	$4,90 \cdot 10^{-2}$	$5,20 \cdot 10^{-2}$	2,94
Primavera	$1,40 \cdot 10^{-4}$	$3,70 \cdot 10^{-3}$	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$1,30 \cdot 10^{-1}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$
Verão	$1,40 \cdot 10^{-4}$	$4,30 \cdot 10^{-3}$	$4,20 \cdot 10^{-2}$	$3,70 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Outono	$1,60 \cdot 10^{-4}$	$5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,30 \cdot 10^{-2}$	$5,60 \cdot 10^{-2}$	$2,3 \cdot 10^{-1}$
Média	$1,47 \cdot 10^{-4}$	$2,95 \cdot 10^{-2}$	$4,05 \cdot 10^{-2}$	$3,95 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-1}$

Observa-se que a maior vazão foi medida em P5 ($2,94 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) no inverno, apesar das chuvas nos dois dias anteriores a contribuição pelo valor elevado desta vazão foi o remanso do rio dos Sinos. A segunda maior vazão, em P5 ocorreu no verão, e não estão atribuídas as chuvas, pois estas ocorreram doze dias antes. Nos demais pontos ocorrem variações de acordo com a estação em que foram realizadas as medições, em ambas ocorreram chuvas durante a semana.

No apêndice C encontram-se os dados que retratam as variações espaço-temporal das vazões versus a lâmina de água (cota-vazão) para os diferentes pontos de amostragens realizados na MbaJC. Segundo Chevallier (1993), a representação gráfica é a mais utilizada e sua curva de ajuste, segue a forma exponencial, sendo esta a representação internacional.

Em P1 obteve-se a mesma vazão de $1,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, na primavera e verão, com lâminas de água de 2,48 (A) e 2,5 cm (B), respectivamente, e uma vazão de $1,60 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ no inverno e outono, com as lâminas de 2,67 (C) e 2,7 cm (D), obtendo-se um R^2 de 99,91%, com a equação $y = 1,4977e^{3694,6x}$, sendo a curva-chave representada na figura 11.

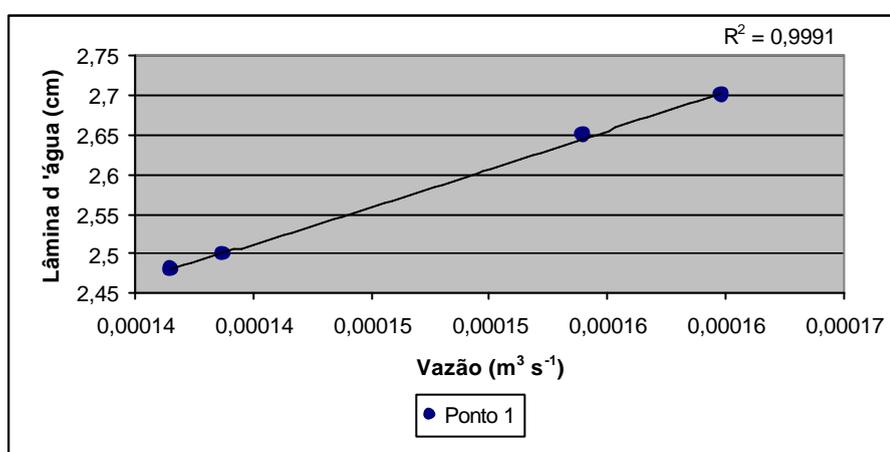


Figura 11 - Curva-chave representando o P1, nos períodos de coleta da MbaJC

A figura 12 representa o perfil realizado para P1, com suas respectivas lâminas d'água nas estações de amostragens.

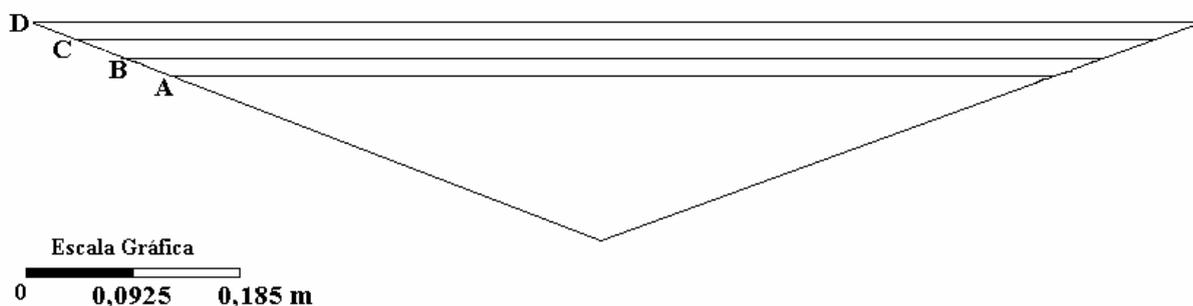


Figura 12 - Perfil de fundo de P1, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano. D= 17.04.07; C=17.08.06; B= 23.10.06; A= 11.12.06

Em P2, as menores vazões foram constatadas nas estações da primavera e do verão com $3,70 \cdot 10^{-3}$ e $4,30 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, respectivamente, as quais atingiram uma lâmina de água de

13 cm (A) e 14 cm (B), respectivamente. No inverno, a vazão atingiu $5,39 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com lâmina de 15,7 cm (C). Na primavera apresentou uma vazão de $5,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ a uma profundidade de 16 cm (D), obtendo um R^2 de 90,7%, com a equação $y = 13,317e^{3,1725x}$, a figura 13 representa a curva-chave para P2.

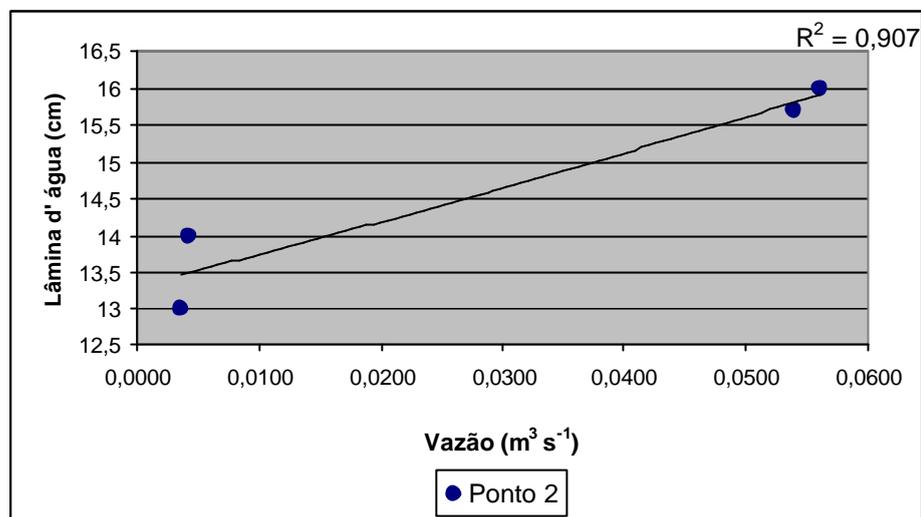


Figura 13 – Curva-chave representando o P2, nos períodos de coleta da MbaJC

O perfil realizado para P2 é representado na figura 14, com suas respectivas lâminas d'água nas estações de amostragens.



Figura 14 - Perfil de fundo de P2, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano.
D= 17.04.07; C=17.08.06; B=11.12.06; A= 23.10.06

Em P3, a variação mostra que a primavera teve a vazão mais baixa com $1,80 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, relativa a uma profundidade de 4,1 cm (A). Pode-se observar um aumento nas vazões para

as demais estações, no verão atingiu $4,20 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com uma lâmina de água de 6,26 cm (B). No inverno com $4,90 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com lâmina de água de 6,7 cm (C). A maior vazão ocorreu no outono, com $5,30 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ relativo a profundidade de 6,95 cm (D), apresentado um R^2 de 98,65%, com a equação $y = 3,1431e^{15,548x}$, a figura 15 apresenta o gráfico da curva-chave para P3.

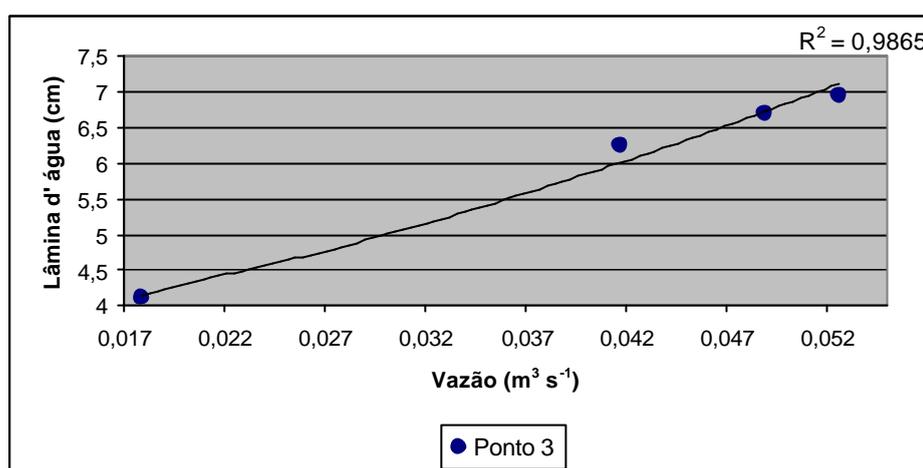


Figura 15 – Curva-chave representado o P3, nos períodos de coleta da MbaJC

A figura 16 apresenta o perfil de P3, com suas respectivas lâminas d'água nas estações de amostragens.

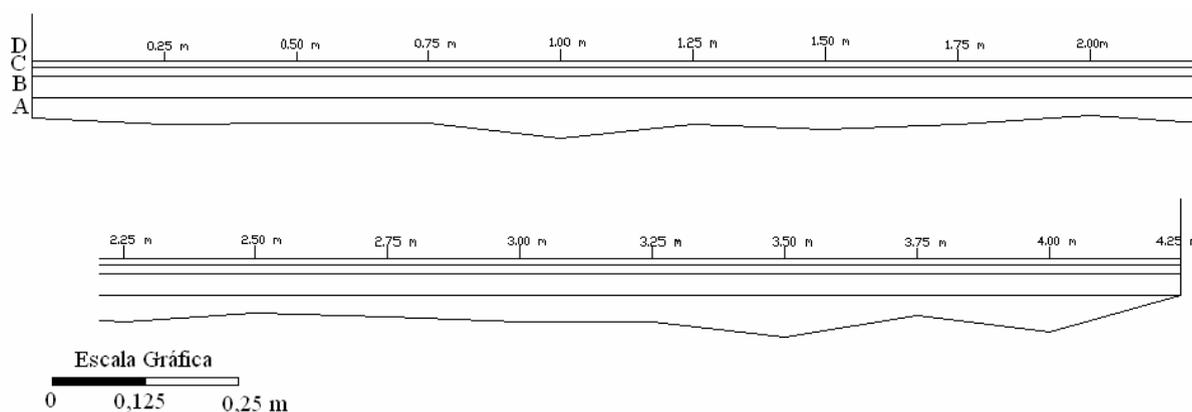


Figura 16 - Perfil de fundo de P3, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano. D= 17.04.07; C=17.08.06; B= 23.10.06; A= 11.12.06

Em P4, a variação mostra que a primavera teve a vazão mais baixa com $1,30 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ relativa a uma profundidade de 9,0 cm (A). Pode-se observar um aumento nas vazões para as demais estações, no verão atingiu $3,70 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com uma lâmina de água de 16,0 cm (B). No inverno ocorreu a vazão de $5,20 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com lâmina de água de 16,7 cm (C). A maior

vazão ocorreu no outono com $5,60 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com profundidade de 17,3 cm (D), apresentado um R^2 de 94,95%, com a equação $y = 7,6354e^{15,329x}$, a curva-chave de P4 é apresentada na figura 17.

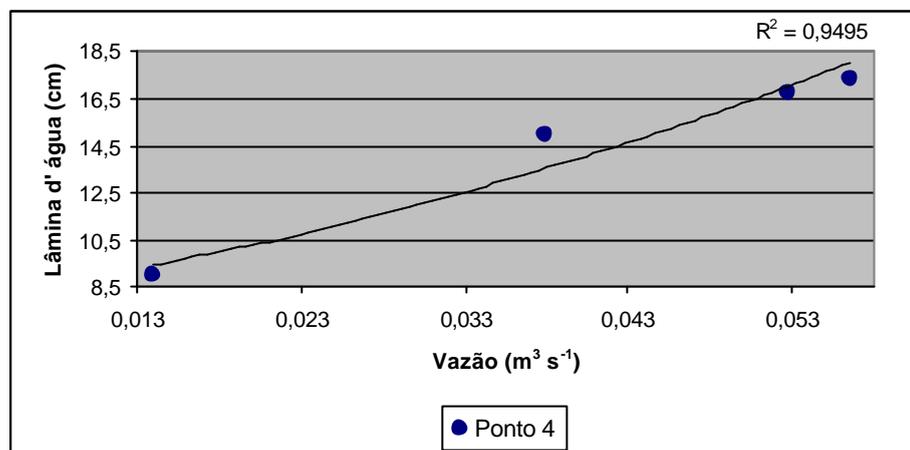


Figura 17 - Curva-chave representando o P4, nos períodos de coleta da MbaJC.

O perfil de P4 é apresentado na figura 18, com suas respectivas lâminas d'água nas estações de amostragens.

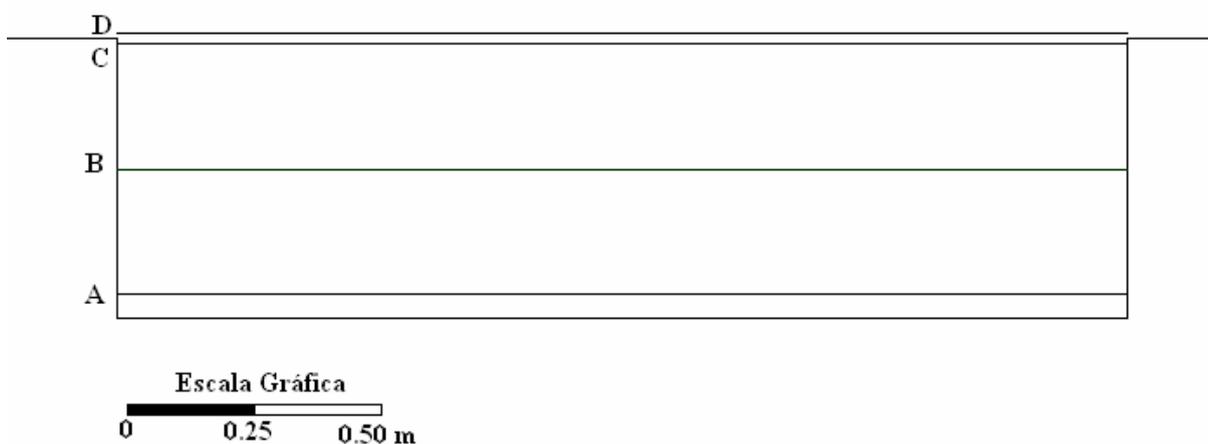


Figura 18 - Perfil de fundo de P4, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano. D= 17.04.07; C=17.08.06; B= 23.10.06; A= 11.12.06

Em P5, a variação mostra que a primavera teve a vazão mais baixa com $1,80 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ relativa a uma profundidade de 14,0 cm (A). Pode-se observar um aumento nas vazões para as demais estações, no outono atingiu $2,33 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com uma lâmina de água de 16,0 cm (B). No verão apresentou vazão de $2,40 \cdot 10^{-1} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com lâmina de água de 16,2 cm (C). A maior vazão ocorreu no inverno com $2,95 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ com profundidade de 119 cm (D),

apresentado um R^2 de 98,65%, com a equação $y = 13,041e^{0,7504x}$. A figura 19 representa a curva-chave para P5.

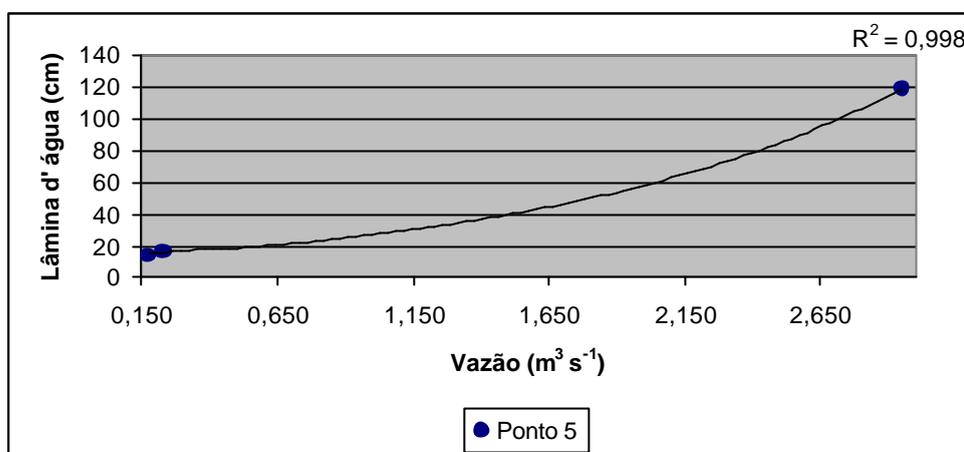


Figura 19 - Curva-chave representando o P5, nos períodos de coleta da MbaJC

A figura 20 apresenta o perfil realizado para P5, com suas respectivas lâminas d'água nas estações de amostragens.

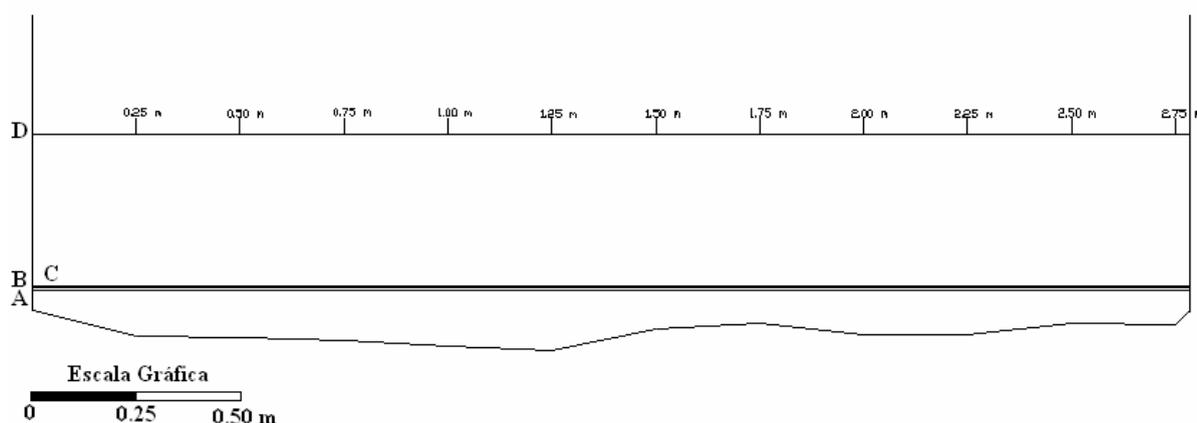


Figura 20 - Perfil de fundo de P5, com suas lâminas d'água para as diferentes estações do ano.
D= 17.08.06; C=11.12.06; B= 17.04.07; A= 23.10.06

As variações espaço-temporal das vazões, nos pontos de amostragens demonstram que a estação do outono apresentaram as maiores vazões e a primavera com as menores vazões, onde P1 ($1,6 \cdot 10^{-4}$ e $1,4 \cdot 10^{-4} m^3 s^{-1}$), P2 ($5,6 \cdot 10^{-2}$ e $3,7 \cdot 10^{-3} m^3 s^{-1}$), P3 ($5,3 \cdot 10^{-2}$ e $1,8 \cdot 10^{-2} m^3 s^{-1}$) e P4 ($5,6 \cdot 10^{-2}$ e $1,3 \cdot 10^{-2} m^3 s^{-1}$). Para P5 a maior vazão está representada na estação de inverno com $2,5 m^3 s^{-1}$ e a menor na primavera com $1,810^{-1} m^3 s^{-1}$. A comparação dos valores de vazão demonstra que estas medidas refletem diferentes cenários em relação ao volume de água transportada para cada época de amostragem, podendo ocorrer variações de acordo com

maior intensidade de chuvas, deságüe pelo esgoto doméstico e industrial e influência do remanso do rio dos Sinos no para P5.

Os dados referente à média da velocidade do fluxo obtida nas seções realizadas para os pontos de amostragens da MbaJC, demonstram que nos pontos de maior declive à montante, menor a velocidade do fluxo corrente. Em P1, à montante, com uma altitude de 70 m sobre o nível médio do mar, a velocidade é $0,03 \text{ m s}^{-1}$, enquanto que em P7, à jusante, com uma altitude de 3 m a velocidade correspondente é de $0,34 \text{ m s}^{-1}$. A curva hipsométrica realizada para o leito do arroio João Corrêa é apresentada na figura 21, onde os pontos de amostragens estão representados pelas distâncias ocorrentes entre eles da nascente até a foz versus a altitude medida com altímetro em cada ponto.

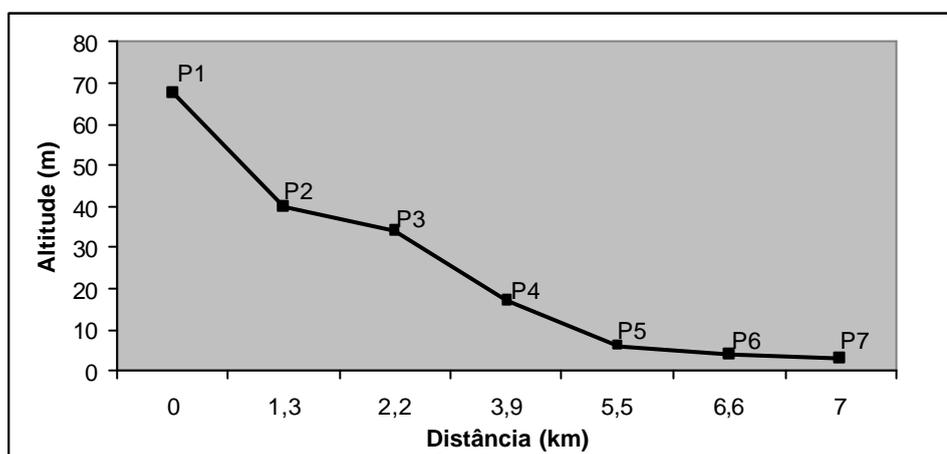


Figura 21 - Curva hipsométrica do leito do arroio João Corrêa

A medida que a altitude diminui a velocidade aumenta, devido a bacia contribuinte. Nos pontos em que a altitude não apresenta grandes variações a velocidade mantém-se praticamente constante.

Os fatores como a precipitação e as vazões fluviais influenciam a qualidade da água do arroio João Corrêa, assim como a capacidade depurativa do meio.

6.2 Caracterização da MbaJC

A figura 22 mostra o mapa confeccionado a partir dos dados referente ao levantamento realizado na MbaJC, que possui ampla ocupação urbana. Apresentando a distribuição espacial dos pontos de coleta, associados ao recebimento dos efluentes doméstico e industrial, aos tipos de solos e a vegetação.

Para os efluentes doméstico e industrial considerou-se apenas aqueles que apresentaram uma maior contribuição para a MbaJC.

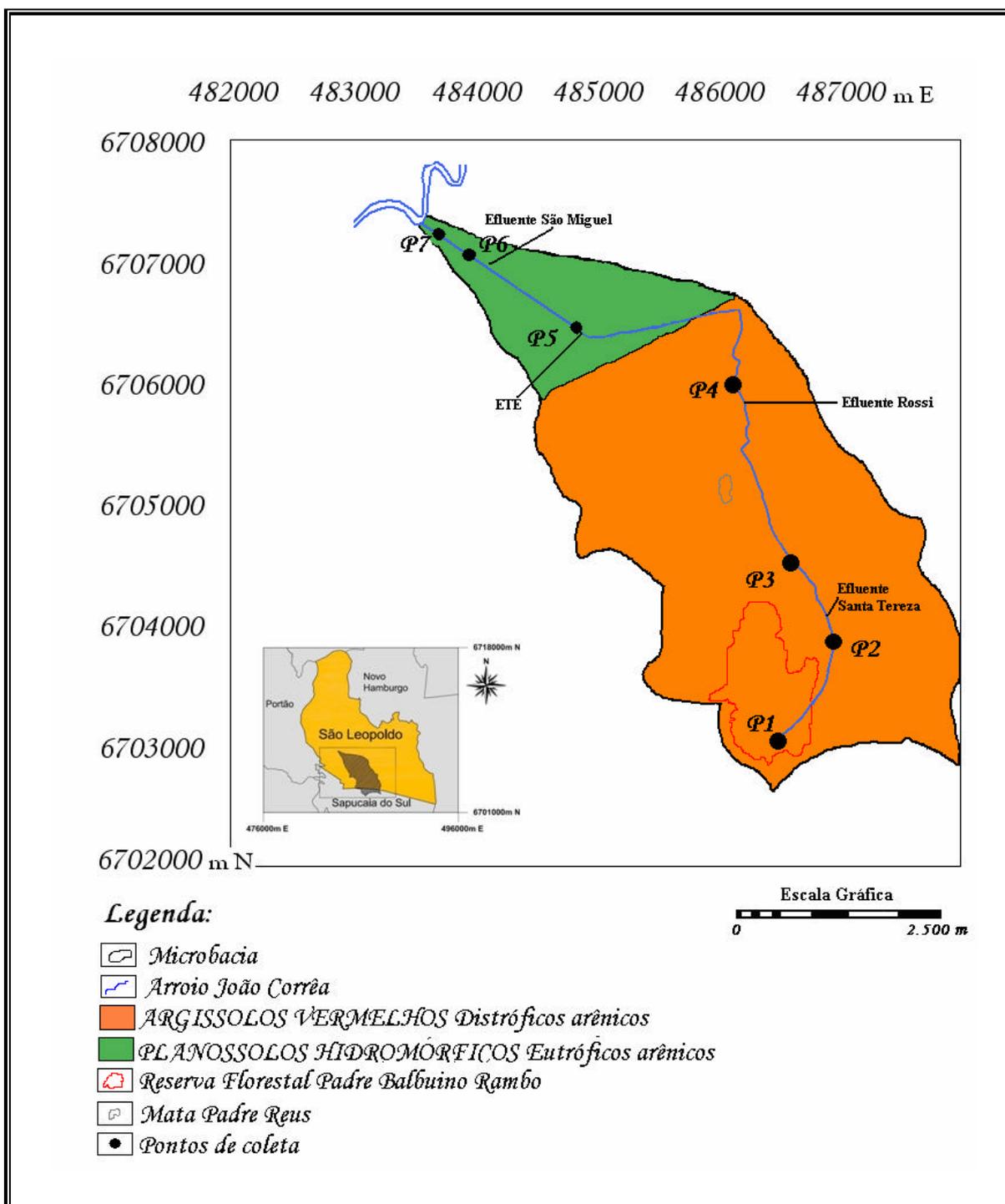


Figura 22 - Mapa dos tipos de solos, unidades de conservação e pontos de coleta da MbaJC

6.3 Análises granulométricas

Os resultados obtidos nas análises do teor das frações granulométricas e da matéria orgânica estão representados nas figuras a seguir e permitiram caracterizar cada trecho do arroio João Corrêa, conforme a ocorrência das frações de seixo fino a muito fino, areia muito grossa, grossa, média, fina e muito fina além de silte e argila.

Seixo fino

O seixo fino encontrou-se presente apenas em duas coletas e em dois pontos, sendo P3, o primeiro ponto antes da canalização e o P5 o primeiro após este. Obteve-se 8,72% de presença de seixo fino em P3, na época de seca (verão), com um nível da água baixo, a movimentação desta neste trecho estava muito fraca. A deposição de seixo fino neste ponto se deve a algum evento pulsátil de maior energia que ocasionou a deposição nestes dois pontos, pois a velocidade registrada no momento da coleta não caracteriza este tipo de deposição (Figura 23).

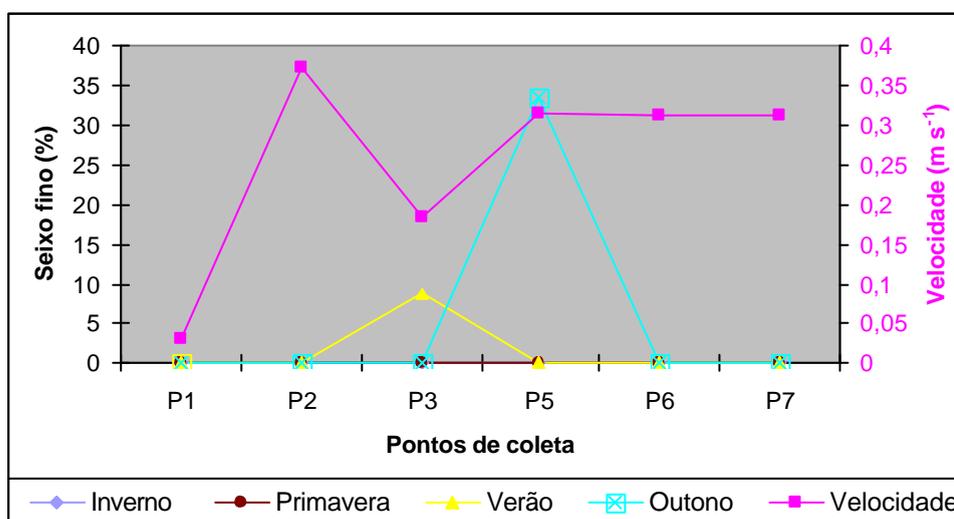


Figura 23 - Percentual de seixo fino presente nos sedimentos de fundo, relacionado com a velocidade da MbaJC

Em P5 ocorre à erosão e o transporte das frações de seixo fino, com 33,51% em época de cheia.

Nos pontos em que ocorreu a presença dos seixo fino teve-se a menor concentração de MO, nos demais pontos não foram encontrados frações para o seixo fino nas amostragens realizadas, conforme demonstra a curva de frequência simples. Suas porcentagens

independentem da altitude, mas estão com correlação positiva com a velocidade da água da MbaJC.

Seixo muito fino

A figura 24 mostra a ocorrência de seixo muito fino nas amostragens dos sedimentos de fundo do arroio João Corrêa ocorrendo uma variação de 0,08% a 15,71% para os pontos amostrados, as maiores concentrações foram encontradas em P3 e P5. As frações de seixo muito fino foram plotadas no diagrama de Hjulström, onde antes da canalização em P3, com 11,72% ocorreu o transporte, e após, em P5, com 15,71% ocorreu à erosão, com alternância para as demais estações de chuva e seca.

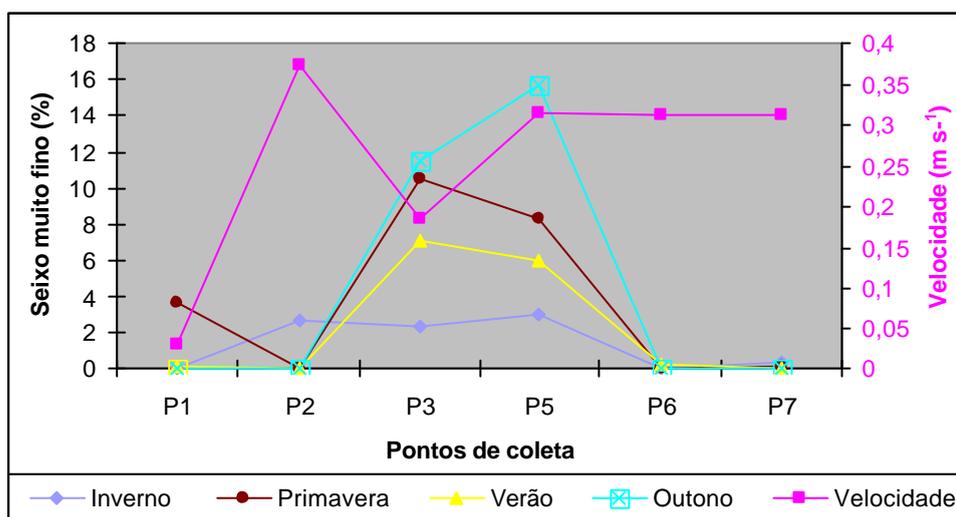


Figura 24 - Percentual de seixo muito fino presente nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

Em todas as amostragens realizadas para P1, ocorreu à deposição dos seixo muito fino, em P2, estes foram erodidos e transportados; para P3 foram transportados em todas as estações, exceto na primavera, quando ocorreu a deposição destes. Em P5, na estação de inverno, os seixo muito fino foram erodidos e transportados, na primavera foram depositados, no verão transportados e no outono foram erodidos.

Areia muito grossa

As altas concentrações de areia muito grossa ocorreram em P3 e P5, onde se obteve uma variação de 2,41% a 10,40% no sedimento amostrado (Figura 25). As frações de areia muito grossa foram plotadas no diagrama de Hjulström, observando-se nestes pontos a

ocorrência da erosão em P5 e o transporte em P3. Esse fator ocorreu devido aos impactos decorrentes do processo de canalização, e também por barreiras dentro do canal como o acúmulo de resíduos sólidos, os quais são removidos pelo SEMAE.

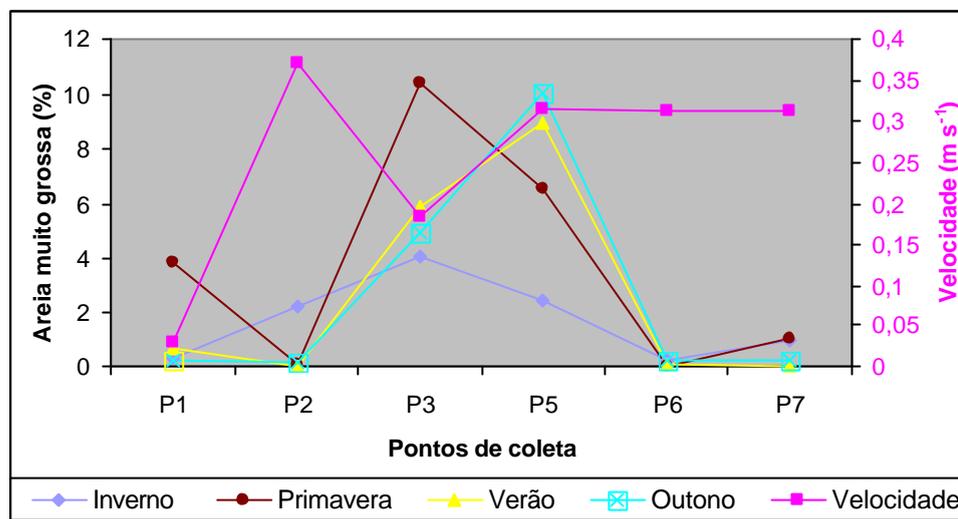


Figura 25 – Percentual de areia muito grossa presente nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

Em P1, para todas as amostragens realizadas constatou-se que ocorreu a deposição de areia muito grossa, em P2 ocorreu à erosão (inverno e outono) e a erosão e o transporte (primavera e verão). De P3 a P5 ocorreram variações entre os processos de erosão e transporte. Onde no inverno e outono P5 erodiu, na primavera transportou e no verão erodiu e transportou, para P3 observa-se que no inverno, verão e no outono este erodiu e transportou e na primavera transportou.

No P7, além da interferência do rio dos Sinos, tem uma empresa que realiza a dragagem da areia na foz do arroio João Corrêa.

Areia grossa

A areia grossa concentrou-se em P3 e P5, para todas as coletas realizadas numa variação de 12,73% a 28,91%. Observa-se que na coleta da primeira, para P2 obteve-se 18,47% de areia grossa referente às demais amostragens realizadas (Figura 26). A areia grossa depositou-se em P1, onde a velocidade é reduzida nas diferentes estações do ano e consequentemente a vazão é baixa.

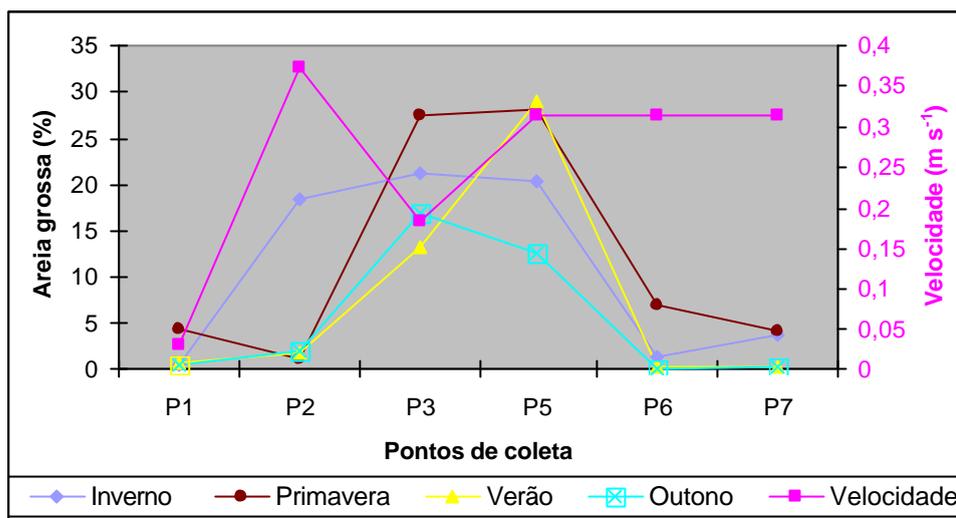


Figura 26 - Percentual de areia grossa presente nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

No inverno ocorreu em P2 e P5 o processo de erosão, em P3 as areias grossas foram tanto erodidas como transportadas, na primavera P2 sofreram erosão e transporte. Em P3 e P5, a areia grossa foi transportada. Na estação de verão, P3 e P5 sofreram erosão e transporte e P2 apenas erosão. No outono, em P2, P3 e P5 ocorreu erosão.

Areia média

A areia média encontrou-se presente em todos os pontos amostrados (Figura 27), numa variação de 0,12% a 45,15%. As maiores concentrações ocorreram no P2 (33,02%), para a primeira coleta, em P3 (43,28%) e P5 (45,15%), para as demais coletas realizadas, onde a velocidade da corrente é menor. Por se tratar de frações psamíticas intermediária estas acabam tendo interferências das barreiras encontradas, impedindo o seu transporte.

Em P1 ocorreu o transporte da areia média independente da estação do ano, em P2 estas foram erodidas no inverno e outono e erodidas e transportadas na primavera e verão. Para P3, no inverno, verão e outono ocorreu à erosão e o transporte da areia média, na primavera o transporte. No P5, para as estações de inverno e outono ocorreu erosão, na primavera transporte e no verão a areia média foi erodida e transportada. Dados obtidos a partir da plotagem das frações de areias médias no diagrama de Hjulström.

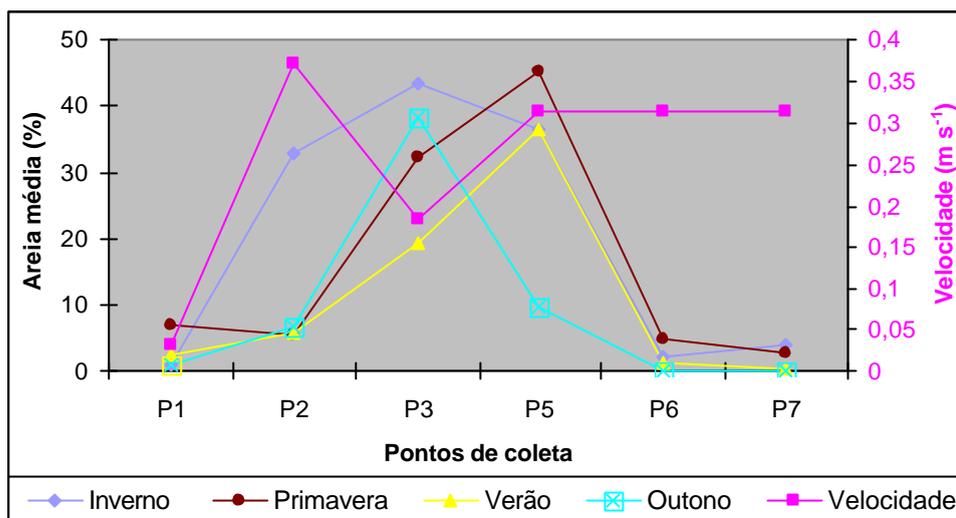


Figura 27 – Percentual de areia média nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

Areia fina

A presença de areia fina em toda a extensão do arroio está numa concentração variável de 1,56% a 38,09% (Figura 28). As mais altas foram encontradas em P1 (38,09%), onde ocorreu o transporte (verão), em P2 (24,53%) esta foi transportada (outono), assim como em P3 (24,85%) e P5 (20,89%) onde a areia fina foi transportada (inverno).

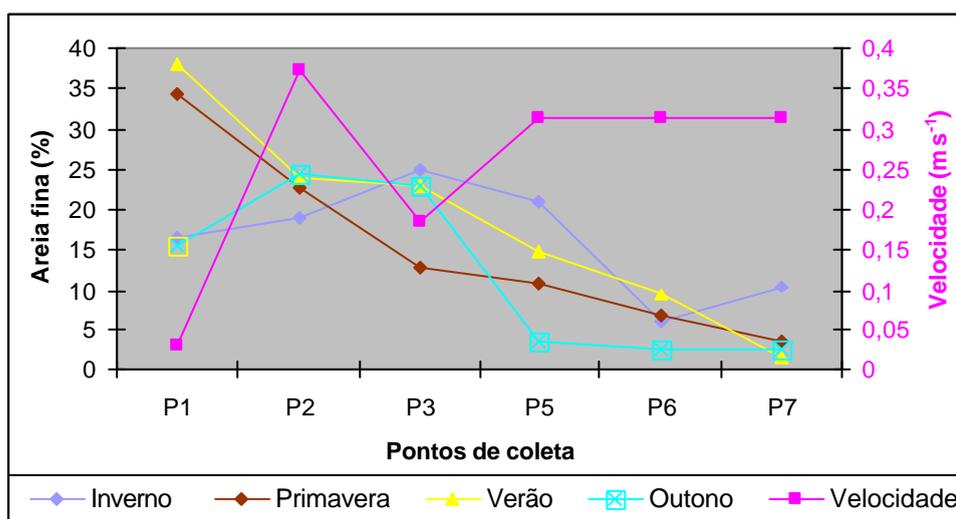


Figura 28 – Percentual de areia fina nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

Em P6 (9,4%) e P7 (10,34%) encontram-se as porcentagens mais baixas para as amostragens realizadas, por serem áreas de transporte, em P7 recebe a influencia direta do rio dos Sinos, com seu remanso, que realiza o transporte das mesmas por se tratar de areia fina.

As frações de areia fina plotadas no diagrama de Hjulström determinaram as diferenças ocorridas para as estações de amostragens. Para P1, em todas as estações ocorreu o transporte da areia fina. Para P2 no inverno e outono erodiu, na primavera e verão erodiu e transportou. Em P3, no inverno, verão e outono a areia fina foi erodida e transportada e na primavera foram só transportadas. Em P5 erosionou no inverno e outono, transportou na primavera e erodiu e no verão transportou.

Areia muito fina

A areia muito fina predominou na maioria dos pontos, variando sua porcentagem de 1,73% a 40,67% (Figura 29). As frações mais altas de areia muito fina foram encontradas nas amostragens realizadas para P1 (31,23%) e P6 (40,67%).

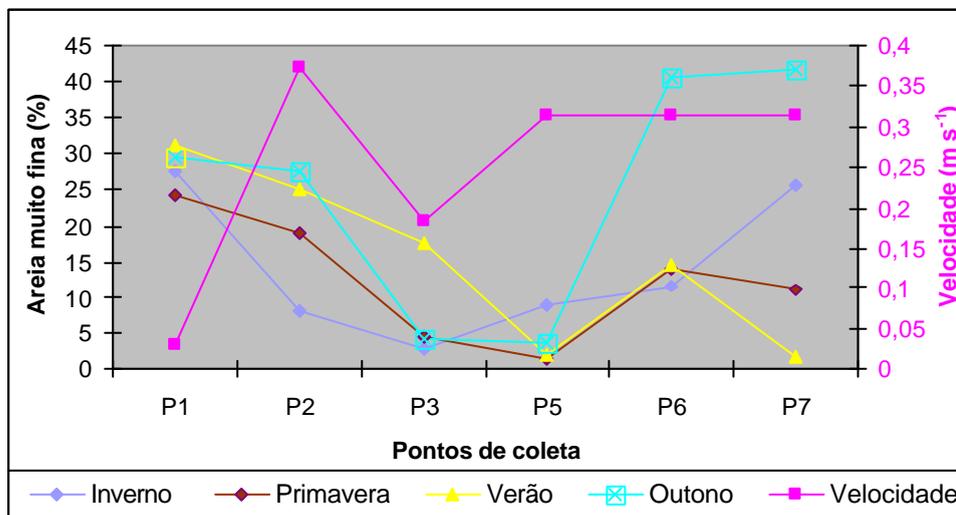


Figura 29 - Percentual de areia muito fina nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

Em P1 ocorreu o transporte da areia muito fina. Em P2, no inverno e outono, estas foram erodidas e na primavera e verão foram erodidas e transportadas respectivamente. Em P3, no inverno e outono, a areia muito fina foi erodida e transportada e na primavera e verão foram transportadas. Para P5, no inverno ocorreu à erosão e o transporte da areia muito fina, no outono a erosão destas e na primavera e no verão o transporte.

Ao relacionar a areia muito fina com a altitude e a vazão constatou-se que quanto mais elevada à altitude e menor a vazão, maiores são as porcentagens encontradas para as areias muito fina.

Silte e Argila

O silte e as argila são formados pelas frações menores que 0,062 mm em diâmetro, segundo Wentworth (1922), por isso acabam se depositando nos pontos em que ocorre uma menor movimentação da água. Nos locais de maior hidrodinâmica, são transportados como carga em suspensão, como o que ocorreu em P3 (4,88%) e P5 (11,19%). Em P6 e P7 estas apresentaram as maiores porcentagens de 78,29% e 96,17%, respectivamente (Figura 30).

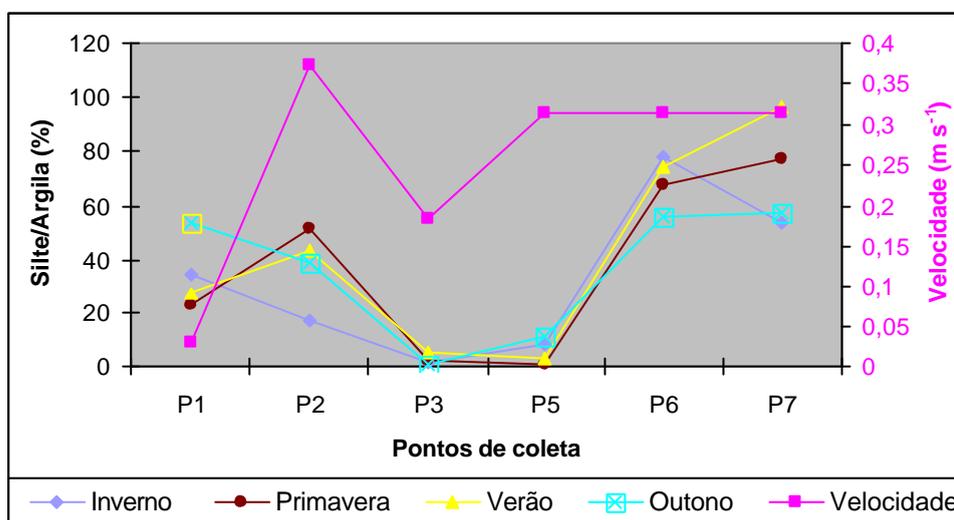


Figura 30 - Percentual de silte e argila presente nos sedimentos de fundo relacionado com a velocidade da MbaJC

Na relação realizada com as porcentagens de silte e argila com a altitude, observou-se que quanto menor o declive da área, maior é o acúmulo destas frações, mesmo estando numa área em que a vazão eleva-se, como ocorreu em P6 e P7.

As frações de silte e argila foram plotadas no diagrama de Hjulström, sendo estas transportadas a partir de P1, em P2 no inverno sofreu o processo de erosão, em P2 e P5 no outono ocorreu à erosão e o transporte, para as estações da primavera e verão ocorreu o transporte do silte e da argila.

Matéria orgânica

Os teores de matéria orgânica diferem entre os pontos de coletas nas diferentes amostragens realizadas, estas variaram de 1,12 a 10,75% (Tabela 19).

TABELA 19:
Resultados dos teores de MO nas diferentes épocas de amostragem

Matéria orgânica (%)						
Amostragem	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Inverno	2,10	1,29	1,31	3,12	9,91	10,75
Primavera	1,98	2,18	1,71	1,12	6,90	2,21
Verão	2,23	1,61	1,31	1,71	4,05	3,53
Outono	5,52	2,80	1,18	3,08	5,46	----

Nos pontos onde a vazão se manteve praticamente constante, os teores de matéria orgânica acompanham a mesma tendência. Nos pontos em que a vazão se elevou à MO também aumentou.

Na figura 31 observa-se que as variações ocorrentes da MO em P1 devem ser de origem vegetal, pois o ponto encontra-se dentro da Reserva Florestal Balbuino Rambo, em Sapucaia do Sul. Nos demais pontos sua origem é proveniente de esgotos e resíduos sólidos lançados diretamente no arroio João Corrêa.

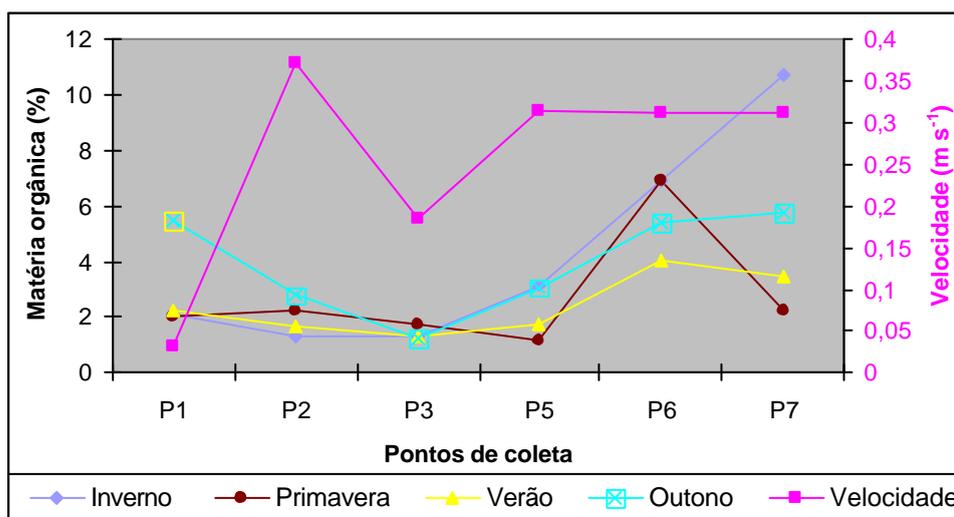


Figura 31 - Percentual da matéria orgânica do sedimento relacionada com a velocidade da MbaJC

Na primeira coleta realizada no inverno (17.08.06), o nível no arroio estava alto ocorrendo um grande pico de P5 (3,12%) para P7 (10,75%) nas concentrações de MO, onde a

mesma depositou-se, o que não ocorreu na última coleta no outono (17.04.07), também realizada em época de cheia. Nota-se que ocorrem um acréscimo em suas concentrações de P3 (1,18%) para P6 (5,46%), mas com teores menos acentuados do que no inverno.

Os altos teores da MO foram encontrados em P6, os quais variaram de 5,46 a 9,91% para todas as coletas realizadas, independente do nível da água do arroio João Corrêa. Mesmo nas épocas de cheias, não se observou à movimentação da corrente, antes da casa de máquinas, que serve como dispositivo de contenção de enchentes. O maior contribuinte das altas concentrações da MO em P6 é o efluente do bairro São Miguel, que está localizado a 100 m do ponto onde as coletas foram realizadas.

As interferências ocorreram apenas em P7 (foz do arroio João Corrêa), quando as águas do rio dos Sinos avançaram até a casa de máquinas movimentando o sedimento do fundo. Não constam os teores para outono em P7, pois o sedimento foi erodido pela correnteza do rio dos Sinos, sendo arrastado pelo mesmo, o que impediu a realização da coleta.

Existe uma correlação positiva entre as concentrações de matéria orgânica e a presença de siltes e argilas (Figura 32). Na composição granulométrica dos sedimentos analisados do arroio João Corrêa (Apêndice D), verifica-se que as frações granulométricas estão distribuídas ao longo do arroio, apresentando baixas e altas concentrações, exceto para os seixos muito finos presentes só em P3 e P5 (Tabela 20).

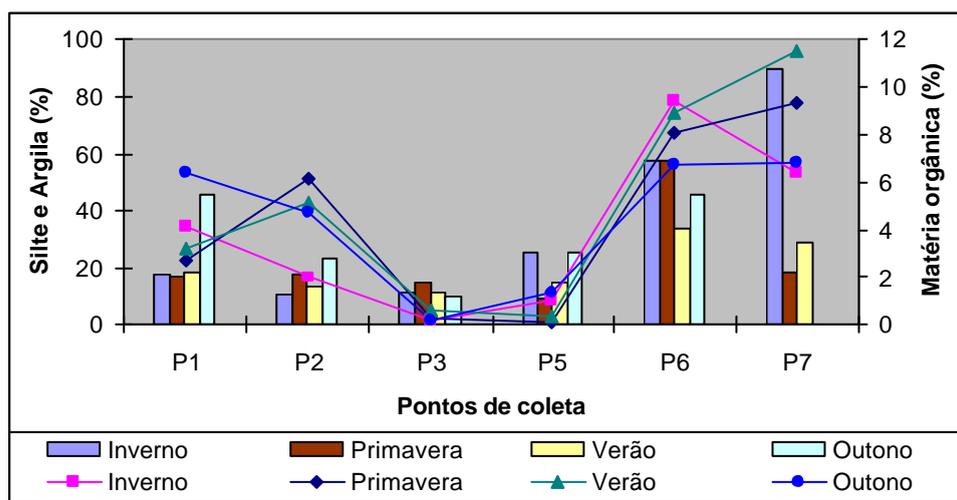


Figura 32 – Relação das frações de siltes e argilas com a matéria orgânica presentes nos pontos de amostragens de fundo da MbaJC.
Colunas: Silte e Argila; Curvas: Matéria orgânica

TABELA 20:
Ocorrência das maiores concentrações da granulometria de sedimento para os pontos de amostragem ao longo da MbaJC

Intervalos granulométricos	Pontos de amostragem					
	P1	P2	P3	P5	P6	P7
Seixo fino = 4 mm	0	0	8,72	33,51	0	0
Seixo muito fino = 2 mm	3,57	2,67	11,52	15,71	0,19	0,28
Areia muito grossa = 1 mm	3,89	2,18	10,40	10,07	0,24	1,00
Areia grossa = 0,50 mm	4,24	18,47	27,40	28,91	6,90	4,17
Areia média = 0,25 mm	6,98	33,02	43,28	45,15	4,93	3,81
Areia fina = 0,125 mm	38,09	24,53	24,85	20,89	9,40	10,34
Areia muito fina = 0,062 mm	31,23	27,52	17,58	8,72	40,67	27,57
Silte/Argila < 0,0062	53,50	51,64	4,88	11,19	78,29	96,17

As análises granulométricas dos sedimentos apontaram diferenças entre os pontos amostrados. As porcentagens de areias grossas e médias são predominantes em P3 e P5. Para as areias grossas ocorre uma variação mínima de 27,40% a 28,91%, no caso das areias médias a variação é de 43,28% a 45,15%, pontos onde ocorreu a erosão, e/ou, a erosão e o transporte destas. Em P1, P2, P6 e P7, os siltes e as argilas predominaram com 51,64% a 96,17%, por se tratar do material mais fino este foi transportado como carga em suspensão, sendo transportado em P1 (53,5%), erodido e transportado em P2 (51,64%) e P3 (4,88%), predominando o transporte em P5 (11,19%), em P6 (78,29%) e P7 (96,17%) onde apresentaram as maiores frações granulométricas.

Os teores de MO variaram ao longo das coletas realizadas, a porcentagem mais baixa foi encontrada em P3 (1,71%), os valores mais altos encontrados estão representados em P6 (9,91%) e P7 (10,75 %), sendo transportados dos pontos anteriores e depositados em P6 e P7.

Nos pontos P3 e P5, onde ocorreu uma maior concentração de seixos finos as concentrações de MO é menor, sendo esta transportada no material em suspensão, juntamente com os siltes e a argilas, por se tratarem dos materiais mais finos.

Observou-se que a ocorrência de seixos finos e muito finos, areias muito grossas e grossas são menores que as porcentagens encontradas para areias média, fina, muito fina, siltes e argilas, esse fato está associado ao tipo de solo encontrado na área de estudo.

As figuras 33, 34, 35 e 36 apresentam a classificação das frações granulométricas aplicadas no diagrama de Hjulström, para as diferentes estações de amostragens inverno (17.08.06), primavera (23.10.06), verão (11.12.06) e outono (17.04.07). No diagrama foi relacionado o diâmetro da partícula do sedimento de fundo com a velocidade média para a MbaJC.

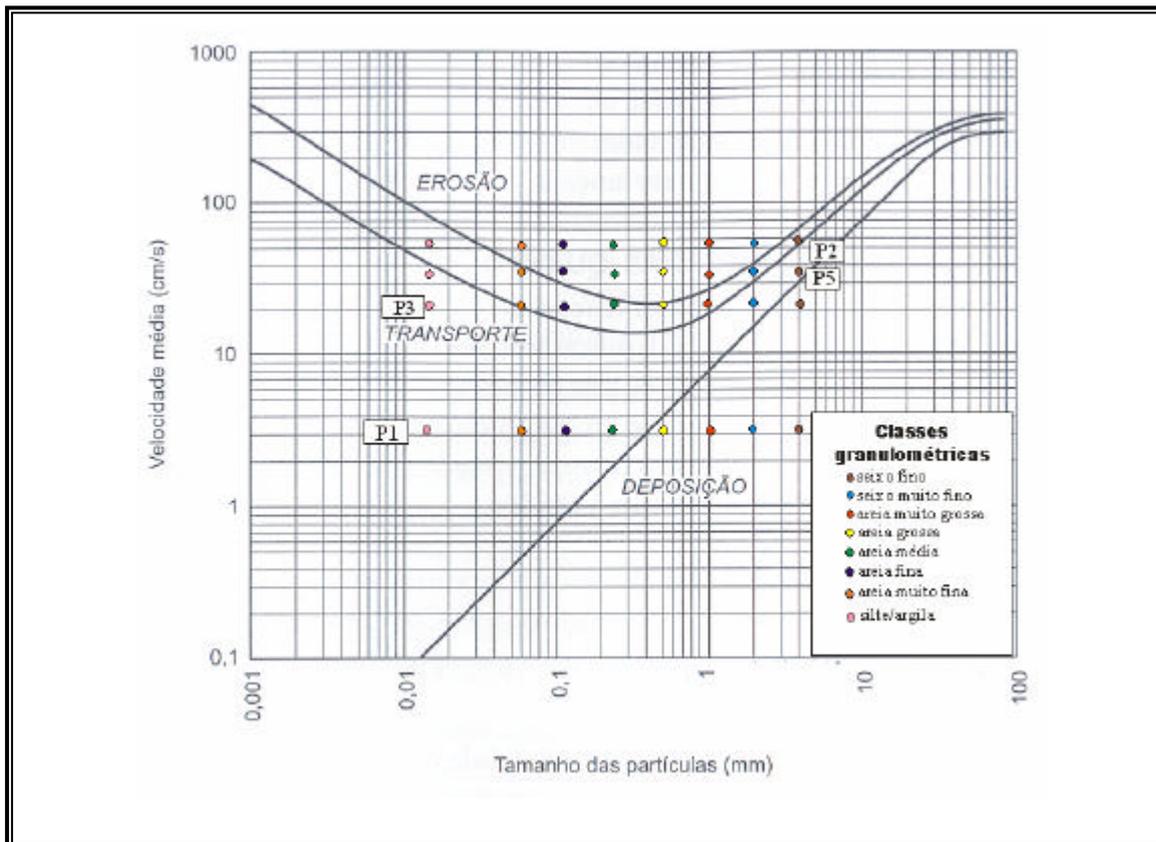


Figura 33 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hjulström no inverno

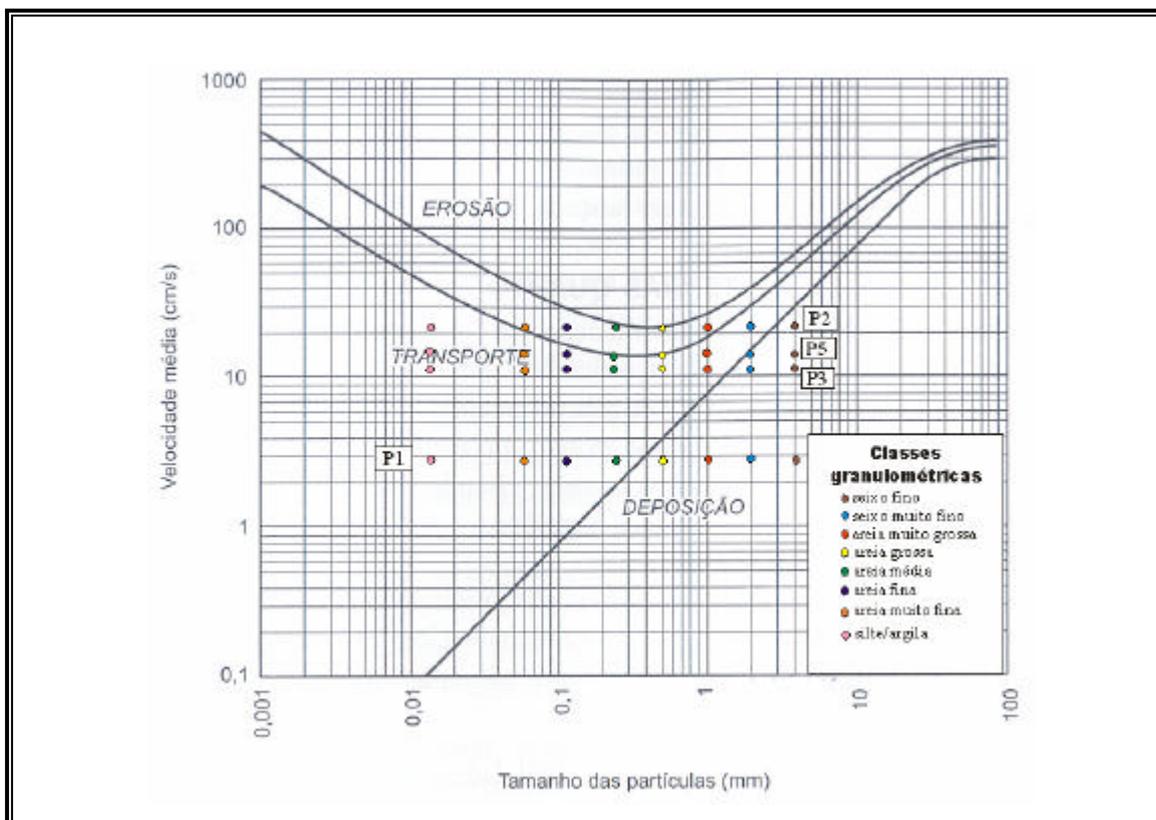


Figura 34 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hjulström na primavera

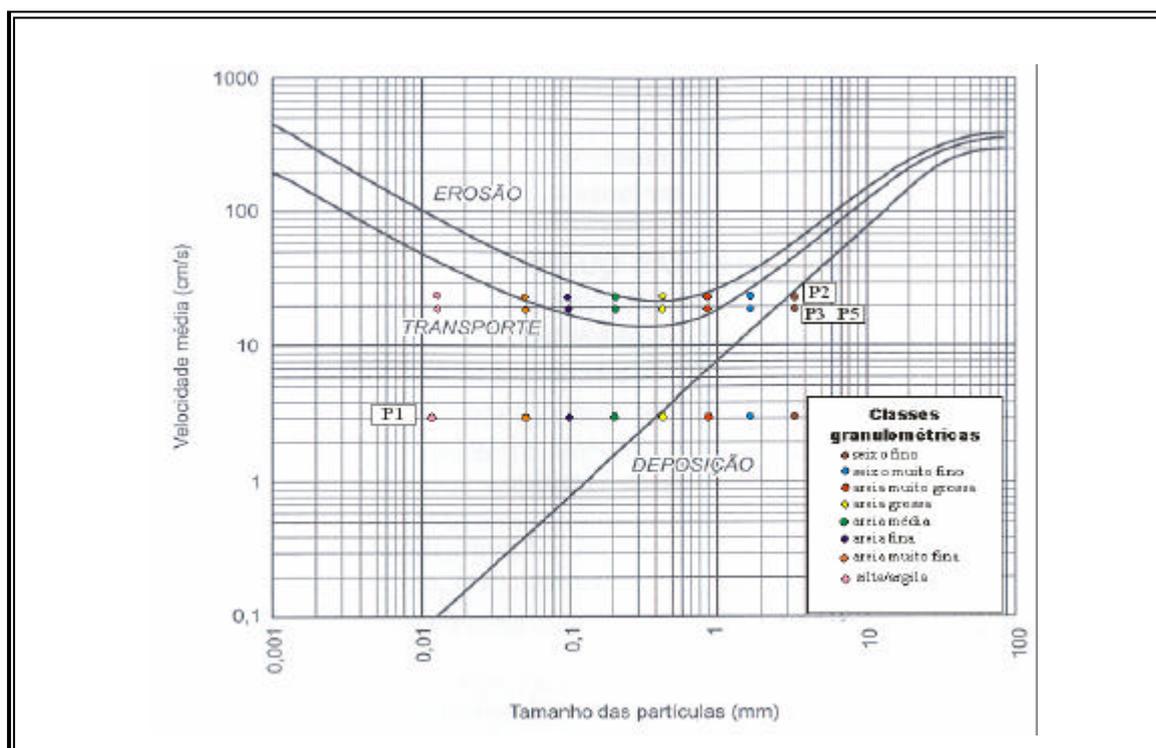


Figura 35 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hjulström no verão

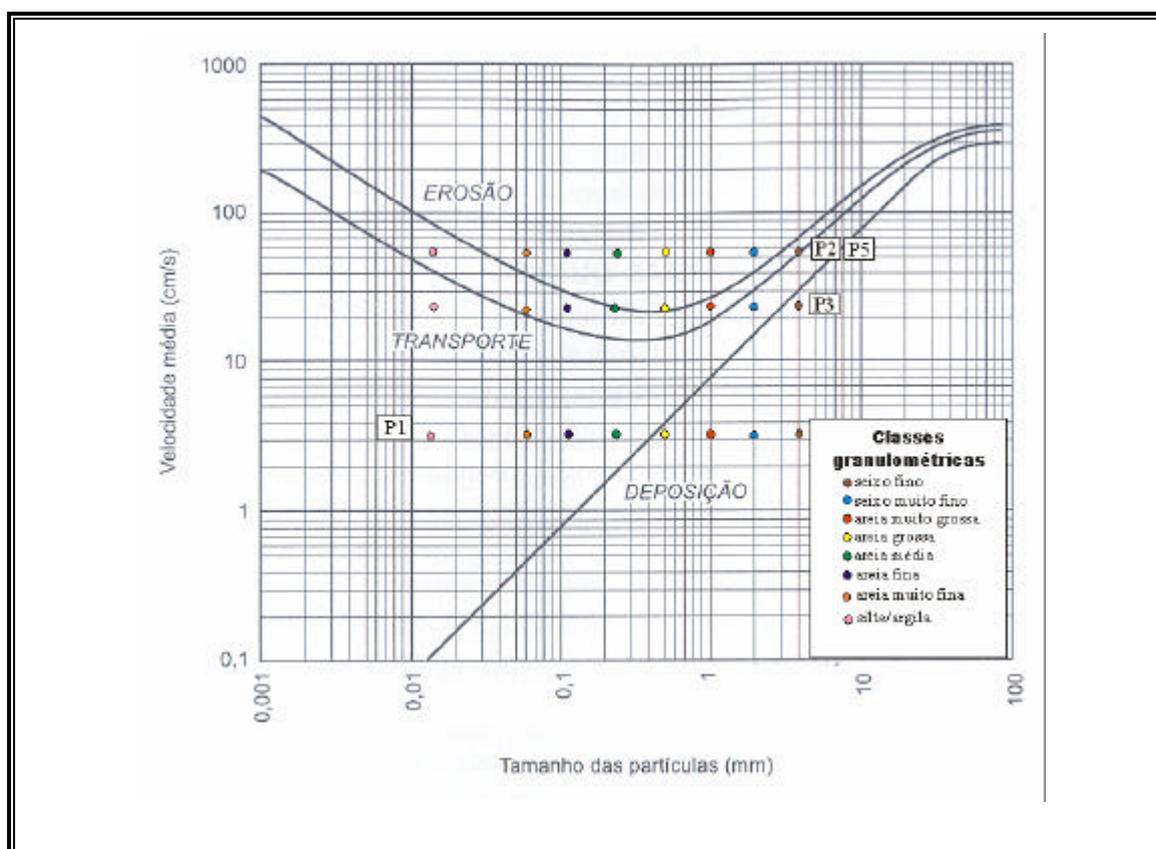


Figura 36 - Distribuição da granulometria versus a velocidade média plotadas no diagrama de Hjulström no outono

6.4 Análise das variáveis químicas dos sedimentos de fundo da MbaJC

Os metais pesados analisados nos sedimentos de fundo foram Cd, Cr, Ni, Pb e o elemento P. Os resultados obtidos são apresentados no apêndice E, e representados nos histogramas a seguir, para cada uma das variáveis obtidas. Os mesmos foram classificados conforme U.S.EPA (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006), os valores de referência estão no apêndice E.

Cádmio

O cádmio (Cd) encontrou-se presente em todas as amostragens realizadas ao longo do arroio João Corrêa (Figura 37), oscilando na maioria das coletas realizadas, mantendo-se constante apenas na coleta do outono. Relacionando a média da vazão com a concentração de Cd observa-se que a mesma não exerce influência na distribuição deste metal.

Os valores de Cd, quando comparados com os intervalos granulométricos de silte e argila percebeu-se uma semelhança nas amostragens realizadas para primavera, determinando que os teores de cádmio nesta estação foram transportados em suspensão nas partículas de silte e argila por ação mecânica.

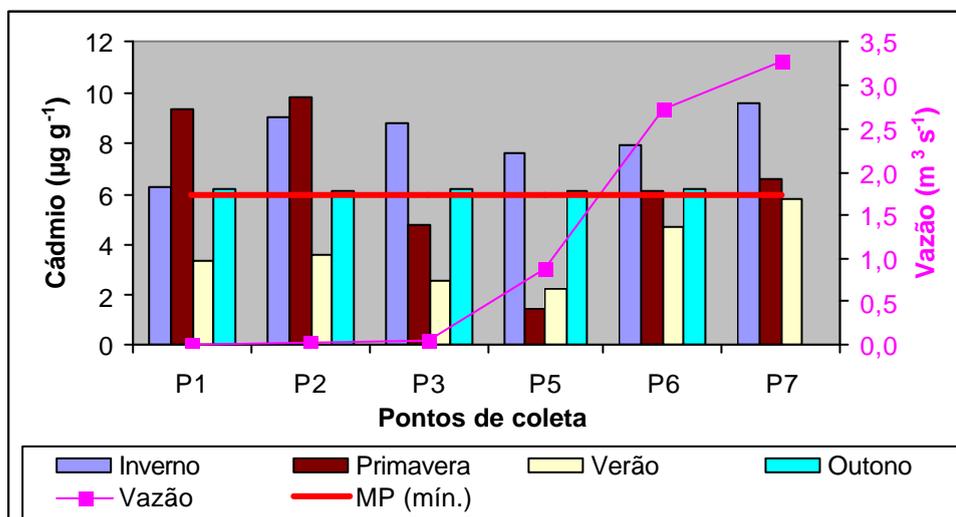


Figura 37 - Variações das concentrações de cádmio nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e o valor de referência de poluição.

MP: Muito poluído

As maiores concentrações encontradas de Cd nos sedimentos ocorreram em P2 ($9,8 \mu\text{g g}^{-1}$) e P7 ($9,6 \mu\text{g g}^{-1}$) em diferentes amostragens, sendo a primeira realizada na primavera e a segunda no inverno. Observa-se que para as coletas realizadas na primavera e no verão as

concentrações de cádmio apresentaram uma queda em P5 e elevaram-se até o P7, onde se encontram os valores máximos dentro de cada uma das amostragens realizadas, com exceção da coleta realizada na primavera, em que os maiores concentrações de cádmio estão presentes em P1 e P2, com queda até P5. Observa-se que nos pontos onde ocorreu o recebimento de efluentes domésticos (P2 e P6), apenas as coletas realizadas no verão apresentaram seus valores inferiores para a classificação de muito poluído.

De acordo com os valores de referência da U.S.EPA (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006), os sedimentos encontram-se poluídos, quando apresentarem teores acima de $6 \mu\text{g g}^{-1}$. Neste caso as análises realizadas no inverno apresentaram teores elevados por cádmio, atingindo estas o mínimo de muito poluído (MP), e para as amostragens realizadas na primavera apenas em P1, P2 e P7. Não são estipulados valores para o Cd nas faixas não poluído e moderadamente poluído.

Cromo

O cromo apresentou suas maiores concentrações entre P6 ($75,6 \mu\text{g g}^{-1}$) e P7 ($109,7 \mu\text{g g}^{-1}$), em coleta realizada na época em que o nível de lâmina d'água encontrava-se baixo, para ambas as coletas. As demais amostragens, conforme a figura 38 apresentou pequenas oscilações de P1 a P5, após observa-se um acréscimo em suas concentrações até P7. Suas concentrações mais elevadas ocorreram em P6 e P7, pontos localizados abaixo da zona industrial.

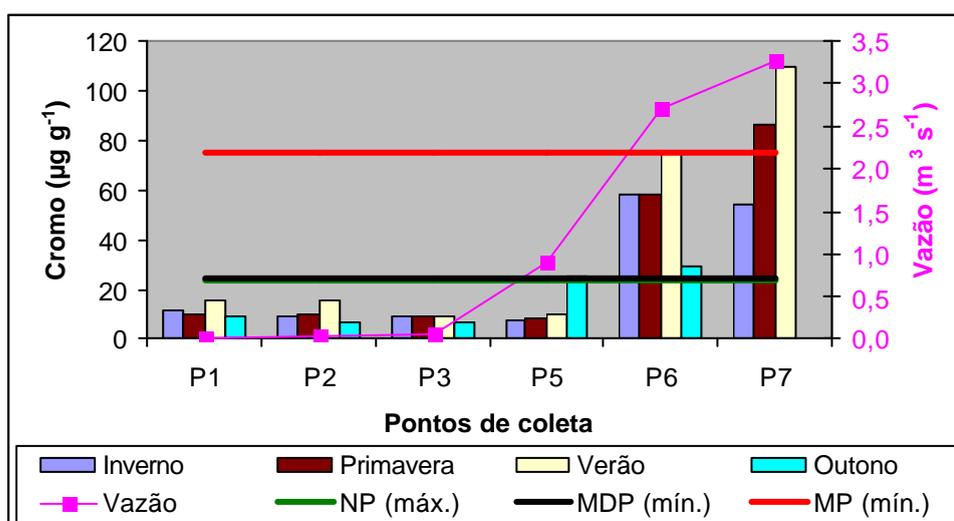


Figura 38 - Variações das concentrações de cromo nas amostragens de sedimento de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e os valores de referência de poluição. NP: Não poluído; MDP: Moderadamente poluído; MP: Muito poluído

Comparando os teores obtidos de Cr com a média da vazão para a MbaJC, observa-se que os valores destes eleva-se à medida que a vazão aumenta, o acúmulo deste metal em P6 e P7 determina que o mesmo está sendo transportado juntamente com as partículas de silte e argila. As maiores porcentagens foram encontradas nestes pontos assim como a matéria orgânica.

O cromo apresentou altas concentrações em P6 e P7 e de acordo com estes teores possui diferentes classificações, conforme a época de amostragem. No inverno classifica-se como moderadamente poluído (MDP), quando o nível estava alto, também na primavera com nível baixo, já P7, na primavera apresentou valores que se enquadra em muito poluído (MP). Assim como no verão para ambos os pontos. Apresenta em P7 34,0% a mais do que seu valor limite que é de 25 a 75 $\mu\text{g g}^{-1}$, segundo a U.S.EPA (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006).

Níquel

As concentrações mais altas de níquel foram encontradas em P6 (18,20 $\mu\text{g g}^{-1}$) e P7 (17,80 $\mu\text{g g}^{-1}$), ambas realizadas no inverno, pontos localizados abaixo da zona industrial.

O Ni apresentou seus valores menores que 20, classificando como não poluído (NP) (Figura 39), de acordo com os valores de referência para a classificação dos sedimentos (U.S.EPA *apud* POLETO e GONÇALVES, 2006). Segundo Soares *et al.*(2004), os teores elevados de Ni no meio ambiente são devido as fontes pontuais, sendo as águas residuárias municipais, os efluentes industriais e a queima de combustíveis fósseis os maiores contribuintes para a elevação de seus teores.

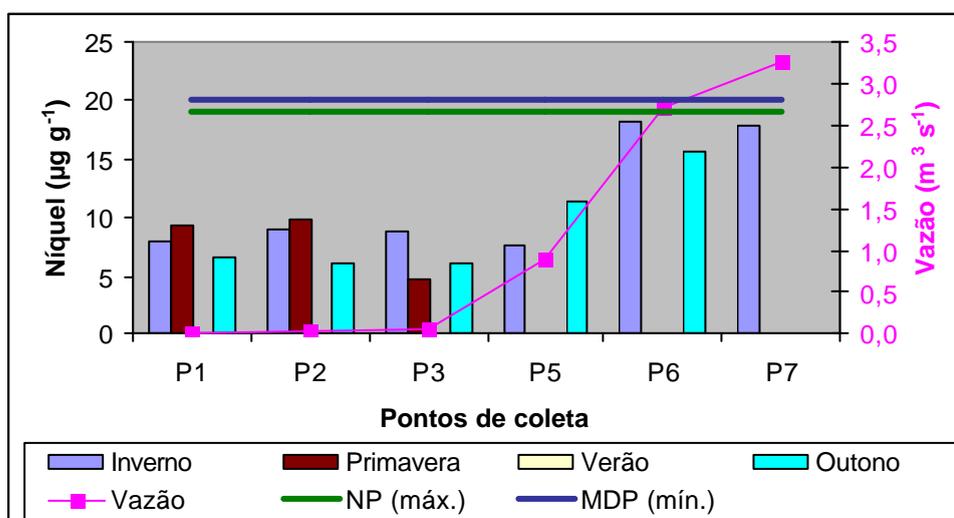


Figura 39 - Variações das concentrações de níquel nas amostragens dos sedimentos de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e os valores de referência de poluição. NP: Não poluído; MDP: Moderadamente poluído

Relacionando os valores de Ni com a média da vazão obtida para a MbaJC observa-se que esta exerce uma pequena influência no transporte deste metal. As análises nas estações do verão (P5, P6 e P7) e primavera não foram realizadas por problemas técnicos no ICP-AES da UNISINOS, o conserto do equipamento excedeu a seis meses, que é o prazo de validade das amostras.

Chumbo

As maiores concentrações de chumbo nos sedimentos estão presentes em P6 (36,1 $\mu\text{g g}^{-1}$) e P7 (59,8 $\mu\text{g g}^{-1}$), ambas as coletas realizadas na época de seca (primavera e verão), sendo estes pontos localizados após a zona industrial da MbaJC.

Observa-se na figura 40, que ocorreu oscilações nos teores de chumbo para todas as amostragens realizadas nos diferentes pontos, com exceção de P1, que manteve praticamente constante seus teores.

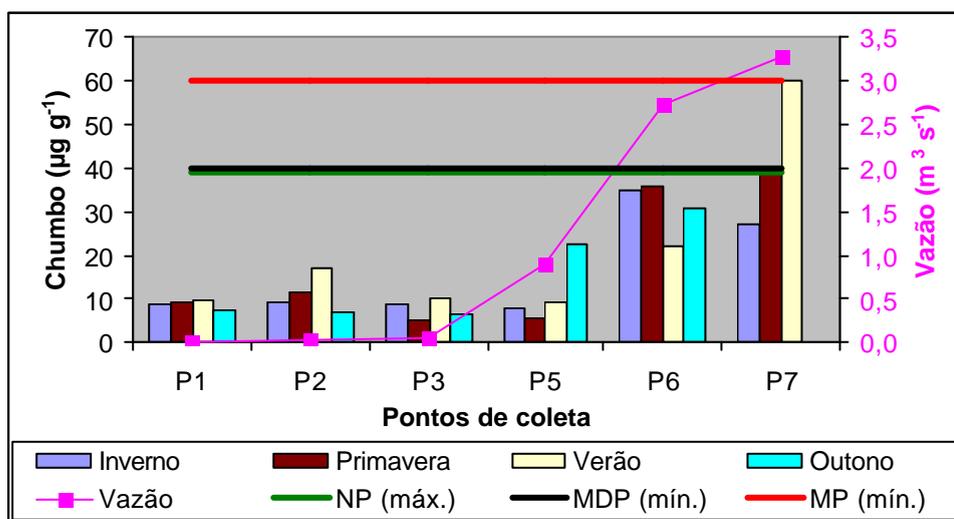


Figura 40 - Variações das concentrações de chumbo nas amostragens dos sedimentos de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e os valores de referência de poluição. NP: Não poluído; MDP: Moderadamente poluído; MP: Muito poluído

Os teores mais elevados e preocupantes estão em P6 e P7. Relacionando os teores obtidos para o Pb com a média da vazão nota-se que seus valores se elevaram à medida que a vazão aumentou, determinando assim o mesmo comportamento que ocorreu com silte, argila e a matéria orgânica, sendo estes transportados no material em suspensão de montante para jusante.

O chumbo apresentou duas de suas análises quase no limite para ser classificado como moderadamente poluído (MDP), segundo os dados da U.S.EPA (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006), os valores de referência são de 40 a 60 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Fósforo

O fósforo oscilou em todas as amostragens realizadas para os diferentes pontos de coleta (Figura 41). Observa-se altas concentrações nos sedimentos analisados em P1, decaindo em P2, voltando a subir em P3 e P5 e tendo um acréscimo com pico mais elevado para P6 e decaindo novamente em P7, mas manteve-se com suas concentrações elevadas, tanto em P6 como em P7. As maiores concentrações foram encontradas em P6 (719,1 e 1.077 $\mu\text{g g}^{-1}$).

Segundo Branco (1978) os despejos orgânicos, especialmente esgotos domésticos podem enriquecer as águas com a presença de fósforo. Este por sua vez pode ter acumulado-se no sedimento presente em P6, pois o aumento de suas concentrações é justamente no final da área urbana, onde recebe diretamente os efluentes dos bairros Vicentina e São Miguel. O decaimento em P7 se relaciona com o remanso parcial com capacidade de maior diluição.

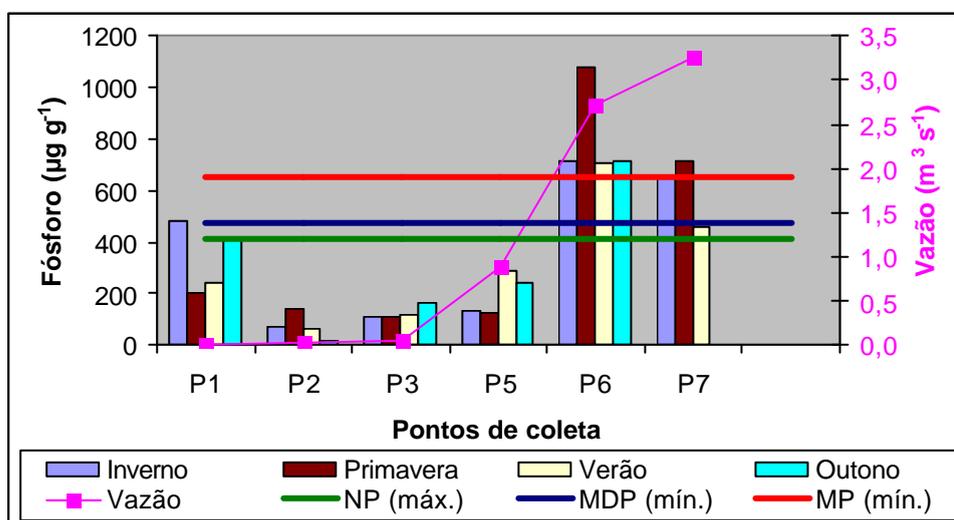


Figura 41 - Variações das concentrações de fósforo nas amostragens dos sedimentos de fundo da MbaJC relacionado com a vazão e os valores de referência de poluição.

NP: Não poluído; MDP: Moderadamente poluído; MP: Muito poluído

Comparando as concentrações de fósforo com a média da vazão da MbaJC observa-se que a medida que a vazão aumentou os teores de P também aumentaram. Segundo Libânio (2005) o fósforo encontra-se sob diferentes formas de fosfato, sendo uma delas o fosfato orgânico. Os valores elevados de P encontrados em P1 são decorrentes do fosfato orgânico

que origina a decomposição da matéria orgânica, conseqüentemente elevando os teores de fósforo.

As concentrações de fósforo encontradas para P6 e P7 em todas as coletas realizadas nas diferentes estações do ano o classificam como muito poluído. O P1 também apresentou valores elevados na coleta realizada no inverno determinando que nesta época enquadrava-se como moderadamente poluído (MDP).

Segundo U.S.EPA (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006), os valores de referência para sedimento muito poluído (MP) são $> 650 \mu\text{g g}^{-1}$ e de 420 a $650 \mu\text{g g}^{-1}$ para moderadamente poluído (MDP).

6.5 Análise das variáveis da água da MbaJC

Porto *et al.* (1991) considera que as alterações da qualidade da água representam uma das maiores evidências do impacto das atividades humanas sobre a biosfera.

Os índices físicos, químicos e biológicos são utilizados para descrever, relatar e controlar as condições do meio ambiente. Os resultados e as discussões destas variáveis para as águas do arroio João Corrêa são apresentadas a seguir e suas análises laboratoriais encontram-se no apêndice F (UNISINOS) e anexo B (SEMAE).

6.5.1 Análises físicas da água

A seguir serão apresentados os resultados e discussões referentes a condutividade, cor aparente, odor, sólidos dissolvidos totais, temperatura e turbidez.

Condutividade

Os dados obtidos para a condutividade (Apêndice G) apresentaram oscilações em todas as análises realizadas, com exceção de P1, que se mantiveram muito próximas para todas as amostragens realizadas, característica de área com *background*. Os níveis mais elevados foram encontrados em P5 na primavera, quando atingiu $771 \mu\text{S cm}^{-1}$ e no verão com $706 \mu\text{S cm}^{-1}$, sendo este ponto localizado abaixo da zona industrial e das liberações dos resíduos da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

A MbaJC está inserida na área urbana e recebe diferentes efluentes domésticos dos bairros formadores, assim como efluentes industriais e os resíduos da ETE, seus valores não

atingiram os máximos, mas estão acima dos valores para águas naturais. Segundo Gastaldini e Mendonça (2001) as águas naturais podem apresentar valores inferiores a $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ e aquelas que recebem efluentes domésticos e industriais podem atingir até $1.000 \mu\text{S cm}^{-1}$.

Cor aparente

A cor aparente das águas do arroio João Corrêa apresentou altas variações, nas coletas realizadas, apenas P1, P2 e P3 ficaram dentro do valor máximo permitido por lei, que é 75 mg Pt L^{-1} (CONAMA, 2005) em coleta realizada no inverno. As demais coletas apresentaram concentrações elevadas, ou seja, uma coloração mais intensa, dados também obtidos nas demais estações do ano (Figura 42).

Segundo Kleerekoper (1990), a cor da água é resultado das partículas em suspensão e de substâncias dissolvidas. Um dos maiores contribuintes para a coloração das águas do arroio João Corrêa foram as partículas em suspensão, como o silte, argila e matéria orgânica encontrados em teores elevados. O lançamento da ETE (P5) também deve ter contribuído para as altas concentrações de cor, pois os resíduos lançados apresentaram uma coloração preta.

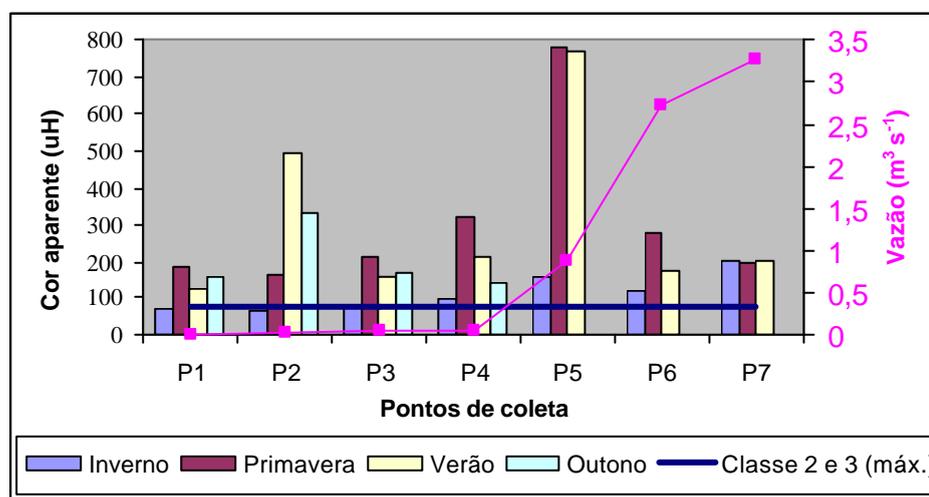


Figura 42 - Variações da cor aparente nas amostragens de água da MbaJC

Os valores mais elevados foram encontrados em P5 (780 e 770 uH). Para a última coleta não foi possível realizar as análises para P5, P6 e P7, pois estas excederão o limite máximo de leitura do equipamento utilizado. Segundo CONAMA (2005), os valores padrões

é 75 uH para a classe 2 e 3. Mas de acordo com a Portaria N° 518/04 a VMP deve ser de 15 uH.

Odor

O odor foi uma característica sentida para a maioria dos pontos de amostragens da água, com maior ou menor intensidade, assim como a presença de outras substâncias que também podem ter contribuído para a produção dos fortes odores nas águas do arroio João Corrêa, devido à liberação dos efluentes domésticos (Figura 43 e 44) e resíduos da ETE (Figura 45) diretamente no arroio.



Figura 43 - Contribuição de efluente do bairro Santa Tereza próximo a P3 na MbaJC



Figura 44 - Contribuição de efluente do bairro São Miguel próximo a P6 na MbaJC



Figura 45 - Contribuição de efluente da ETE próximo ao P5 na MbaJC

A tabela 21 apresenta as características sentidas ou observadas, as quais foram classificadas entre mínimo, médio, máximo para os odores, e quanto à presença de outras substâncias detectadas (como materiais flutuantes, espumas, óleos e graxas) e não detectadas.

Segundo o Brasil (2004), as águas não devem apresentar odores, sendo não objetáveis. Para o CONAMA (2005), coloca que substâncias que comuniquem gosto ou odor, óleos e graxas, materiais flutuantes inclusive espumas não naturais devem estar virtualmente ausentes para todas as classes (1, 2 e 3).

TABELA 21:
Características sentidas e observadas durante a realização das amostragens

Pontos de coleta	Odor da água	Outras substâncias
P1	ND	ND
P2	TMe	ND
P3	TMi	D
P4	TMe	D
P5	TMa	D
P6	TMa	D
P7	TMe	D

TMi: teor mínimo; TMe: teor médio; TMa: teor máximo; D: detectada; ND: não detectado

Sólidos dissolvidos totais

Nas coletas realizadas em P1 suas concentrações apresentaram variações mínimas de 105 a 137 mg L⁻¹, nas demais coletas ocorreram oscilações de 45 a 501 mg L⁻¹. Suas maiores

concentrações foram em P5 (501 mg L^{-1} e 460 mg L^{-1}), em coletas realizadas na primavera e no verão, quando o nível da água do arroio João Corrêa encontrava-se baixo (Apêndice G).

A presença de partículas sólidas afeta entre outros fatores a cor e a turbidez da água (BRANCO, 1978), as quais apresentaram em algumas das amostragens valores elevados.

Segundo Resolução do CONAMA Nº 357/05 os resultados estão em conformidade com o VMP de sólidos dissolvidos totais, que estabelece um limite máximo de 500 mg L^{-1} . No caso das águas para o consumo humano é de 1.000 mg L^{-1} , sendo a Portaria do Ministério da Saúde Nº 518/04 menos restritiva em suas recomendações.

Temperatura

A temperatura da água apresentou variação dentro de cada análise realizada de $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$, as mais baixas foram detectadas em P1 e a mais alta em P3, levando-se em conta também às condições meteorológicas, no dia em que a coleta foi realizada, as quais se mantiveram entre $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $41 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Para as amostragens realizadas observou-se que estas aumentaram à medida que se distanciaram de P1, diminuíram em P4, por estar na sombra entre prédios, voltando a aumentar em P5 e diminuindo novamente de P6, em direção a P7, devido a influência do rio dos Sinos (Apêndice G).

No outono foram medidas as temperaturas mais altas para as águas da MbaJC, as quais variaram de $28 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a $36 \text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura influencia também os processos físicos, químicos e biológicos, afetando as concentrações de diversas variáveis, causando também o aumento da demanda de oxigênio e da decomposição de matéria orgânica (PORTO *et al.*, 1991; GASTALDINI e MENDONÇA, 2001), as quais também sofreram aumento em suas concentrações em P5.

Turbidez

A turbidez manteve uma variação de $8,9 \text{ uT}$ a 79 uT , com exceção de P5, P6 e P7 para a coleta realizada no outono, onde se obteve valores superiores a 3.000 uT (Figura 46). A maior parte dos pontos coletados não excederam os VMPs por lei. Segundo o CONAMA (2005) são de até 40 UNT para a classe 1 e 100 UNT para as classes 2 e 3.

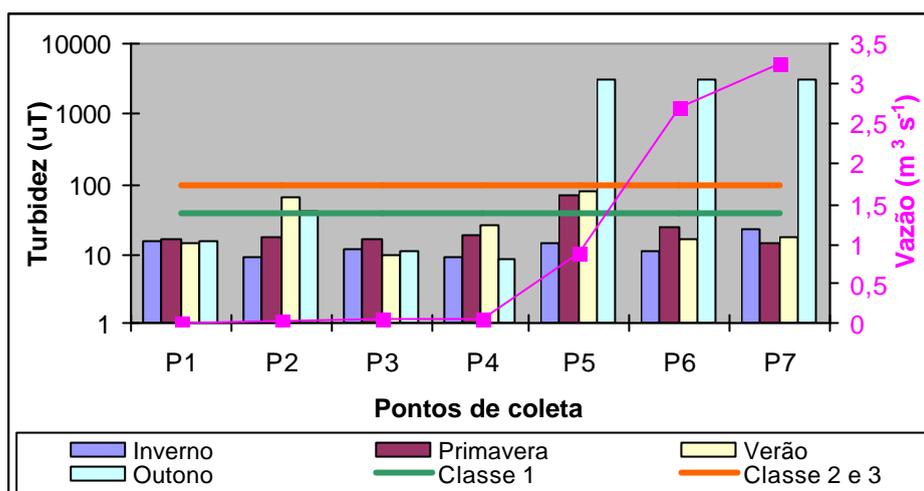


Figura 46 - Variações da turbidez nas amostragens da água da MbaJC. Em verde: VMP para classe 1; Em laranja: VMPs para as classes 2 e 3

As elevações nos índices da turbidez nestes pontos podem ter sido provenientes da matéria em suspensão na água como argila, silte e matéria orgânica as quais alteraram sua transparência, visto que estes três pontos encontram-se após a liberação da ETE, e no dia destas amostragens os resíduos do tratamento do esgoto estavam sendo liberados. Segundo Porto *et al.* (1991) e Braga *et al.* (2002) a turbidez da água é decorrente da presença de matéria em suspensão. Essas partículas transportam matéria orgânica adsorvida que podem causar cor, sabor e odor.

6.5.2 Análises químicas da água

A seguir serão apresentados os resultados e discussões referentes a alcalinidade, alumínio, bário, cádmio, carbono inorgânico livre, cobre, cloreto, cromo hexavalente, chumbo, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, dureza, ferro total, fosfato total, fósforo total, matéria orgânica, manganês, nitrato, nitrito, oxigênio dissolvido, potencial hidrogeniônico, potencial redox, sulfato e zinco total.

Alcalinidade

Os teores de alcalinidade apresentaram valores semelhantes para duas das coletas realizadas. Apresentando as menores concentrações em P1 para todas as coletas e uma para P7. Os valores mais elevados foram encontrados em P5 (265 e 248 mg L⁻¹) para duas amostragens, ambas realizadas na época de seca (Apêndice G).

A alcalinidade das águas da MbaJC é proveniente de bicarbonato, pois de acordo com Libânio (2005) as formas de alcalinidade que podem ocorrer no sistema hídrico é decorrente do pH, e quando este apresentar valores entre 4,4 e 8,3 é apenas bicarbonato. Os valores do pH para a MbaJC variaram de 6,9 a 7,6.

Segundo EPA (2006) não se pode estabelecer valores padrões para a alcalinidade uma vez que esta pode ser influenciada por outros constituintes.

Alumínio

O alumínio oscilou de 0,01 a 0,90 mg L⁻¹ entre as coletas realizadas, conforme nos mostra a figura 47. Os valores mais altos foram constatados em P1 (0,537 mg L⁻¹) e P2 (0,900 mg L⁻¹), para diferentes coletas, mas ambas realizadas na época de seca.

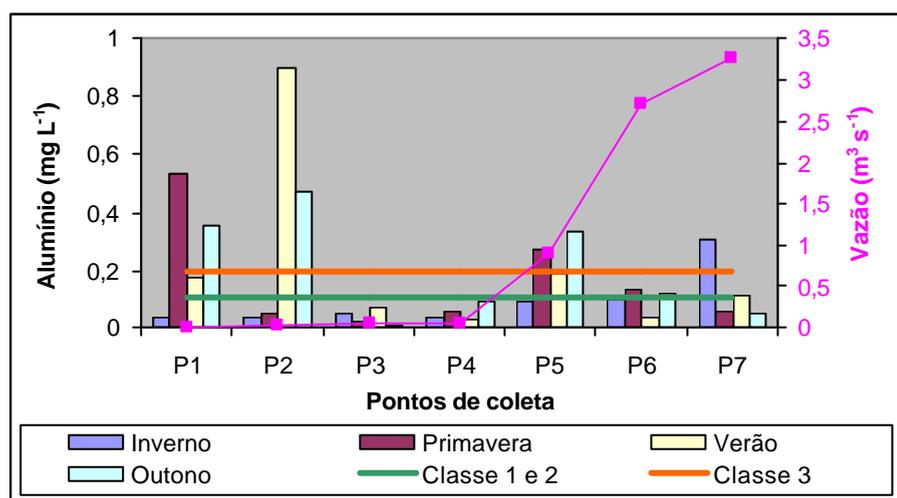


Figura 47 - Variações de alumínio nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1 e 2; Em laranja: VMP para a classe 3

Nas análises realizadas em agosto de 2006 percebe-se que se mantêm praticamente constantes ao longo das coletas realizadas com exceção de P7 (0,309 mg L⁻¹), que apresentou seus valores acima do VMP por lei que é 0,1 mg L⁻¹ (CONAMA, 2005). Para as demais coletas ocorreram variações de 0,108 mg L⁻¹ a 0,900 mg L⁻¹ em suas concentrações, estando apenas P3 e P4 dentro dos padrões dos corpos de água doce. A Resolução do CONAMA N° 357/05 estabelece os valores máximos de 0,1 mg L⁻¹ para a classe 1 e 2 e de 0,2 mg L⁻¹ para a classe 3.

Segundo os valores determinados pela CONSEMA (2006) de 10 mg L^{-1} para a liberação de efluentes industriais, o P4 onde se encontra a liberação de efluente industrial na MbaJC, apresenta seus valores abaixo do estipulado pela Resolução N° 128/06.

Bário

O bário foi encontrado em maiores concentrações entre P2 a P7, variando de $3,55 \text{ mg L}^{-1}$ a $7,8 \text{ mg L}^{-1}$, para coletas realizadas na primavera e no outono. Para as demais análises apresentaram pequenas variações em suas concentrações, de acordo com o CONAMA (2005), apenas a primeira coleta para todos os pontos amostrados mantiveram-se dentro dos padrões permitido, que são de $0,7 \text{ mg L}^{-1}$.

Na figura 48 observa-se que as amostragens realizadas na primavera, com exceção de P1 ($0,48 \text{ mg L}^{-1}$) e P6 ($0,7 \text{ mg L}^{-1}$), no verão P1 ($0,3 \text{ mg L}^{-1}$), P6 ($0,5 \text{ mg L}^{-1}$) e P7 ($0,6 \text{ mg L}^{-1}$) e no outono apenas P1 ($0,55 \text{ mg L}^{-1}$) com valores abaixo do permitido, as demais apresentaram seu VPM para a classe 3, que segundo o CONAMA (2005) deve ser de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$.

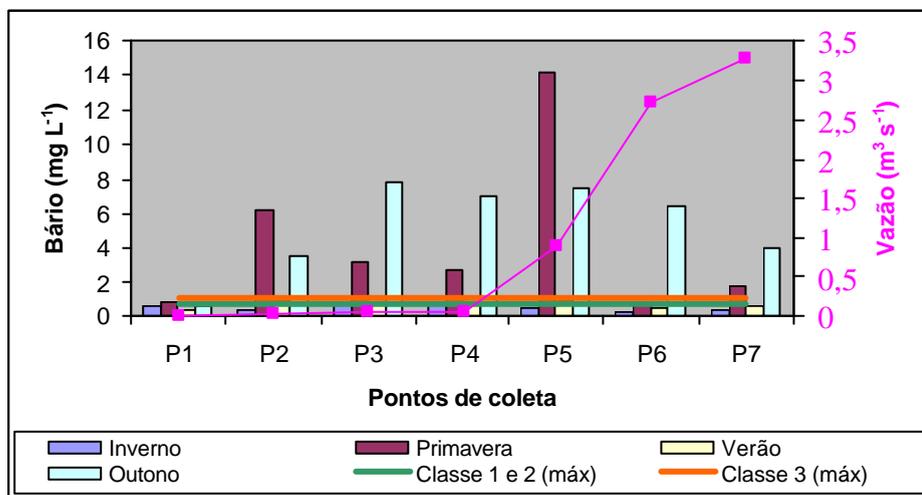


Figura 48 - Variações de bário nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1 e 2; Em laranja: VMP para a classe 3

Para os lançamentos de efluentes segundo a CONSEMA (2006) é de 5 mg L^{-1} , onde P4 ($7,0 \text{ mg L}^{-1}$), P5 ($7,5 \text{ mg L}^{-1}$) e P6 ($6,5 \text{ mg L}^{-1}$) apresentaram valores superiores aos VMPs nas amostragens realizada no outono, onde está presente o local de liberação de efluentes industrial e doméstico no arroio João Corrêa.

Cádmio

As concentrações de cádmio oscilaram de $0,003 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,058 \text{ mg L}^{-1}$ entre todas as coletas realizadas, conforme figura 49. As menores concentrações foram encontradas em P3, P4 e P7 para a coleta realizada em agosto de 2006, no período de cheia. As maiores concentrações foram obtidas em P5 ($0,058 \text{ mg L}^{-1}$) e P7 ($0,053 \text{ mg L}^{-1}$), em diferentes coletas realizadas, sendo a primeira primavera e a segunda no outono.

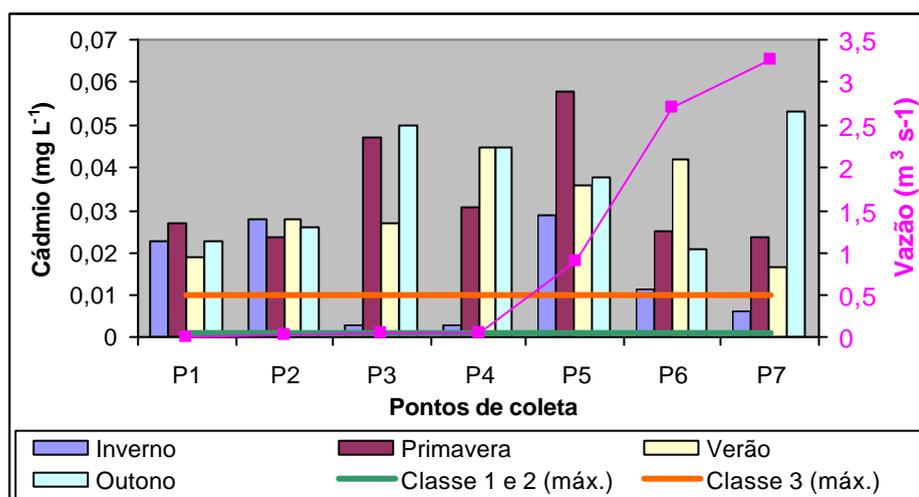


Figura 49 - Variações de cádmio nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1 e 2; Em laranja: VMP para a classe 3

A presença do Cd em teores elevados é preocupante por se tratar de um elemento considerado metal pesado muito tóxico (EMBRATEL, 1983; DERISIO, 2000). Todos os teores encontrados para o cádmio estão acima dos valores estipulados pelo CONAMA (2005), que é de $0,001 \text{ mg L}^{-1}$ para as classes 1 e 2 e de $0,01$ para a classe 3. Já no caso de efluentes industriais, os valores estão abaixo do permitido pela CONSEMA (2006) são de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$.

Carbono inorgânico livre

Para as concentrações de CO_2 livre observam-se variações entre todas as coletas realizadas para todos os pontos. A maioria das amostragens realizadas apresentou altas concentrações, porém os valores mais elevados estão representados em P7 ($37,44 \text{ mg L}^{-1}$) para os dados obtidos no verão, na estação de seca, o que não ocorreu na última coleta em que seus valores apresentaram pequenas variações (Apêndice G).

Os principais formadores de CO_2 na água é decomposição da matéria orgânica no fundo ou nas margens, a respiração dos organismos que ali vivem, assim como, a oxidação de

restos de organismos mortos, dejetos domésticos e industriais (KLEEREKOPER, 1990). Com exceção de P1, os demais pontos da MbaJC recebem efluentes doméstico e industrial.

Cobre

O maior valor de cobre encontrado nas amostragens do arroio João Corrêa foi em P5 (4,450 mg L⁻¹), conforme se observa na figura 50. Para as demais coletas os valores também se encontram acima do VMP por lei que é de 0,009 mg L⁻¹ para a classe 1 e 2, de 0,013 para a classe 3, e de 1 mg L⁻¹ para o lançamento de efluentes (CONAMA, 2005). Os valores elevados para P4 e P5 podem ser decorrentes do lançamento de efluentes industriais.

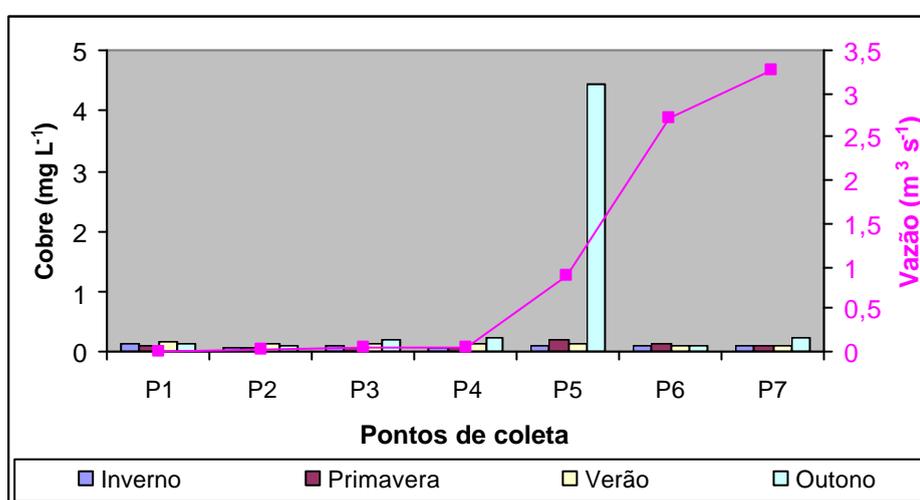


Figura 50 - Variações de cobre nas amostragens da água da MbaJC

O cobre quando presente nas águas superficiais pode apresenta-se na forma de cloreto, sulfato e nitrato sendo muito solúvel na água, o mesmo não ocorre quando este se apresenta na forma de carbonato, hidróxido, óxido e sulfeto. Os íons de cobre, quando em águas que apresentam um pH igual ou maior do que 7, precipitam o carbonato e o hidróxido sendo removíveis por absorção ou sedimentação. Desse modo suas concentrações em águas naturais são baixas (BATALHA e PARLATORE, 1977).

Cloreto

Nas concentrações de cloreto são observadas pequenas variações (35 mg L⁻¹ a 57,98 mg L⁻¹) em todas as coletas realizadas (Apêndice G). As concentrações mais altas foram encontradas em P4 (58,98 mg L⁻¹) e P7 (57,98 mg L⁻¹).

Os valores encontrados de cloreto estão bem abaixo dos valores máximos permitidos que é de 250 mg L^{-1} (CONAMA, 2005). Segundo Von Sperling (2005), quando presente nas águas umas das origens pode ser a antropogênica por despejos domésticos ou industriais.

Cromo hexavalente

A figura 51 apresenta as concentrações de cromo hexavalente (Cr^{6+}), foram detectados altos valores em P3 ($0,11 \text{ mg L}^{-1}$). De acordo com Derisio (2000), a presença do Cr^{6+} na água é devido ao despejo de indústrias que utilizam processos de cromagem de metais, galvanoplastia, soldagens entre outras atividades.

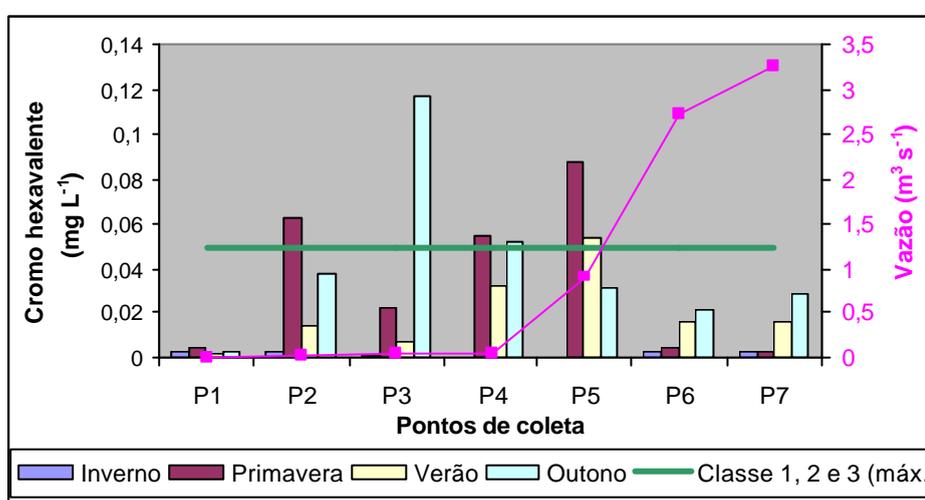


Figura 51 - Variações do cromo hexavalente nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1, 2 e 3

O VMP do cromo total é de $0,05 \text{ mg L}^{-1}$ (CONAMA, 2005), observa-se que três das sete coletas realizadas na primavera apresentaram variações de $0,055 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,088 \text{ mg L}^{-1}$, uma no verão ($0,054 \text{ mg L}^{-1}$) e uma no outono ($0,11 \text{ mg L}^{-1}$) apresentando seus valores acima do valor permitido.

Chumbo

O chumbo apresentou suas maiores concentrações em P5, em duas das coletas realizadas, na primavera e no outono, onde alcançaram o valor de $0,33 \text{ mg L}^{-1}$ para ambas as análises realizadas e estas possuem um decréscimo em seus valores atingindo $0,09 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,08 \text{ mg L}^{-1}$, em P6. Nas amostragens realizadas na primavera, o nível encontrava-se baixo e no outono, o nível da água estava alto.

A figura 52 expõe os VMP por lei, para as classes 1, 2 e 3, segundo CONAMA (2005). As amostragens realizadas nas diferentes estações encontram-se todas acima dos valores permitidos, para as classes 1 e 2, que deve ser de $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ e para a classe 3 de $0,033 \text{ mg L}^{-1}$.

Para os valores estabelecidos pela Resolução do CONSEMA N° 128/06 de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, pode-se observar que em P5 as amostragens da primavera e outono encontraram-se acima do permitido para a liberação de efluentes líquidos.

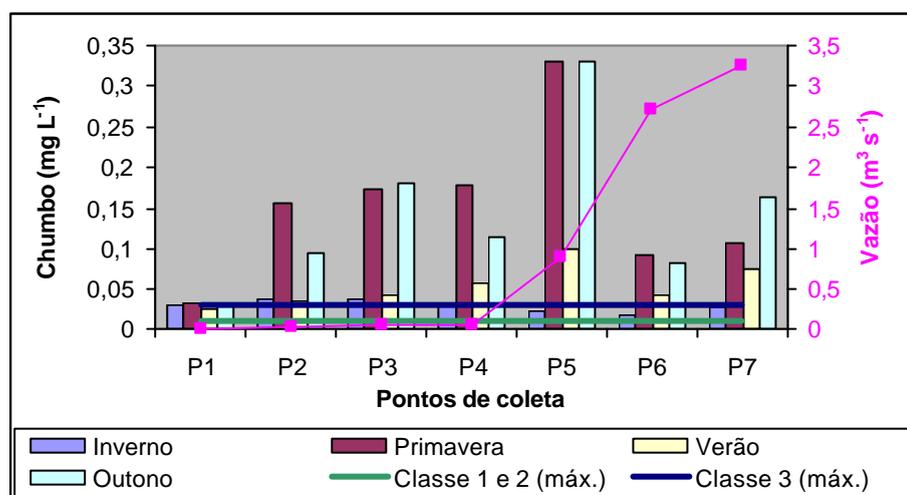


Figura 52 - Variações de chumbo nas amostragens de água da MbaJC. Em verde: VMPs para as classes 1 e 2; Em azul: VMP para a classe 3

Demanda bioquímica de oxigênio

Nos valores obtidos nas análises da demanda bioquímica de oxigênio ocorreram variações, onde se obteve o menor valor na amostragem realizada, na primavera, para P1, com $4,7 \text{ mg L}^{-1}$, e mais elevada no outono, para P7, com 255 mg L^{-1} (Figura 53).

Os valores máximos permitidos para a DBO_5 são de 3 mg L^{-1} para a classe 1, de 5 mg L^{-1} para a classe 2 e de 10 mg L^{-1} para a classe 3 (CONAMA, 2005), de acordo com a figura 53. As amostragens realizadas para P1 excederam a VMP da classe 1, os demais pontos excederam os valores máximos da classe 3, com exceção da coleta realizada no inverno, para P7 que ficou acima do limite máximo da classe 2.

De acordo com a FEPAM (2006) as elevações da DBO_5 em corpos de água são provocadas por despejos de origem predominantemente orgânica. Com o aumento da DBO_5 diminui as concentrações de OD, fato este constatado para a MbaJC nas diferentes estações de

amostragens, o qual pode estar ligado com o lançamento dos efluentes com alta carga orgânica, o que provocou um aumento nas concentrações de DBO_5 .

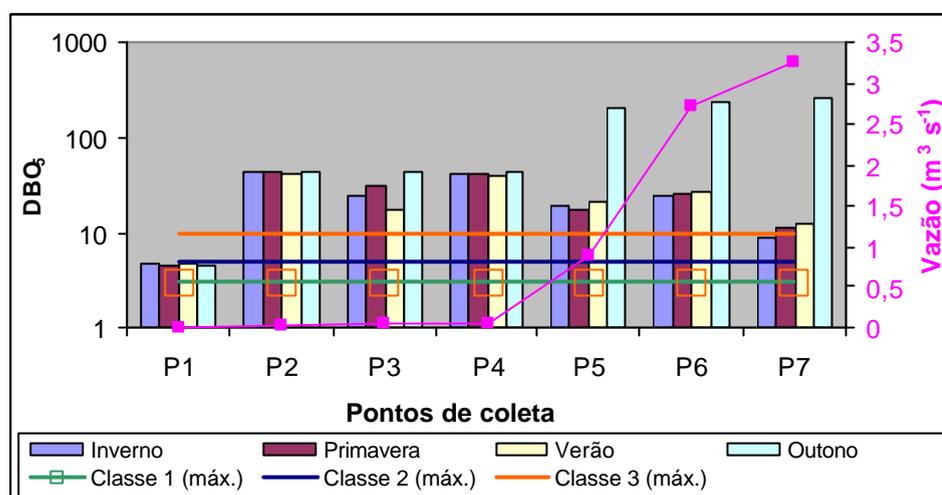


Figura 53 - Variações da DBO_5 nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMP para classe 1; Em azul: VMP para classe 2; Em laranja: VMP para classe 3

Demanda química de oxigênio

As concentrações mais altas de DQO foram encontradas em P5, P6 e P7. Em análise realizada P5 apresentou 484 mg L^{-1} , 478 mg L^{-1} no verão, 473 mg L^{-1} no outono. Em P6 e P7 as concentrações mais elevadas de 475 mg L^{-1} e 515 mg L^{-1} ocorreram no outono (Apêndice G).

A DQO apresentou uma variação em seus valores para todas as coletas de 16 mg L^{-1} a 515 mg L^{-1} , sendo as menores concentrações encontradas no inverno.

Nos pontos em que se obteve uma alta concentração de DQO ocorreram altas concentrações de metais pesados e baixos teores de oxigênio dissolvido e uma grande concentração de matéria orgânica, o que explica os fortes odores sentidos nestes pontos de amostragem. Segundo Derisio (2000), o aumento da DQO nas águas é devido a despejos industriais, pois o aumento desta indica uma grande concentração de matéria orgânica e baixo teor de oxigênio, sendo este necessário para que ocorra a oxidação da MO.

Dureza

Nos valores encontrados para a dureza, a maior concentração foi em P5 (98 mg L^{-1}), as substâncias causadoras de dureza nas águas são cloreto, sulfato e bicarbonato duplo de cálcio

e magnésio. Observa-se que na coleta realizada no outono, para P5, ocorreu um decréscimo para os teores de cloreto, sulfato e nitrato encontrados (Apêndice G).

Todos os valores encontrados nas análises para a dureza estão abaixo dos padrões permitidos por lei, que é de 500 mg L^{-1} , segundo a Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde, para os padrões de aceitação para o consumo humano.

De acordo com a classificação para os valores de dureza esta se apresenta mole e branda, pois se observam valores menores que 50 mg L^{-1} e dureza moderada, pois em alguns pontos seus valores estão entre 50 mg L^{-1} a 150 mg L^{-1} .

Ferro total

A maioria das análises realizadas para determinar os valores de ferro presentes nas águas da MbaJC apresentaram resultados acima do valor máximo permitido, conforme figura 54.

Em P1 ocorreram pequenas oscilações para os valores obtidos de $1,53 \text{ mg L}^{-1}$ a $1,81 \text{ mg L}^{-1}$, nos demais pontos as oscilações são maiores, variaram de $0,26 \text{ mg L}^{-1}$ a $3,30 \text{ mg L}^{-1}$. O motivo de P1 apresentar as maiores concentrações de ferro é pelo fato de se encontrar próximo da área fragmentos de basaltos oriundos de porções mais elevadas onde ocorre a Formação Serra Geral.

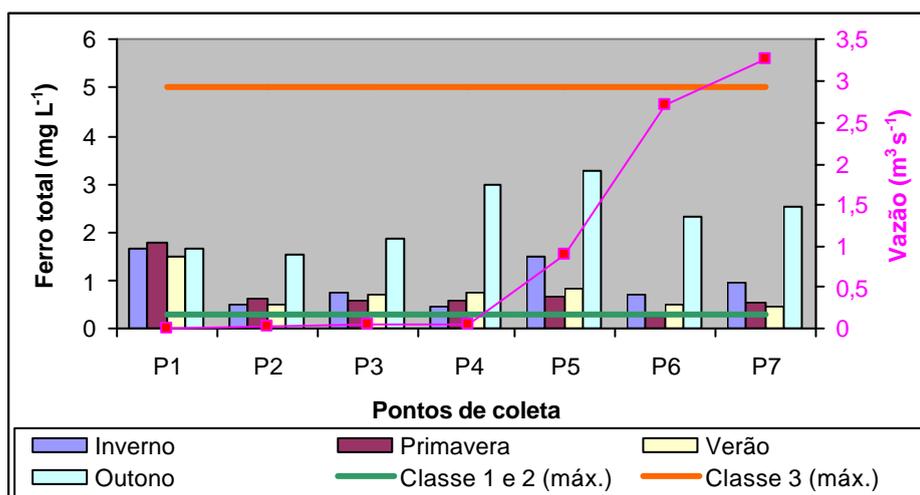


Figura 54 - Variações de ferro total nas amostragens de água da MbaJC. Em verde: VMPs para as classes 1 e 2; Em laranja: VMP para a classe 3

Na última coleta realizada para o ferro suas concentrações começaram a elevar-se a partir de P2, apresentando as concentrações mais altas em P4 e P5, com queda em P6.

Segundo CONAMA (2005), o valor máximo permitido para o padrão brasileiro é de $0,3 \text{ mg L}^{-1}$ para a classe 1, para a última amostragem os valores estão bem acima do permitido pela Resolução.

Fosfato total

A amostragem de fosfato apresentou concentrações elevadas na última coleta, sendo P3 e P5 as mais altas, que alcançaram $10,92 \text{ mg L}^{-1}$ e $20,12 \text{ mg L}^{-1}$. Nos demais pontos oscilaram de $0,54 \text{ mg L}^{-1}$, para o valor mais baixo a $1,81 \text{ mg L}^{-1}$, para o mais alto.

As fontes artificiais de fosfato, quando em altas concentrações, são decorrentes de esgoto doméstico e industrial, regiões com elevada densidade populacional liberam através dos dejetos e produtos de limpeza, principalmente, os detergentes (ESTEVES, 1998), as altas concentrações do fosfato foram encontradas após a liberação da ETE, para a última coleta realizada em outono na estação de cheia (Apêndice G).

Fósforo total

Os valores obtidos para as análises de fósforo praticamente não oscilaram entre as amostragens realizadas, os maiores valores foram encontrados em P5. Para todas as coletas realizadas as variações foram pequenas de $2,58 \text{ mg L}^{-1}$ a $2,86 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 55).

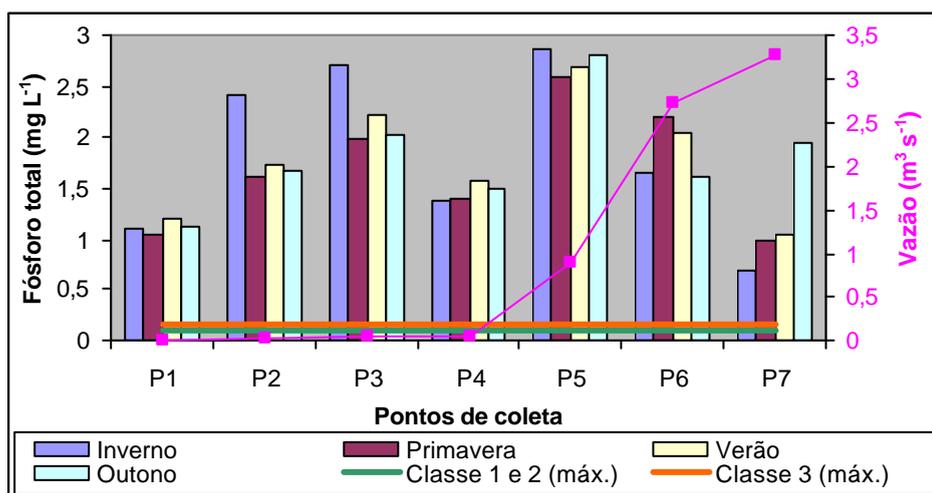


Figura 55 - Variações de fósforo total nas amostragens de água da MbaJC. Em verde: VMPs para as classes 1 e 2; Em laranja: VMP para a classe 3

Todas as coletas realizadas independente da estação apresentaram-se acima do valor máximo permitido pela Resolução N° 357 do CONAMA (2005), que é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, para a classificação na classe 1 e 2 e de $0,15 \text{ mg L}^{-1}$, para a classe 3.

O fósforo é essencial para o crescimento de todas as formas de vida, mas a elevação nas concentrações deste elemento eleva a proliferação de diversas espécies de microrganismos autótrofos (BRANCO, 1978), em quantidades excessiva também pode ocasionar a eutrofização do meio aquático (BRAGA *et al.*, 2002). Segundo Gastaldini e Mendonça (2001), o aumento das concentrações de fósforo nas águas se dá pela liberação de esgotos, que contém detergentes, efluentes industriais e fertilizantes.

Os altos índices de fósforo total nas águas do arroio João Corrêa podem ser atribuídos aos efluentes domésticos, que são liberados diretamente no arroio, além da matéria fecal provenientes destes encanamentos clandestinos, tem-se também o problema dos detergentes utilizados nas atividades domésticas.

Manganês

Entre as amostragens realizadas para análise do manganês (Mn) (Figura 56) a concentração mais alta foi encontrada em P5 ($9,2 \text{ mg L}^{-1}$), estando esta bem acima do valor máximo permitido, que é de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ para a classe 1 e 2 e de $0,5$ para a classe 3. Os demais pontos mantiveram-se com suas concentrações constantes, mas também encontram-se a maioria deles acima dos valores permitidos pelo CONAMA (2005).

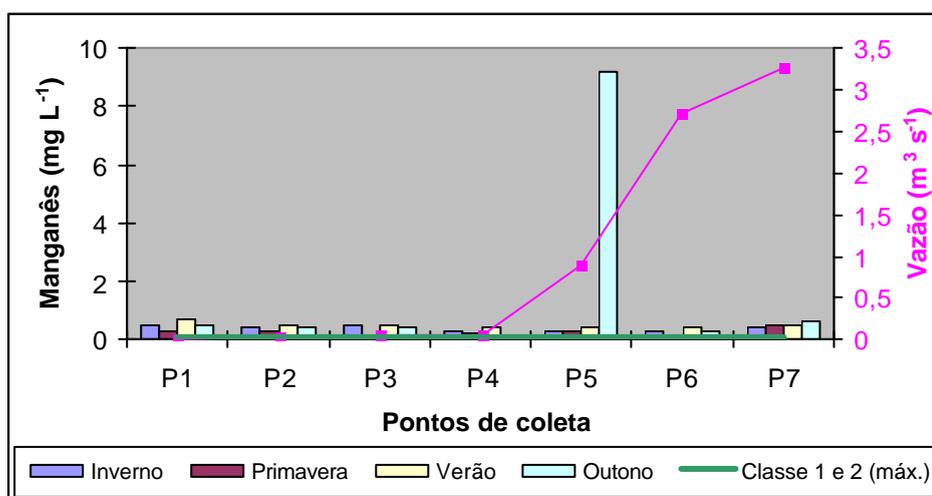


Figura 56 - Variações de manganês nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1 e 2

Os altos valores de manganês estão relacionados com o O₂ dissolvido, CO₂, teor de ferro e o pH (BRANCO, 1978). Estas variáveis apresentaram uma queda em seus teores em P5, associados também ao ferro que apresentou um aumento. Observa-se que estes estão relacionados aos teores obtidos, para cada uma das variáveis na coleta realizada no outono.

A presença de óxidos e hidróxidos de Mn e Fe nas águas funciona como um importante suporte para os outros metais em condições oxidantes, sendo comum num sistema hídrico (FÖRSTNER e WITTMANN, 1981).

Matéria orgânica

Nas análises para a matéria orgânica as maiores concentrações encontradas foram em P4 (82 mg L⁻¹) e P5 (90 mg L⁻¹ e 94 mg L⁻¹), ambas na estação de seca (Apêndice G). Em P4 têm-se a liberação de efluentes domésticos e da fábrica do Rossi e no P5 os efluentes da ETE.

A matéria orgânica em decomposição utiliza oxigênio para sua estabilidade, consumindo assim o oxigênio presente na água, este fato pode ser observado para as coletas realizadas em dezembro de 2006, onde ocorre uma queda do oxigênio presente em P4 e P5.

As concentrações de metais nas formas dissolvida e particulada, para o arroio João Corrêa, apresentaram variações, na forma dissolvida às altas concentrações foram encontradas nas análises realizadas para o cádmio e o chumbo, já na forma particulada as maiores concentrações estão associadas com o chumbo e o cromo, em coletas realizadas nas diferentes estações.

Nitrato

As concentrações mais altas de nitrato foram obtidas em P5 (10 mg L⁻¹ e 12,1 mg L⁻¹), para as amostragens realizadas na primavera e no verão respectivamente, os demais pontos apresentaram pequenas oscilações, conforme demonstra o apêndice G.

Com exceção da coleta realizada no verão, os demais valores encontrados estão dentro dos padrões permitidos por lei, que de acordo com o CONAMA (2005) é de 10 mg L⁻¹.

A presença de nitrato na água é indicadora de matéria orgânica, concentrações acima de 5 mg L⁻¹ indica condições sanitárias inadequadas, as altas concentrações ocorreram na estação de seca e após a liberação dos efluentes da ETE, no P5.

Nitrito

As concentrações mais altas de nitrito estão representadas em P4, para três das quatro amostragens realizadas variando de $0,22 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,50 \text{ mg L}^{-1}$, conforme o apêndice G. Em P1 ocorreram pequenas oscilações ($0,007 \text{ mg L}^{-1}$ a $0,090 \text{ mg L}^{-1}$) nos valores encontrados. Nos demais pontos as concentrações se mantiveram praticamente constantes.

Todos os valores encontrados de nitrito estão dentro dos padrões permitidos por lei, segundo o CONAMA (2005) é de 1 mg L^{-1} .

Oxigênio dissolvido

A figura 57 apresenta as concentrações de oxigênio dissolvido para os pontos de amostragens do arroio João Corrêa. As concentrações mais altas estão representadas em P3, coleta realizada em outubro de 2006, na estação de seca, as mais baixas foram encontradas em P5, P6 e P7, no mês de abril de 2007, sendo $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam um alto grau de poluição na forma de matéria orgânica, determinando uma baixa qualidade dessas águas.

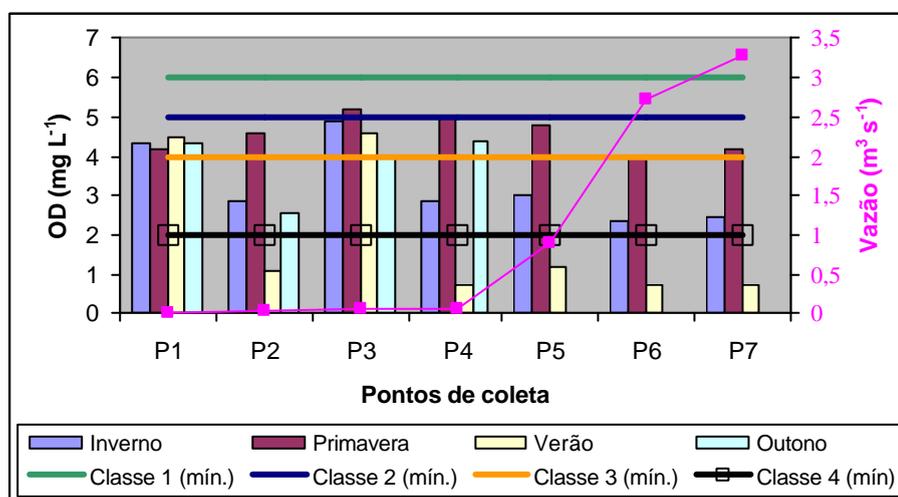


Figura 57 - Variações de O_2 dissolvido nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMP para a classes 1; Em azul: VMP para classe 2; Em laranja: VMP para a classe 3; Em preto: VMP para a classe 4

No outono, nos pontos de amostragens em que o OD diminui ocorreu um aumento nas concentrações de fosfato, DQO e DBO. Este fato é devido a influência negativa do esgoto liberado diretamente dentro do arroio João Corrêa, percebe-se que mesmo em P5, onde ocorre a liberação da ETE tem-se uma forte influência pelos resíduos liberados.

Segundo Bendati *et al.* (2003), a presença de compostos como proteínas, uréia, aminoácidos e gorduras são resultantes de despejos domésticos e estes constituintes levam a redução do OD. Essa redução é devido à atividade de organismos aeróbicos que utilizam a matéria orgânica para alimentação. Ocorrendo assim a oxidação dos compostos, liberando energia e o OD é consumido.

Em todas as amostragens realizadas seus valores obtidos encontraram-se abaixo dos padrões aconselháveis, estes não devem ser inferior a 6 mg L^{-1} , para a classe 1; de 5 mg L^{-1} , para a classe 2; e de 4 mg L^{-1} para a classe 3, segundo a Resolução N° 357 do CONAMA (2005).

De acordo com os resultados obtidos, partes das amostragens realizadas enquadram-se na classe 3, pois os valores obtidos estão acima ou no limite para esta classificação, para as amostragens realizadas no verão, apenas P1 e P3 não enquadram-se na classe 4.

Segundo Robaina *et al.* (2000), os valores obtidos para o OD nas análises realizadas a jusante da foz do arroio João Corrêa, em geral são próximas do limite 4 mg L^{-1} , mas valores muito baixos podem ocorrer.

Potencial hidrogeniônico

As análises de pH realizadas nos pontos de coletas de água do arroio João Corrêa apresentaram uma variação de 6,9 a 7,7, entre as diferentes épocas de amostragem. Sendo que no outono e com nível baixo as concentrações encontraram-se as mais elevadas registrando variações de 7 a 7,6, para a maioria dos pontos, comparando com as demais épocas em que se realizaram as coletas (Apêndice G).

Os níveis de pH mais elevados estão representados para as coletas realizadas em P4 (7,6), no outono e P5 (7,7), na primavera, sendo estas águas alcalinas. As menores foram encontradas em P5 e P7, no inverno (6,9), com índice abaixo de 7, classificadas como águas levemente ácidas.

Das análises realizadas para os diferentes pontos e datas observa-se que cinco destas e apenas uma vez enquadram-se no índice de neutralidade. Mas apesar destas pequenas variações encontradas todos os pontos estão dentro dos padrões da Resolução N° 357/05 do CONAMA, que permite uma variação de 6 a 9.

Segundo Gastaldini e Mendonça (2001), o pH também influencia os processos químicos e biológicos de um corpo d'água.

Potencial redox

O potencial redox para as águas do arroio João Corrêa apresentou valores positivos e negativos, onde nas amostragens realizadas, no verão a maior parte dos valores obtidos foram negativos estando estas em redução, significando que existem elétrons das substâncias dissolvidas na água facilmente disponíveis, com exceção de P1 (114,2 mV).

As coletas realizadas nas estações do inverno, primavera e outono apresentaram-se em oxidação de acordo com seus valores positivos conforme apêndice G.

Sulfato

O sulfato apresentou uma concentração elevada em P4 (254 mg L⁻¹), em amostragem realizada no outono, estando acima dos padrões permitidos por lei, que são de 250 mg L⁻¹ (BRASIL, 2004; CONAMA, 2005). O P4 recebe os efluentes industriais. Segundo Batalha e Parlatore (1977) o sulfato pode ser originado das descargas industriais.

Nas demais amostragens observam-se pequenas oscilações, ocorrendo um aumento em P5, com um decréscimo em P6 e P7 para a primeira coleta realizada, conforme o apêndice G.

Zinco total

O zinco apresentou suas concentrações mais elevadas em P2 no inverno com 0,7 mg L⁻¹, P5 no verão com 0,957 mg L⁻¹ e no outono com 0,679 mg L⁻¹ e P6 na primavera com 0,6 mg L⁻¹ (Figura 58).

Em P2 apresentou alta em suas concentrações no inverno e se manteve praticamente constante nos demais pontos. Para P5 ocorreu o inverso, manteve-se constante até elevar-se em P5 e decaindo novamente nas coletas realizadas na primavera, já as amostragens do outono ocorreram oscilações.

Para a maioria dos pontos amostrados o zinco apresentou suas concentrações acima dos valores estipulados pelo CONAMA (2005), que é 0,18 mg L⁻¹ para as classes 1 e 2.

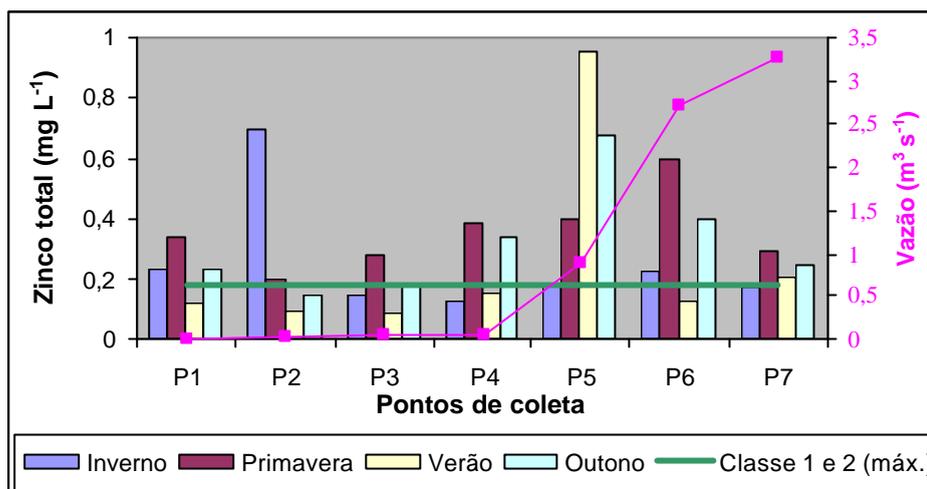


Figura 58 - Variações de zinco total nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1 e 2

6.5.3 Análise microbiológica da água

A seguir serão apresentados os resultados e discussões referentes a bactéria heterotrófica, coliformes termotolerantes, coliformes totais, e clorofila.

Bactérias heterotróficas

Na contagem das bactérias heterotróficas (BH) obtiveram-se valores elevados. Para as amostragens realizadas, no inverno, ocorreram variações de 900 a 1200 UFC; na primavera obteve-se uma variação de 1.950 a 4.210 UFC; no verão e no outono apresentaram valores superiores a 2.000 colônias. As maiores concentrações foram obtidas em P4, com 7.520 colônias no verão, seguida de 6.960 colônias, em P5, no outono.

Segundo a Portaria N° 518, de março de 2004, em 20% das amostragens para análise de coliformes termotolerantes deve-se efetuar a contagem de bactérias heterotróficas, e estas não devem exceder a 500 UFC por mL, quando isso ocorre deve-se realizar uma coleta, inspeção local e, se constatada irregularidades tomar providências cabíveis.

Segundo Libânio (2005), a presença das BH nas águas indica a ocorrência de poluição microbiana e de acordo com as análises realizadas (Figura 59), todos os pontos apresentam valores que ultrapassam a 500 UFC indicativo de poluição microbiana.

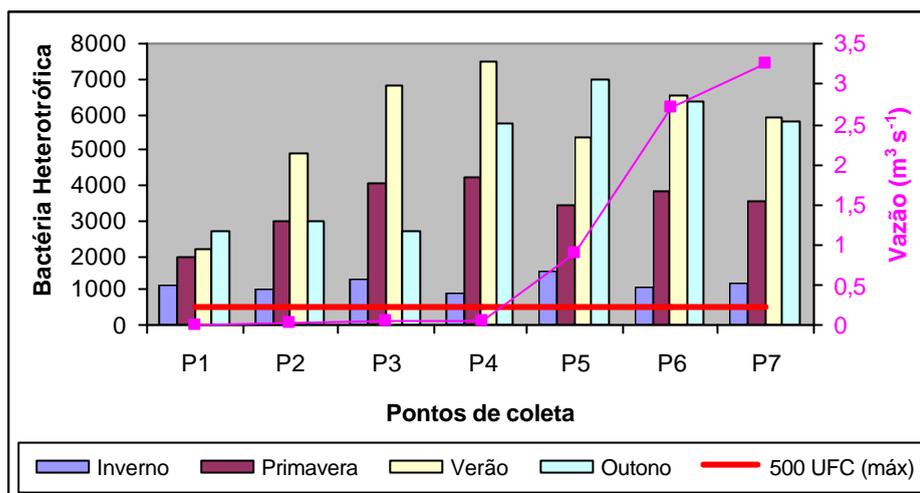


Figura 59 - Variações de bactérias heterotróficas nas amostragens de água da MbaJC. UFC: Unidades formadoras de colônia

De acordo com Von Sperling (2005), a elevação na concentração das bactérias heterotróficas é decorrente do aumento da produtividade do corpo d'água, as BH alimentam-se da matéria orgânica das algas e de outros microrganismos mortos, consumindo oxigênio dissolvido do meio líquido. Este processo de anaerobiose causa problemas, predominando os elementos e compostos nos estados reduzidos ocasionando a produção de ácido sulfídrico, que causam maus odores e eleva a toxicidade do meio.

Coliformes termotolerantes e totais

Os coliformes totais nos diferentes pontos foram apenas detectados quanto a sua presença ou ausência, e estes se encontraram presente em todos os pontos de amostragens.

Esta presença dos coliformes nos indica que a mesma recebeu esgotos domésticos, podendo conter microrganismos causadores de doenças.

Para os coliformes termotolerantes (Cte) as amostragens foram diluídas 10 vezes. Na figura 60 observa-se às variações para os diferentes pontos de coleta, os valores mais elevados foram encontrados nas coletas realizadas no verão e outono, onde atingiram em P4 $152,084 \cdot 10^3$ NMP por 100 mL e em P5 $140,759 \cdot 10^3$ NMP por 100 mL, respectivamente. Os valores mais baixos foram encontrados nas análises do inverno, em P4 apresentaram $18,201 \cdot 10^3$ NMP por 100 mL.

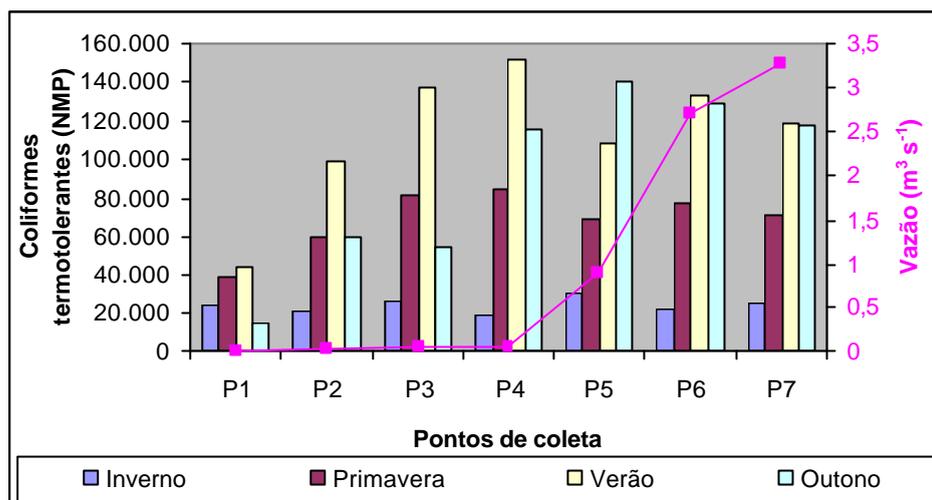


Figura 60 - Variações de coliformes termotolerantes nas amostragens de água da MbaJC

Os Cte para todos os pontos de amostragens encontraram-se muito acima do VMP estabelecido pela legislação vigente, que de acordo com o CONAMA (2005) os coliformes não devem exceder a um limite de 200 UFC por 100 mL para a classe 1, de 1.000 UFC por 100 mL para a classe 2 e de 2.500 UFC por 100 mL para a classe 3.

Clorofila

A clorofila apresentou a maior concentração na amostragem realizada na primavera, em P5 atingiu $12 \mu\text{g L}^{-1}$, para as demais coletas realizadas ocorreram oscilações de $1,2 \mu\text{g L}^{-1}$ a $6,9 \mu\text{g L}^{-1}$, conforme representado no apêndice G.

Segundo a Resolução N° 357 (CONAMA, 2005) para a classe 1, o valor máximo permitido é de $10 \mu\text{g L}^{-1}$, estando apenas P5, com valor superior ao estabelecido.

6.6 Análise da qualidade da água da MbaJC

A determinação da qualidade das águas da MbaJC foi realizada a partir da aplicação dos índices de qualidade da água da CETESB e estatístico, sendo estes comparados com os resultados obtidos pela aplicação do IQA da NSF, COMITESINOS e FEAM. Realizou-se também os índices de estado trófico, de carga metálica e de poluição sendo aplicado o fator de contaminação e de geoacumulação.

Segundo Toledo e Nicolella (2002), cada corpo hídrico possui características próprias, o que torna difícil estabelecer um único índice geral, que explique a qualidade do sistema

hídrico. Por isto é necessária a utilização de mais de um índice para a avaliação da qualidade da água para evidenciar assim a poluição média existente.

6.6.1 Qualidade da água de acordo com o IQA da CETESB

A tabela 22 apresenta os resultados do cálculo do índice de qualidade obtido a partir do IQA adotado pela CETESB, o qual apresentou variações entre a classe regular a péssima.

TABELA 22:
Resultado da aplicação do IQA da CETESB para a MbaJC

Amostragem	Inverno	Primavera	Verão	Outono	IQA médio por ponto
P1	37,0	31,5	44,1	41,0	38,4
P2	21,4	25,6	14,7	15,6	19,3
P3	31,0	26,7	27,6	20,2	26,3
P4	20,7	25,3	14,0	18,8	19,7
P5	25,0	28,9	14,9	8,1	19,2
P6	23,5	23,8	15,9	8,6	17,9
P7	28,4	30,5	19,3	8,2	21,6
IQA Médio	26,71	27,47	21,50	17,21	

Nas amostragens realizadas em P1 no inverno (37), verão (44,1) e outono (41) enquadraram-se na faixa regular, para a primavera (31,5) como ruim.

Os demais pontos no inverno e primavera obtiveram uma faixa ruim, assim como em P3, no verão (27,6) e no outono (20,2), as demais amostragens ficaram na faixa péssima nestas épocas. As piores notas foram obtidas no outono, onde se observa que em P5 (8,1), P6 (8,6) e P7 (8,2) ocorreu um decréscimo em suas notas em relação às demais estações.

O IQA médio obtido por ponto de amostragem enquadra P1 (38,4) na faixa regular, P2 (19,3), P3 (26,3), P4 (19,7), P5 (19,2) e P7(21,6) na faixa ruim e P6 (17,9) na faixa péssima.

A figura 61 apresenta o histograma com os resultados obtidos com a aplicação do IQA segundo a CETESB para a MbaJC.

A figura 62 demonstra os resultados da aplicação do IQA no mapa temático da MbaJC, as piores faixas foram obtidas no outono e verão, já as melhores faixas situaram-se no inverno e na primavera, estações estas em que os índices pluviométricos apresentaram-se elevados.

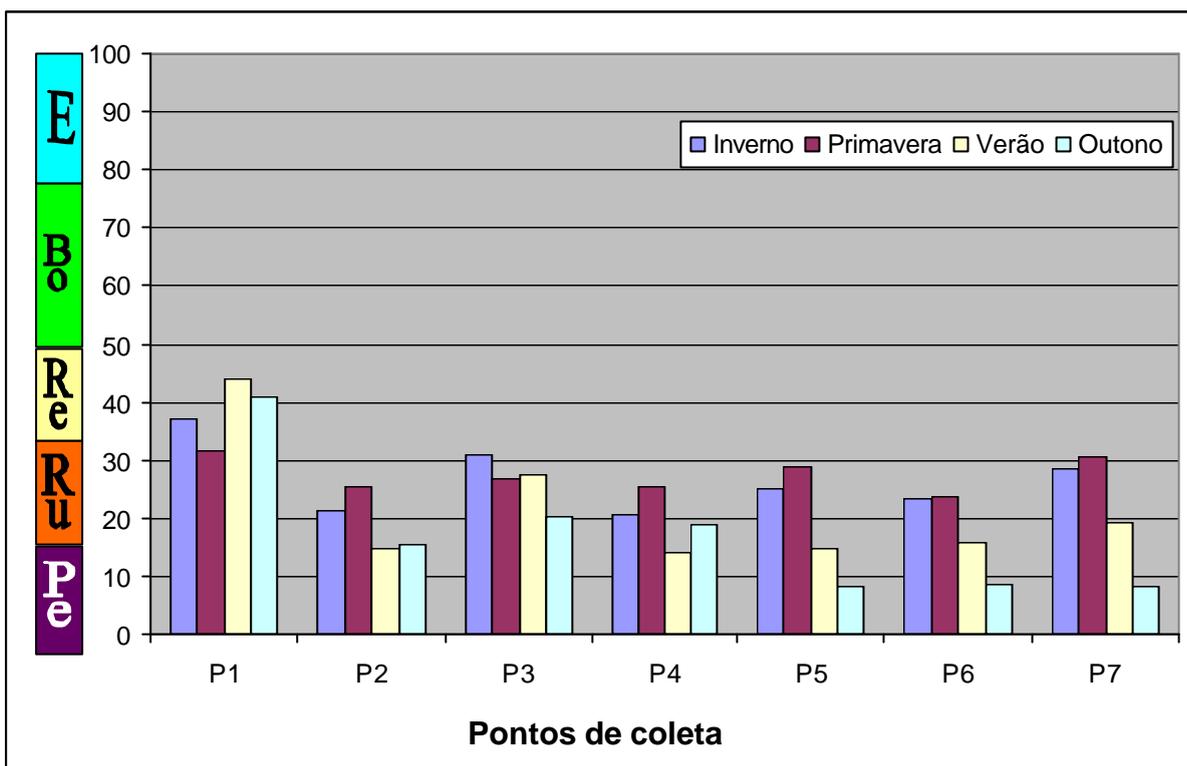


Figura 61 - Resultado da aplicação do IQA segundo a CETESB, na MbaJC.
 E: Excelente; B: Boa; Re: Regular; Ru: Ruim; Pe: Péssima

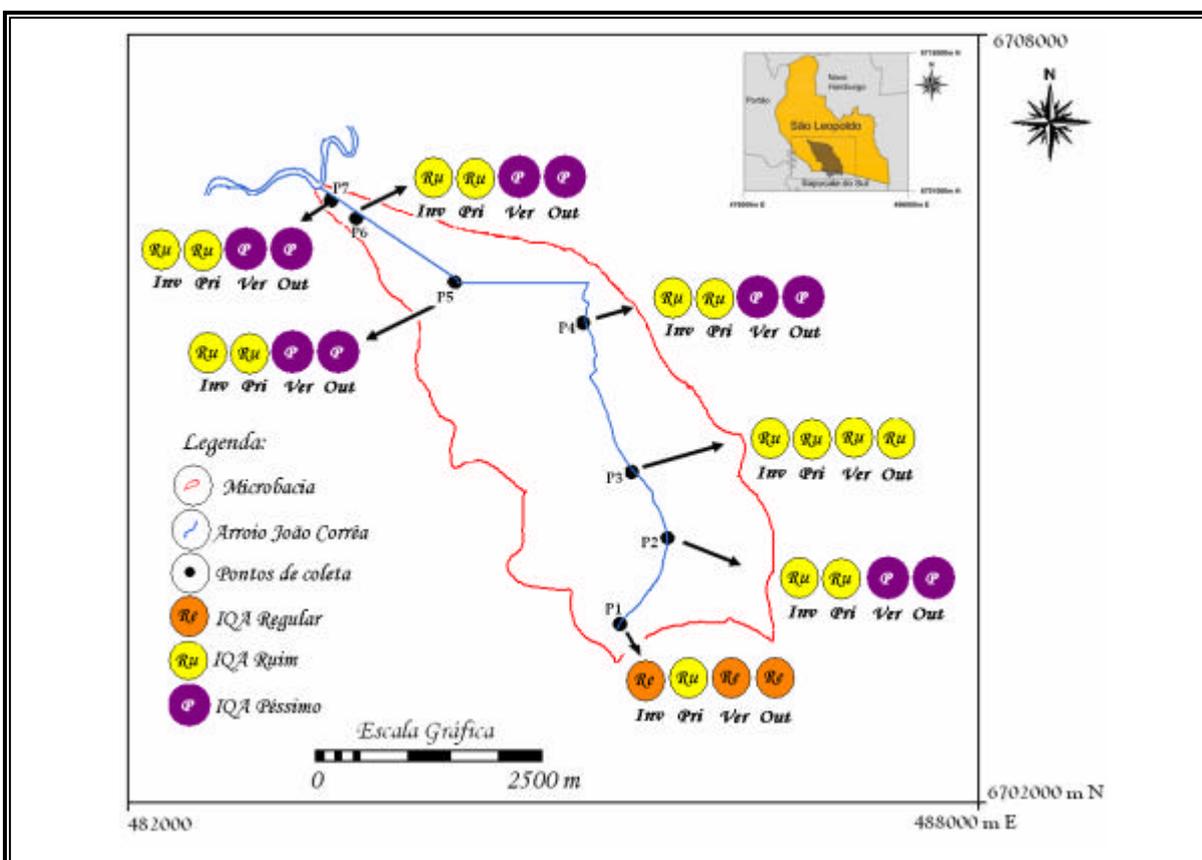


Figura 62 - Mapa da qualidade da água, de acordo com a aplicação do IQA CETESB para a MbaJC

6.6.2 Qualidade da água de acordo com o IQA da NSF

A aplicação do IQA segundo NSF resultou nos valores de IQA apresentados na tabela 23. A MbaJC apresentou uma predominância de notas na faixa média (50 a 70), para as amostragens realizadas no inverno e na primavera, já as coletas efetuadas no verão e do outono ficaram na faixa ruim (25 a 50).

TABELA 23:
Resultados da aplicação do IQA da NSF para a MbaJC

Amostragem	Inverno	Primavera	Verão	Outono	IQA médio por ponto
P1	58	59	58	55	57,5
P2	54	55	38	32	44,7
P3	59	58	50	47	53,5
P4	50	56	42	46	48,5
P5	54	52	34	32	43,0
P6	54	54	43	33	46,0
P7	53	57	43	34	46,7
IQA médio	54,57	55,86	44,00	39,86	

Observa-se que no verão em P5 (34), P6 (43) e P7 (43), apesar de estarem numa faixa ruim, apresentaram um pequeno decréscimo em suas notas, nestas amostragens do verão. Apenas P1 (58) e P3 (50) enquadraram-se na faixa média. No outono, a exceção foi em P1, que obteve uma faixa de 55, indicando uma qualidade média, apesar da maior parte destas amostragens encontrarem-se numa faixa ruim também apresentaram decréscimo em seus valores a partir de P3 (47), P4 (46), P5 (32) P6 (33) e P7 (34), conforme o histograma representado na figura 63.

Para o IQA médio por ponto de amostragem obteve-se para P1 uma faixa de 57,5 a qual o enquadrou na faixa média, P2 com 44,7 ficando na faixa ruim, já P3 atingiu 53,5 valor este que o enquadrou na faixa média, os pontos P4 (48,5), P5 (43,0), P6 (46,0) e P7 (46,7) apresentaram valores que os enquadraram na faixa ruim. No IQA médio por estação o inverno com 54,57 e a primavera com 55,86 enquadraram-se na faixa média, o verão com 44,0 e o outono com 39,86 na faixa ruim.

Na figura 64 são apresentados os resultados obtidos da aplicação do IQA NSF a partir de mapa temático da MbaJC, as piores notas foram obtidas no outono, seguido do verão, inverno e primavera.

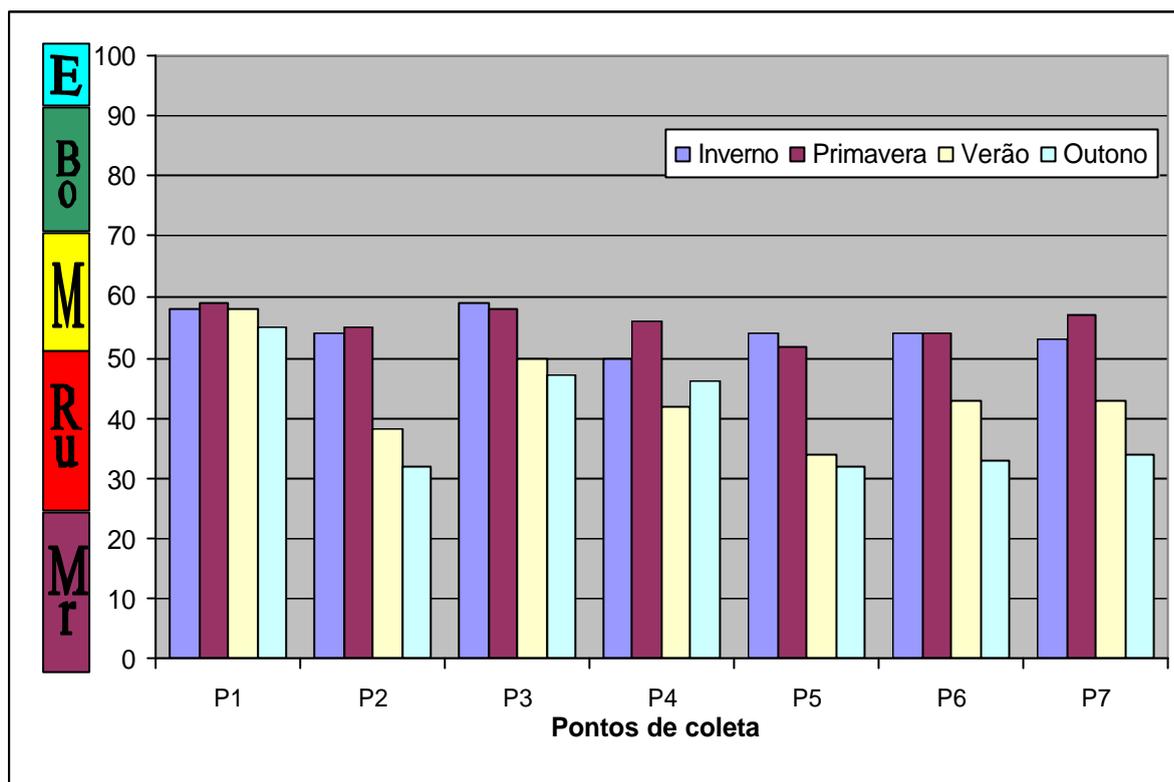


Figura 63 - Resultado da aplicação do IQA da NSF para a MbaJC.
 E: Excelente; Bo: Boa; M: Média; Ru: Ruim; Mr: Muito ruim

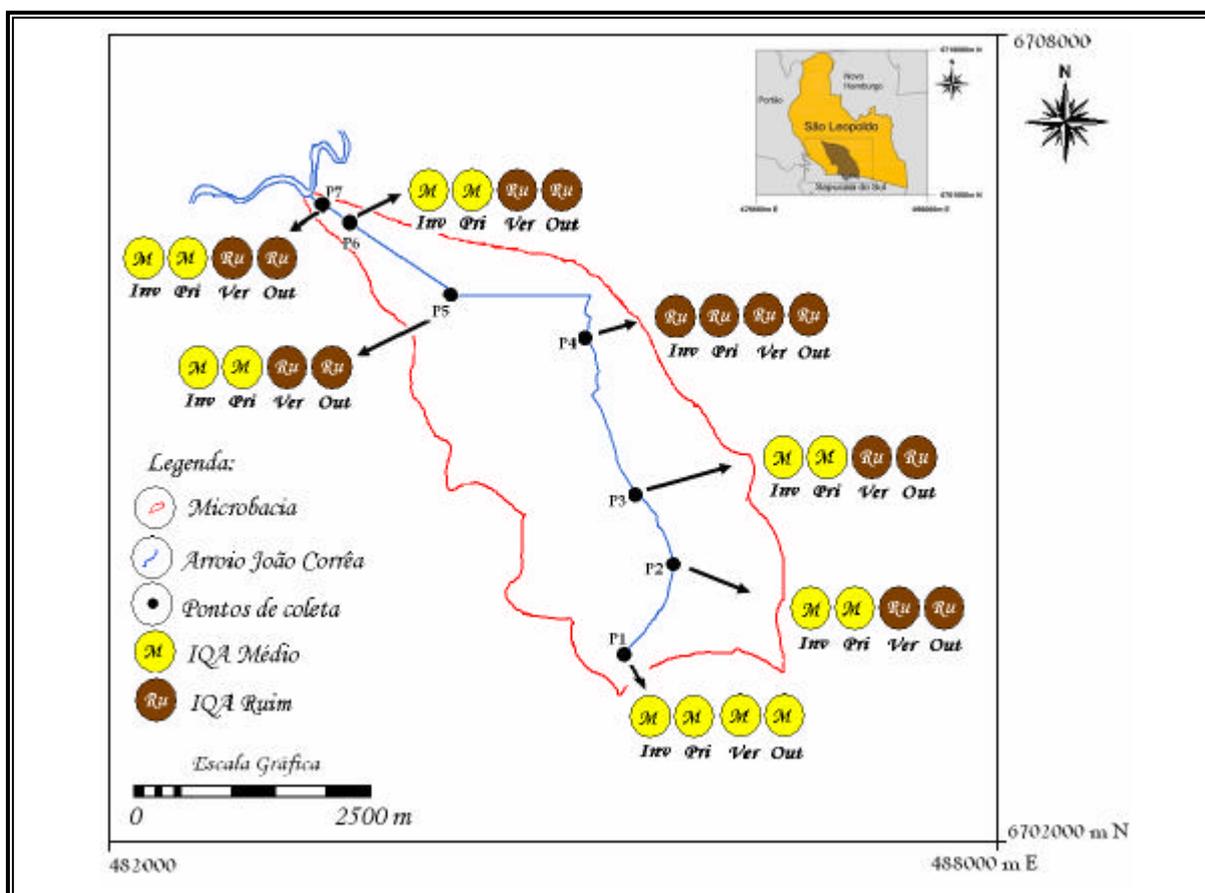


Figura 64 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA da NSF para a MbaJC

6.6.3 Qualidade da água de acordo com o IQA do COMITESINOS

Os resultados do IQA obtidos adotando o COMITESINOS indicam a ocorrência de apenas duas faixas ruim (26 a 50) e muito ruim (0 a 25), ocorrendo variações entre estas faixas para todos os pontos amostrados, conforme tabela 24.

TABELA 24:
Resultado da aplicação do IQA do COMITESINOS para a MbaJC

Amostragem	Inverno	Primavera	Verão	Outono	IQA médio por ponto
P1	37,2	30,5	39,0	35,6	35,57
P2	25,3	25,7	15,7	16,9	20,90
P3	32,8	25,8	26,3	17,0	25,47
P4	24,0	25,4	14,8	16,9	20,27
P5	29,7	25,7	14,5	7,5	19,35
P6	27,9	27,6	16,8	9,0	20,32
P7	31,2	32,8	18,7	8,5	22,80
IQA médio	29,73	27,64	20,83	15,91	

Os valores mais elevados foram encontrados em P1 onde se obteve as faixas de 37,2 no inverno, 30,5 para a primavera, 39,0 no verão e 35,6 no outono, enquadrando-o na faixa ruim, P2 apresentou valores que o enquadram como muito ruim no inverno (25,3) e na primavera (25,7), e na faixa muito ruim no verão (15,7) e no outono (16,9) estações estas em que se realizaram as análises.

O ponto P3 ficou na faixa ruim tanto no inverno (32,8) como no verão (26,3), ocorrendo decréscimo nas estações da primavera (25,8) e do outono (17), para muito ruim, P4 enquadraram-se na faixa de muito ruim em todas as amostragens realizadas.

O P5 no inverno (29,7) apresentou uma faixa ruim para as demais estações muito ruim, P6 (27,9) e P7 (31,2) nas amostragens do inverno, enquadrando-os na faixa ruim, assim como as amostragens realizadas na primavera para ambos os pontos, para o verão e o outono enquadraram-se na faixa muito ruim.

Nas estações em que foram realizadas as amostragens observa-se um declínio bastante acentuado da faixa ruim na estação da primavera para muito ruim na estação do verão e outono, a partir de P2 conforme apresentado na figura 65.

A determinação do IQA médio por ponto de amostragem enquadraram P1 com 35,57 na faixa ruim, P2 com 20,90 na faixa muito ruim, assim como os demais pontos.

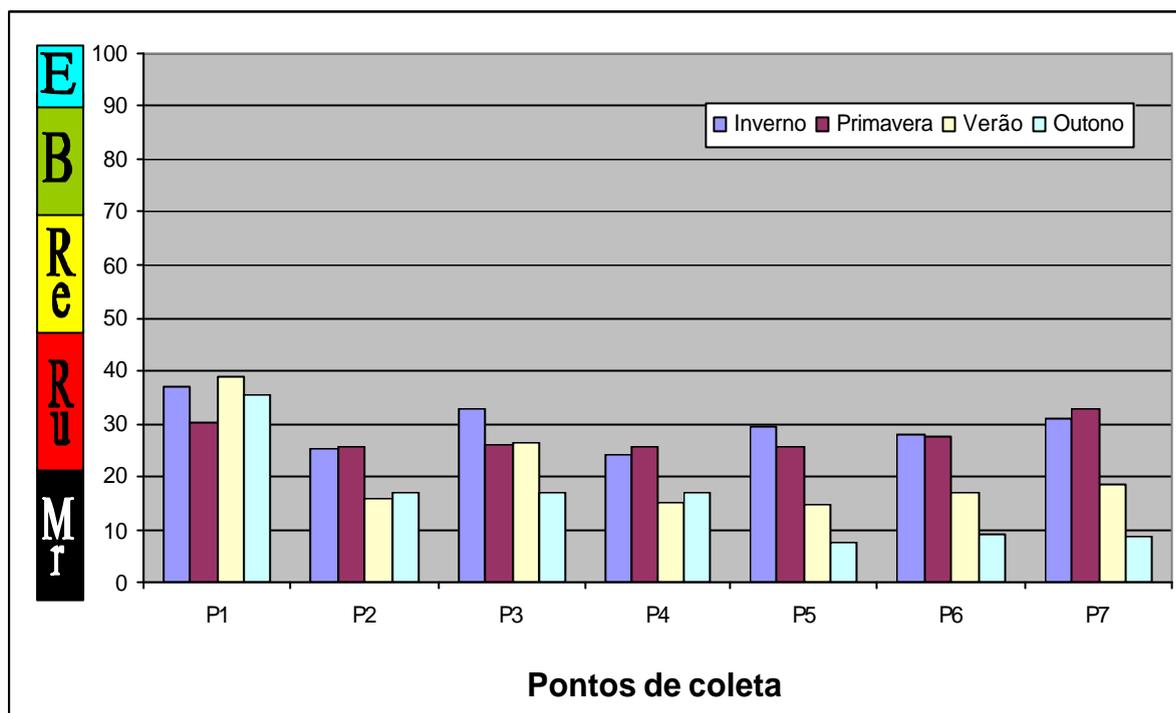


Figura 65 - Resultado da aplicação do IQA pelo COMITESINOS para MbaJC.
E: Excelente; B: Bom; Re: Regular; Ru: Ruim; Mr: Muito ruim

Os valores encontrados com a aplicação deste IQA médio revelaram uma variação sazonal na qualidade da água. Os melhores enquadramentos foram obtidos no inverno com 29,73 e na primavera com 27,64 que os enquadram na faixa ruim e os piores no verão com 20,83 seguido do outono com 15,91 que os incluem na faixa muito ruim. Considera-se, portanto, que as maiores precipitações influenciaram o IQA existindo assim uma relação positiva para estas estações, embora os valores obtidos sejam baixos.

De acordo com os dados obtidos por Robaina *et al.* (2000), as condições sanitárias para o canal do arroio João Corrêa variaram de ruim a péssima.

Na figura 66 é apresentada a distribuição da qualidade da água ao longo da MbaJC com a aplicação do IQA segundo o COMITESINOS (1993), os piores enquadramentos foram obtidos no outono seguido do verão, inverno e primavera.

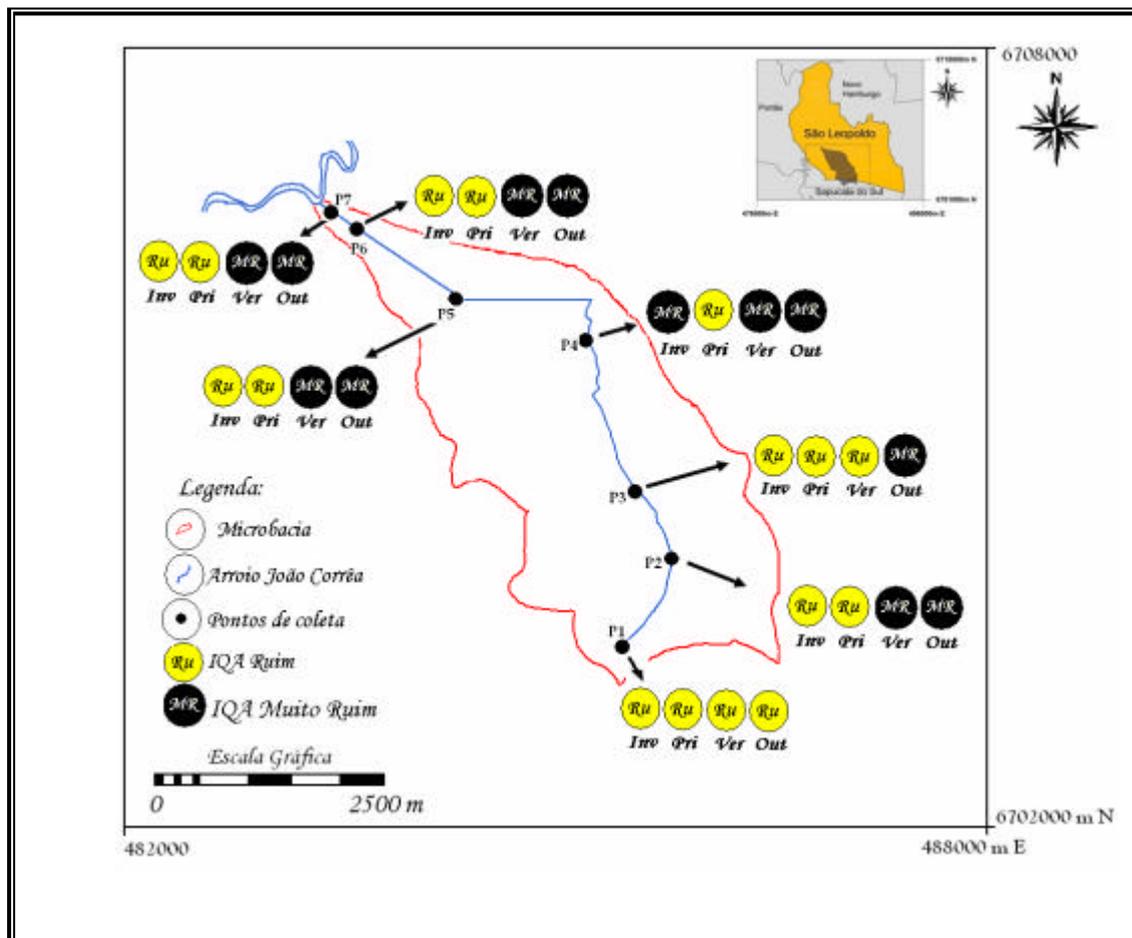


Figura 66 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA do COMITESINOS para a MbaJC

6.6.4 Qualidade da água de acordo com o IQA da FEAM

A aplicação do IQA da FEAM resultou em faixas que variam de ruim ($25 < IQA = 50$) a muito ruim ($0 < IQA = 25$), independente da estação de amostragem.

As análises realizadas no inverno e na primavera para todos os pontos enquadraram-se na faixa ruim. No verão apenas P1 (49,6) e P3 (38,2) ficaram na faixa ruim as demais amostragens na enquadraram-se na faixa muito ruim.

No outono, com exceção de P1 (46,8), P3 (27,1) e P4 (26,1), que atingiram uma faixa de ruim as demais mantiveram seus índices da amostragem realizada no verão muito ruim, sendo estas as piores notas encontradas em todas as análises realizadas (Tabela 25).

TABELA 25:
Resultado da aplicação do IQA da FEAM para a MbaJC

Amostragem	Inverno	Primavera	Verão	Outono	IQA médio por ponto
P1	46,9	40,8	49,6	46,8	46,02
P2	31,2	34,2	18,4	23,6	26,85
P3	41,8	34,5	38,2	27,1	35,40
P4	29,8	33,8	16,4	26,1	26,52
P5	37,0	37,2	19,1	11,2	26,12
P6	32,9	37,1	19,1	12,0	25,27
P7	36,8	43,4	20,8	11,5	28,12
IQA médio	36,63	37,28	25,94	22,61	

A figura 67 apresenta o histograma com o resultado obtido da aplicação do IQA da FEAM para a MbaJC.

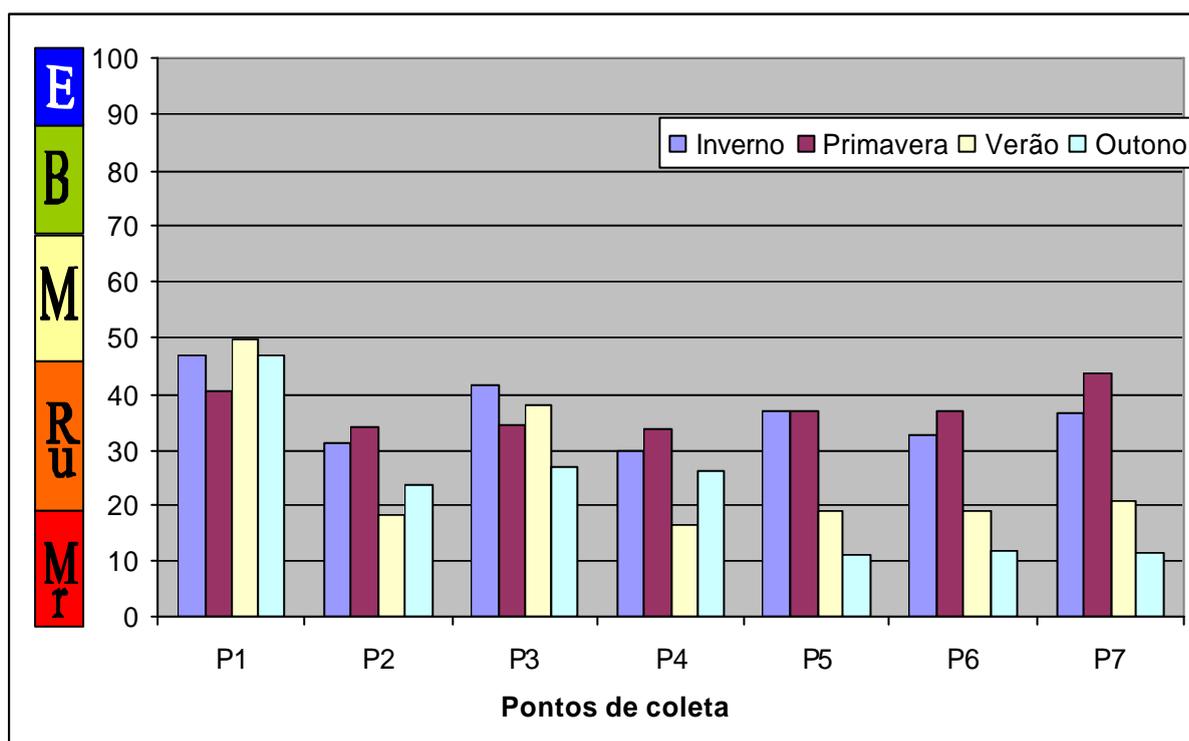


Figura 67 - Resultado da aplicação do IQA da FEAM para a MbaJC.
 E: Excelente; B: Bom; M: Médio; Ru: Ruim; Mr: Muito ruim

A figura 68 demonstra os índices de qualidade da água para a MbaJC, nas diferentes estações de amostragens, com a utilização do IQA da FEAM. As piores faixas são relativas ao outono seguido do verão, inverno e primavera.

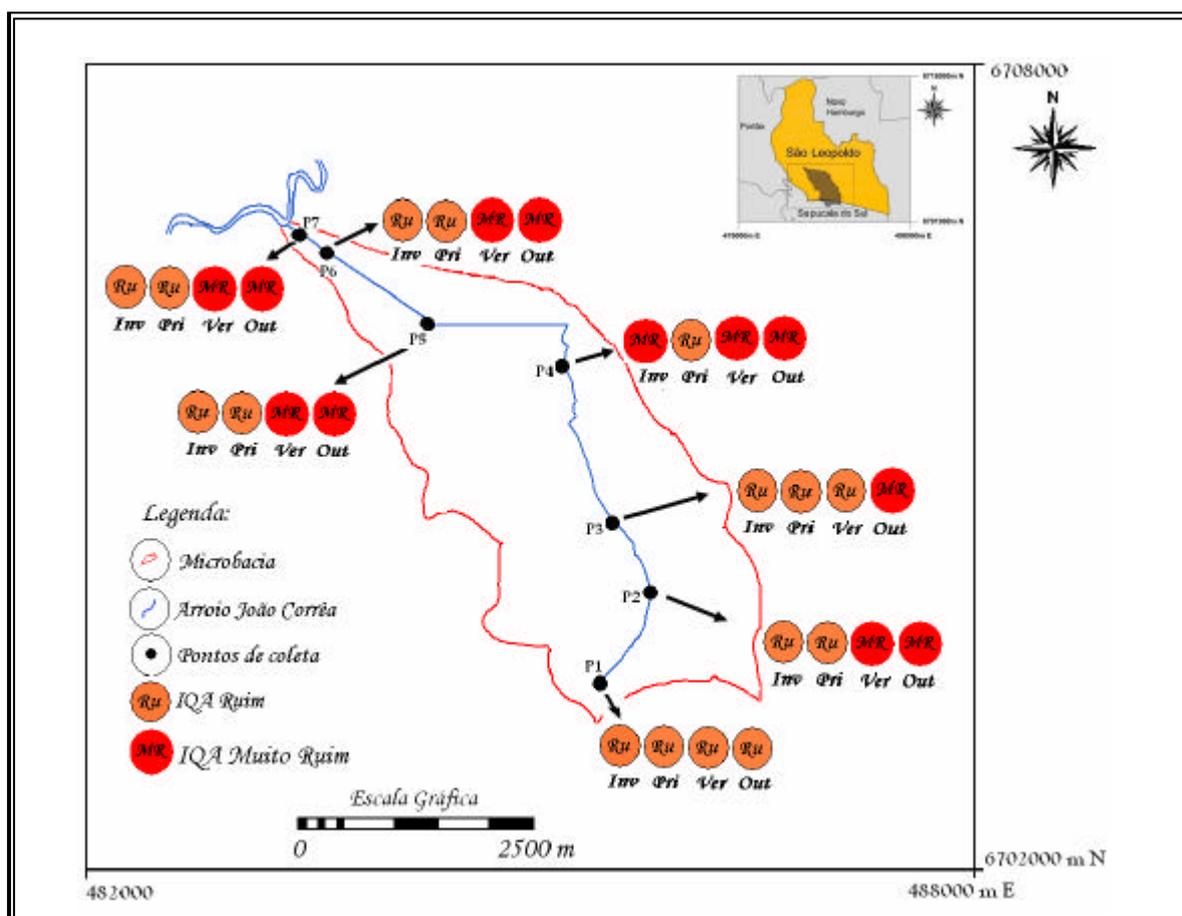


Figura 68 - Mapa da qualidade da água de acordo com o IQA da FEAM para a MbaJC

Com a aplicação dos diferentes IQAs observa-se que todos apresentaram a mesma seqüência na obtenção do enquadramento de suas faixas. Os valores encontrados indicam que a pior qualidade ocorreu na estação do outono seguido do verão, os melhores IQAs para a MbaJC foram constatados nos meses de inverno e primavera, sendo estes atribuídos as maiores pluviosidades ocorridas com maior potencial de diluição do meio.

As melhores notas foram obtidas com a aplicação do IQA da NSF, e o IQA mais restritivo é do COMITESINOS.

A MbaJC localiza-se na área urbana, a qual recebe esgoto doméstico e industrial, com exceção de P1, mas devido a sua localização muito próximo a novos loteamentos percebe-se que também já está recebendo influências antrópicas. As variáveis que mais contribuíram para o resultado foram coliformes termotolerantes, DBO₅ e OD.

6.6.5 Qualidade da água de acordo com o IQA estatístico

Os resultados apresentados a seguir são referentes à análise estatística e a fórmula e estimativa do IQA estatístico.

6.6.5.1 Análise estatística

A aplicação do IQA estatístico foi obtido a partir da aplicação da análise fatorial, para a qual, segundo Haase e Possoli (1993) é necessário ter em mente o significado ecológico de cada variável, em função do problema que esteja sendo considerado. Também se faz necessário verificar se a matriz de correlação e as cargas fatoriais explicam o comportamento ecológico do corpo hídrico, em função da descarga de poluentes (MAKHAMRA, 2004).

Para a aplicação da análise fatorial foi correlacionado todas as variáveis físicas, químicas e microbiológicas, e a partir dos resultados obtidos foram selecionadas as mais significativas, aquelas que apresentaram maiores coeficientes de correlações com maior número de variáveis. Das variáveis físicas apenas a condutividade (Cdtv) e a turbidez obtiveram valores significantes, para as variáveis químicas selecionou-se a dureza, DBO₅, DQO, MO e OD, nas microbiológicas apenas os coliformes termotolerantes (Cte).

O oxigênio dissolvido apresentou correlação negativa com as demais variáveis representativas de poluição, sendo que quanto maior a sua concentração mais negativa será o seu índice e melhor a qualidade da água. A DBO₅ e os coliformes termotolerantes também apresentaram uma correlação negativa com o oxigênio dissolvido, determinando assim que o aumento nestas concentrações reduz o nível de OD presente na água.

A matriz de correlação de *Pearson* (Tabela 26) demonstra que as variáveis apresentam correlação maior no nível de significância de 1% do que a 5%. As variáveis que apresentaram um maior nível de significância demonstrando os melhores indicadores da variabilidade da água da MbaJC foram DBO₅, dureza e fosfato, seguindo de um grupo intermediário oxigênio dissolvido, DQO, coliformes termotolerantes, condutividade e matéria orgânica.

TABELA 26:
Matriz de correlação de *Pearson* para obtenção do IQA estatístico

Matriz de <i>Pearson</i>									
	Cte	Turbidez	Dureza	DBO ₅	DQO	OD	Fosfato	Cdtv	MO
Cte	1,000								
Turbidez	0,451*	1,000							
Dureza	0,505**	0,884**	1,000						
DBO ₅	0,473*	0,972**	0,856**	1,000					
DQO	0,678**	0,685**	0,674**	0,665**	1,000				
OD	-0,559**	-0,601**	-0,698**	-0,604**	-0,564**	1,000			
Fosfato	0,402*	0,700**	0,648**	0,693**	0,469*	-0,384*	1,000		
Cdtv	0,587**	-0,042	0,087	0,017	0,547**	-0,078	0,030	1,000	
MO	0,409*	0,17	-0,22	0,008	0,552**	-0,213	-0,10	0,554**	1,000

OBS: Nível de significância: **1% *5%

O grau de compartilhamento das variáveis é determinado a partir da matriz de comunalidade (Tabela 27) a qual é gerada automaticamente pelo SPSS, onde estas são estimativas da variância compartilhada, ou comum entre as variáveis.

TABELA 27:
Matriz de comunalidade

Variáveis	Comunalidade
Cte	0,724
Turbidez	0,931
Dureza	0,880
DBO ₅	0,908
DQO	0,874
OD	0,567
Fosfato	0,603
Cdtv	0,780
MO	0,709

Na relação das comunalidades encontradas obteve-se 93,1% da variância compartilhada da turbidez é explicada pelos fatores comuns, determinando assim que esta variável tem em comum com as demais, enquanto 56,7% da variância do OD são explicados pelos mesmos fatores, sendo esta menos relacionada com as demais variáveis incluídas na análise.

A tabela 28 apresenta as informações sobre os nove fatores possíveis e seu poder explanatório relativo expresso por seus autovalores. Com a aplicação do teste *scree* foi possível determinar os dois fatores apropriados, sendo estes apresentados nas raízes usadas, que explicam 77,52% da variância das nove variáveis.

TABELA 28:
Resultados dos fatores comuns associados aos autovalores e variância

Fator	Autovalores	Variância (%)	Cumulativo de variância (%)	Autovalores usados
1	4,930	54,781	54,781	4,930
2	2,047	22,743	77,525	2,047
3	0,644	4,160	84,685	
4	0,533	5,920	90,605	
5	0,399	4,431	95,036	
6	0,232	2,577	97,614	
7	0,111	1,228	98,842	
8	0,090	0,995	99,837	
9	0,015	0,163	1000,000	

O terceiro fator e demais foram desconsiderados pelo fato de apresentarem seu autovalor baixo em relação ao valor 1,0 do critério da raiz latente, inviabilizando a inclusão destes.

O resultado na matriz de cargas fatorial rotacionada e não-rotacionada da análise de componentes é exibida na tabela 29, onde na não-rotacionada, no fator 1 as cargas muito alta são representadas pela turbidez, dureza, DBO₅ e DQO, sendo estas na direção positiva, os coliformes termotolerantes, o fosfato e o OD apresentam uma carga alta na direção positiva, com exceção do OD, que apresenta-se na direção negativa, as variáveis que apresentaram carga baixa e na direção positiva é a condutividade e a matéria orgânica.

No fator 2, a maioria das variáveis apresentam cargas baixas com variações entre o positivo e o negativo, apenas a condutividade e a matéria orgânica demonstram cargas altas e positivas e o OD com carga muito baixa.

TABELA 29:
Comparação entre cargas de fatores não-rotacionada e rotacionada

Variáveis	Não-rotacionada		Rotacionada	
	Fator 1	Fator 2	Fator 1	Fator 2
Cte	0,729	0,439	0,501	0,688
Turbidez	0,897	-0,356	0,965	0,021
Dureza	0,895	-0,281	0,934	0,089
DBO ₅	0,894	-0,329	0,954	0,044
DQO	0,862	0,362	0,654	0,668
OD	-0,752	0,036	-0,707	-0,259
Fosfato	0,717	-0,296	0,776	0,006
Cdtv	0,303	0,830	-0,043	0,882
MO	0,279	0,794	-0,051	0,841
Variância total (%)	54,78	22,74	49,94	27,57

A variância total para o fator 1 explicou uma relação de 54,78% e o fator 2 explicou 22,74% na ocorrência de sua variação na matriz não-rotacionada, na análise de componentes os dois fatores rotacionados diferiram por 32,04%.

No fator 1 das cargas fatoriais rotacionada Varimax, apenas a condutividade e a matéria orgânica apresentaram cargas muito baixa na direção negativa, as variáveis OD na direção negativa e DQO e o fosfato na direção positiva apresentam altas cargas, os coliformes termotolerantes exibem uma carga moderada na direção positiva, já a turbidez, dureza a DBO₅ apresentam cargas muito alta na direção positiva. No segundo fator, as cargas muito alta estão

atribuídas à condutividade, a matéria orgânica, para as variáveis coliformes termotolerantes e a DQO na direção positiva as cargas são alta, os valores baixos é atribuído ao OD na direção negativa. As demais variáveis apresentaram valores muito baixo na direção positiva.

O índice mostra que o fator 1 da matriz de cargas fatoriais explicou 49,94% e o fator 2 explicou 27,57% da variância ocorrida na rotação da matriz de comunalidade e distribuída nestes dois fatores de maneira equilibrada. Na análise de componentes os dois fatores rotacionados diferiram por 22,37%.

Analisando as cargas fatoriais não-rotacionada e rotacionada em ambos os fatores percebeu-se que o fator 1, da não-rotacionada e o fator 2, da rotacionada demonstraram consistência ecológica, pois apenas o OD apresenta valores negativos e estes quanto maiores melhor será as condições do meio, o que não ocorre no fator 2 da não-rotacionada que apresenta valores negativos para a turbidez, dureza, DBO₅ e fosfato.

O fator 1 da rotacionada apresentou valores negativos para a condutividade e a matéria orgânica, além do OD, o que é incorreto, sendo estes fatores descartados.

A matriz que melhor explica a variância total ocorrida foi o fator 1, na matriz não-rotacionada explicando 54,78%, sendo este o mais indicado para fornecer o IQA estatístico da MbaJC.

6.6.5.2 Fórmula e estimativa do IQA estatístico

Os coeficientes que integraram o índice foram obtidos a partir da matriz de cargas fatoriais e utilizando o fator 1 da não-rotacionada, estes resultaram na composição final para a aplicação do IQA estatístico, representada na equação a seguir:

$$\text{IQA} = 0,149 \text{ Turbidez}^{-1} + 0,148 \text{ Dureza}^{-1} + 0,148 \text{ DBO}_5^{-1} + 0,143 \text{ DQO}^{-1} - 0,124 \text{ OD}^{-1} \\ 0,121 \text{ Cte}^{-1} + 0,119 \text{ Fosfato}^{-1} + 0,050 \text{ Cdtv}^{-1} + 0,046 \text{ MO}^{-1} \quad \dots(12)$$

O resultado do IQA está representado por ordem de importância pela turbidez, dureza, DBO₅, DQO, OD, coliformes termotolerantes, fosfato total, condutividade e matéria orgânica. Os valores resultantes do IQA quanto mais alto pior é a qualidade da água, quando mais negativo melhor a qualidade da água.

Após a obtenção dos coeficientes para o IQA estatístico, estes foram calculados para cada uma das amostragens realizadas na MbaJC nas diferentes estações, os quais são

apresentados na tabela 30. Além da obtenção do IQA estatístico para cada um dos pontos, realizou-se a média por ponto e por coleta, levando em conta também o IQA mínimo e máximo.

TABELA 30:
Resultados do IQA estatístico para a MbaJC

Amostragem	Inverno	Primavera	Verão	Outono	IQA médio por ponto
P1	0,15141	0,53140	0,32614	0,05987	0,26720
P2	1,38681	0,57787	0,04561	-0,01231	0,49949
P3	0,81218	0,53531	2,75982	0,00501	0,20676
P4	0,22073	0,56789	0,02606	0,01235	0,86001
P5	1,28702	2,19330	-0,02134	-0,01893	0,86001
P6	1,00626	0,64015	0,00027	-0,01152	0,40879
P7	0,30009	1,33904	-0,04880	-0,01643	0,39348
IQA médio por estação	0,73779	0,91214	0,44111	0,00258	
IQA mínimo	0,15141	0,53140	0,00027	0,00258	
IQA máximo	1,28702	2,19330	2,75982	0,05987	

Os valores encontrados no IQA médio por estação demonstram que a pior qualidade da água foi encontrada na primavera (23.10.06), seguida do inverno (17.08.06), verão (11.12.06) e do outono (17.04.07) todas se enquadram na faixa ruim. Nos dados obtidos para o IQA médio por ponto de amostragem também se enquadraram numa faixa ruim.

Para as amostragens realizadas em cada uma das estações (Figura 69) obtiveram-se variações quanto ao enquadramento de sua qualidade, nas coletas realizadas no inverno P1, P3, P4 e P7 enquadraram-se numa qualidade ruim, enquanto P2, P5 e P6 com uma qualidade muito ruim. A estação da primavera P5 apresentou uma qualidade péssima, P7 uma qualidade muito ruim, os demais pontos de amostragens uma qualidade ruim. O verão apresentou para P3 uma qualidade péssima, já o P5 e P7 uma qualidade regular, os demais pontos obtiveram uma qualidade ruim. A estação do outono apresentou uma qualidade ruim para P1, P3 e P4, e uma qualidade regular para P2, P5, P6 e P7.

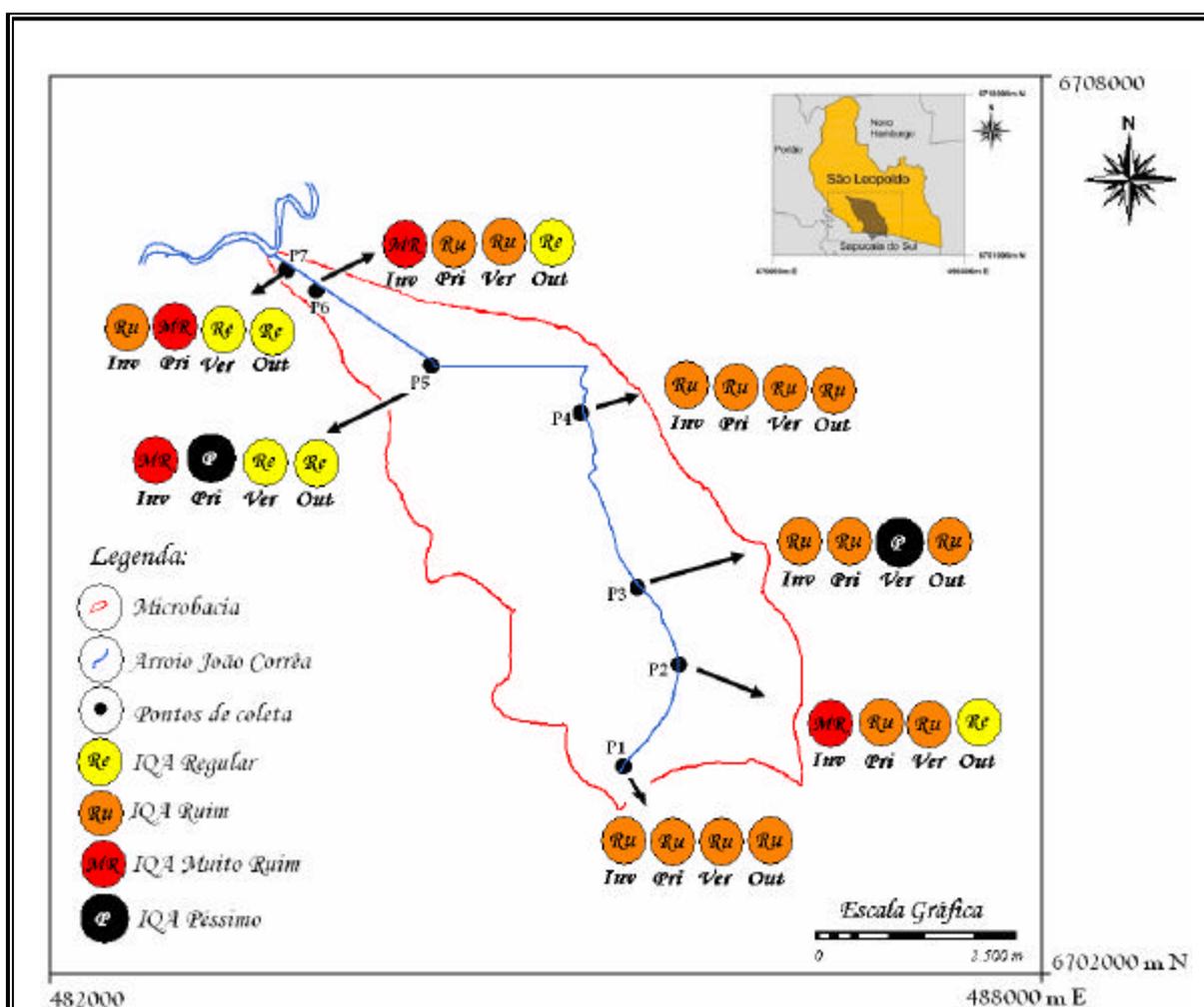


Figura 69 – Mapa da qualidade da água de acordo com o IEA estatístico para a MbaJC

6.7 Índice do estado trófico

O estado trófico pode ser determinado através do levantamento das concentrações de nutrientes limitantes (CETESB, 2006c). A eutrofização artificial está relacionada com o aumento da população, a industrialização, os produtos de limpeza que contêm compostos polifosfatados. Fatores estes que resultam na liberação de nutrientes como o fosfato e o nitrogênio, que estimulam a eutrofização (ESTEVES, 1998). No caso do arroio João Corrêa tem a liberação de esgotos domésticos, industriais e ainda a liberação da ETE, os quais ocorrem em diferentes pontos ao longo do arroio, e que acabam interferindo nos resultados do IET.

O IET é utilizado para medir o potencial de eutrofização, na tabela 31 são apresentados os valores calculados para o fósforo IET(P) e para a clorofila IET(CL). Apesar

das baixas concentrações encontradas em P1 para o fósforo e a clorofila obtiveram-se valores elevados para o IET destes parâmetros utilizados.

TABELA 31:
IET obtido para a clorofila e o fósforo total nos diferentes pontos de coleta da MbaJC

IET da Clorofila e do Fósforo total								
Pontos de amostragem	Inverno		Primavera		Verão		Outono	
	CL	P	CL	P	CL	P	CL	P
P1	41,58	98,16	42,83	97,18	41,58	99,04	46,08	98,01
P2	41,58	109,13	36,46	103,35	46,08	104,39	44,20	103,88
P3	41,91	110,72	46,30	106,26	44,84	107,89	48,36	106,59
P4	40,52	101,14	44,46	101,26	46,30	102,91	37,00	102,16
P5	38,48	111,55	55,49	110,09	51,52	110,64	34,62	111,22
P6	37,51	103,61	37,52	107,79	41,58	106,76	49,63	13,38
P7	43,82	91,36	46,30	96,22	47,65	97,01	49,93	105,94

A tabela 32 apresenta os resultados obtidos com aplicação do IET médio para a clorofila e o fósforo total.

TABELA 32:
Valores obtidos da aplicação do IET médio para a clorofila e o fósforo

IET médio				
Pontos de amostragem	Inverno Nível alto	Primavera Nível baixo	Verão Nível baixo	Outono Nível alto
P1	69	70	70	72
P2	75	70	70	74
P3	76	76	76	78
P4	71	73	73	70
P5	75	83	83	73
P6	70	70	73	78
P7	67	76	71	73

As coletas realizadas no inverno (17.08.06) e outono (17.04.07) o nível da água do arroio João Corrêa estava alto, nas coletas da primavera (23.10.06) o nível estava muito baixo e as coletas realizadas no verão (11.12.06) o nível estava baixo. Observa-se que as variações do nível da água nas diferentes épocas em que se realizaram as coletas não interferem significativamente nos valores de IET médio de uma coleta para outra conforme figura 70.

Os resultados finais oscilam entre os estados eutrófico (classe 3) e hipereutrófico (classe 4). Observa-se que o nível eutrófico foi o mais freqüente entre as coletas realizadas, independentemente se a amostragem foi realizada no período de seca ou cheia, o que

determina que este fator não seja o decisivo, apesar da ocorrência do alto transporte dos nutrientes que são realizados em épocas de cheia.

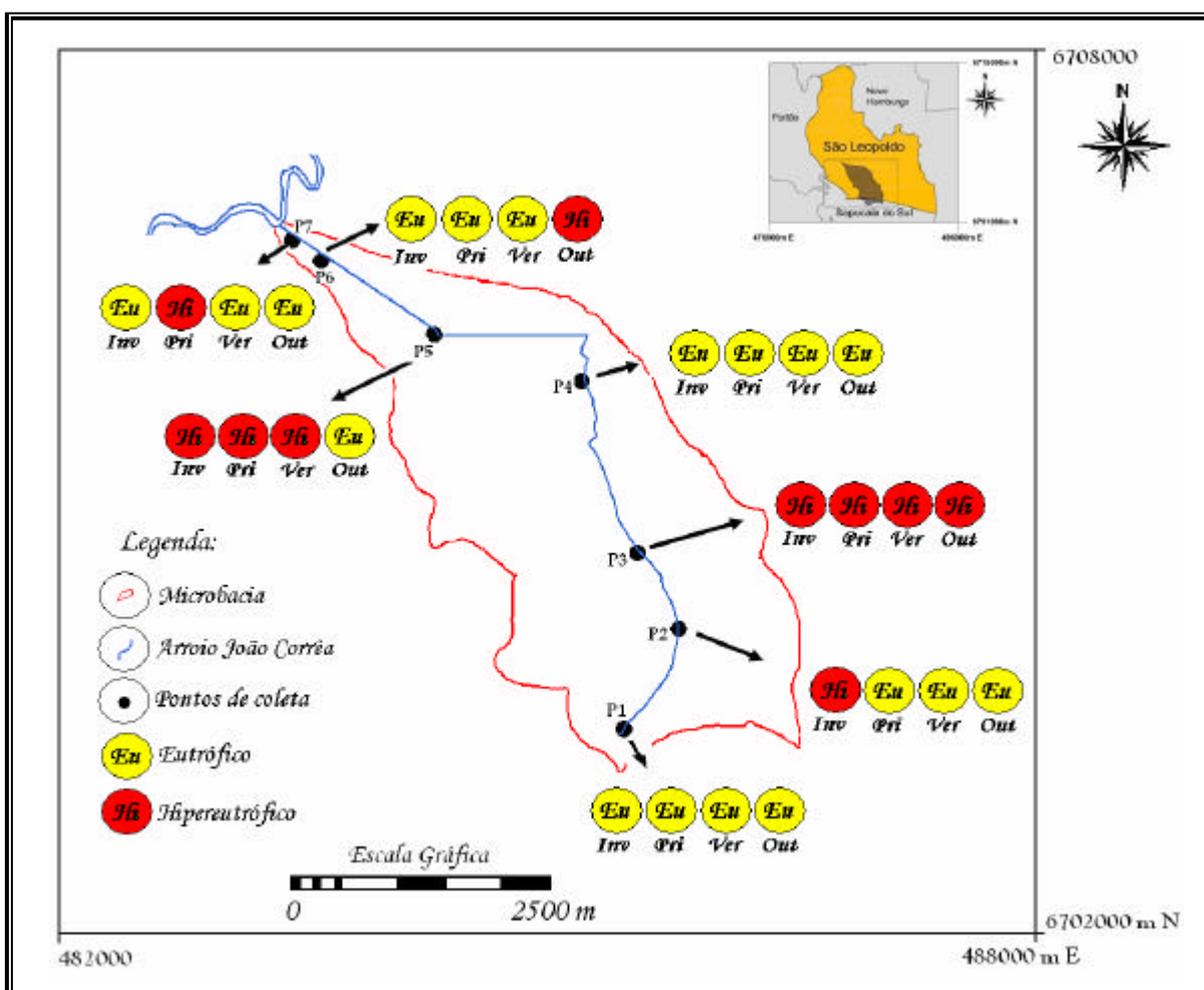


Figura 70 – Mapa do índice do estado trófico para a MbaJC

Verifica-se que para todas as amostragens realizadas em todos os pontos a MbaJC estão recebendo interferência das atividades antrópicas, resultado da liberação de efluentes industriais e domésticas, os quais intensificam o processo de eutrofização.

Segundo Von Sperling (2005), o aumento da produtividade do corpo de água causa uma elevação na concentração de bactérias heterotróficas, assim como a produção de gás sulfídrico responsável por toxicidade, maus odores, distúrbios com mosquitos e insetos. Problemas estes detectados na MbaJC, os fortes odores podem ser sentidos na maioria dos pontos, já as alta concentração das bactérias heterotróficas apresentam-se em todos pontos de amostragem.

6.8 Índices de poluição

Com os resultados obtidos foram determinadas as concentrações do fator de contaminação e do índice de geoacumulação.

6.8.1 Fator de contaminação

Os valores calculados para determinar o fator de contaminação dos sedimentos nas diferentes estações e pontos de amostragens da MbaJC estão representados na tabela 33.

TABELA 33:
Fator de contaminação para os metais pesados nos sedimentos da MbaJC

Estação	Amostragem	Metais pesados			
		Cr	Ni	Cd	Pb
I N V E R N O	P1	1,00	1,00	1,00	1,00
	P2	1,24	0,88	0,70	0,97
	P3	1,27	0,90	0,72	0,99
	P5	1,00	1,05	0,83	1,15
	P6	0,19	0,44	0,80	0,25
	P7	0,21	0,45	0,66	0,32
	P R I M A V E	P1	1,20	0,85	0,68
P2		1,14	0,81	0,64	0,78
P3		1,26	1,66	1,31	1,82
P5		1,38		4,50	1,62
P6		0,19		1,03	0,24
P7		0,13		0,95	0,22
V E R Ã O		P1	0,73		1,85
	P2	0,72		1,75	0,50
	P3	1,24		2,42	0,86
	P5	1,18		2,86	0,98
	P6	0,15		1,34	0,39
	P7	0,10		1,09	0,15
	O U T O N O	P1	1,24	1,20	1,02
P2		1,84	1,30	1,03	1,27
P3		1,81	1,28	1,02	1,41
P5		0,44	0,70	1,03	0,38
P6		0,37	0,51	1,02	0,28

De acordo com os dados obtidos observou-se que ocorrem variações de baixa contaminação a contaminação considerável, prevalecendo os valores que indicam baixa contaminação e a contaminação moderada nas diferentes estações.

Nas amostragens realizadas para Cr classificaram-se com baixa contaminação e contaminação moderada, onde P6 e P7 apresentaram baixa contaminação para todas as

amostragens realizadas, ocorrendo variações de 0,10 a 0,37 assim como P1 (0,73) e P2 (0,72) nas coletas realizadas no verão e P5 (0,44) no outono, as demais se enquadram em contaminação moderada, pois as mesmas apresentaram variações de 1,00 a 1,84.

O Cd apresentou contaminação moderada em todos os pontos para as amostragens analisadas no verão com variações de 1,09 a 2,86, e no outono com valores de 1,02 e 1,03 para os diferentes pontos, no inverno apenas P1 (1,00) e na primavera P3 (1,31) e P6 (1,03). A baixa contaminação é observada apenas nas coletas realizadas no inverno de P2 a P7, com variações de 0,66 a 0,83 e na primavera em P1 (0,68), P2 (0,64) e P7 (0,95). Na primavera P5 (4,50) apresentou valores mais elevados que o enquadraram em contaminação considerável.

Os valores do FC que ocorreram nas análises realizadas para Pb apresentam uma classificação que indicaram baixa contaminação e contaminação moderada. Onde P1 (1,00) e P5 (1,15) apresentaram uma contaminação moderada para as coletas realizadas no inverno, os demais pontos obtiveram uma baixa contaminação com variações de 0,25 a 0,99, já nas amostragens realizadas na primavera P3 (1,82) e P5 (1,62) apresentaram valores que os enquadram numa contaminação moderada e os demais pontos em baixa contaminação, variando de 0,22 a 0,94, para o verão todos os pontos obtiveram uma baixa contaminação com valores entre 0,15 e 0,98 e no outono P5 (0,38) e P6 (0,28) obtiveram uma baixa contaminação, já P1 (1,21), P2 (1,27) e P3 (1,41) enquadraram-se na contaminação moderada.

O Ni também apresentou apenas duas classes sendo a baixa contaminação e a contaminação moderada, onde no inverno P1 (1,00) e P5 (1,05) apresentaram uma contaminação moderada, os demais pontos indicaram uma baixa contaminação, com variações de 0,44 a 0,90. Para o outono P5 (0,70) e P6 (0,51) classificaram-se como baixa contaminação e os P1 (1,20), P2 (1,30) e P3 (1,28) enquadraram-se na contaminação moderada. De acordo com Soares *et al.* (2004), os índices de contaminação mais elevados do Ni podem estar relacionados ao lançamento de cargas orgânicas e efluentes domésticos, que estão acumulando-se na fração fina dos sedimentos de fundo, sendo indícios de poluição antropogênica.

6.8.2 Índice de geoacumulação

Para a determinação do índice de geoacumulação (IGeo) foram utilizados os valores obtidos no *background* da área, sendo este P1, a título de comparação realizou-se também o cálculo com base nos valores médios de base natural segundo EPA (*apud* RODRIGUES, 1997), Turekian e Wedepohl (1961) e Martin e Whitfield (1983).

Os resultados do IGeo no sedimento de fundo do arroio João Corrêa, utilizando como nível da base natural o *background* da área, são apresentados na tabela 34 permitindo a classificação quanto ao grau de poluição para os diferentes pontos amostrados, onde se obteve um IGeo de classe 1 para a maioria dos pontos, determinando que esses sedimentos são pouco a moderadamente poluído (PMD) para todos os metais analisados. As exceções estão relacionadas com os metais Cr, Pb para P6 e P7.

TABELA 34:
Valores de IGeo obtido a partir do *background* da área da MbaJC

Estação	Pontos de Amostragem	Metais Pesados							
		Cd		Cr		Pb		Ni	
		Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação
I N V E R N O	P1	0,20	PMD	0,20	PMD	0,20	PMD	0,20	PMD
	P2	0,29	PMD	0,16	PMD	0,21	PMD	0,23	PMD
	P3	0,28	PMD	0,16	PMD	0,20	PMD	0,22	PMD
	P5	0,24	PMD	0,14	PMD	0,17	PMD	0,19	PMD
	P6	0,25	PMD	1,05	MC	0,81	PMD	0,46	PMD
	P7	0,31	PMD	0,97	PMD	0,63	PMD	0,45	PMD
	P R I M A V	P1	0,30	PMD	0,17	PMD	0,21	PMD	0,23
P2		0,31	PMD	0,18	PMD	0,26	PMD	0,25	PMD
P3		0,15	PMD	0,18	PMD	0,11	PMD	0,12	PMD
P5		0,04	PMD	0,15	PMD	0,12	PMD		PMD
P6		0,19	PMD	1,05	MC	0,83	PMD		PMD
P7		0,21	PMD	1,56	MC	0,91	PMD		PMD
V E R Ã O		P1	0,11	PMD	0,27	PMD	0,22	PMD	
	P2	0,11	PMD	0,28	PMD	0,40	PMD		PMD
	P3	0,08	PMD	0,16	PMD	0,23	PMD		PMD
	P5	0,04	PMD	0,17	PMD	0,16	PMD		PMD
	P6	0,15	PMD	1,35	MC	0,51	PMD		PMD
	P7	0,18	PMD	1,97	MC	1,37	MC		PMD
	O U T O N O	P1	0,20	PMD	0,16	PMD	0,17	PMD	0,17
P2		0,19	PMD	0,11	PMD	0,16	PMD	0,15	PMD
P3		0,20	PMD	0,11	PMD	0,14	PMD	0,16	PMD
P5		0,19	PMD	0,46	PMD	0,52	PMD	0,29	PMD
P6		0,20	PMD	0,54	MC	0,71	PMD	0,39	PMD

MC: Moderadamente poluído; PMD: Pouco a moderadamente poluído

O Cr para P6, em todas as amostragens realizadas apresentou valores que o enquadraram na classe 2 sendo moderadamente poluído (MC), assim como P7 nas análises realizadas na primavera e no verão e o Pb em P7, no verão.

Os valores obtidos para o IGeo utilizando os níveis de base natural, segundo EPA (*apud* RODRIGUES, 1997) estão relacionados na tabela 35, onde para Cr, Pb e Ni indicaram pouco a moderadamente poluído (PMD), pertencendo a classe 1. O Cd apresentou altas

concentrações para a maioria dos pontos nas diferentes estações do ano, o qual apresentou-se muito fortemente poluído (EX) em todos os valores obtidos tanto no inverno quanto no outono.

TABELA 35:
Valores do IGeo obtido a partir do nível de base natural da EPA (apud RODRIGUES, 1997)

Estação	Pontos de Amostragem	Metais Pesados							
		Cd		Cr		Pb		Ni	
		Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação
I N V E R N O	P1	5,75	EX	0,02	PMD	0,08	PMD	0,02	PMD
	P2	8,21	EX	0,02	PMD	0,08	PMD	0,03	PMD
	P3	8,03	EX	0,02	PMD	0,08	PMD	0,03	PMD
	P5	6,93	EX	0,02	PMD	0,07	PMD	0,02	PMD
	P6	7,21	EX	0,13	PMD	0,31	PMD	0,05	PMD
	P7	8,76	EX	0,12	PMD	0,24	PMD	0,05	PMD
	P R I M A V A	P1	8,48	EX	0,02	PMD	0,08	PMD	0,03
P2		8,94	EX	0,02	PMD	0,10	PMD	0,03	PMD
P3		4,38	FEC	0,02	PMD	0,04	PMD	0,01	PMD
P5		1,28	MC	0,02	PMD	0,05	PMD		PMD
P6		5,56	EX	0,23	PMD	0,31	PMD		PMD
P7		6,02	EX	0,19	PMD	0,35	PMD		PMD
V E R Ã O		P1	3,10	FP	0,03	PMD	0,08	PMD	
	P2	3,28	FP	0,03	PMD	0,15	PMD		PMD
	P3	2,37	MFP	0,02	PMD	0,09	PMD		PMD
	P5	2,01	MFP	0,02	PMD	0,08	PMD		PMD
	P6	4,29	FEC	0,17	PMD	0,19	PMD		PMD
	P7	5,29	EX	0,24	PMD	0,52	PMD		PMD
	O U T O N O	P1	5,66	EX	0,02	PMD	0,06	PMD	0,02
P2		5,56	EX	0,01	PMD	0,06	PMD	0,02	PMD
P3		5,66	EX	0,01	PMD	0,05	PMD	0,02	PMD
P5		5,56	EX	0,06	PMD	0,20	PMD	0,03	PMD
P6		5,66	EX	0,07	PMD	0,27	PMD	0,05	PMD

EX: Muito fortemente poluído; FEC: Forte a muito fortemente poluído; FP: Fortemente poluído; MFP: Moderadamente a fortemente poluído; MC: Moderadamente poluído; PMD: Pouco a moderadamente poluído

Na primavera ocorre variação em P3, que o classificou como forte a muito fortemente poluído (FEC), enquadrando-o na classe 5, e P5 como moderadamente poluído (MC) pertencendo a classe 2, os demais pontos indicaram muito fortemente poluído (EX).

O verão também apresentou variações em seus valores, onde P1 e P2 estão incluídos na classe 4, fortemente poluído, P3 e P5 apresentaram valores que os caracterizaram como moderadamente a fortemente poluído (classe 3), P6 indicou forte a muito fortemente poluído (classe 5) e P7 está na classe 6 que o definiu como muito fortemente poluído.

A aplicação do IGeo utilizando os índices globais de Turekian e Wedepohl (1961) obteve-se variações apenas no Cd, conforme a época e o ponto de amostragem, os demais elementos analisados Cr, Pb e Ni obtiveram valores que os indicam como pouco a moderadamente poluído (Tabela 36).

TABELA 36:
Valores do IGeo obtido a partir do nível da base natural de Turekian e Wedepohl (1961)

Estação	Pontos de Amostragem	Metais Pesados							
		Cd		Cr		Pb		Ni	
		Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação
I N V E R N O	P1	4,21	FEC	0,02	PMD	0,09	PMD	0,03	PMD
	P2	6,02	EX	0,02	PMD	0,10	PMD	0,03	PMD
	P3	5,89	EX	0,02	PMD	0,09	PMD	0,03	PMD
	P5	5,08	EX	0,02	PMD	0,08	PMD	0,03	PMD
	P6	5,28	EX	0,13	PMD	0,37	PMD	0,07	PMD
	P7	6,42	EX	0,12	PMD	0,29	PMD	0,07	PMD
	P R I M A V A	P1	6,22	EX	0,02	PMD	0,10	PMD	0,04
P2		6,56	EX	0,02	PMD	0,12	PMD	0,04	PMD
P3		3,21	FP	0,02	PMD	0,05	PMD	0,02	PMD
P5		0,94	PMD	0,02	PMD	0,06	PMD		PMD
P6		4,08	FEC	0,13	PMD	0,38	PMD		PMD
P7		4,42	FEC	0,19	PMD	0,42	PMD		PMD
V E R Ã O		P1	2,27	MFC	0,03	PMD	0,10	PMD	
	P2	2,41	MFC	0,03	PMD	0,18	PMD		PMD
	P3	1,74	MC	0,02	PMD	0,11	PMD		PMD
	P5	1,47	MC	0,02	PMD	0,09	PMD		PMD
	P6	3,14	FP	0,17	PMD	0,23	PMD		PMD
	P7	3,88	FP	0,24	PMD	0,63	PMD		PMD
	O U T O N O	P1	4,18	FEC	0,02	PMD	0,08	PMD	0,03
P2		4,08	FEC	0,01	PMD	0,07	PMD	0,02	PMD
P3		4,15	FEC	0,01	PMD	0,07	PMD	0,02	PMD
P5		4,08	FEC	0,06	PMD	0,24	PMD	0,04	PMD
P6		4,15	FEC	0,07	MC	0,33	PMD	0,06	PMD

EX: Muito fortemente poluído; FEC: Forte a muito fortemente poluído; FP: Fortemente poluído; MFP: Moderadamente a fortemente poluído; MC: Moderadamente poluído; PMD: Pouco a moderadamente poluído

No inverno obtiveram-se duas classes, sendo a classe 5, para P1, onde os sedimentos foram considerados forte a muito fortemente poluído e classe 6, para os demais pontos, que enquadraram-se como muito fortemente poluído. Para a primavera, devido às variações ocorrentes, os sedimentos enquadraram-se dentro de quatro classes distintas, sendo P1 e P2 classificados como muito fortemente poluído (classe 6), P3 apresentou valores que o define como fortemente poluído (classe 4), P5 indicou valor de pouco a moderadamente poluído (classe 1) e, já P6 e P7 ficaram numa faixa de forte a muito fortemente poluído (classe 5).

Para o verão verificou-se que ocorreram três tipos diferentes de intensidade de poluição, sendo P1 e P2 enquadrados como moderado a fortemente poluído (classe 3), P3 e P5 como moderadamente poluído (classe 2) e P6 e P7 apresentaram valores que os enquadraram como fortemente poluído (classe 4). No outono, observou-se apenas grau de poluição para todos os pontos, sendo este forte a muito fortemente poluído (classe 5).

A tabela 37 apresenta a estimativa do IGeo dos metais pesados do sedimento de fundo do arroio João Corrêa, segundo o nível de base natural proposto por Martin e Whitfield (1983).

TABELA 37:
Valores do IGeo obtido a partir do nível de base natural de Martin e Whitfield (1983)

Estação	Pontos de Amostragem	Metais Pesados							
		Cd		Cr		Pb		Ni	
		Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação	Valor	Classificação
I N V E R N O	P1	1,26	MC	0,02	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD
	P2	1,81	MC	0,02	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD
	P3	1,77	MC	0,02	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD
	P5	1,53	MC	0,02	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD
	P6	1,59	MC	0,12	PMD	0,07	PMD	0,04	PMD
	P7	1,93	MC	0,11	PMD	0,05	PMD	0,04	PMD
	P R I M A V A	P1	1,87	MC	0,02	PMD	0,02	PMD	0,02
P2		1,97	MC	0,02	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD
P3		0,96	PMD	0,02	PMD	0,01	PMD	0,01	PMD
P5		0,28	PMD	0,02	PMD	0,01	PMD		PMD
P6		1,22	MC	0,12	PMD	0,07	PMD		PMD
P7		1,32	MC	0,17	PMD	0,08	PMD		PMD
V E R Ã O		P1	0,68	PMD	0,03	PMD	0,02	PMD	
	P2	0,72	PMD	0,03	PMD	0,04	PMD		PMD
	P3	0,52	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD		PMD
	P5	0,44	PMD	0,02	PMD	0,02	PMD		PMD
	P6	0,94	PMD	0,15	PMD	0,04	PMD		PMD
	P7	1,16	MC	0,22	PMD	0,12	PMD		PMD
	O U T O N O	P1	1,24	MC	0,02	PMD	0,01	PMD	0,01
P2		1,22	MC	0,01	PMD	0,01	PMD	0,01	PMD
P3		1,24	MC	0,01	PMD	0,01	PMD	0,01	PMD
P5		1,22	MC	0,05	PMD	0,05	PMD	0,03	PMD
P6		1,24	MC	0,06	PMD	0,06	PMD	0,03	PMD

MC: Moderadamente poluído; PMD: Pouco a moderadamente poluído

Na qual se observou que para os metais Cr, Pb e Ni estão classificados como pouco a moderadamente poluído para todos os pontos de amostragem, e que as variações ocorreram apenas para o Cd. Para o inverno e o outono em todos os pontos de amostragem foram classificados como moderadamente poluído (classe 2). Na primavera, P1, P2, P6 e P7 indicaram moderadamente poluído (classe 2), P3 e P5 como pouco a moderadamente poluído

(classe 1). No verão a maioria dos pontos classificou-se como pouco a moderadamente poluído (classe 1), com exceção de P7 que se apresentou como moderadamente poluído (classe 2).

Observou-se que quando utilizado o *background* da área (Tabela 34) apresentaram-se apenas dois intervalos de variação 0,04 -1,97, assim como a tabela 37, ao utilizar os índices de base natural de Martin e Whitfield (1983) com variação de 0,01 – 1,97, enquanto que para os níveis de base natural segundo EPA (*apud* RODRIGUES, 1997) os intervalos variam de 0,01 – 8,97 (Tabela 35) e de acordo com os valores de Turekian e Wedepohl (1961) a variação nos intervalos é de 0,01 – 6,56 (Tabela 36).

6.8.3 Índice de carga metálica

A partir da matriz de dados podem-se avaliar as variáveis mais significativas na avaliação para o índice de carga metálica, onde os metais Fe, Mn, Ba, Cu, Cr, Pb, Cd, Zn e as variáveis pH e OD das amostragens realizadas nas diferentes estações foram consideradas as mais significativas, sendo estas correlacionadas numa matriz de *Pearson*, conforme tabela 38. Segundo Hair Junior *et al.*(1998), quanto maior o valor absoluto da carga fatorial, mais importante à carga na interpretação da matriz fatorial.

Considerando os níveis de significância para as variáveis mais correlacionáveis obtiveram-se nível de significância maior a 1% do que a 5%. Para significância de 1% constataram-se bons níveis para o chumbo, cromo, cádmio e o bário. Apenas o zinco e o oxigênio dissolvido apresentaram nível de significância a 5%, mas estes não foram considerados representativos.

TABELA 38:
Matriz de correlação de *Pearson* para obtenção do ICM

Matriz de <i>Pearson</i>										
	Fe	Mn	Ba	Cu	Cr	Pb	Cd	Zn	pH	OD
Fe	1									
Mn	0,331	1								
Ba	0,615**	-0,015	1							
Cu	0,523**	0,585**	0,425*	1						
Cr	0,175	-0,166	0,713**	0,07	1					
Pb	0,345	0,065	0,783**	0,537**	0,671**	1				
Cd	0,29	-0,083	0,488**	0,156	0,643**	0,596**	1			
Zn	0,122	-0,041	0,161	0,355	0,172	0,391*	0,231	1		
pH	0,328	0,215	0,499**	0,236	0,582**	0,466*	0,548**	0,025	1	
OD	-0,221	-0,381*	-0,048	-0,329	0,089	-0,056	-0,84	-0,156	0,77	1

OBS: Nível de significância: **1% *5%

A tabela 39 apresenta a matriz de comunalidade entre os metais presentes na água, onde o zinco com 82,3% demonstrou ter uma maior variância em relação às demais variáveis analisadas, a menor correlação compartilhada é exibida pelo oxigênio dissolvido, com 45,9% em correção com as demais variáveis.

TABELA 39:
Matriz de comunalidade

Variáveis	Comunalidade
Fe	0,584
Mn	0,785
Ba	0,779
Cu	0,794
Cr	0,816
Pb	0,815
Cd	0,618
Zn	0,823
pH	0,690
OD	0,459

Na correlação de cada variável com o fator obtiveram-se três valores considerados bons, estando estes acima em relação ao valor 1,0 do critério da raiz latente, valores menores inviabilizaram a inclusão, os quais foram obtidos a partir do fator três sendo estes descartados.

Os três valores retidos representaram uma significância de 71,63% da variância das dez variáveis (Tabela 40).

TABELA 40:
Resultados dos fatores comuns associados ao autovalor e variância

Fator	Autovalor	Variância (%)	Cumulativo de variância (%)	Autovalores usados
1	4,000	40,000	40,000	4,000
2	2,026	20,258	60,258	2,026
3	1,138	11,380	71,638	1,138
4	0,801	8,013	79,651	
5	0,727	7,265	86,916	
6	0,525	5,252	92,169	
7	0,353	3,532	95,701	
8	0,236	2,357	98,058	
9	0,137	1,369	99,427	
10	0,057	0,573	100,000	

A matriz de cargas fatorial rotacionada e não-rotacionada é apresentada na tabela 41, onde para as cargas rotacionada os eixos de referência dos fatores foram rotados em torno da origem até que alguma outra posição seja alcançada e para os não-rotacionados os fatores foram retirados de acordo com a ordem de importância.

TABELA 41:
Comparação entre cargas de fatores não-rotacionada e rotacionada

Variáveis	Não-rotacionada			Rotacionada		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 1	Fator 2	Fator 3
Fe	0,620	0,387	0,225	0,440	0,623	-0,049
Mn	0,204	0,791	0,344	-0,078	0,856	-0,212
Ba	0,869	-0,134	0,081	0,851	0,216	0,092
Cu	0,597	0,654	-0,103	0,262	0,800	0,292
Cr	0,744	-0,512	0,029	0,881	-0,184	0,078
Pb	0,875	-0,103	-0,198	0,801	0,198	0,367
Cd	0,718	-0,317	-0,043	0,769	-0,029	0,162
Zn	0,366	0,133	-0,822	0,157	0,097	0,888
pH	0,684	-0,177	0,438	0,756	0,170	-0,299
OD	-0,167	-0,623	0,206	0,131	-0,594	-0,298
Variância total (%)	40,00	20,25	11,38	36,15	22,73	12,74

A matriz não-rotacionados no fator 1 apresentou para o bário e o chumbo cargas muito alta, ambas na direção positiva, as variáveis cromo, cádmio, pH e ferro demonstraram cargas alta, já o cobre exibiu carga moderada, o manganês e o zinco apresentaram cargas baixa e sendo estas na direção positiva, apenas o oxigênio dissolvido apresentou carga muito baixa na direção negativa. No fator 2, a variável zinco apresentou carga muito baixa, na direção positiva, o bário, chumbo e o pH exibiram cargas muito baixa na direção negativa, o ferro apresentou carga baixa, na direção positiva, e o cádmio na direção negativa, a variável cromo na direção negativa, com uma carga moderada, o manganês e o cobre na direção positiva e o oxigênio dissolvido na direção negativa com carga alta. No fator 3, o zinco apresentou uma carga muito alta na direção negativa, o pH com uma carga moderada e positiva, o ferro e o manganês apresentam cargas baixa, na direção positiva, as demais variáveis apresentaram cargas muito baixa sendo estas positivas ou negativas.

O fator 1 da matriz de cargas fatoriais não-rotacionada explicou com 40%, o fator 2 com 20,25%, o fator 3 com 11,38% da variância total ocorridas, ocorreram diferenciação entre o fator 1 e 2 de 19,75%, entre o fator 1 e 3 de 28,62% e o fator 2 e 3 de 8,87%.

No primeiro fator da matriz rotacionada Varimax apenas a variável manganês apresentou carga negativa. Os valores das cargas muito baixa foram representados pelo manganês, zinco e oxigênio dissolvido, carga baixa foi representada pelo cobre, com carga moderada o ferro, já o cádmio apresentou cargas alta, sendo o bário, cromo e o chumbo representantes das cargas muito alta. No segundo fator, as variáveis manganês e cobre apresentaram-se com cargas muito alta, na direção positiva, o ferro com carga alta, o oxigênio dissolvido, com carga moderada, o bário apresentou carga moderada, na direção positiva, o cromo, cádmio na direção negativa, o bário, chumbo, zinco e o pH na direção positiva, com cargas muito baixa. No fator 3, apenas o zinco apresentou carga muito alta, na direção positiva, o chumbo com carga moderada, na direção positiva, as variáveis que apresentaram cargas baixa foram manganês, pH e OD, na direção negativa, o cobre na direção negativa, já o ferro na direção negativa, o bário, cromo e o cádmio na direção positiva com cargas muito baixa.

Para a variância total, o fator 1 explicou com 36,15%, o fator 2 com 22,73% e o fator 3 com 12,74% na significação de suas correlações. Na análise dos componentes os três fatores diferiram entre eles sendo, entre o fator 1 e 2 uma diferenciação de 13,42%, entre o fator 1 e 3 de 23,41% e entre o fator 2 e 3 de 9,99%.

Comparando os dados obtidos a partir das cargas fatoriais não-rotacionada e rotacionada observou-se que o fator 1 da matriz não-rotacionada apresentou as melhores informações para a interpretação ecológica da variabilidade, em função da carga metálica, onde a não-rotacionada apresentou uma variância total de 40%.

6.8.3.1 Fórmula e estimativa do ICM

Os coeficientes obtidos a partir da carga fatorial rotacionada resultaram na seguinte composição final para a aplicação do índice de carga metálica:

$$\text{ICM} = 0,154 \text{ Pb} + 0,153 \text{ Ba} + 0,131 \text{ Cr} + 0,126 \text{ Cd} + 0,120 \text{ pH} + 0,109 \text{ Fe} + 0,105 \text{ Cu} + 0,064 \text{ Zn} + 0,035 \text{ Mn} - 0,029 \text{ OD} \quad \dots(13)$$

Os resultados do ICM encontram-se na ordem de importância sendo chumbo, bário, cromo, cádmio, pH, ferro, cobre, zinco, manganês e oxigênio dissolvido. Após a obtenção dos

coeficientes estes foram aplicados a cada uma das amostragens realizadas para a MbaJC. Obtendo-se assim o índice de carga metálica apresentado na tabela 42.

TABELA 42:
Resultados do ICM para a MbaJC

Amostragem	Inverno	Primavera	Verão	Outono	ICM médio por ponto
P1	1,04639	1,07903	1,02575	1,04639	1,0494
P2	0,95712	1,81228	1,08648	1,56080	1,3542
P3	0,95085	1,31766	1,00079	2,28186	1,3878
P4	0,97030	1,26325	1,10234	2,26247	1,3996
P5	1,02505	1,62433	1,17076	2,99487	1,7038
P6	0,91821	0,93369	1,01361	2,17029	1,259
P7	0,95873	1,09231	1,01687	1,87162	1,2349
ICM médio	0,97523	1,30322	1,05951	2,02690	
ICM mínimo	0,91821	0,93369	1,00079	1,04639	
ICM máximo	1,04639	1,81228	1,17076	2,99487	

O ICM mínimo encontrado para a MbaJC foi encontrado no inverno com 0,91821, o máximo no outono com 2,99487. No inverno obteve-se um ICM médio de 0,97523, na primavera 1,30300, no verão de 1,05951 e para o outono de 2,02690. Observa-se que para todos os pontos amostrados ocorre a presença de metais na água, as variações que ocorrem permitiram enquadrar o ICM entre as faixas média e muito alta, pois estes variam de 0 a 1, de 1 a 2, e de 2 a 3 positivo.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As análises realizadas para as águas e sedimentos da Microbacia do arroio João Corrêa são de suma importância para compreender os processos de degradação ocorrentes neste ambiente e entender a contribuição no rio dos Sinos. A caracterização do sedimento de fundo quanto a sua granulometria permitiu determinar que a variação textural ocorreu em maiores teores nas frações finas. Sendo estes sedimentos, propícios a apresentarem altos teores de poluição, devido a maior facilidade de agregação existente nestas frações.

A aplicação dos diferentes tipos de Índices de Qualidade de Água - CETESB, NSF, COMITESINOS e FEAM, mostraram uma desigualdade quanto aos valores obtidos, porém todos enquadraram as águas do arroio João Corrêa nas classes mais baixas, ruim e muito ruim. Apesar das pequenas variações em seus métodos de enquadramento, há diferenças nos índices empregados, quanto as suas faixas, embora sejam utilizadas as variáveis mais significativas, estas são indicadoras das atuais condições da Microbacia do arroio João Corrêa.

O IQA do COMITESINOS foi o mais restritivo, a baixa qualidade da água encontrada com a utilização deste IQA está relacionada ao fato da MbaJC estar inserida dentro da área urbana, recebendo efluentes domésticos e industriais.

Utilizando a análise fatorial simplificou-se a utilização das variáveis naquelas que apresentaram valores significativos para a MbaJC, as quais com a determinação do IQA estatístico demonstrou a variação na qualidade da água permitindo acompanhar sua evolução ao longo da microbacia, o qual a enquadrou-a na faixa ruim para as diferentes estações de amostragens. Isto confirma o impacto negativo causado pela urbanização para a qualidade da água, o qual foi ratificado pela realização das análises para cada parâmetro, antes da aplicação da técnica estatística. A adoção do IQA estatístico demonstrou ser uma ferramenta importante na obtenção de indicadores específicos que mais afetaram a qualidade da água da MnaJC, os quais poderão ser monitorados ao longo do tempo.

A determinação de outros parâmetros, além dos utilizados para determinar o IQA é importante, pois podem indicar graus de poluição que não são determinados somente pelas variáveis utilizadas no cálculo do IQA. A partir dos resultados das variáveis físico-químico e microbiológicas para as águas da MbaJC foi possível diagnosticar a atual situação em que este arroio se encontra, o qual segundo os critérios do CONAMA (2005) enquadrasse na classe 4, pelo fato de diversos parâmetros como alumínio, bário, cádmio, cromo hexavalente, chumbo, manganês, zinco, bactérias heterotróficas estarem fora dos padrões referenciado. Pôde-se

determinar pelos altos índices da variável coliformes termotolerantes que este é um dos principais contribuintes para a atual situação da MbaJC, observando-se que mesmo as parcelas de resíduos que recebem tratamento pela ETE apresentaram índices elevados. O enquadramento na classe 4 determina que as águas da MbaJC podem ser utilizadas somente para a harmonia paisagística.

Na aplicação do índice de estado trófico obteve-se duas indicações de classes 3 (eutrófico) e 4 (hipereutrófico), os quais indicam que o sistema hídrico está sendo afetado por atividades antrópicas, ocorrendo alterações indesejáveis na qualidade da água.

As análises de metais no sedimento de fundo e na água revelaram que são consideráveis as variações das concentrações destes elementos. A partir dos resultados de metais pesados na água do arroio João Corrêa e considerando-se o limite da Resolução do CONAMA Nº 357/05, observou-se que houve, freqüentemente, superação dos níveis estabelecidos para bário, cádmio e chumbo, sendo forte indicativo das atividades antrópicas na microbacia, estes níveis de concentrações podem prejudicar a vida aquática. O arroio funciona como transportador de íons para o rio dos Sinos.

Os índices de poluição empregado para o sedimento de fundo ao longo da MbaJC demonstraram que, para o fator de contaminação prevalecem apenas duas classes, as quais indicam baixa e moderada contaminação para os metais Cr, Ni e Pb, a variação ocorrente é determinada pela estação em que foi realizada a amostragem. O Cd foi o único metal que apresentou uma contaminação considerável para as amostragens realizadas após a liberação de efluentes. O cálculo do índice de geoacumulação, visando avaliar a intensidade de contaminação por metais pesados revelou que ocorre variações quanto a classificação, estando incluído desde a classe 1 (pouco a moderadamente poluído) até a classe 6 (muito fortemente poluído), estas classificações são decorrentes do nível de base natural que foi utilizado, sendo as concentrações de Cd o maior responsável. Os sedimentos de fundo mostraram-se importante compartimento acumulador de cádmio.

Finalmente há de se considerar que a falta de qualidade da água pode ser atribuída as atividades antrópicas na MbaJC, apresentando esta uma alta concentração demográfica, ausência de saneamento básico, falta de infra-estrutura em alguns pontos da microbacia e de uma maior eficiência na fiscalização por parte dos órgãos ambientais.

Recomenda-se o monitoramento junto às indústrias instaladas ao longo da microbacia, objetivando a manutenção da qualidade dos efluentes industriais finais dentro dos padrões de lançamento da legislação vigente, assim como o controle da vazão destes efluentes. Também

se faz necessário um estudo mais detalhado para a liberação dos resíduos da ETE principalmente os metais pesados Cu, Pb e Mn.

Para fins de planejamento de ações para a MbaJC que visem a melhoria da qualidade da água, o Índice de Qualidade de Água – IQA estatístico se apresenta como o indicador que melhor retrata as atuais condições do arroio, por fazer uso das variáveis que representam a qualidade ambiental deste sistema.

Desenvolvimento de campanhas de educação ambiental, conscientizando a população dos impactos negativos ao meio ambiente decorrente do lançamento de resíduos sólidos e líquidos na Microbacia do arroio João Corrêa.

Elaboração de um plano de gestão e manejo da MbaJC, envolvendo um programa de despoluição do arroio e recuperação da mata ciliar.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9898: Coleta e Preservação de Amostras*. Rio de Janeiro, Brasil. 1987.

AGUILAR, Mônica Regina M. P. de; NOVAES, Amanda Cardoso; GUARINO, Alcides Wagner Serpa. Remoção de Metais Pesados de Efluentes Industriais por Aluminossilicatos. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, n. 6B, p.1145-1154, 2002.

APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 1160 p.

_____. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20. ed. Washington: American Public Health Association, 1998. 1162p.

ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological profile for lead*. Atlanta: ATSDR, 1993. 307p.

_____. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. *Toxicological profile for cadmium*. Atlanta: ATSDR, 1997. 347p.

BAIRD, Colin (Eds.) *Química Ambiental*. Tradução de Maria Angeles Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carera. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622p.

BATALHA, Bem-Hur Luttembarck; PARLATORE, Antonio Carlos. *Controle da Qualidade da Água para Consumo Humano – Bases Conceituais e Operacionais*. São Paulo: CETESB, 1977. 198p.

BENDATI, Maria Mercedes *et al.* Avaliação da qualidade da água do Lago Guaíba: subsídios para a gestão da bacia hidrográfica. *Revista Ecos Pesquisa*, Porto Alegre: DMAE, n.7, 2003, 30p.

BILICH, Marina Rolim; LACERDA, Marilusa Pinto Coelho. Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Goiânia, p. 2059-2065, abril/2005.

BISQUERRA, Rafael; SARRIERA, Jorge Castellá; MARTÍNEZ, Francesc. Introdução à Estatística: enfoque informático com o pacote estatístico SPSS. Porto Alegre: Artmed, 2004. 255p.

BOLLMANN, Harry Alberto; MARQUES, Davis da Motta. Bases para a Estruturação de Indicadores de Qualidade de Águas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre: ABRH, v.5, n. 1, p. 37-60, 2000.

BONSOI, Zilda Maria Ferrão; TORRES, Solange Domingo Alencar. A política de Recursos hídricos no Brasil. *Revista do BNDES*, v.4, n.8, p. 143-166, 1997. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/revista/rev806.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2007.

BRAGA, Benedito et al. *Introdução à Engenharia Ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRANCO, Samuel Murgel (Eds.) *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*. 2.ed. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 620p.

BRANCO, Samuel Murgel. A Água e o Homem. In: PORTO, Rubem La Laina (Org) *Hidrologia Ambiental*. São Paulo: ABRH, 1991. p. 3-26

BRASIL. Decreto N° 24.643, de 10 de julho de 1934. *Código de Águas*. Rio de Janeiro, 1934.

_____. Ministério do Exército – Departamento de Engenharia e Comunicações. São Leopoldo 1:50.000 Folha SH.22-V-D-VI-4 MI-2970/4. 2ª ed. 1980.

_____. Lei N° 9.433, de 8 de janeiro de 1997. *Política Nacional dos Recursos Hídricos*. Brasília, 1997.

_____. Ministério da Saúde. Portaria N° 518, de 25 de março de 2004. *Normas e Padrões de Potabilidade da Água Destinada ao Consumo Humano*. Brasília, 2004. 15p.

BROWN, Robert M.; McCLELLAND, Nina I.; DEININGER, Rolf A.; TOZER, Ronald G. A Water Quality Index –Do We Dare? *Water Sewage Works*, p. 339-343, 1970.

CARLSON, Robert E. A Trophic State Index for Lakes. *Limnological Research Center*, University of Minnesota, Minneapolis, v. 22, n. 2, p. 361-369, mar. 1977.

CARLSON, Robert E.; SIMPSON, J. A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Management Society. *DipIn@kent.edu*, Kent, 96p. 1996. Disponível em: <<http://dipin.kent.edu/tsi.htm>>. Acesso em: 25 abr. 2007.

CARMO, Mariléia Silva do; BOAVENTURA, Geraldo Resende; OLIVEIRA, Edivan C. Geoquímica das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto, Brasília/DF-Brasil. *Química Nova*, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 565-574, 2005.

CASARTELLI, Maria Regina de Oliveira. *Estudo do Fluxo de Metais Pesados na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos – RS*. 1999. 167 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 1999.

CASTRO, Joel Carneiro et al. *Coluna White: Estratigrafia da Bacia do Paraná no Sul do Estado de SC – Brasil*. Florianópolis: Secretaria do Estado de Tecnologia, Energia e Meio Ambiente, 1994. v.1. 67p.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Variáveis de Qualidade das Águas*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp>>. Acesso em: 23 mai. 2006a.

_____. *Índice de Qualidade da Água*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/água/rios/índice_iap_iga.asp>. Acesso em: 28 ago. 2006b.

_____. *Índice Estado Trófico*. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iva_iet.asp>. Acesso em: 20 nov. 2006c.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Edgard Blücher. 1981.

CHEVALLIER, Pierre. Aquisição e Processamento de dados. In: TUCCI, Carlos E. M. (Org) *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: EDUSP, 1993. p. 485 - 525

COMITESINOS. Comitê de Preservação, Gerenciamento e Pesquisa da Bacia do Rio dos Sinos. Aplicação de um índice de qualidade de água no rio dos Sinos. Programa integrado de monitoramento da qualidade da água do rio dos Sinos e seus afluentes. Relatório Técnico. Porto Alegre. 1990. 33p.

_____. Comitê de Preservação, Gerenciamento e Pesquisa da Bacia do Rio dos Sinos. *Aplicação de um índice de qualidade da água do rio dos Sinos – período de novembro de 1989 a outubro de 1991*. Programa integrado de monitoramento da qualidade da água do rio dos Sinos e seus afluentes (Corsan, Fepam, Dmae, Metroplan e Comitesinos). Porto Alegre. 1993. 38p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução N° 20, de 17 de março de 1986*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 1986.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução N° 357, de 17 de março de 2005*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. 23p.

CONSEMA. Conselho Estadual do Meio Ambiente. *Resolução CONSEMA N° 128/2006*. Porto Alegre: Estado do Rio Grande do Sul: Secretaria do Meio Ambiente, 2006. 9p.

COTTA, Jussara Aparecida Oliveira; REZENDE, Maria Olímpia O. Rezende; PIOVANI, Mônica R. Avaliação do Teor de Metais em Sedimentos do Rio Betari no Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – PETAR, São Paulo, Brasil. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 40-45, 2006.

DATASinos. Sistema de Informação e Análise Sócio-Econômico-Ambiental para o COREDE Vale do Rio dos Sinos. 2006. Disponível em : <<http://datasinos.unisinos.br>> Acesso em: dez. 2006.

DEFESA CIVIL. *Dados Pluviométricos*. Disponível em: <http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro_consulta.asp>. Acesso em: 13 jun. 2007.

DERISIO, José Carlos. *Introdução ao Controle de Poluição Ambiental*. 2.ed. São Paulo: Signus, 2000. 164p.

DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Ângela Di Bernardo. *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. São Carlos: Rima, 2005. 792p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. – Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.

EMBRATEL. Empresa Brasileira de Telecomunicações. *Guia de Águas*. Divisão de Benefícios.- Medicina do Trabalho. 1983. 49p.

EPA. *Environmental Protection Agency*. Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants; Microwave Digestion; Final Rule. Part III, 40 CFR Part 136, 1992.

_____. *Environmental Protection Agency*. Disponível em: <<http://www.epa.gov/owow/monitoring/vol.html>>. Acesso em: 04 set. 2006.

ERTEL, John R. *et al.* Dissolved humic substances of the Amazon river system. *Limnology and Oceanography*, Washington, v. 31, n. 4, p. 739-754, 1986.

ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. *Lei Nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994*. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 1994.12p.

ESTEVES, Francisco de Assis (Eds). *Fundamentos de Limnologia*. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência. 1998. 602p.

FACCINI, Ubiratan Ferrucio; GIARDIN, Arnoldo; MACHADO, José Luiz Flores. 2003. Heterogeneidades Litofaciológicas e Hidroestratigrafia do Sistema Aquífero Guarani na Região Central do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *In: PAIM, Paulo Sérgio Gomes; FACCINI, Ubiratan Ferrucio; NETTO, Renata Guimarães (Edit.) Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares – Estudo de casos*. São Leopoldo: UNISINOS, 2003. p. 145-173

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. *Sistema de Cálculo da Qualidade da Água: Estabelecimento das Equações do Índice de Qualidade das Águas*. Relatório I, Minas Gerais. 2005. 16p.

FEE. *Fundação de Economia e Estatística*. Disponível em: <[http://www.fee.com.br./>](http://www.fee.com.br/) Acessado em: 11 mai. 2006

FEPAM. Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler. Qualidade das Águas do Rio dos Sinos. Departamento de Qualidade Ambiental – Divisão de Planejamento e Diagnóstico – Monitoramento da Qualidade da Água. Relatório interno, 1999. 49p.

_____. *Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler*. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br./>> Acesso em: 30 mar. 2006.

FÖRSTNER, Ulrich; WITTMANN, Gottfried.T.W. *Metal Pollution in the aquatic environment*. 2.ed. Berlin: Springer-Verlag, 1981. 486p.

FRANZEN, Melissa. *Análise da Contaminação por Nutrientes, Elementos Maiores e Elementos Traços nas Águas e Sedimentos do Arroio Sapucaia – RS*. 2001. 92 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, 2001.

GASTALDINI, Maria Carmo Cauduro; MENDONÇA, Antonio Sérgio F. Conceitos para a avaliação da qualidade da água. *In: PAIVA, João Batista Dias de; PAIVA, Eloiza Maria*

Cauduro Dias de (org.) *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 429-451

GARCÍAS, Carlos Mello. Indicadores da Qualidade Ambiental. In: MAIA, Nilson Borlina; MARTOS, Henry Lesjak; BARRELLA, Walter (Org.). *Indicadores Ambientais: conceitos e aplicações*. São Paulo: EDUC/COMPED/INEP, 2001. p. 275-285.

GOOGLE EARTH. *A 3D interface to the planet*. Disponível em: <<http://www.earth.google.com>> Acesso em: 29 ago. 2006.

HAASE, Janine; POSSOLI, Silvio. Estudo da Utilização da Técnica de Análise Fatorial na Elaboração de um Índice de Qualidade de Água: Comparação entre dois Regimes Hidrológicos Diferente-RS. *Acta Limnológica Brasiliense*, Botucatu, v. 6, p. 245-255, 1993.

HAKANSON, Lars. An Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*. v. 14, p. 975-1001, 1980.

HAIR JUNIOR, Joseph F. *et al.* *Multivariate data analysis*. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1998. 742p.

HANSEN, Marco Antonio Fontoura; LANNA, Antonio Eduardo Leão. Zonas e zoneamento ecológico-econômico na gestão de recursos hídricos. In: *PROGRAMA ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO: Diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico-econômico do Brasil*. Brasília: MMA/Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável, 2001. 1 Cd-Rom.

HORTON, R. K. An index-number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v. 37, n.3, p. 300-306. 1965.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento dos recursos naturais. Rio de Janeiro: Projeto RADAMBRASIL, v.33. 1986. 796p.

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Disponível em: <<http://www.mapas.ibge.gov.br/biomas2/Run.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2007.

IORIS, Antônio Augusto Rossotto. Passado e presente da Política de Gestão de recursos Hídricos no Brasil. *Finisterra*, XLI, 82, p. 87-99, 2006.

JESUS, Honório Coutinho et al. Distribuição de Metais Pesados em Sedimentos do Sistema Estuarino da Ilha de Vitória-ES. *Química Nova*, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 378-386, 2004.

JUNIOR, Germano Melo; COSTA, Carlos Eduardo Fernandes Souza; NETO, Izaac Cabral. Avaliação Hidroquímica e da Qualidade das Águas de um Trecho do Rio Açu, Rio Grande do Norte. *Revista de Geologia*, Fortaleza, v. 16, n.2, p. 27-36, 2003.

KLEEREKOPER, Herman. *Introdução ao Estudo da Limnologia*. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS. 1990. 329p.

- KÖRDEL, Werner *et al.* The importance of natural organic material for environmental processes in waters and soils. *Pure and Applied Chemistry*, Great Britain, v. 69, n. 7, p. 1571-1600, 1997.
- LANDWEHR, Jurate M.; DEININGER, Rolf A. A Comparison of Several Water Quality Indices. *J. Water Poll. Control Fed*, v. 48, n.5, p. 954-958, 1976.
- LIBÂNIO, Marcelo. *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*. São Paulo: Átomo. 2005. 444p.
- LEIPNITZ, Itamar Ivo; AGUIAR, Eduardo da Silva. Foraminíferos recentes e fósseis. *In: DUTRA, Tânia Lindner. Técnicas e Procedimentos de Trabalho com Fósseis e formas modernas comparativas*. São Leopoldo: UNISINOS, 2002. p. 8-10
- LEIPNITZ, Itamar Ivo *et al.* Métodos para o trabalho com microfósseis e formas atuais. *In: TIMM; Lílian de L.; CADEMARTON, Cristina Vargas (Org) Métodos de Estudo em Biologia*. Canoas: Salles, 2005. p. 49-58
- MACHADO, Lucy Marion C.Philaldelpho. Qualidade Ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. *In: MARTOS, Henry Lesjak; MAIA, Nilson Borlina (Eds) Indicadores Ambientais*. Indicadores Ambientais Divisão de Sistemas e Documento Ação. Sorocaba: Bandeirantes, 1997. p.15-21.
- MAGALHÃES JUNIOR, Antônio Pereira. *Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688p.
- MAGOSSI, Luiz Roberto; BONACELLA, Paulo Henrique. *Poluição das Águas*. São Paulo: Moderna, 2003. 71p.
- MAKHAMRA, Souad da Rosa Rabay. *Estudo da Qualidade das Águas do Arroio Pampa – NH – RS: Uma Avaliação Sistêmica de Impactos Urbanos no Ambiente Fluvial*. 2004.138 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 2004.
- MANAHAN, Stanley E. (Eds) *Fundamentals of Environmental Chemistry*. Lewis: Boca Raton, 1993. 844p.
- MARTIN, J.M.; MEYBECK, M. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. *Marine Chemistry*, v. 7, p 173-206, 1979.
- MARTIN, Jean Marie; WHITFIELD, Michael. The significance of the river input of chemical elements to the ocean. *In: Wong, C.S., Boyler, E., Bruland, K.W., Burdon, J.D. and Goldberg, (Eds.). Trace Metals in Sea Water*. New York: Plenum Press, 1983. p. 265–296
- MINELLA, Jean Paolo Gomes; MERTEN, Gustavo Henrique. Aplicação das Características Químicas e Físicas dos sedimentos na Modelagem dos Processos de Emissão de Sedimentos em bacias Hidrográficas. *In: MERTEN, Gustavo; POLETO, Cristiano (Org). Qualidade dos Sedimentos*. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 343-383

MOREIRA, Ricardo Cosme Arraes; BONVENTURA, Geraldo Resende. Referência Geoquímica regional para a Interpretação das concentrações de Elementos Químicos nos Sedimentos da Bacia do lago Paranoá – DF. *Química Nova*, São Paulo, v. 26, n. 6, p. 812-820, 2003.

MÜLLER, Jackson. Água, patrimônio de todos! In: CARVALHO, Túlio A. de Amorim (Ed). *Manual do Agente Prevencionista*. Porto Alegre: Kraskin, 2005. p. 47-65

MÜLLER, German. *Schwermetallen in den Sedimenten dês Rheins*. Veranderrugen seit, Umschau, v. 79, p. 778-783, 1979.

OTT, Wayne R. *Environmental Indices: Theory and Practice*. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, 1978. 371p.

PÁDUA, Helcias Bernardo de. Variáveis físicas, químicas e biológicas para caracterização das águas em sistemas abertos. In: MARTOS, Henry Lesjak; MAIA, Nilson Borlina (Coord.) *Indicadores Ambientais*. Indicadores Ambientais Divisão de Sistemas e Documento Ação. Sorocaba: Bandeirantes, 1997. p. 89-98

PAULA, Cezar de Castro. *Caracterização Ambiental da Bacia de drenagem do Rio dos Sinos*. 1995. 138 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS, São Leopoldo, 1995.

PEREIRA, Daniel. *Aplicação de índices ambientais para a avaliação da sub-bacia do arroio Maratá, bacia do rio Caí (RS, Brasil)*. 2002. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

PEREIRA, Luís Alberto Martins; RODRIGUES, Maria Armanda Reis. *Estudo sobre a aplicabilidade do índice do estudo trófico de Carlson (1977) na região de Lisboa e Vale do Tejo*. Lisboa: CCDR-LVT, 2006.17p.

PNMA II. *Projeto do Estado de Pernambuco no Subcompomente Monitoramento da Qualidade da Água*. Seleção de Índices e Indicadores de Qualidade da Água Aplicação dos Índices Seleccionados. Disponível em: < <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume2.pdf>>. Acesso: 16 mai. 2007.

PRADO, Rachel Bardy; NOVO, Evlyn Márcia Leão de M. Análise Espaço-Temporal da Relação do Estado Trófico do Reservatório de Barra Bonita (SP) como o Potencial Poluidor da Bacia Hidrográfica. *INPE e Print*, São Paulo, v.1, p. 1-10. 2006. Disponível em: < <http://eprint.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/ePrint%4080/2006/03.27.18.58/doc/v1.pdf>>. Acesso: 20 jan. 2007.

POLETO, Cristiano; GONÇALVES, Gilberto Rodrigues. Qualidade das amostras e valores de referência. In: MERTEN, Gustavo; POLETO, Cristiano (Org). *Qualidade dos Sedimentos*. Porto Alegre: ABRH, 2006. p. 237-277

PORTO, Mônica F.A. Estabelecimento de Parâmetros de Controle da Poluição. In: PORTO, Rubem La Laina (Ed). *Hidrologia Ambiental*. São Paulo. ABRH, 1991. p. 375-390

PORTO, Mônica F.A.; BRANCO, Samuel Murgel; LUCA, Sérgio de J. Caracterização da Qualidade da Água. *In: PORTO, Rubem La Laina (Ed) Hidrologia Ambiental*. São Paulo: ABRH, 1991. p. 27-66

ROBAINA, Luís Eduardo de S.; PEREIRA, João E. da Silva; FORMOSO, Milton Luis L. Caracterização da Rede de Drenagem e Avaliação das Condições Sanitárias das Águas do Rio dos Sinos, no Trecho Entre os Municípios de Novo Hamburgo e São Leopoldo-RS. *Geosul*, Florianópolis, v. 15, n. 30, p. 131-149, 2000.

RODRIGUES, Maria Lúcia Kolowski. *Diagnóstico da Poluição por Elementos-Traço no Sedimento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí (RS)*. 1997. 100f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

ROBAINA, Luis Eduardo de S.; FORMOSO, Milton Luis L.; PIRES, Carlos Alberto da F. Metais Pesados nos Sedimentos de Corrente, como Indicadores de Risco Ambiental – Vale do Rio dos Sinos, RS. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v. 23(2), p. 35-47, 2002.

RONCHI, Luiz Henrique; BAECKER, Carlos Augusto; MARTINS, Josiane. Avaliação do Estado da Qualidade das Águas e da Contaminação dos Sedimentos Recentes do arroio João Dias Após o Encerramento das Atividades das Minas do Camaquã-RS. *In: RONCHI, Luiz Henrique; LOBATO, Anderson Orestes Cavalcante (Eds.) Minas do Camaquã Um Estudo Multidisciplinar*. São Leopoldo: Unisinos, 2000. p. 241-259

RONCHI, Luiz Henrique et al. Avaliação Geoquímica da Qualidade das Águas e Contaminação por Metais Pesados dos Sedimentos no Arroio Peão, São Leopoldo e Novo Hamburgo, RS. *In: RONCHI, Luiz Henrique; COELHO, Osmar Gustavo Wöhl (Eds.) Tecnologia, diagnóstico e planejamento ambiental*. São Leopoldo: Unisinos, 2003. p. 19-59

SANTOS, Irani *et al.* *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: LACTEC, 2001. 375p.

SÃO LEOPOLDO. Departamento de Estudos e Projetos de São Leopoldo - SEMPLA. 1995.

SILVA, F.F. *et al.* Estudo da Qualidade da Água com os Índices IQA, Norton, Mcduffie, Prati e Dinius no Rio Paraíba/PE-AL. *In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS*, n.18, 1999, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SNRH, p. 24-31, 1999.

SILVA, Alexandre Marco da; SCHULZ, Harry Edmar; CAMARGO, Plínio Barbosa de. *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacia Hidrográficas*. São Carlos: Rima, 2003. 140p.

SINGH, Munendra *et al.* Heavy Metals in Freshly Deposited Sediments of the Gomti River (A Tributary on the Ganga River): Effects of Human Activities'. *Environmental Geology*, Berlin, v. 29, p. 246-252, 1997.

SINGH, Munendra; MÜLLER, German; SINGH, I.B. Heavy Metals in Freshly Deposited Stream Sediments of Rivers Associated With Urbanisation of the Ganga Plain, Índia. *Water, Air, and Soil Pollution*, Berlin, v. 141, p. 35-54. 2002.

SINGH, Kunwar P. *et al.* Studies on Distribution and Fractionation of Heavy Metals in Gomti River Sediments – a Tributary of the Ganges, India. *Journal of Hydrology*, v. 312, p. 14-27. 2005.

SMITH, D.G. A new form of water quality index for rivers and streams. *Water Science & Technology*, New Zealand, v.21, p. 123-127. 1989.

SOARES, Maria Cristina Cerveira *et al.* Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS – Brasil. *Revista Pesquisa em Geociências*, Porto Alegre, v. 31, n. 1, p. 39-50, 2004.

STRIEDER, Milton Norberto *et al.* Avaliação dos Efeitos de Fontes de Poluição Pontual Sobre os Macroinvertebrados Bentônicos no Arroio Peão, RS. *In: RONCHI, Luiz Henrique; COELHO, Osmar Gustavo Wöhl (Eds.). Tecnologia, diagnóstico e planejamento ambiental.* São Leopoldo: Unisinos, 2003. p. 61-76

SUGUIO, Kenitiro. *Introdução à Sedimentologia.* São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 317p.

TRAVASSOS, Marcelo Poças. *Gestão em Poluição Ambiental: Caso de poluição por metais pesados no rio Caí-RS.* 1994. 204 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1995.

TEIXEIRA, Mario Buede (Org.). *Plano Ambiental de São Leopoldo: patrimônio natural e cultural e atividades sócio econômicas.* v. 2. Porto Alegre: MCT, 2002. 174p.

TOLEDO, A; TALARICO, M; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E.G. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 12, Camburiú, Anais p.1-34, 1983.*

TOLEDO, Luís Gonzaga; NICOLELLA, Gilberto. Índice de Qualidade de Água em Microbacia Sob Uso Agrícola e Urbano. *Scientia Agrícola*, São Paulo, v. 59, n. 1, p. 181-186, 2002.

TUREKIAN, K.K.; WEDEPOHL, K.H. Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust'. *Geological Society of America Bulletin*, v. 72, p. 175-192, 1961.

UNIAGUA. *Universidade da Água.* Disponível em: <<http://www.uniagua.gov.br/>> Acesso em: 30 mai. 2006.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. Part 136. 40 CFR, 1992.

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.* 3 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG. v. 1, 2005. 243 p.

WENTWORTH, Chester K. A scale grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, New York, v. 30, p. 377 – 392, 1922.

WHO. World Health Organization. *Chromium.* Geneva. 1988. Disponível em: <http://www.euro.who.int/document/aicq/6_4chromium.pdf> Acesso em: 20 ago. 2007

_____. World Health Organization. *Cadmium.* Geneva, 1992. Disponível em: <http://www.euro.who.int/document/aicq/6_3cadmium.pdf> Acesso em: 20 ago. 2007.

_____. WHO. World Health Organization. *Lead*. Geneva, 1995. Disponível em: <http://www.euro.who.int/document/a/q/6_7lead.pdf> Acesso em: 20 ago. 2007.

YABE, Maria Josefa Santos; OLIVEIRA, Elisabeth de. Metais Pesados em Águas como Estratégia de Caracterização de Bacias Hidrográficas. *Química Nova*, São Paulo, v. 21, n. 5, p.551-556, 1998.

YOUNG, Márcia C. Frickmann; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. *Aspectos Jurídicos do Uso de Instrumentos Econômicos na Gestão Ambiental: a nova política de recursos hídricos no Brasil*. Disponível em: <<http://www.ie.ufrj.br/gema/pdfs/ARCHE.pdf>> Acesso em: 30 mai. 2007.

ZELTZER, Flora; PAULA, Cezar de Castro; NOWATZKI, Carlos Henrique. Mapa Geológico de São Leopoldo – RS. *ACTA GEOLÓGICA LEOPOLDENSIA* Série Mapas. São Leopoldo: UNISINOS, 1992. p. 3-14

APÊNDICE A - Padrões dos corpos de água doce, conforme a Resolução do CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005, Ministério do Meio Ambiente

Parâmetro	Unidade	Padrão do corpo de água			
		Classe 1	Classe 2	Classe 3	Lançamento de efluentes
Alumínio dissolvido	mg L ⁻¹	0,1	0,1	0,2	-
Bário total	mg L ⁻¹	0,7	0,7	1,0	5,0
Cádmio total	mg L ⁻¹	0,001	0,001	0,010	0,2
Chumbo total	mg L ⁻¹	0,010	0,010	0,033	0,5
Cloreto total	mg L ⁻¹	250	250	250	-
Clorofila	µg L ⁻¹	10	30	60	-
Cobre dissolvido	mg L ⁻¹	0,009	0,009	0,013	1,0
Coliformes termotolerantes	NMP	200	1.000	Depende do uso	-
Cor	mg Pt L ⁻¹	natural	75	75	-
Cromo	mg L ⁻¹	0,05	0,05	0,05	0,5
DBO ₅	mg L ⁻¹	3	5	10	-
Ferro dissolvido	mg L ⁻¹	0,3	0,3	5,0	15,0
Fósforo total	mg L ⁻¹	0,10	0,10	0,15	-
Manganês	mg L ⁻¹	0,1	0,1	0,5	1,0
Nitrato	mg L ⁻¹	10	10	10	-
Nítrito	mg L ⁻¹	1,0	1,0	1,0	-
Nitrogênio amoniacal	mg L ⁻¹	3,7	3,7	13,3	20,0
Oxigênio Dissolvido	mg L ⁻¹	= 6	= 5	= 4	-
pH	-	6 a 9	6 a 9	6 a 9	5 a 9
STD	mg L ⁻¹	500	500	500	-
Sulfato	mg L ⁻¹	250	250	250	-
Temperatura	°C	-	-	-	40
Turbidez	UNT	40	100	100	-
Zinco total	mg L ⁻¹	0,18	0,18	5,00	5,0

Fonte: Adaptado da Resolução do CONAMA N° 357/05

APÊNDICE B – Dados da precipitação do ano hidrológico para a MbaJC, de junho a agosto de 2006

Dados Pluviométricos - 2006					
Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
01.06.06	0	01.07.06	0	01.08.06	0
02.06.06	0	02.07.06	0	02.08.06	0
03.06.06	0	03.07.06	0	03.08.06	0
04.06.06	2	04.07.06	0	04.08.06	0
05.06.06	0	05.07.06	0	05.08.06	0
06.06.06	0	06.07.06	0	06.08.06	17,5
07.06.06	0	07.07.06	0	07.08.06	0
08.06.06	0	08.07.06	0	08.08.06	0
09.06.06	0	09.07.06	10,0	09.08.06	0
10.06.06	0,0	10.07.06	0	10.08.06	30,0
11.06.06	20,2	11.07.06	0	11.08.06	0
12.06.06	20,1	12.07.06	0	12.08.06	0
13.06.06	0	13.07.06	0	13.08.06	0
14.06.06	0	14.07.06	0	14.08.06	0
15.06.06	0	15.07.06	0	15.08.06	0
16.06.06	0	16.07.06	1	16.08.06	0
17.06.06	0	17.07.06	0	17.08.06	0
18.06.06	0,0	18.07.06	0	18.08.06	8,0
19.06.06	0,0	19.07.06	0	19.08.06	3,0
20.06.06	0	20.07.06	0	20.08.06	0
21.06.06	12	21.07.06	0	21.08.06	0
22.06.06	30,2	22.07.06	0	22.08.06	0
23.06.06	0	23.07.06	0	23.08.06	0
24.06.06	0	24.07.06	0	24.08.06	0
25.06.06	0	25.07.06	0	25.08.06	0
26.06.06	16	26.07.06	27,5	26.08.06	0
27.06.06	0	27.07.06	25,0	27.08.06	0
28.06.06	0	28.07.06	17	28.08.06	0
29.06.06	0	29.07.06	0	29.08.06	0
30.06.06	0	30.07.06	0	30.08.06	0
-	-	31.07.06	-	31.08.06	5,0
Total	100,5		80,5		63,5

Fonte: Defesa civil, RS (2007)

Dados de precipitação do ano hidrológico para MbaJC, setembro a novembro de 2006

Dados Pluviométricos - 2006					
Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
01.09.06	0	01.10.06	0	01.11.06	0
02.09.06	1,5	02.10.06	0	02.11.06	0
03.09.06	0	03.10.06	0	03.11.06	0
04.09.06	0	04.10.06	0	04.11.06	0
05.09.06	1,2	05.10.06	0	05.11.06	0
06.09.06	0	06.10.06	0	06.11.06	50,0
07.09.06	0	07.10.06	0	07.11.06	0
08.09.06	0	08.10.06	0	08.11.06	0
09.09.06	40,0	09.10.06	0	09.11.06	0
10.09.06	0	10.10.06	0	10.11.06	0
11.09.06	0	11.10.06	40,0	11.11.06	0
12.09.06	0	12.10.06	1,0	12.11.06	0
13.09.06	0	13.10.06	0	13.11.06	0
14.09.06	0	14.10.06	0	14.11.06	0
15.09.06	25,0	15.10.06	0	15.11.06	0
16.09.06	0	16.10.06	0	16.11.06	0
17.09.06	0	17.10.06	0	17.11.06	0
18.09.06	0	18.10.06	0	18.11.06	0
19.09.06	0	19.10.06	0	19.11.06	10,0
20.09.06	0	20.10.06	0	20.11.06	0
21.09.06	10,0	21.10.06	0	21.11.06	0
22.09.06	0	22.10.06	0	22.11.06	0
23.09.06	0	23.10.06	0	23.11.06	0
24.09.06	0	24.10.06	0	24.11.06	0
25.09.06	0	25.10.06	0	25.11.06	32,5
26.09.06	0	26.10.06	2,5	26.11.06	2
27.09.06	0	27.10.06	0	27.11.06	0
28.09.06	0	28.10.06	0	28.11.06	0
29.09.06	0	29.10.06	0	29.11.06	0
30.09.06	0	30.10.06	1,0	30.11.06	0
-	-	31.10.06	0	-	-
Total	77,7		44,5		34,5

Fonte: Defesa civil, RS (2007).

Dados de precipitação do ano hidrológico para MbaJC, dezembro de 2006 a fevereiro de 2007

Dados Pluviométricos -2006 e 2007					
Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
01.12.06	0	01.01.07	0	01.02.07	0
02.12.06	0	02.01.07	0	02.02.07	0
03.12.06	0	03.01.07	0	03.02.07	0
04.12.06	0	04.01.07	1	04.02.07	0
05.12.06	0	05.01.07	3	05.02.07	0
06.12.06	0	06.01.07	0	06.02.07	35,0
07.12.06	2,0	07.01.07	0	07.02.07	1,0
08.12.06	0	08.01.07	0	08.02.07	0
09.12.06	0	09.01.07	0	09.02.07	0
10.12.06	0	10.01.07	0	10.02.07	0
11.12.06	0	11.01.07	0	11.02.07	10,0
12.12.06	0	12.01.07	0	12.02.07	0
13.12.06	0	13.01.07	0	13.02.07	0
14.12.06	0	14.01.07	0	14.02.07	0
15.12.06	2,5	15.01.07	0	15.02.07	0
16.12.06	0	16.01.07	0	16.02.07	0
17.12.06	0	17.01.07	0	17.02.07	0
18.12.06	2,5	18.01.07	5	18.02.07	1,9
19.12.06	3	19.01.07	15	19.02.07	0
20.12.06	0	20.01.07	1	20.02.07	0
21.12.06	5,2	21.01.07	8	21.02.07	0
22.12.06	0	22.01.07	0	22.02.07	2,1
23.12.06	0	23.01.07	0	23.02.07	55,0
24.12.06	1,3	24.01.07	0	24.02.07	48,0
25.12.06	0	25.01.07	0	25.02.07	0
26.12.06	0	26.01.07	0	26.02.07	0
27.12.06	0	27.01.07	0	27.02.07	0
28.12.06	0	28.01.07	0	28.02.07	0
29.12.06	0	29.01.07	10	-	-
30.12.06	0	30.01.07	9	-	-
31.12.06	0	31.01.07	0	-	-
Total	13,5		52		153

Fonte: Defesa civil, RS (2007)

Dados de precipitação do ano hidrológico para MbaJC, março a maio de 2007

Dados Pluviométricos - 2007					
Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)	Data	Precipitação (mm)
01.03.07	0	01.04.07	1	01.05.07	
02.03.07	1,0	02.04.07	0	02.05.07	1
03.03.07	1,5	03.04.07	0	03.05.07	26
04.03.07	0	04.04.07	9	04.05.07	0
05.03.07	0	05.04.07	0	05.05.07	0
06.03.07	13,0	06.04.07	0	06.05.07	0
07.03.07	13,0	07.04.07	0	07.05.07	12
08.03.07	0	08.04.07	15	08.05.07	1
09.03.07	0	09.04.07	5	09.05.07	0
10.03.07	0	10.04.07	0	10.05.07	0
11.03.07	0	11.04.07	0	11.05.07	0
12.03.07	0	12.04.07	1	12.05.07	0
13.03.07	0	13.04.07	0	13.05.07	0
14.03.07	8,0	14.04.07	0	14.05.07	28
15.03.07	0	15.04.07	0	15.05.07	0
16.03.07	0	16.04.07	0	16.05.07	50
17.03.07	0	17.04.07	0	17.05.07	0
18.03.07	1,8	18.04.07	0	18.05.07	4
19.03.07	7	19.04.07	0	19.05.07	0
20.03.07	0	20.04.07	0	20.05.07	0
21.03.07	0	21.04.07	0	21.05.07	0
22.03.07	0	22.04.07	0	22.05.07	0
23.03.07	0	23.04.07	0	23.05.07	15
24.03.07	0	24.04.07	0	24.05.07	0
25.03.07	0	25.04.07	9	25.05.07	0
26.03.07	0	26.04.07	14	26.05.07	0
27.03.07	8,0	27.04.07	0	27.05.07	0
28.03.07	0	28.04.07	0	28.05.07	0
29.03.07	0	29.04.07	0	29.05.07	0
30.03.07	0	30.04.07	0	30.05.07	0
31.03.07	15,0	-	-	31.05.07	-
Total	68,3		54		137

Fonte: defesa civil (2007)

APÊNDICE C – Resultados dos dados hidrológicos dos pontos de amostragens ao longo da MbaJC

Quadro com os dados de P1 dos pontos de amostragem ao longo da MbaJC

Ponto 1							
Pontos	Amostragem	h (m)	Área (m²)	Velocidade (m s⁻¹)	Vazão (m³ s⁻¹)	Perímetro úmido	Raio Hidráulico
A	Primavera	0,024	4,625 10 ⁻³	0,030	1,4 10 ⁻⁴	0,35	0,01
B	Verão	0,025	4,588 10 ⁻³	0,029	1,4 10 ⁻⁴	0,40	0,01
C	Inverno	0,026	4,902 10 ⁻³	0,031	1,5 10 ⁻⁴	0,43	0,01
D	Outono	0,027	4,995 10 ⁻³	0,032	1,6 10 ⁻⁴	0,52	0,009

Quadro com os dados de P2 dos pontos de amostragem ao longo da MbaJC

Ponto 2							
Pontos	Amostragem	h (m)	Área (m²)	Velocidade (m s⁻¹)	Vazão (m³ s⁻¹)	Perímetro úmido	Raio hidráulico
A	Primavera	0,13	1,69 10 ⁻²	0,21	3,7 10 ⁻³	0,58	0,029
B	Verão	0,14	1,82 10 ⁻²	0,23	4,3 10 ⁻³	0,60	0,030
C	Inverno	0,15	1,037 10 ⁻¹	0,52	5,39 10 ⁻²	0,61	0,168
D	Outono	0,16	1,057 10 ⁻¹	0,53	5,60 10 ⁻²	0,63	0,167

Quadro com os dados de P3 dos pontos de amostragem ao longo da MbaJC

Ponto 3							
Pontos	Amostragem	h (m)	Área (m²)	Velocidade (m s⁻¹)	Vazão (m³ s⁻¹)	Perímetro úmido	Raio hidráulico
A	Primavera	0,041	2,195 10 ⁻¹	0,19	4,2 10 ⁻²	8,18	0,026
B	Verão	0,062	1,437 10 ⁻¹	0,12	1,8 10 ⁻²	8,52	0,016
C	Inverno	0,067	2,305 10 ⁻¹	0,21	4,9 10 ⁻²	8,56	0,026
D	Outono	0,069	2,392 10 ⁻¹	0,22	5,3 10 ⁻²	8,47	0,028

Quadro com os dados de P4 dos pontos de amostragem ao longo da MbaJC

Ponto 4							
Pontos	Amostragem	h (m)	Área (m²)	Velocidade (m s⁻¹)	Vazão (m³ s⁻¹)	Perímetro úmido	Raio hidráulico
A	Primavera	0,09	1,423 10 ⁻¹	0,26	3,7 10 ⁻²	1,27	0,11
B	Verão	0,15	8,53 10 ⁻²	0,15	1,3 10 ⁻²	1,23	0,06
C	Inverno	0,16	1,02 10 ⁻¹	0,51	5,2 10 ⁻²	1,25	0,08
D	Outono	0,17	1,057 10 ⁻¹	0,53	5,6 10 ⁻²	1,26	0,08

Quadro com os dados de P5 dos pontos de amostragem ao longo da MbaJC

Ponto 5							
Pontos	Amostragem	h (m)	Área (m²)	Velocidade (m s⁻¹)	Vazão (m³ s⁻¹)	Perímetro úmido	Raio hidráulico
A	Primavera	0,14	1,091	0,16	0,180	15,71	0,069
B	Outono	0,16	0,432	0,54	0,233	15,79	0,027
C	Verão	0,16	1,262	0,19	0,240	15,73	0,08
D	Inverno	1,19	8,19	0,36	2,948	17,0	0,48

APÊNDICE D - Resultado das análises granulométrica dos sedimentos na frequência (%) simples do arroio João Corrêa

Pontos de coleta	Amostragem	Seixo fino	Seixo muito fino	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Silte/Argila
P1	Inverno	0	0	0,26	0,46	0,83	16,65	27,72	34,79
P2		0	2,67	2,18	18,47	33,02	18,91	7,89	16,86
P3		0	2,27	4,08	21,2	43,28	24,85	2,68	1,64
P5		0	2,95	2,41	20,41	36,49	20,89	8,72	8,26
P6		0	0,008	0,21	1,22	2,20	5,89	11,49	78,29
P7		0	0,28	0,92	3,55	3,81	10,34	27,57	53,55
P1	Primavera	0	3,57	3,89	4,24	6,98	34,41	24,22	22,69
P2		0	0	0,04	1,17	5,44	22,65	19,06	51,64
P3		0	10,53	10,4	27,4	32,38	12,93	4,45	1,91
P5		0	8,29	6,52	27,19	45,15	10,84	1,49	0,52
P6		0	0	0	6,90	4,93	6,68	14,05	67,45
P7		0	0,13	1,00	4,17	2,56	3,46	11,03	77,64
P1	Verão	0	0,10	0,63	0,68	2,36	38,09	31,23	26,9
P2		0	0	0,06	1,78	5,83	24,01	25,04	43,28
P3		8,72	7,15	5,91	13,27	19,43	23,06	17,58	4,88
P5		0	5,99	8,97	28,91	36,49	14,79	1,83	3,02
P6		0	0,19	0,08	0,30	1,16	9,4	14,59	74,28
P7		0	0	0	0,13	0,41	1,56	1,73	96,17
P1	Outono	0	0	0,22	0,37	0,77	15,66	29,48	53,50
P2		0	0	0,17	1,93	6,59	24,53	27,52	39,26
P3		0	11,52	4,93	17,05	38,21	22,98	4,26	1,06
P5		33,51	15,71	10,07	12,73	9,71	3,55	3,54	11,19
P6		0	0	0,24	0,1	0,12	2,59	40,67	56,27

APÊNDICE E - Resultados das análises químicas do fósforo, cromo, níquel, cádmio e chumbo realizada nos sedimentos de fundo da MbaJC

Ponto de coleta	Amostragem	P ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Cr ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Ni ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Cd ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Pb ($\mu\text{g g}^{-1}$)
P1	Inverno	488,15	11,20	7,95	6,30	8,73
P2		67,00	9,00	9,00	9,00	9,00
P3		104,50	8,80	8,80	8,80	8,80
P5		128,20	7,60	7,60	7,60	7,60
P6		712,90	58,40	18,20	7,90	35,20
P7		650,50	54,20	17,80	9,60	27,30
P1	Primavera	200,31	9,30	9,30	9,30	9,30
P2		136,30	9,80	9,80	9,80	11,20
P3		108,50	8,90	4,80	4,80	4,80
P5		123,70	8,10		1,40	5,40
P6		1.077,00	58,60		6,10	36,10
P7		716,30	86,80		6,60	39,80
P1	Verão	249,50	15,30		3,40	9,70
P2		58,00	15,60		3,60	17,50
P3		115,20	9,00		2,60	10,20
P5		290,10	9,50		2,20	8,90
P6		708,30	75,60		4,70	22,20
P7		460,40	109,70		5,80	59,80
P1	Outono	415,20	9,00	6,60	6,20	7,20
P2		16,50	6,10	6,10	6,10	6,90
P3		161,50	6,20	6,20	6,20	6,20
P5		242,70	25,60	11,40	6,10	22,80
P6		719,10	30,00	15,60	6,20	31,00

Valores de referência para classificação quanto à poluição dos sedimentos, desenvolvida pela *Unites States Environmental Protection Agency* (concentração total em $\mu\text{g g}^{-1}$)

Parâmetro	Não Poluído ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Moderadamente poluído ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Muito poluído ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Cádmio	-	-	>6
Cromo	<25	25-75	>75
Chumbo	<40	40-60	>60
Níquel	<20	20-50	>50
Fósforo	<420	420-650	>650

Fonte: Adaptado de U.S. EPA (*apud* POLETO e GONÇALVES, 2006)

APÊNDICE F - Resultados das análises físicas e químicas da água da MbaJC, realizadas na *in loco* com a sonda multiparâmetros no inverno (17.08.06)

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Amônia	mg L ⁻¹	0,018	0,008	0,011	0,010	0,012	0,009	0,002
Clorofila	mg L ⁻¹	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003
Condutividade	µS cm ³	166,5	346,0	165,0	335,0	294,0	189,0	69,0
Potencial redox	mV	98,25	107,8	107,3	102,8	107,1	108,8	94,5
STD	g L ⁻¹	0,108	0,225	0,118	0,218	0,191	0,123	0,045

Resultados das análises físicas e químicas da água da MbaJC, realizadas na *in loco* com a sonda multiparâmetros na primavera (23.10.06)

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Amônia	mg L ⁻¹	0,006	0,041	0,051	0,036	0,075	0,039	0,075
Clorofila	mg L ⁻¹	0,003	0,001	0,004	0,004	0,012	0,002	0,004
Condutividade	µS cm ³	172	471	548	564	771	493	637
Potencial redox	mV	82,3	54,9	35,9	2,9	51,2	89,8	74,4
STD	g L ⁻¹	0,112	0,307	0,356	0,366	0,501	0,32	0,415

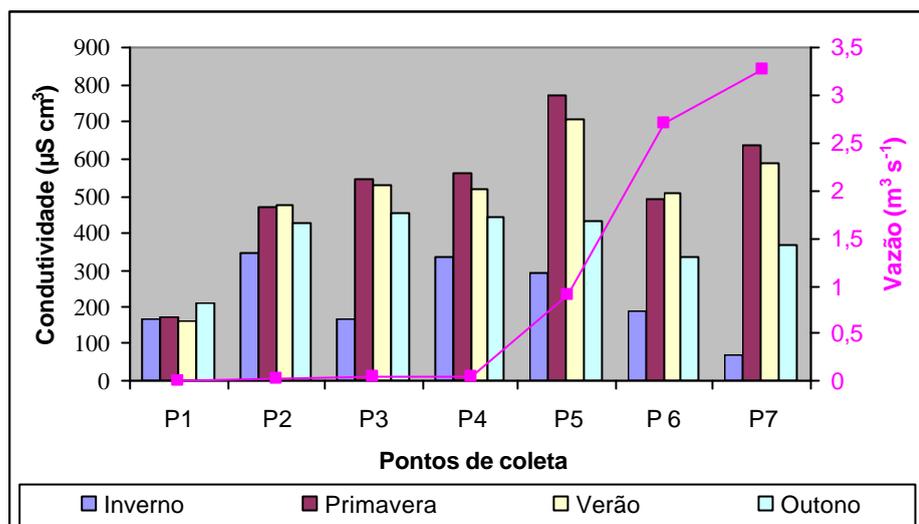
Resultados das análises físicas e químicas da água da MbaJC, realizadas na *in loco* com a sonda multiparâmetros no verão (11.12.06)

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Amônia	mg L ⁻¹	0,031	0,135	0,241	0,091	0,173	0,124	0,103
Clorofila	mg L ⁻¹	0,003	0,004	0,004	0,004	0,008	0,003	0,005
Condutividade	µS cm ³	161	479	532	520	706	510	588
Potencial redox	mV	114,2	-2,1	-42,8	-65,5	-144,4	-26,6	-80,6
STD	g L ⁻¹	0,105	0,312	0,346	0,339	0,460	0,332	0,383

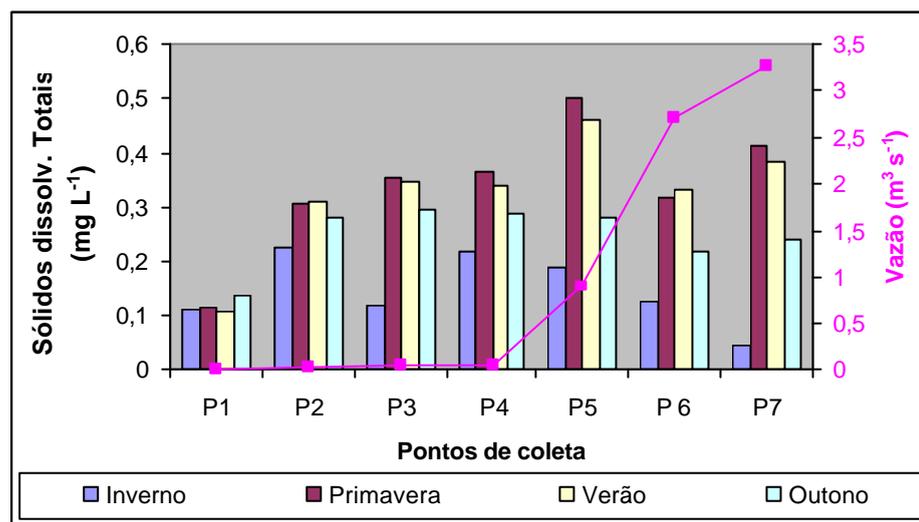
Resultados das análises físicas e químicas da água da MbaJC, realizadas na *in loco* com a sonda multiparâmetros no outono (17.04.07)

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Amônia	mg L ⁻¹	0,020	0,084	0,206	0,101	0,086	0,074	0,088
Clorofila	mg L ⁻¹	0,004	0,003	0,005	0,001	0,001	0,006	0,006
Condutividade	µS cm ³	211	431	453	444	432	340	370
Potencial redox	mV	80,5	42,2	60,3	54,2	40,1	28,7	65,1
STD	g L ⁻¹	0,137	0,281	0,295	0,290	0,282	0,221	0,240

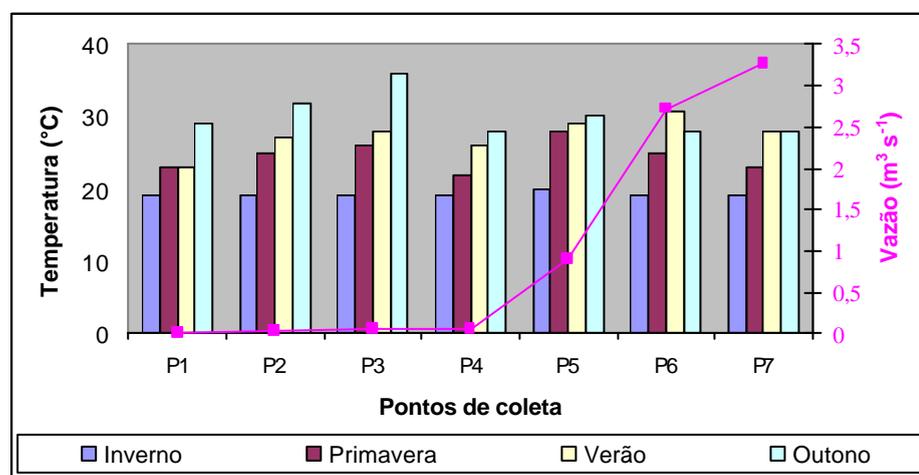
APÊNDICE G – Gráficos ilustrativos da análise física da água da MbaJC



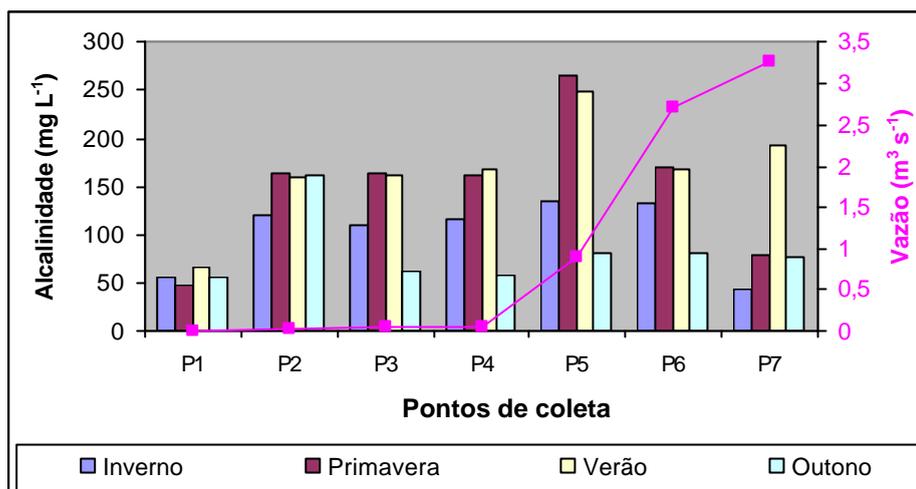
Variações da condutividade nas amostragens de água da MbaJC



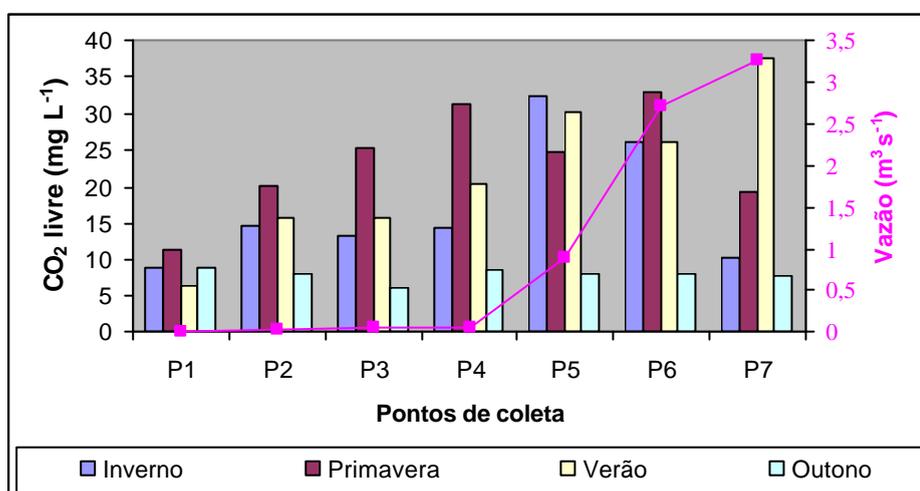
Variações dos sólidos dissolvidos totais nas amostragens da água da MbaJC



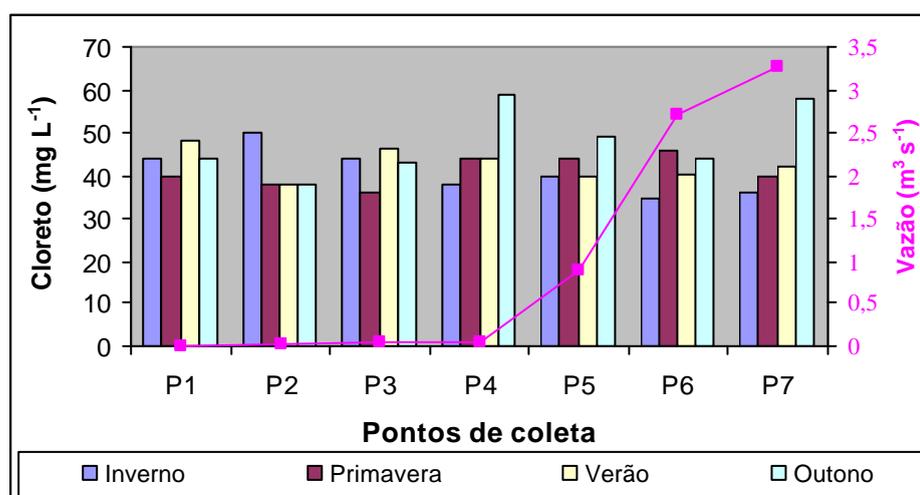
Variações da temperatura nas amostragens de água da MbaJC



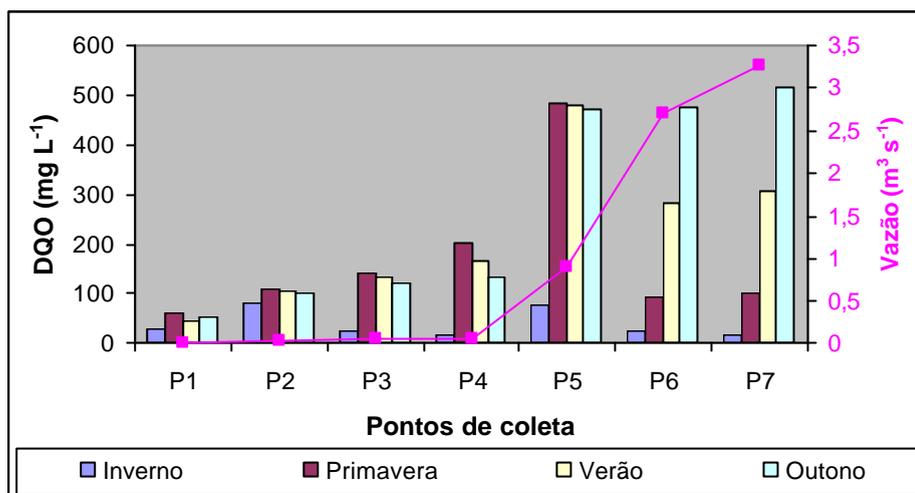
Variações da alcalinidade nas amostragens da água da MbaJC



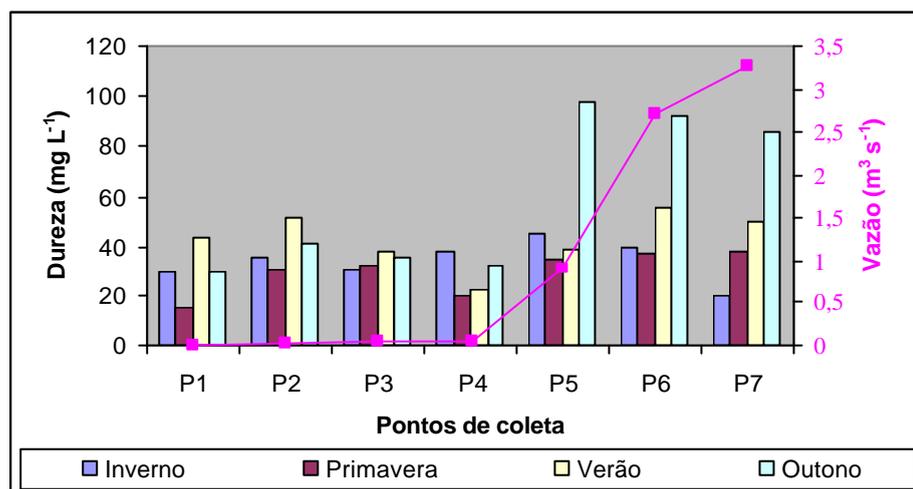
Variações de CO_2 livre nas amostragens de água da MbaJC



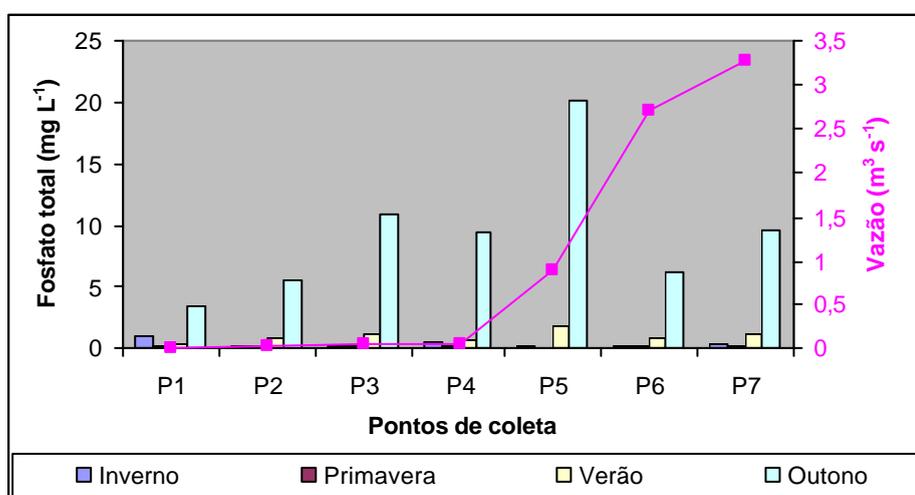
Variações de cloro nas amostragens de água da MbaJC



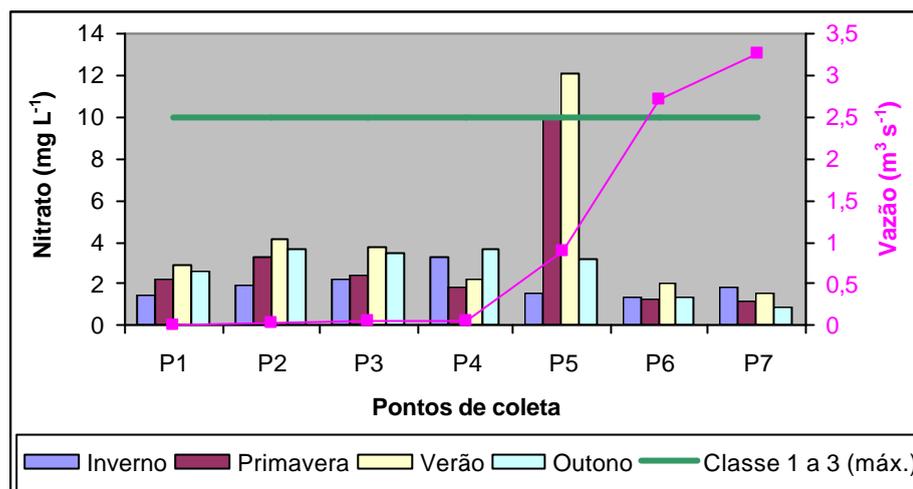
Variações de DQO nas amostragens de água da MbaJC



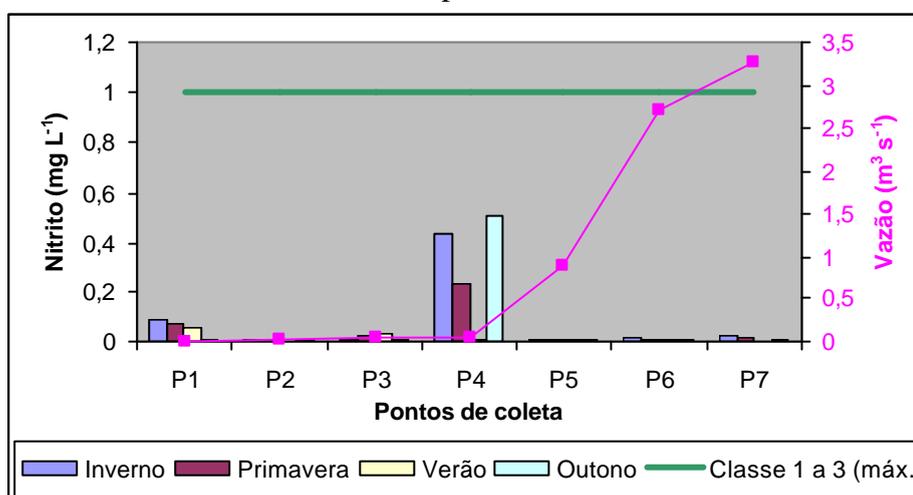
Variações da dureza nas amostragens de água da MbaJC



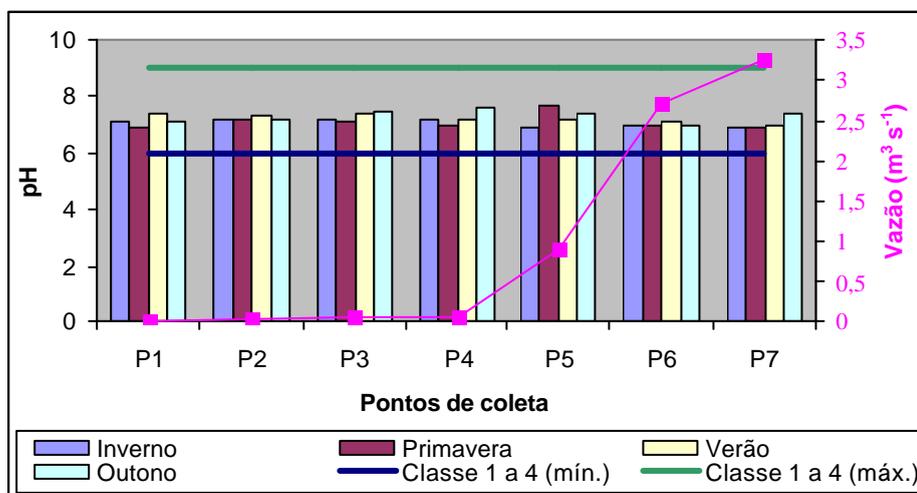
Variações de fósforo total nas amostragens de água da MbaJC



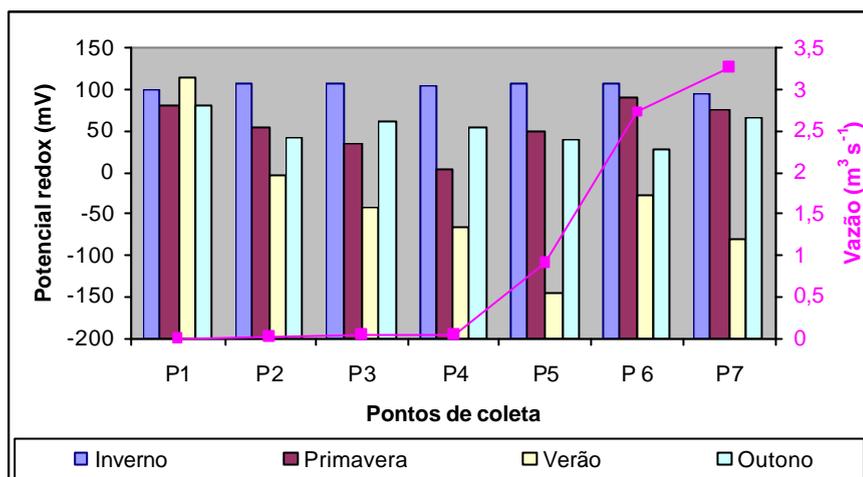
Variações de nitrato nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1, 2 e 3



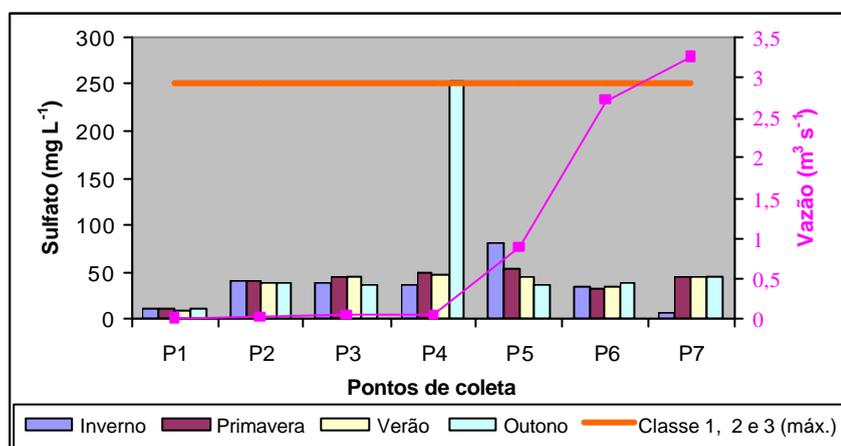
Variações de nitrito nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs para as classes 1, 2 e 3



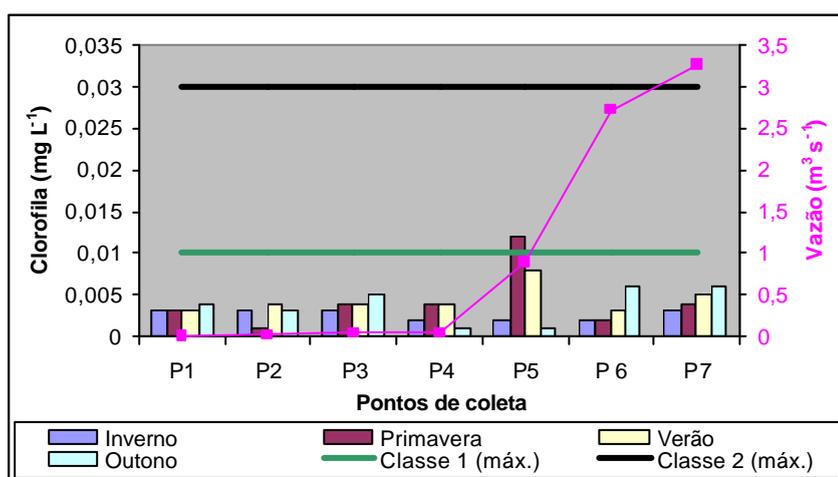
Variações do pH nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMPs máximo; Em azul: VMPs mínimo



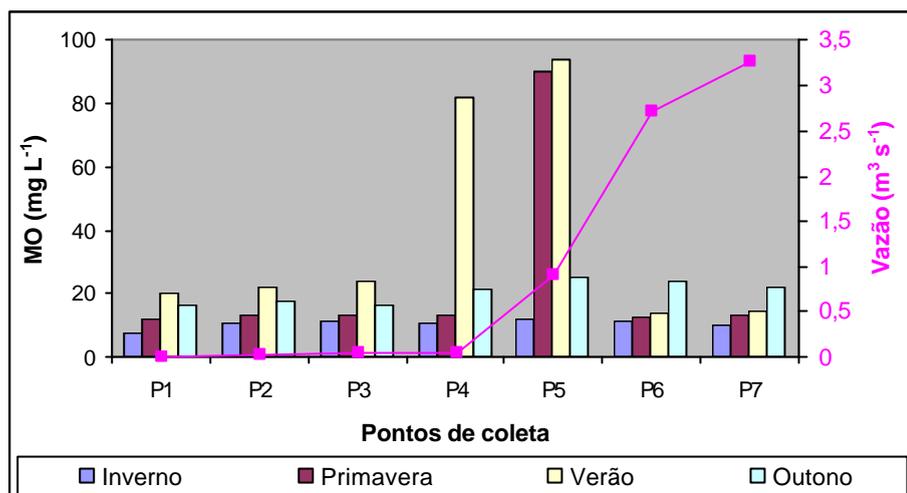
Variações do potencial redox nas amostragens de água da MbaJC



Variações de sulfato nas amostragens de água da MbaJC.
Em laranja: VMPs para as classes 1,2 e 3

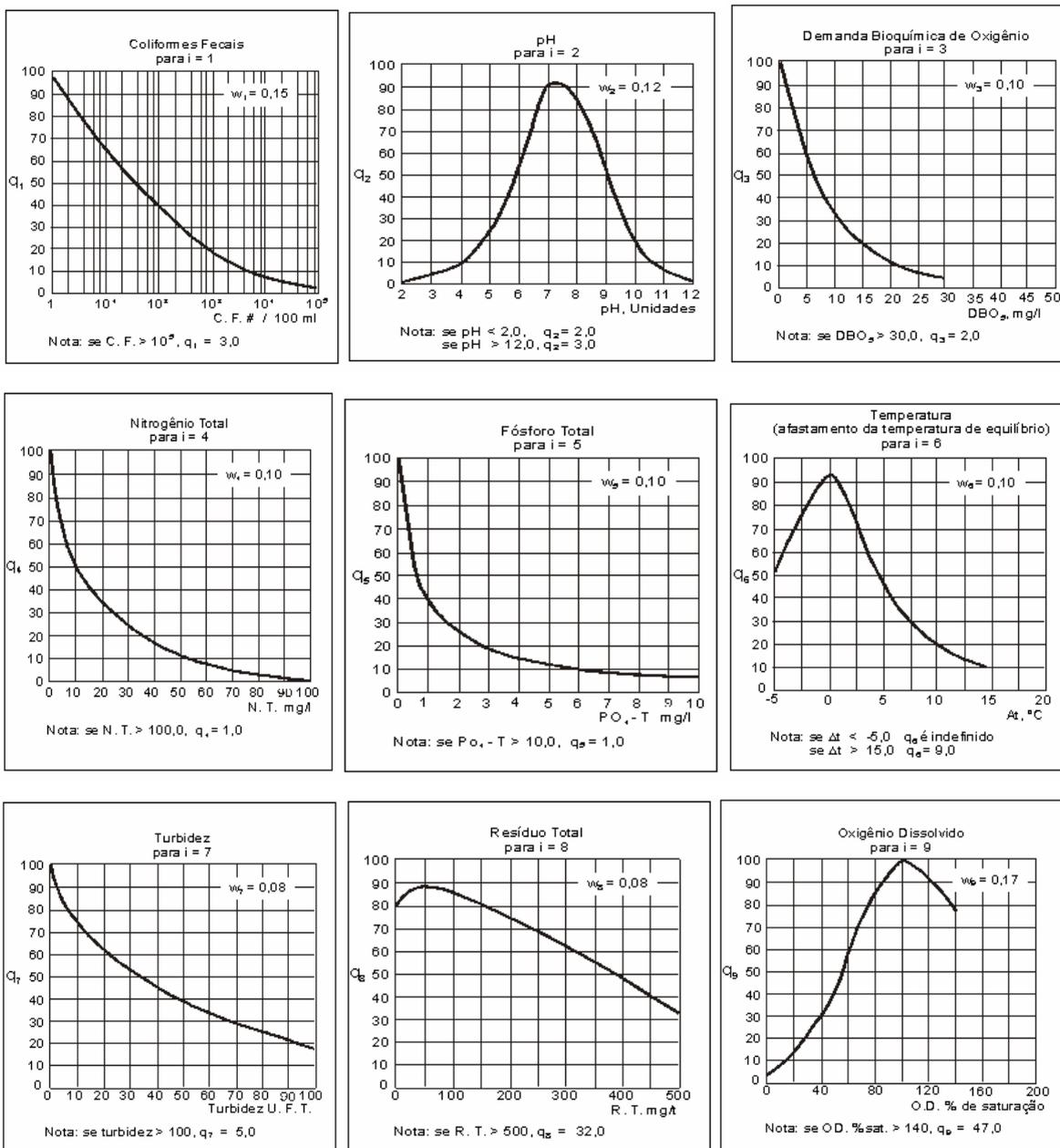


Variações de clorofila nas amostragens de água da MbaJC.
Em verde: VMP para a classe 1; Em preto: VMP para a classe 2



Variações de matéria orgânica nas amostragens de água da MbaJC

ANEXO A – Curvas médias de variação da qualidade das águas



Fonte: CETESB (2006b)

ANEXO B – Resultados das análises físicas, químicas e biológicas das águas da MbaJC, realizadas pelo SEMAE em 17/08/06



Data da Coleta: 17/08/2006
 Origem das amostras: Arroio João Corrêa
 Amostrado por: Ivanice Magalhães da Silva
 Laboratório Responsável: Laboratório Central

LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Cto	Pres/Aus	Presente						
Cte	NMP	23.257,60	20.224,00	26.291,20	18.201,60	30.336,00	21.235,20	24.268,20
BH	UFC	900	1.000	1.300	900	1.500	1.050	1.200
Temperatura	°C	19	19	19	19	20	19	19
Turbidez	uT	15,80	8,98	12,20	9,35	14,70	11,50	22,30
Cor aparente	uH	72	63	79	99	158	119	204
pH	-	7,1	7,2	7,2	7,2	6,9	7,0	6,9
Dureza	mg L ⁻¹	29,5	36,0	30,0	38,0	45,0	40,0	20,0
Alcalinidade	mg L ⁻¹	56	121	110	118	135	134	43
CO ₂ livre	mg L ⁻¹	8,86	14,76	13,42	14,39	32,40	26,00	10,32
MO	mg L ⁻¹	8,6	10,8	11,4	10,8	12,0	11,2	10,0
DBO ₅	mg L ⁻¹	4,76	43,25	24,75	42,00	20,00	24,40	9,00
DQO	mg L ⁻¹	30	80	24	16	76	24	16
O ₂ dissolvido	mg L ⁻¹	4,35	2,85	4,90	2,85	3,00	2,35	2,45
Ferro total	mg L ⁻¹	1,674	0,505	0,733	0,462	1,533	0,704	0,930
Manganês	mg L ⁻¹	0,5	0,4	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4
Bário	mg L ⁻¹	0,55	0,30	0,70	0,70	0,50	0,20	0,40
Cobre	mg L ⁻¹	0,131	0,061	0,086	0,077	0,107	0,092	0,088
Cromo hexavalente	mg L ⁻¹	0,003	0,003	0,001	0,0001	0,0001	0,003	0,003
Zinco total	mg L ⁻¹	0,233	0,700	0,144	0,126	0,180	0,226	0,169
Chumbo	mg L ⁻¹	0,029	0,037	0,037	0,029	0,023	0,017	0,026
Alumínio	mg L ⁻¹	0,035	0,037	0,048	0,034	0,087	0,093	0,309
Cloreto	mg L ⁻¹	44	50	44	38	40	35	36
Sulfato	mg L ⁻¹	10,9	39,2	37,4	35,4	>80,0	33,5	6,2
Nitrato	mg L ⁻¹	1,4	1,9	2,2	3,3	1,5	1,3	1,8
Nitrito	mg L ⁻¹	0,090	0,009	0,010	0,447	0,006	0,013	0,024
Cádmio	mg L ⁻¹	0,023	0,028	0,003	0,003	0,029	0,011	0,006
Fósforo total	mg L ⁻¹	1,120	2,420	2,700	1,390	2,860	1,650	0,706
Fosfato total	mg L ⁻¹	0,960	0,085	0,148	0,523	0,092	0,116	0,389

Resultados das análises físicas, químicas e biológicas das águas da MbaJC, realizadas pelo SEMAE em 23/10/06

LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA



Data da Coleta: 23/10/2006
 Origem das amostras: Arroio João Corrêa
 Amostrado por: Ivanice Magalhães da Silva
 Laboratório Responsável: Laboratório Central

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Cto	Pres/Aus	Presente						
Cte	NMP	39.436,80	59.863,04	51.907,20	85.143,04	69.368,32	76.952,32	71.673,85
BH	UFC	1.950	2.960	4.050	4.210	3.430	3.805	3.544
Temperatura	°C	23	25	26	22	28	25	23
Turbidez	uT	16,9	18,2	16,2	18,3	70,9	25,1	14,9
Cor aparente	uH	190	168	215	322	780	281	197
pH	-	6,9	7,2	7,1	7,0	7,7	7,0	6,9
Dureza	mg L ⁻¹	15	30	32	20	35	37	38
Alcalinidade	mg L ⁻¹	48	165	164	162	265	170	80
CO ₂ livre	mg L ⁻¹	11,52	20,13	25,26	31,43	24,65	32,98	19,20
MO	mg L ⁻¹	12,0	13,0	13,2	13,0	90,0	12,8	13,0
DBO ₅	mg L ⁻¹	4,7	43,5	31,5	43,0	18,0	26,0	11,8
DQO	mg L ⁻¹	60	108	140	204	484	92	100
O ₂ dissolvido	mg L ⁻¹	4,2	4,6	5,2	5,0	4,8	4,0	4,2
Ferro total	mg L ⁻¹	1,811	0,607	0,581	0,568	0,658	0,267	0,547
Manganês	mg L ⁻¹	0,3	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1	0,5
Bário	mg L ⁻¹	0,48	6,2	3,2	2,8	14,2	0,7	1,7
Cobre	mg L ⁻¹	0,109	0,079	0,062	0,071	0,184	0,128	0,093
Cromo hexavalente	mg L ⁻¹	0,004	0,063	0,022	0,055	0,088	0,004	0,003
Zinco total	mg L ⁻¹	0,345	0,198	0,280	0,390	0,402	0,600	0,298
Chumbo	mg L ⁻¹	0,033	0,157	0,174	0,178	0,330	0,094	0,108
Alumínio	mg L ⁻¹	0,537	0,050	0,023	0,057	0,272	0,127	0,055
Cloreto	mg L ⁻¹	40	38	36	44	44	46	40
Sulfato	mg L ⁻¹	11,8	40,6	43,6	49,6	53,5	31,7	44,3
Nitrato	mg L ⁻¹	2,2	3,3	2,4	1,8	10,0	1,2	1,1
Nitrito	mg L ⁻¹	0,071	0,006	0,021	0,227	0,009	0,009	0,014
Cádmio	mg L ⁻¹	0,027	0,024	0,047	0,031	0,058	0,025	0,024
Fósforo total	mg L ⁻¹	1,050	1,621	1,982	1,402	2,585	2,204	0,989
Fosfato total	mg L ⁻¹	0,236	0,204	0,222	0,209	0,054	0,183	0,089

Resultados das análises físicas, químicas e biológicas das águas da MbaJC, realizadas pelo SEMAE em 12/11/06

LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA



Data da Coleta: 11/12/2006
 Origem das amostras: Arroio João Corrêa
 Amostrado por: Ivanice Magalhães da Silva
 Laboratório Responsável: Laboratório Central

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Cto	Pres/Aus	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Cte	NMP	44.492,80	99502,08	137.523,20	152.084,48	108.400,64	132.669,44	119.078,91
BH	UFC	2.200	4.920	6.800	7.520	5.360	6.560	5.888
Temperatura	°C	23	27	28	26	29	31	28
Turbidez	uT	14,7	65,1	10,1	26,1	79,0	16,6	18,1
Cor aparente	uH	124	495	159	213	770	176	202
pH	-	7,4	7,3	7,4	7,2	7,2	7,1	7,0
Dureza	mg L ⁻¹	44	52	38	22	39	56	50
Alcalinidade	mg L ⁻¹	64	160	162	168	248	169	193
CO ₂ livre	mg L ⁻¹	6,21	15,68	15,71	20,50	30,26	26,03	37,44
MO	mg L ⁻¹	20,0	22,0	24,0	82,0	94,0	13,8	14,2
DBO ₅	mg L ⁻¹	4,8	43,0	18,0	41,0	22,0	27,0	13,0
DQO	mg L ⁻¹	45,0	104,5	130,5	168,5	478,5	283,5	307,5
O ₂ dissolvido	mg L ⁻¹	4,5	1,1	4,6	0,7	1,2	0,7	0,7
Ferro total	mg L ⁻¹	1,537	0,510	0,692	0,742	0,804	0,512	0,457
Manganês	mg L ⁻¹	0,7	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5
Bário	mg L ⁻¹	0,3	0,9	0,8	0,8	0,9	0,5	0,6
Cobre	mg L ⁻¹	0,153	0,142	0,139	0,125	0,133	0,113	0,089
Cromo hexavalente	mg L ⁻¹	0,002	0,014	0,007	0,032	0,054	0,016	0,016
Zinco total	mg L ⁻¹	0,121	0,095	0,088	0,150	0,957	0,124	0,202
Chumbo	mg L ⁻¹	0,025	0,034	0,041	0,057	0,100	0,041	0,075
Alumínio	mg L ⁻¹	0,173	>0,900	0,066	0,024	0,195	0,031	0,108
Cloreto	mg L ⁻¹	48,0	38,0	46,5	44,0	40,0	40,5	42,0
Sulfato	mg L ⁻¹	10,0	37,6	45,8	47,2	44,8	35,2	44,3
Nitrato	mg L ⁻¹	3,0	4,2	3,8	2,2	12,1	2,0	1,5
Nitrito	mg L ⁻¹	0,052	0,0037	0,032	0,007	0,011	0,005	0,003
Cádmio	mg L ⁻¹	0,019	0,028	0,027	0,045	0,036	0,042	0,017
Fósforo total	mg L ⁻¹	1,203	1,742	2,220	1,572	2,685	2,052	1,044
Fosfato total	mg L ⁻¹	0,392	0,814	1,178	0,641	1,812	0,761	1,167

Resultados das análises físicas, químicas e biológicas das águas da MbaJC, realizadas pelo SEMAE em 17/04/2007



Data da Coleta: 17/04/2007
 Origem das amostras: Arroio João Corrêa
 Amostrado por: Ivanice Magalhães da Silva
 Laboratório Responsável: Laboratório Central

LAUDO DE ANÁLISE DE ÁGUA

Parâmetro	Unidade	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Cto	Pres/Aus	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Cte	NMP	14.877,00	60.368,64	54.382,33	116.085,76	140.759,04	129.231,36	117.703,68
BH	UFC	1.700	2.985	2.689	5.740	6.960	6.390	5.820
Temperatura	°C	29	32	36	28	30	28	28
Turbidez	uT	15,8	41,65	11,0	8,90	3000	3000	3000
Cor aparente	uH	157,0	331,5	171,0	142,0	#	#	#
pH	-	7,1	7,2	7,5	7,6	7,4	7,0	7,4
Dureza	mg L ⁻¹	29,5	41,0	36,0	32,0	98,0	92,5	86,0
Alcalinidade	mg L ⁻¹	56,0	162,5	62,0	58,0	82,0	81,5	78,0
CO ₂ livre	mg L ⁻¹	8,86	7,90	5,89	8,45	7,95	7,76	7,66
MO	mg L ⁻¹	16,0	17,5	16,0	21,0	25,0	23,5	22,0
DBO ₅	mg L ⁻¹	4,6	44,0	45,0	45,0	205,0	233,0	255,0
DQO	mg L ⁻¹	52,5	101,0	121,0	133,0	473,0	475,0	515,0
O ₂ dissolvido	mg L ⁻¹	4,35	2,55	4,00	4,40	0,00	0,00	0,00
Ferro total	mg L ⁻¹	1,674	1,558	1,896	3,012	3,300	2,362	2,557
Manganês	mg L ⁻¹	0,5	0,4	0,4	0,1	9,2	0,3	0,6
Bário	mg L ⁻¹	0,55	3,55	7,80	7,00	7,50	6,50	4,00
Cobre	mg L ⁻¹	0,131	0,110	0,213	0,219	4,450	0,108	0,221
Cromo hexavalente	mg L ⁻¹	0,003	0,038	0,117	0,052	0,031	0,021	0,028
Zinco total	mg L ⁻¹	0,233	0,146	0,184	0,345	0,679	0,401	0,250
Chumbo	mg L ⁻¹	0,029	0,095	0,182	0,115	0,330	0,184	0,164
Alumínio	mg L ⁻¹	0,355	0,475	0,010	0,092	0,338	0,117	0,051
Cloreto	mg L ⁻¹	44,00	38,00	42,99	58,98	48,98	44,00	57,98
Sulfato	mg L ⁻¹	10,9	39,1	37,2	254,0	35,9	38,0	45,4
Nitrato	mg L ⁻¹	2,60	3,75	3,51	3,76	3,21	1,35	0,82
Nitrito	mg L ⁻¹	0,007	0,005	0,007	0,505	0,010	0,007	0,004
Cádmio	mg L ⁻¹	0,023	0,026	0,050	0,045	0,038	0,021	0,053
Fósforo total	mg L ⁻¹	1,126	1,681	2,02	1,492	2,796	1,624	1,939
Fosfato total	mg L ⁻¹	3,314	5,509	10,925	9,525	20,125	6,258	9,700

excede o limite máximo da análise