CRISTIANE ARAÚJO AMARO

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE
DA QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS AO ENQUADRAMENTO**

**São Paulo
2009**

CRISTIANE ARAÚJO AMARO

**PROPOSTA DE UM ÍNDICE PARA AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE DA
QUALIDADE DOS CORPOS HÍDRICOS AO ENQUADRAMENTO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia
Hidráulica

Orientadora: Profa. Titular Monica
Ferreira do Amaral Porto

**São Paulo
2009**

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de maio de 2009.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Amaro, Cristiane Araújo

**Proposta de um índice para avaliação de conformidade da
qualidade dos corpos hídricos ao enquadramento / C.A. Amaro.
-- ed.rev. -- São Paulo, 2009.**

224 p.

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade
de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e
Sanitária.**

**1. Qualidade da água 2. Recursos hídricos 3. Índices I. Uni-
versidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de
Engenharia Hidráulica e Sanitária II. t.**

*À mamãe, ao papai e aos maninhos
pelo apoio, dedicação e
compreensão ao longo de todas as
conquistas da minha vida.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a DEUS por ter me dado forças e a persistência suficiente para vencer mais essa etapa da minha vida.

Agradeço à minha querida família, mamãe, papai e meus maninhos pelo amor e pela paciência que sempre tiveram comigo em todos os momentos.

À minha orientadora, Profa. Monica Ferreira do Amaral Porto, com quem aprendi muito, pela atenção e pela paciência dos últimos dias, meu agradecimento especial.

Ao Prof. Rubem La Laina Porto pela confiança e oportunidade de ingressar no mundo dos recursos hídricos.

Ao Prof. José Rodolfo Scarati Martins pelos conselhos e incentivo.

Ao Prof. Kamel Zahed Filho pelos ensinamentos.

Aos colegas do LabSid pelo companheirismo, em especial à Satie Ishikawa pelo carinho e à Silvana Susko Marcellini pela atenção.

Às minhas queridas amigas de guerra, pelo incentivo, pelo carinho, pelo companheirismo e pelos melhores momentos desta jornada: Liliane Frosini Armelin pelas risadas, Mari Mitsuru Nishimura pela imensa ajuda, Nara Regina Leite pelo bom dia de todos os dias e Sandra Uemura pela cumplicidade.

A todos os mestres e funcionários do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP pelo ambiente de amizade e aprendizado.

Às instituições pela concessão de bolsas (FCTH, CNPq e Capes) e àqueles que de uma forma ou de outra me ajudaram.

A todos, minha imensa gratidão.

RESUMO

AMARO, C. A. **Proposta de um Índice para Avaliação de Conformidade da Qualidade dos Corpos Hídricos ao Enquadramento**. 2009. 224 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

O Brasil é um dos países mais ricos em água doce, mas também repleto de problemas relacionados à qualidade de suas águas, prejudicando a disponibilidade necessária para os seus múltiplos usos. O quadro de degradação da qualidade dos corpos hídricos brasileiros gerou a necessidade do estabelecimento de medidas que assegurassem a sustentabilidade destes usos e o enquadramento é considerado uma das ferramentas estratégicas para esta garantia, porque por meio desta é possível o estabelecimento de metas de qualidade da água, as quais devem ser alcançadas ou mantidas no corpo hídrico ao longo do tempo. A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei n. 9.433/1997) define o enquadramento como um de seus instrumentos para a gestão integrada da qualidade e quantidade da água e a Resolução CONAMA n.357/2005 classifica os corpos hídricos brasileiros segundo os seus usos preponderantes e define padrões de qualidade que devem ser obedecidos para a garantia da sustentabilidade hídrica. O acompanhamento da situação de enquadramento precisa ser encarado como uma atividade essencial para o planejamento de uma bacia hidrográfica e para auxiliar os gestores de recursos hídricos nos processos decisórios. Este trabalho apresenta o estudo de um índice capaz de informar de forma clara e objetiva a situação do corpo hídrico em relação à meta de qualidade da água proposta. O índice está baseado no IQA desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environmental* no Canadá, é um método fundamentado na excedência de padrões de qualidade da água previamente definidos, apropriado para o caso brasileiro, pois permite além da avaliação, a inclusão de novas variáveis e padrões de qualidade da água para os diversos usos hídricos. Os resultados obtidos são capazes de mostrar o comportamento dos rios estudados ao longo do tempo em relação a sua condição hídrica, permitindo a localização dos pontos da bacia que precisam de medidas para atender aos padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA n.357.

Palavras-chaves: Qualidade da água. Recursos Hídricos. Índices.

ABSTRACT

AMARO, C. A. **Proposal of an Index for Assessment of Conformity of Quality of Water Bodies to the Framing**. 2009. 224 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

Brazil is one of the richest countries in freshwater, but also full of problems related to the quality of the water, impairing the availability required for its multiple uses. The picture of degradation of the quality of water bodies has led Brazil to the need of establishing measures to ensure the sustainability of these uses and the framing is considered one of the strategic tools for this guarantee, with the establishment of water quality objectives, which must be achieved or kept in the water body over time. The National Water Resources Policy (Law n. 9.433/1997) establishes the framing as one of its instruments for integrated management of water quality and quantity and Resolution CONAMA n.357/2005 classifies the Brazilian water bodies according to their predominant uses and defines quality standards that must be obeyed to guarantee sustainability of the water. Monitoring the situation of environment must be seen as an essential activity to the planning of a watershed and to facilitate the decision-making process in the water resources management. This paper presents the initial study of an index able to report clearly and objectively the situation of the water body in relation to the goal of water quality proposal. The index is based on the Water Quality Index (WQI) developed by the Canadian Council of Ministers of the Environment Canada, is a method based on exceedance of water quality standards previously defined, appropriate for the Brazilian case, it allows also the evaluation, the inclusion of new variables and water quality objectives for various water uses. The results are able to show the behavior of the rivers studied over time in relation to their water condition and identifies critical areas of the watershed in need of additional pollution control practices to achieve the desired water quality standards by CONAMA n.357 Resolution.

Keywords: Water quality. Water Resources. Indices.

LISTA DE FIGURAS

Figura 8.1 - Modelo conceitual do Índice	56
Figura 8.2 - Exemplos de curvas de depreciação da qualidade da água para o fósforo total.....	63
Figura 8.3 - Visualização parcial da planilha com as variáveis de qualidade da água e os limites da Resolução CONAMA 357	67
Figura 8.4 - Exemplo de planilha de cálculo	68
Figura 8.5 - Exemplo de resumo dos cálculos e de resultados do ICE.....	70
Figura 9.1 - Bacia dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí e os postos de monitoramento da qualidade da água	77
Figura 9.2 - Exemplo de aplicação do Índice de Conformidade ao Enquadramento	78
Figura 9.3 - As vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – UGRHI	80
Figura 9.4 - Localização das bacias do PCJ e a divisão hidrográfica do estado de São Paulo por UGRHI	81
Figura 9.5 - Bacia dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí.....	81
Figura 9.6 - Vazões captadas por tipo de uso nas bacias PCJ.....	83
Figura 9.7 - Demanda de água nas bacias PCJ	83
Figura 10.1 - Usos do solo na bacia do rio Piracicaba.....	89
Figura 10.2 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Piracicaba.....	90
Figura 10.3 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02100.....	91
Figura 10.4 - <i>Box Plot</i> dos valores de Coliformes Termotolerantes para o Ponto PCAB02100	92
Figura 10.5 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02135.....	93
Figura 10.6 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02192.....	94
Figura 10.7 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02220.....	95
Figura 10.8 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02800.....	97
Figura 10.9 - Tendência temporal do ICE para o rio Piracicaba	99
Figura 10.10 - <i>Box Plot</i> dos dados de $DBO_{5, 20}$ para o rio Piracicaba	100
Figura 10.11 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Piracicaba	101

Figura 10.12 - Usos do solo na bacia do rio Atibaia.....	102
Figura 10.13 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Atibaia.....	103
Figura 10.14 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02010.....	104
Figura 10.15 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02065.....	105
Figura 10.16 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02605.....	107
Figura 10.17 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02800.....	109
Figura 10.18 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02900.....	110
Figura 10.19 - Tendência temporal do ICE para o rio Atibaia	112
Figura 10.20 - <i>Box Plot</i> dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Atibaia.....	113
Figura 10.21 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Atibaia	114
Figura 10.22 - Usos do solo na bacia do rio Camanducaia	115
Figura 10.23 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Camanducaia	115
Figura 10.24 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02050	116
Figura 10.25 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02300	117
Figura 10.26 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02400	119
Figura 10.27 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02900	120
Figura 10.28 - Tendência temporal do ICE para o rio Camanducaia	122
Figura 10.29 - <i>Box Plot</i> dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Camanducaia.....	123
Figura 10.30 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Camanducaia	124
Figura 10.31 - Usos do solo na bacia do rio Corumbataí	125
Figura 10.32 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Corumbataí	126
Figura 10.33 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02050	127
Figura 10.34 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02200	128
Figura 10.35 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02500	130
Figura 10.36 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02900	131
Figura 10.37 - Tendência temporal do ICE para o rio Corumbataí	133
Figura 10.38 - <i>Box Plot</i> dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Corumbataí	134
Figura 10.39 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Corumbataí	135
Figura 10.40 - Usos do solo na bacia do rio Jaguari.....	136
Figura 10.41 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Jaguari.....	136

Figura 10.42 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02010	137
Figura 10.43 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02200	138
Figura 10.44 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02300	140
Figura 10.45 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02400	141
Figura 10.46 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02800	142
Figura 10.47 - Tendência temporal do ICE para o rio Jaguari.....	144
Figura 10.48 - <i>Box Plot</i> dos dados de DBO _{5,20} para o rio Jaguari	145
Figura 10.49 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Jaguari	146
Figura 10.50 - Usos do solo na bacia do rio Capivari	147
Figura 10.51 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Capivari.	147
Figura 10.52 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02030	148
Figura 10.53 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02100	150
Figura 10.54 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02130	151
Figura 10.55 - <i>Box Plot</i> dos valores de Fósforo Total para o Ponto CPIV02130	152
Figura 10.56 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02160	153
Figura 10.57 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02200	154
Figura 10.58 - <i>Box Plot</i> dos valores de fósforo total e surfactantes para o Ponto CPIV02200.....	155
Figura 10.59 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02700	156
Figura 10.60 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02900	157
Figura 10.61 - Tendência temporal do ICE para o rio Capivari.....	159
Figura 10.62 - <i>Box Plot</i> dos dados de DBO _{5,20} para o rio Capivari.....	160
Figura 10.63 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Capivari.....	161
Figura 10.64 - Usos do solo na bacia do rio Jundiá	162
Figura 10.65 - Localização dos pontos de monitoramento na bacia do rio Jundiá	163
Figura 10.66 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA02010	164
Figura 10.67 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA02020	165
Figura 10.68 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA04150	166
Figura 10.69 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA04190	167
Figura 10.70 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA04900	169

Figura 10.71 - <i>Box Plot</i> dos valores de $\text{DBO}_{5,20}$ e coli. termo para o Ponto JUNA02020	170
Figura 10.72 - Tendência temporal do ICE para o rio Jundiaí	171
Figura 10.73 - <i>Box Plot</i> para valores de $\text{DBO}_{5,20}$ e OD para o rio Jundiaí	172
Figura 10.74 - <i>Box Plot</i> para valores de coliformes termotolerantes e pH para o rio Jundiaí.....	173
Figura 10.75 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUMI00250	174
Figura 10.76 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUMI00500	176
Figura 10.77 - <i>Box Plot</i> dos valores de turbidez para o Ponto JUMI00500.....	177
Figura 10.78 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUMI00800	178
Figura 10.79 - Tendência temporal do ICE para o rio Jundiaí-Mirim.....	179
Figura 10.80 - <i>Box Plot</i> dos dados de $\text{DBO}_{5,20}$ para o rio Jundiaí-Mirim	180
Figura 10.81 - <i>Box Plot</i> dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Jundiaí-Mirim.....	181
Figura 10.82 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02100.....	182
Figura 10.83 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02200.....	184
Figura 10.84 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02250.....	185
Figura 10.85 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02400.....	186
Figura 10.86 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02900.....	187
Figura 10.87 - Tendência temporal do ICE para o ribeirão Piraí.....	189
Figura 10.88 - <i>Box Plot</i> dos dados de $\text{DBO}_{5,20}$ para o ribeirão Piraí	190
Figura 10.89 - <i>Box Plot</i> dos dados de Coliformes Termotolerantes para o ribeirão Piraí.....	191
Figura 10.90 - Situação geral para a bacia do PCJ	193

LISTA DE TABELAS

Tabela 7.1 - Classificação da qualidade das águas.....	48
Tabela 8.1 - Exemplo de valores observados.....	72
Tabela 8.2 - Comparação dos valores com os limites para a Classe 2	73
Tabela 8.3 - Resultados dos valores Inconformes para a variável nitrito.....	74
Tabela 8.4 - Resultados dos valores Inconformes para a variável oxigênio dissolvido.....	74
Tabela 8.5 - Resultados dos valores Inconformes para a variável pH.....	75
Tabela 10.1 - Faixas de classificação do ICE	89
Tabela 10.2 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02100.....	90
Tabela 10.3 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02135.....	92
Tabela 10.4 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02192.....	94
Tabela 10.5 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02220.....	95
Tabela 10.6 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02800.....	96
Tabela 10.7 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02010.....	103
Tabela 10.8 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02065.....	105
Tabela 10.9 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02605.....	107
Tabela 10.10 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02800.....	108
Tabela 10.11 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02900.....	110
Tabela 10.12 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02050.....	116
Tabela 10.13 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02300.....	117
Tabela 10.14 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02400.....	118
Tabela 10.15 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02900.....	120
Tabela 10.16 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02050.....	127
Tabela 10.17 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02200.....	128
Tabela 10.18 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02500.....	129
Tabela 10.19 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02900.....	131
Tabela 10.20 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02010.....	137
Tabela 10.21 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02200.....	138
Tabela 10.22 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02300.....	139
Tabela 10.23 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02400.....	141
Tabela 10.24 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02800.....	142

Tabela 10.25 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02030	148
Tabela 10.26 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02100	149
Tabela 10.27 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02130	151
Tabela 10.28 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02160	153
Tabela 10.29 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02200	154
Tabela 10.30 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02700	155
Tabela 10.31 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02900	156
Tabela 10.32 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA02010	163
Tabela 10.33 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA02020	165
Tabela 10.34 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA04150	166
Tabela 10.35 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA04190	167
Tabela 10.36 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA04900	168
Tabela 10.37 - Parcelas do ICE para o Ponto JUMI00250	174
Tabela 10.38 - Parcelas do ICE para o Ponto JUMI00500	175
Tabela 10.39 - Parcelas do ICE para o Ponto JUMI00800	177
Tabela 10.40 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02100.....	182
Tabela 10.41 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02200.....	183
Tabela 10.42 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02250.....	184
Tabela 10.43 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02400.....	186
Tabela 10.44 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02900.....	187
Tabela 11.1 - Principais fontes poluidoras de ambientes aquáticos	196
Tabela 11.2 - Matriz de impacto sobre os usos da água	196
Tabela 11.3 - Classificação das águas doces em função dos usos preponderantes.....	198
Tabela 11.4 - Variáveis de qualidade da água x usos da água	199
Tabela 11.5 - Quadro comparativo das médias dos valores obtidos do ICE ..	201

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIQA	Avaliação Integrada da Qualidade das Águas
ANA	Agência Nacional de Águas
BCWQI	British Columbia Water Quality Index
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CCE	Carbono Cloriforme Extraído
CCME	Canandian Council of Ministers
CCME WQI	Canandian Council of Ministers of the Environmental Water Quality Index
CEIVAP	Comitê da Bacia do Rio Paraíba do Sul
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo
CGEE	Centro de Gestão de Estudos Estratégicos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSL	Centre Saint-Laurent
CTHIDRO	Fundo Setorial de Recursos Hídricos
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DESA	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
EPUSP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GEF	Global Environment Facility
IAP	Índice de Qualidade de Água para fim de Abastecimento Público
IB	Índice de Balneabilidade
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
IET	Índice do Estado Trófico

IGQA	Índice Geral de Qualidade de Água
IPMCA	Índice de Parâmetros Mínimos para Preservação da Vida Aquática
IQA	Índice de Qualidade da Água
Iqad	Índice de qualidade da água distribuída
Iqai	Índice de qualidade da água <i>in Natura</i>
Iqap	Índice de qualidade da água produzida
Iqet	Índice de qualidade do esgoto tratado
IQBP	Indice de Qualité Bactériologique et Physico-chimique
IQUA	Índice de Qualidade de Uso da Água
ISTO	Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas
IVA	Índice de Preservação da Vida Aquática
MINTER	Ministério do Interior
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NKT	Nitrogênio Kjeldahl Total
NMP	Número Mais Provável
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
OEA	Organização dos Estados Americanos
PCJ	Piracicaba, Capivari e Jundiaí
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNMA	Programa Nacional de Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PRODESP	Companhia de Processamento de Dados do Estado de São Paulo
RBRH	Revista Brasileira de Recursos Hídricos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos
SSD	Sistema de Suporte à Decisão
THM	Trihalometanos
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFPR	Universidade Federal do Paraná

UGRHI	Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNEP	United Nations Environment Programme
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USP	Universidade de São Paulo
WHO	World Health Organization
WQI	Water Quality Index

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 OBJETIVO.....	24
3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO	25
4 GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA	26
4.1 Objetivos de Qualidade da Água	27
4.2 Padrões de Qualidade da Água	28
4.3 Classificação e Enquadramento dos Corpos Hídricos.....	30
5 O ENQUADRAMENTO COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO	31
5.1 Aspectos legais e institucionais.....	33
5.2 Planejamento para Implantação do Enquadramento.....	37
5.3 Efetivação do Enquadramento.....	38
5.4 Acompanhamento da Efetivação do Enquadramento	41
6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	42
7 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	44
8 METODOLOGIA.....	55
8.1 Descrição do Índice.....	55
8.1.1 Formulação do índice da qualidade de água de CCME WQI.....	56
8.1.2 Resultados do Índice.....	58
8.2 Origem do Índice	59
8.2.1 Centre St Laurent.....	61
8.2.2 Quebec	62
8.2.3 British Columbia.....	63
8.2.4 Alberta.....	64
8.3 Proposta de Aplicação do Índice	65
8.4 Aplicação do Índice.....	66
8.4.1 Observações quanto à confecção das planilhas	66
8.4.2 Observações quanto aos procedimentos de cálculo.....	71
8.4.3 Exemplo de cálculo	72
9 ESTUDO DE CASO.....	77

9.1 Área de Estudo	79
9.2 Fontes de poluição.....	82
9.3 Levantamento dos dados de qualidade da água	85
10 RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
10.1 Categorias de Classificação	88
10.2 Resultados para a Bacia do Rio Piracicaba	89
10.3 Resultados para a Bacia do Rio Capivari.....	147
10.4 Resultados para a Bacia do Rio Jundiá	162
10.5 Resultado para a Bacia do PCJ.....	192
11 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE	194
11.1 Usos da Água x Poluição das Águas.....	194
11.2 Seleção das Variáveis de Qualidade da Água	196
12 CONCLUSÕES.....	205
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	209
ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA	
ÁGUA.....	218

1 INTRODUÇÃO

O Brasil nas últimas duas décadas vem merecendo o devido destaque no cenário internacional no que diz respeito à gestão das águas (PORTO, 2002), apesar de ser um dos países mais ricos em água doce, as cidades sofrem constantemente problemas de abastecimento de água para os diferentes usos, tanto em relação à quantidade como em qualidade adequadas, gerando a necessidade do estabelecimento de um processo de gestão dos recursos hídricos brasileiros.

A promulgação da Lei Federal 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que aprovou a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento Hídricos foi a maior conquista para o gerenciamento adequado da água para evitar os conflitos advindos dos vários usos da água.

O estado de São Paulo foi pioneiro na implantação do gerenciamento integrado dos recursos hídricos e a Lei Estadual 7.663 de 30 de dezembro de 1991 foi instituída antes mesmo da nacional, possuindo fundamentos similares ao da Política Nacional (BARTH, 1999 apud MARCON, 2005).

O processo de gestão tem como objetivo garantir a sustentabilidade aos usos múltiplos da água e o enquadramento passa a ser uma das ferramentas essenciais para esta garantia, pois tem como característica conciliar a questão da disponibilidade hídrica em nível qualitativo e quantitativo.

O enquadramento dos corpos hídricos é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, fundamental para o gerenciamento de recursos hídricos e o planejamento ambiental, principalmente no que concerne à gestão integrada de quantidade e qualidade da água (PORTO, 2002).

O enquadramento dos corpos de água em classes segundo os usos preponderantes é o estabelecimento de metas de qualidade da água, as quais devem ser alcançadas ou mantidas em um segmento do corpo hídrico ao longo do tempo.

Os objetivos de qualidade e os padrões ambientais correspondentes a cada classe de uso estão contidos na Resolução n. 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, de 17 de março de 2005, que classifica as águas doces, salobras e salinas do território nacional, segundo seus usos preponderantes. A

Resolução n. 357 estabelece ainda alguns critérios a serem obedecidos para o enquadramento de corpos hídricos.

Quanto aos aspectos de gestão de recursos hídricos, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos aprovou a Resolução n. 12 em 19 de julho de 2000, a qual estabelece os procedimentos para o enquadramento de corpos de água, seguindo os preceitos da Lei 9.433.

O enquadramento não é uma simples classificação dos corpos hídricos em classes de uso, mas sim um importante instrumento de planejamento, que busca dar aos usos definidos para a bacia hidrográfica a sustentabilidade desejada através da garantia da qualidade da água (PORTO, 2002).

Porto (2002) ainda enfatiza o caráter estratégico do enquadramento na gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que trabalha com a visão futura dos usos da bacia, permitindo a definição dos rumos a serem adotados para alcançar a situação da qualidade desejada.

O enquadramento define metas de qualidade de água para o corpo hídrico, as quais devem ser mantidas ou melhoradas ao longo do tempo, conforme a situação de degradação da bacia hidrográfica. O prazo para alcançar estas metas faz parte do Plano de Efetivação do Enquadramento que consiste no conjunto de medidas ou ações progressivas e obrigatórias, necessárias ao atendimento das metas progressivas intermediárias e final de qualidade da água (previstas na Resolução CONAMA n. 357) estabelecidas para o enquadramento do corpo hídrico.

A classe do enquadramento para um determinado corpo hídrico deverá ser definida de forma participativa, levando-se em conta as prioridades para o uso da água. Ao ser decidido de forma negociada, o enquadramento torna-se um pacto entre os diversos setores atuantes na bacia e permite buscar a sustentabilidade dos usos da água. A discussão e o estabelecimento desse pacto ocorrerão dentro do Comitê da Bacia Hidrográfica, a partir de proposta feita pela Agência da Bacia. A aprovação final do enquadramento acontecerá no âmbito dos Conselhos Estaduais ou do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, conforme o domínio do corpo hídrico, e sempre consoante com as diretrizes da Resolução CONAMA n. 357 e da Resolução CNRH n.12.

Na década de 1980, com o intuito de fornecer embasamento para os futuros planejamentos dos usos integrados dos recursos hídricos dos corpos d'águas

federais, foram elaborados diagnósticos dos usos da água dos principais mananciais do território brasileiro, baseados em informações retiradas de planos e estudos já existentes. Esses estudos resultaram na implementação dos Comitês Executivos de Bacias Hidrográficas de várias bacias hidrográficas (Paraíba do Sul, Paranapanema, Guaíba, São Francisco, Jari, Iguaçu, Jaguari/Piracicaba, Paranaíba, Ribeira do Iguape e Pardo/Mogi) e na definição de Projetos Gerenciais com propostas de enquadramento (ANA, 2005a).

Dados da ANA (2006 apud ALVES, 2007) indicam que existem hoje, no Brasil, sete comitês de bacias hidrográficas em rios de domínio da união e quase uma centena em rios de domínio estadual. Os principais comitês de bacia em rios de domínio da União são: Bacia do Rio Doce (CBH-Doce), Bacia do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Comitês PCJ), Bacia do Rio Paranaíba (CBH- Paranaíba), Bacia do Rio São Francisco (CBH- São Francisco) e Bacia do Rio Verde Grande (CBH-Verde Grande).

Como menciona Pizella e Souza (2007), os estados com maior número de Comitês de Bacias são aqueles pioneiros em sua implementação, anterior à exigência da PNRH, como Rio Grande do Sul e São Paulo, em relação às Agências de Bacias, a experiência no país ainda é insipiente devido, principalmente, às barreiras de ordem financeira, uma vez que a regulamentação das mesmas requer, como pré-requisito, a autonomia financeira conseguida somente com a adoção da cobrança pelo uso da água.

MMA (2006) apud Diniz (2006) afirma que não se tem notícia de bacia hidrográfica enquadrada com todos os critérios estabelecidos pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos e os procedimentos previstos pela legislação, como a aprovação do enquadramento pelos Conselhos de Recursos Hídricos e a observância da Resolução CONAMA n. 357 que trata da classificação dos corpos hídricos. Isto significa que o enquadramento é ainda um instrumento pouco entendido e consequentemente não aplicado de forma ativa no Brasil.

Somente onze estados da federação possuem normativos enquadrando os corpos d'água, sendo que em São Paulo, Santa Catarina, Rio de Janeiro e Alagoas o enquadramento precisa ser revisto, pois foram feitos antes da Resolução CONAMA n. 357 (ANA, 2005a).

O único reenquadramento realizado mediante as novas determinações estipulada pela Resolução CONAMA n. 357 foi o da bacia hidrográfica do rio São Francisco, foi aprovado pelo Comitê da Bacia, mas ainda não foi encaminhado para os respectivos Conselhos de Recursos Hídricos (COSTA, 2005 apud DINIZ, 2006).

A maioria dos enquadramentos brasileiros foi feito sem considerar os usos atuais e futuros da bacia e diretrizes ambientais, no modelo compulsório e os critérios de investimentos, com exceções, como o caso de Minas Gerais, em que o enquadramento foi realizado mediante levantamentos locais e diagnósticos com ampla participação (DINIZ, 2006) e do rio dos Sinos, demonstrando que mesmo com grandes investimentos a qualidade da água não melhoraria (USP/UFPR, 2008).

Apresenta-se a seguir um resumo de alguns exemplos de processos de implantação de enquadramentos ocorridos em alguns estados brasileiros.

O estado de Minas Gerais desenvolve o processo de enquadramento em três fases: normativa, qualitativa e operativa (USP/UFPR, 2008).

A fase normativa consiste na identificação e localização dos usos prioritários da água, que inclui não só a identificação como também sua localização concluindo com a elaboração da Proposta de Enquadramento, apresentada aos municípios da bacia em Audiências Públicas e oficializada em Deliberação Normativa aprovada pelo Plenário.

Na fase qualitativa tem como objetivo verificar a qualidade atual dos corpos d'água, comparar com seus respectivos objetivos de qualidade, identificar os parâmetros problemas e, conseqüentemente, as causas dos desvios.

A fase operativa se aplica um conjunto de medidas necessárias para colocar e/ou manter a condição de um segmento de corpo d'água em correspondência com sua classe.

Os rios enquadrados no estado de Minas Gerais foram os rios Piracicaba/Doce, Paraopeba, Paraibuna, Velhas, Pará, Verde/Grande, todos com a fase normativa concluída (USP/UFPR, 2008).

No Rio Grande do Sul, na bacia dos Sinos, o processo de enquadramento foi composto pela definição dos usos das águas de cada trecho do rio dos Sinos e de seus afluentes de primeira ordem e as condições adequadas de qualidade e quantidade que deveriam possuir no futuro; fixação, por consequência, dos objetivos

de qualidade para as águas da bacia hidrográfica; estabelecimento, a partir desses objetivos, das metas a serem atingidas pelo Plano de Bacia (USP/UFPR, 2008).

A metodologia do enquadramento foi inserida no contexto do gerenciamento dos recursos hídricos e no âmbito do Comitê de Bacia - o COMITESINOS, moldada em consonância com as legislações.

Os representantes de cada categoria que formam o Comitê são os agentes de mobilização, que deverão promover a participação efetiva dos seus representados no processo de enquadramento, valorizando assim a representatividade.

Os princípios norteadores aplicados foram o da gestão participativa - mobilização e participação social - considerando-se a comunidade que vive e trabalha na bacia hidrográfica do rio dos Sinos como o público alvo a ser envolvido.

Todo o processo de enquadramento de corpos hídricos envolve processos decisórios em diversos níveis, os quais podem ser bastante facilitados se houver informação suficiente, clara e objetiva para subsidiá-lo.

Uma das dificuldades que comumente se enfrenta na área da gestão dos recursos hídricos é definir o que consiste uma violação ou não do enquadramento vigente, ou mesmo, o quão distante o corpo hídrico, no seu estado atual, está do enquadramento de valor legal, bem como acompanhar a eficácia das ações e do resultado dos investimentos.

Isto se deve ao fato do processo de enquadramento trabalhar com muitas variáveis representativas de qualidade da água e ser planejado de diferentes maneiras no tempo e no espaço.

Desenvolver metodologias que facilitem a transmissão destas informações é um desafio, pois o comportamento das variáveis de qualidade da água apresenta grande variância, desde a influência da sazonalidade até a importância que cada uma delas possui para os diversos usos da água e na maioria das vezes não obedece a uma distribuição normal de probabilidades.

A produção deste conhecimento pode, em muito, ajudar a melhorar o processo decisório e a gestão das bacias hidrográficas.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é adequar um Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) com o propósito de fornecer subsídios para o acompanhamento da situação do corpo hídrico em relação à situação planejada para a sua condição de qualidade da água. O enquadramento do corpo hídrico prevê que sua condição seja mantida ou melhorada e há a necessidade de serem desenvolvidos instrumentos que facilitem este acompanhamento.

A conformidade neste caso seria a verificação do atendimento ao enquadramento, ou em outras palavras, se a condição do corpo hídrico está próxima ou não do enquadramento de valor legal, isto é, o quanto está “aderida” ao enquadramento vigente.

Este índice está baseado no CCME WQI (Canadian Council of Ministers of the Environmental Water Quality Index) desenvolvido em 1997, o qual avalia a condição do corpo hídrico em relação a determinados objetivos de qualidade da água anteriormente definidos.

O CCME WQI foi elaborado por uma comissão de especialistas em qualidade da água, que a partir de características de outros índices de qualidade da água já utilizados em diversas localidades do Canadá, formulou um índice para ser utilizado nos relatórios com a propriedade de transmitir as informações sobre a qualidade dos corpos hídricos de uma forma que todos entendessem, isto é, tanto os técnicos como as pessoas leigas no assunto (CCME, 2001a).

O índice permite ao usuário conhecer as condições de qualidade da água, por meio de um valor que sintetize as informações oriundas das inúmeras variáveis de qualidade da água utilizadas nos monitoramentos (CCME, 2001b).

O CCME WQI é utilizado em programas de monitoramento de qualidade da água no Canadá desde 2001 (LUMB et al., 2006).

Assim, o presente estudo visa o desenvolvimento de uma metodologia que permita verificar, para os diversos trechos da bacia em estudo, a condição de “aderência” ao enquadramento atualmente válido ou mesmo identificar se os trechos estão ou não conformes com um enquadramento de valor legal. Neste último caso, deverão ser previstas as ações de recuperação.

3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

O acompanhamento da situação de enquadramento é uma atividade essencial para o planejamento da bacia hidrográfica e para a gestão dos recursos hídricos, pois é necessário verificar se a estratégia adotada e os investimentos no controle da poluição estão funcionando, dispondo de instrumentos objetivos para orientar o processo decisório, para, por exemplo, reavaliar as metas anteriormente estabelecidas (PORTO, 2002).

Este acompanhamento deve medir a “distância” entre a situação do corpo hídrico, num determinado intervalo de tempo, e as metas programadas (PORTO, 2002).

O desenvolvimento do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) auxiliará a tomada de decisões, uma vez que a grande quantidade de parâmetros relacionados com a qualidade da água acaba dificultando a avaliação das condições dos corpos hídricos e a percepção do quão distante sua situação está das condições de enquadramento aprovadas.

A existência de um indicador que informe de maneira objetiva e sintética a evolução temporal da condição da água com relação à sua situação de enquadramento pode agilizar o processo de tomada de decisões por parte dos responsáveis pelo gerenciamento de recursos hídricos, pois este indicador terá como característica fornecer, com um único valor, subsídios a respeito da situação do corpo hídrico, por meio da agregação de valores de diferentes variáveis de qualidade da água.

O ICE pode ser utilizado não apenas para acompanhar a evolução da condição hídrica em relação à sua situação de enquadramento, mas pode servir também para verificar a conformidade em relação aos usos preponderantes, caso sejam utilizados subconjuntos de variáveis relacionadas a usos específicos.

Com este índice, os órgãos gestores de recursos hídricos e os órgãos ambientais competentes poderão, de forma mais adequada, monitorar, controlar e fiscalizar as condições dos corpos de água, para avaliar se as metas do enquadramento estão sendo cumpridas.

4 GESTÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água está condicionada ao uso que dela se faz, além é claro, da sua interação com os componentes do meio ambiente.

Os conflitos gerados pela apropriação e velocidade do uso da água geraram um quadro de escassez e degradação de tal magnitude que se tornou necessária a mudança de comportamento frente à utilização do recurso hídrico: a regulação do gerenciamento da água de forma eficiente que garanta o mínimo nível de quantidade e qualidade para sustentar os usos (REBOUÇAS, 2002; RIBEIRO, 2004 apud DINIZ, 2006).

Souza (2000 apud PIZELLA, 2006) resume bem o conceito do anseio de uma gestão dos recursos naturais, que é conciliar as necessidades humanas à capacidade de suporte do meio, com a definição e consolidação de objetivos estratégicos para o alcance do desenvolvimento sustentável. No caso da gestão da qualidade da água é preciso a criação de leis que estabeleçam padrões de qualidade para os diferentes usos.

O estabelecimento da Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei n. 9.433/97 estabelece uma série de instrumentos que objetiva “*assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos*” (art. 2, inciso I) e “*a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, [...], com vistas ao desenvolvimento sustentável*” (artigo 2, inciso II), ou seja manter a poluição sob controle para garantir quantidade e qualidade hídricas aos usos múltiplos da água.

Apesar deste avanço na gestão da qualidade da água, Porto (2002) enfatiza que no Brasil, ao longo da história, o lado qualitativo da gestão não tem merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer no aspecto legal, quer nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, ou no planejamento e na operacionalização dos sistemas de gestão (PORTO, 2002).

O maior desafio encontrado é conciliar esses dois sistemas de recursos hídricos, o de quantidade e qualidade da água, integrá-los e permitir planejar o equilíbrio entre eles são a busca constante e componente essencial para a gestão das águas.

4.1 Objetivos de Qualidade da Água

A Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei n. 9.433/97 dentre os seus princípios gerais, incorpora os objetivos de qualidade da água dos corpos hídricos como um de seus instrumentos de planejamento de caráter participativo.

Objetivos de qualidade da água são a maneira de conciliar os usos da água desejados e o nível de qualidade adequado para sua sustentação (PORTO, 2002).

Objetivos de qualidade da água representam a base do sistema de gestão, uma vez que articulados com os outros instrumentos, servem como medida para o alcance do nível de qualidade da água para a sustentação dos usos pretendidos (PORTO, 2002; PIZELLA, 2006).

Este instrumento enfoca a gestão da qualidade da água sobre os problemas de poluição específicos a serem resolvidos, tantos os atuais, como os futuros usos planejados para a bacia. Para Porto (2002) os objetivos de qualidade da água estabelecem de forma correta essa visão global da bacia e não de uma forma individualizada dos problemas, a qual levaria a soluções que não seriam expressivas para todos em questão.

A escolha dos objetivos de qualidade e das estratégias para que sejam alcançados consistem em um diagnóstico global das situações ambiental, econômica, social e tecnológica da bacia hidrográfica (unidade de planejamento territorial), uma vez que indicarão a viabilidade de ações, as quais resultarão em padrões de qualidade ambiental para o corpo hídrico compatíveis com o objetivo escolhido.

Quanto mais simples for a definição dos objetivos, mais eficiente será este instrumento, focalizar o problema em um número pequeno de variáveis de qualidade da água ajuda a manter o foco sobre os reais problemas de qualidade da água que a bacia sofre e conduz a soluções mais eficientes e econômicas (ENDERLEIN et al., 1997 apud PORTO, 2002).

Os objetivos de qualidade da água, assim como as metas a serem atingidas, podem ser adaptados ao longo tempo conforme a necessidade, como aparecimento de novas tecnologias que permitam a redução dos níveis de poluição (mais restritivo), bem como em casos em que as expectativas de recuperação foram superestimadas (menos restritivos).

Este instrumento de planejamento pode ter ou não caráter estatutário, no segundo caso como forma indicativa cabendo à autoridade local o estabelecimento de normas e regulamentos, cabíveis de fiscalização.

Podem ser definidos de forma ampla, com grande abrangência territorial, denominados de objetivos de escala ou de uma forma mais específica, isto é, por meio de atribuições para cada corpo hídrico com usos determinados, denominados de objetivos de escala local.

A adoção do objetivo de qualidade da água de escala local como o melhor planejamento de uma bacia hidrográfica é colocar o foco da gestão da qualidade da água sobre os problemas (condições) específicos de poluição oriundos dos usos atuais e futuros da região, isto é, mais realísticos e adaptados à aptidão da bacia hidrográfica, promovendo investimentos tanto de ordem técnica como econômica, de uma forma mais eficiente para a recuperação ou preservação do recurso hídrico.

Uma vez decidido os usos a serem atendidos, consequentemente o objetivo local a ser alcançado estará atrelado ao nível de qualidade da água que sustentará os usos pretendidos. Esta abordagem permite o controle gradual da poluição, inicialmente definindo os objetivos mais simples e progressivamente chegando à despoluição (ou atacando diretamente as áreas mais sensíveis), esta flexibilidade é muito importante principalmente para países em desenvolvimento com poucos recursos para investimentos (PORTO, 2002).

4.2 Padrões de Qualidade da Água

Os objetivos e padrões de qualidade eram regidos pela Portaria MINTER 13/76, com a promulgação do Programa Nacional de Meio Ambiente - PNMA foram determinadas as atribuições dos órgãos ambientais, pertencendo ao Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA a regulamentação dos padrões de qualidade hídrica e de emissão de efluentes, com exceção das águas destinadas ao abastecimento público que estão sob responsabilidade do Ministério da Saúde.

Os padrões de qualidade são a forma legal de normatizar o controle da poluição, são o coração dos sistemas tipo comando-controle e é por meio da verificação do seu atendimento, que também é possível a avaliação do progresso

alcançado, consistem em valores numéricos, ou narrativos, mas bem definidos, de forma a subsidiar o processo de fiscalização (PORTO, 2002).

Esses valores numéricos são definidos com base nos critérios de qualidade da água (limites estabelecidos de forma científica), de forma a terem forte embasamento teórico e representarem segurança para os usos designados.

O controle da poluição das águas por meio da fixação de padrões de qualidade é uma medida de grande necessidade para a melhoria ou manutenção da qualidade da água, tendo em vista os diversos fins a que a mesma se destina, funciona também como uma proteção aos recursos hídricos (VON SPERLING, 1996) e fornecimento da devida sustentabilidade por meio da qualidade que a água deve ter para o uso pretendido (PORTO, 2002).

Em termos práticos, há três padrões de interesse direto dentro da Engenharia no que tange à qualidade da água (VON SPERLING, 1996):

- I. Padrões de lançamento no corpo receptor;
- II. Padrões de qualidade do corpo receptor;
- III. Padrões de qualidade para determinado uso imediato (ex.: padrões de potabilidade).

Como instrumentos de gestão da qualidade da água são utilizados o padrão ambiental (qualidade) e o padrão de emissão (lançamento), o primeiro refere-se aos valores-limite que as variáveis de qualidade da água devem apresentar para cada uso (atendimento ao objetivo de qualidade), o segundo refere-se aos valores-controle de lançamento de poluentes no corpo receptor.

A maior eficiência de controle da poluição é obtida com a combinação dos padrões ambiental e de emissão, não é possível utilizar somente o padrão ambiental para a gestão da qualidade da água, pois ficaria difícil descobrir o responsável pela violação dos limites (PORTO, 2002).

Portanto, os padrões estão inter-relacionados, uma vez que trabalham para preservar a qualidade no corpo d'água. Este inter-relacionamento se dá no sentido de que um efluente, além de satisfazer os padrões de lançamento, deve proporcionar condições tais no corpo receptor, de tal forma que a qualidade do mesmo se enquadre dentro dos padrões para corpos receptores.

“Os limites de concentração a serem adotados em uma norma de enquadramento devem ser estabelecidos por especialistas em saúde pública ou animal, fitologia, ecologia, em conjunto com especialistas em tratamento de águas e sempre se reportando ao entorno, nos seus aspectos climáticos, fisiográficos e

culturais” conforme sugere MMA/SRH (2000a), respeitando as condições naturais (clima, litologia e vegetação) dos corpos de água e atendendo aos usos designados. Para isso ser realizável o estabelecimento dos padrões ambientais deverá ser feito de forma flexível e descentralizada para atender a todas as especificidades locais (PORTO, 2002).

4.3 Classificação e Enquadramento dos Corpos Hídricos

A relação entre os usos da água e objetivos de qualidade almejados são representados pela classificação dos corpos hídricos.

O agrupamento em Classes de Uso, fundamentado nas qualidades da água comuns entre os diversos usos, é comumente utilizado para a expressão dos objetivos de qualidade da água e definição das ações estratégicas (PORTO, 2002).

A classificação dos corpos de água é a combinação entre os objetivos de qualidade e os padrões ambientais, ou critérios de qualidade, os quais podem ser definidos para cada classe de uso ou diretamente pelos usos designados.

A classificação pode servir aos seguintes propósitos (PORTO, 2002):

- I. Permitir a diferenciação entre trechos de rio com usos diferenciados: os trechos são classificados de acordo com os usos e cada um terá seu conjunto de objetivos de qualidade e padrões ambientais a serem obedecidos para o alcance da qualidade hídrica; método adotado no Brasil (um conjunto de objetivos reunidos sob uma classe);
- II. Medir a aderência da qualidade do corpo hídrico ao objetivo único (global) designado, caso da Inglaterra e País de Gales;
- III. Distinguir apenas dentre um uso específico, outros usos derivados, por exemplo, se o uso é recreação, as classes distinguem entre recreação de contato primário e recreação de contato secundário, caso do Estado do Colorado nos EUA.

O esquema adotado seja por classes de uso ou pelos usos diretamente, remete a um importante instrumento de planejamento para a integração da gestão da quantidade e da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, denominado de enquadramento dos corpos hídricos, processo global que é constituído pelas seguintes etapas:

- I. definição dos usos da água;
- II. definição dos objetivos de qualidade;
- III. estabelecimento dos padrões ou critérios a serem atendidos.

O tema enquadramento sendo a base de desenvolvimento desta dissertação, é um instrumento pouco entendido, merecendo um devido destaque. Além disso, ajudará a compreender porque é necessário algo que auxilie na sua aplicação.

5 O ENQUADRAMENTO COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO

O enquadramento de corpos hídricos é um instrumento de gestão cuja implementação não é simples. Os principais problemas para realização dos enquadramentos são a insuficiente capacitação técnica, metodologia pouco entendida e falta de coordenação nas ações de gestão (SRH/MMA, 1999 apud ANA, 2005a).

No estudo realizado pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH/MMA, 1999 apud ANA, 2005a), uma série de medidas deve ser tomada para sanar estas dificuldades, dentre elas destacam-se:

- a criação de fundos e mecanismos de apoio técnico e financeiro às atividades de enquadramento;
- o apoio à formação de comitês;
- a criação de Agências de Bacia;
- a ampliação da rede de monitoramento de qualidade de água.

Deve-se ressaltar que o enquadramento, além de ser um instrumento de difícil entendimento, é um processo que envolve um extenso diagnóstico da bacia para determinar os usos atuais e futuros associados à vocação e às características sócio-econômico-culturais da região, além de estudos hidrológicos envolvendo a quantidade e a qualidade da água. Portanto, é essencial que sejam facilitadas as informações que servirão de base para o processo decisório.

Existe a necessidade de criação de programas de capacitação técnica para a realização dos enquadramentos, pois em muitos casos a definição do enquadramento não leva em conta os usos preponderantes dos corpos hídricos e nem a conformidade do enquadramento ao longo do tempo, devido principalmente ao pouco uso deste instrumento no planejamento de bacias hidrográficas.

Isso se deve ao fato principalmente do desconhecimento e das dificuldades metodológicas para aplicação do enquadramento e a prioridade de utilização de outros instrumentos de gestão, em detrimento daqueles de planejamento.

Existem outras razões, dentre elas sendo que nunca se desenvolveram diretrizes para orientar o procedimento de enquadramento, além do número excessivo de variáveis de qualidade da água que compõem o padrão ambiental

relativo ao objetivo de qualidade (LEEUWESTEIN; CORDEIRO, 2002 apud PORTO, 2002).

O trabalho realizado por Pizella e Souza (2007) em que foram analisados os problemas existentes na gestão da qualidade hídrica brasileira frente às premissas de sustentabilidade ambiental, por meio da identificação das novas tendências de estratégias adotadas internacionalmente, pode-se verificar que existe uma falta de clareza na definição das atribuições de responsabilidades entre os órgãos de gestão de recursos hídricos, apresentando em diversas situações, sobreposição de atividades entre estes órgãos; além da não constituição de sistemas de gestão como preconizado em leis federais e a incongruência entre estas e as leis estaduais são uns dos maiores empecilhos à gestão da qualidade hídrica no país.

Pelas considerações citadas anteriormente, conclui-se que é necessária a criação de um programa nacional de capacitação técnica de todos os envolvidos no processo de enquadramento, a fim de melhorar o conhecimento sobre este instrumento e de suas interfaces com os outros instrumentos de gestão dos recursos hídricos (COSTA, 2005 apud DINIZ, 2006), além de incentivar a participação social, munindo-a de informações necessárias para apoiar nas decisões.

Os três subconjuntos a seguir descritos resumem bem do que se espera de um sistema de gestão da qualidade da água, para que as decisões sejam de forma equilibrada com expectativas que sejam realizáveis e factíveis (PERRY; VANDERKLEIN, 1996 apud PORTO, 2002):

- I. um forte embasamento técnico que permita avaliar as condições atuais de qualidade da água e o potencial de atendimento aos usos pretendidos, tanto no que se refere à recuperação de áreas poluídas como aos casos onde a preocupação é como autorizar novos usos e ao mesmo tempo conservar o recurso;
- II. um embasamento de caráter político que reforce o caráter participativo da decisão sobre a aptidão da bacia hidrográfica e, portanto, sobre os usos pretendidos no médio e longo prazos;
- III. um embasamento de caráter institucional e legal com mecanismos e instrumentos que permitam a realização das ações necessárias para alcançar as metas.

O trabalho de ampliação do enquadramento exige o estabelecimento de prioridades que devem considerar, entre outros aspectos, a hierarquia de usos e suas necessidades de qualidade, assim como existência de conflitos (MACIEL, 2000).

Para evolução do processo de enquadramento necessita-se da definição de metodologias que simplifiquem a tomada de decisão, a fiscalização e manutenção dos padrões estabelecidos. Essa simplificação pode ser obtida com o auxílio de

índices desenvolvidos especificamente para o controle do instrumento de enquadramento.

5.1 Aspectos legais e institucionais

Nos últimos trinta anos, o Brasil evoluiu no fortalecimento jurídico do enquadramento como instrumento de integração dos aspectos de qualidade e quantidade da água, dotando-o de capacidade legal e institucional. A seguir uma relação dos principais marcos legais que dizem respeito ao instrumento enquadramento dos corpos hídricos (DINIZ, 2006):

- I. a primeira norma nacional de enquadramento elaborada na década de 70;
- II. a Política Nacional de Meio Ambiente e a regulamentação dos padrões de qualidade de água por meio da Resolução CONAMA 20/86;
- III. os princípios e diretrizes da Constituição Federal de 1988;
- IV. a Política do Estado de São Paulo em 1991;
- V. a Política Nacional de Recursos Hídricos com os seus regulamentos;
- VI. a Resolução CONAMA 357/05.

Maciel (2000) salienta que as leis e normas para serem eficientes é preciso que as instituições responsáveis por suas aplicações estejam devidamente organizadas, isto é, prever os resultados, uma estrutura organizacional adequada, recursos materiais e humanos disponíveis, bem como a existência das fontes financiadoras para a operacionalização.

A abordagem geral dos aspectos legais que envolvem a gestão dos recursos hídricos será apresentada a seguir em ordem cronológica de vigência e considerados aqueles mais relevantes para a finalidade da dissertação:

- a. Lei Estadual n. 7.663 de 30 de dezembro de 1991 que estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo;
- b. Lei Federal n. 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Recursos Hídricos e dá outras providências;
- c. Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos n. 12 de 19 de julho de 2000 que dispõe sobre o enquadramento de corpos de água e

sobre os planos de recursos hídricos: vinculação entre os procedimentos para o enquadramento com o Plano de Bacia;

- d. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA n. 357 de 17 de março de 2005 que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

A Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos d'água tem por objetivo assegurar a qualidade requerida para os usos preponderantes, sendo mais restritivos quanto mais nobre for o uso pretendido e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes. Além disso, o enquadramento dos corpos d'água deve estar baseado não necessariamente no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir ou serem mantidos, para atender às necessidades da comunidade (ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003 apud ANA, 2005a).

O Comitê de Bacia Hidrográfica é o responsável pela aprovação da proposta de enquadramento dos corpos de água em classes de uso, elaborada pela Agência de Bacia, para posterior encaminhamento ao respectivo Conselho de Recursos Hídricos Nacional ou Estadual, de acordo com o domínio dos corpos de água.

Os procedimentos para o enquadramento dos cursos d'água em classes segundo os usos preponderantes, definindo as competências para elaborar e aprovar a respectiva proposta e as etapas a serem observadas, são estabelecidos pela Resolução CNRH nº 12, de 19 de julho de 2000 (BRASIL, 2000a).

O enquadramento deve ser elaborado de acordo com a Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005, que divide em treze classes, segundo a qualidade desejada para os usos preponderantes, as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.

As entidades envolvidas no processo decisório de enquadramento são:

- **Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA):** colegiado que compõe a estrutura do Ministério do Meio Ambiente – MMA, órgão de maior hierarquia na estrutura do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e a instância responsável por normas, critérios e padrões

relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional de recursos ambientais, principalmente os hídricos (Portaria n.º 326, de 15 de dezembro de 1994);

- **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA/MMA):** órgão executor do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA e tem a atribuição de dar apoio ao MMA na execução da Política Nacional de Meio Ambiente, responsável pela proposição de normas e padrões de qualidade ambiental e pelo disciplinamento, cadastramento, licenciamento, monitoramento e fiscalização dos usos e acessos aos recursos ambientais, bem como pelo controle da poluição e do uso de recursos hídricos em águas de domínio da União (Decreto n.º 3.059, de 14 de maio de 1999);
- **Conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos:** o órgão de maior hierarquia na estrutura do Sistema Nacional de Recursos Hídricos é o CNRH, responsável pelas grandes decisões a serem tomadas na gestão do setor; estabelece diretrizes complementares para implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e aplicar seus instrumentos (Lei n.º 9.433/97); os Conselhos de Recursos Hídricos aprovam o enquadramento dos corpos de água ao domínio que lhe compete, de acordo com as diretrizes do CONAMA e com a classificação estabelecida na legislação ambiental (Decreto n.º 2.612/98), acompanha a execução do Plano Nacional de Recursos Hídricos e determina as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;
- **Secretaria de Recursos Hídricos (SRH/MM):** órgão coordenador e supervisor da política de recursos hídricos, como Secretaria Executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, apóia o Conselho no estabelecimento de diretrizes complementares para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e aplicação de seus instrumentos, e instruir os expedientes provenientes dos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos e dos Comitês de Bacia Hidrográfica (Decreto n.º 2.612/98);
- **Agência Nacional de Águas (ANA/MMA):** disciplina, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a

avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e propõem ao CNRH incentivos, inclusive financeiros, à conservação qualitativa e quantitativa de recursos hídricos (Lei n.º 9.984/2000);

- **Comitês de Bacia Hidrográfica:** no âmbito de bacia hidrográfica, reconhecem-se os Comitês de Bacia Hidrográfica e as Agências da Água como instâncias atuantes na gestão das águas; o Comitê é um foro democrático responsável pelas decisões a serem tomadas na bacia e a Agência é reconhecida como “braço executivo” do Comitê; os Comitês e suas Agências de Água procuram solucionar conflitos de usos da água na bacia e dependem da política formulada pelo CNRH ou CERH e pelos órgãos federais e estaduais gestores de recursos hídricos e de meio ambiente; compõem os Comitês representantes: da União; dos estados e do Distrito Federal; dos municípios; dos usuários e das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia;
- **Agências de Água:** no âmbito de sua área de atuação, propõem aos respectivos Comitês de Bacia Hidrográfica o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso, para encaminhamento ao Conselho Nacional ou Conselho Estadual ou do Distrito Federal de Recursos Hídricos, de acordo com o domínio destes. Consórcios e associações intermunicipais de bacias hidrográficas poderão receber delegação dos Conselhos, por prazo determinado, para exercer funções de competência das Agências de Água, enquanto esses organismos não estiverem constituídos;
- **Órgãos estaduais gestores de recursos hídricos e de controle ambiental, municípios, representantes dos usuários de água e da sociedade civil:** têm direito a voz e voto no Comitê de Bacia Hidrográfica nas decisões referentes aos recursos hídricos na bacia; os órgãos estaduais de meio ambiente e de recursos hídricos recebem diretrizes do CNRH ou CERH e têm como competências o controle, o monitoramento e a fiscalização dos corpos de água, além da elaboração de estudos.

5.2 Planejamento para Implantação do Enquadramento

O enquadramento de corpos hídricos representa a visão futura da bacia (PORTO, 2002), assim sendo, há a necessidade de se definir as estratégias e as metas de qualidade desejadas no médio e longo prazo. O alcance destas metas, é claro, somente será possível se planejado de forma consistente e coerente com as reais necessidades da bacia e de acordo com sua capacidade de investimento.

A Resolução CONAMA n. 357 prevê, inclusive, que o enquadramento dos corpos hídricos pode ser implantado por meio de “metas progressivas”, as quais representam etapas intermediárias de qualidade para o corpo hídrico, até que seja atingida a classe desejada no final do prazo estabelecido. A obtenção final do enquadramento é definida como “efetivação do enquadramento”.

A efetivação do enquadramento requer, portanto, a implantação de uma série de ações estruturais e não estruturais que exigem um esforço de planejamento, algumas delas acontecem antes mesmo do processo de enquadramento, contudo vinculadas a ele. Além disso, estas medidas estão relacionadas com o processo de gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica e a maneira lógica de serem aplicadas é a seguinte (USP/UFPR, 2008):

- I. sensibilização da sociedade e organização do comitê de bacia hidrográfica;
- II. organização da agência da bacia hidrográfica;
- III. capacitação do comitê e da agência de bacia;
- IV. elaboração do Plano de Recursos Hídricos para a bacia;
- V. divulgação e discussão do Plano com a sociedade;
- VI. implementação do Plano;
- VII. proposta de enquadramento dos cursos d'água segundo as diretrizes e prioridades do Plano;
- VIII. implantação do enquadramento.

Para a implantação do enquadramento, utiliza-se as seguintes etapas de planejamento (USP/UFPR, 2008):

- I. avaliação do potencial de desenvolvimento da região;
- II. estudo de ações estruturais e não-estruturais visando atingir o enquadramento proposto, incluindo soluções para tratamento de efluentes industriais e domésticos, procedimentos para outorga, gerenciamento da carga difusa, etc.;
- III. avaliação dos custos de implantação e operação de cada ação (estruturais e não-estruturais);
- IV. avaliação dos benefícios de cada ação (se possível);
- V. elenco das “melhores” ações dos pontos de vista sócio-econômico e ambiental;
- VI. avaliação dos prazos necessários para implantação de cada ação proposta;
- VII. definição das entidades e/ou organismos responsáveis por cada ação;

- VIII. identificação das fontes de recursos disponíveis e capacidades de investimento (fundos, empréstimos, financiamentos, etc.);
- IX. identificação de ações interdependentes;
- X. estabelecimento de mecanismos de controle e avaliação das ações propostas (monitoramento das ações);
- XI. elaboração de planos de contingência para o caso de atrasos, desvios de “rotas”, etc..

Uma vez caracterizadas todas as ações necessárias para a implantação do enquadramento, é aconselhável estabelecer um cronograma para visualização dos tempos de execução dessas ações, as interdependências temporais e as ações e os “caminhos críticos”.

Como o enquadramento também depende da identificação dos usos futuros da bacia, este deve estar vinculado ao plano regional de desenvolvimento social e econômico da região, pois o enquadramento é um processo de planejamento descentralizado e principalmente de caráter participativo, em que a sociedade define o cenário futuro de desenvolvimento, por meio de discussões realizadas para definir os usos preponderantes para os diversos corpos hídricos, além dos custos, prazos e compromissos associados.

Diniz (2006) sintetiza bem importância das ações dos programas e planos desenvolvidos em todas as esferas administrativas (União, Estados e Municípios) no processo de enquadramento, quando diz:

O diagnóstico e prognóstico necessários ao enquadramento incluem informações sobre a qualidade da água, sobre os usos mais restritivos da água, incluindo aqueles previstos nos zoneamentos ambientais, programas, projetos, políticas, usos do solo, controle de carga difusa e demais aspectos dos serviços de saneamento, avaliações sócio-econômicas, todos requisitos de avaliação do uso, ocupação e qualidade da água das bacias, previstos como conteúdo mínimo do enquadramento pela Resolução CNRH n. 12/2000.

5.3 Efetivação do Enquadramento

A efetivação do enquadramento, isto é, o alcance de sua meta final, é o cumprimento do propósito do enquadramento preconizado pela PNRH, administrar as águas pela integração dos aspectos de qualidade e quantidade, garantindo os usos mais exigentes pela manutenção dos objetivos de qualidade e combatendo a poluição de maneira preventiva (DINIZ, 2006).

O processo para se chegar à efetivação do enquadramento irá considerar os usos atuais e futuros dos recursos hídricos, os benefícios sócio-econômicos e

ambientais e os custos, intervenções e prazos necessários, e deve prever a implantação de uma série de atividades, ações e intervenções, de forma a reduzir, gradativamente, os não atendimentos ao enquadramento de cada trecho do corpo hídrico.

Dentro dos aspectos gerenciais e estruturais que deverão ser considerados no processo de efetivação do enquadramento, podem-se citar os itens a seguir (USP/UFPR, 2008), alguns deles são as etapas de planejamento para a implantação do enquadramento, colocadas em prática, reforçando assim a importância do inter-relacionamento dessas atividades (planejamento e gestão) para o alcance da qualidade da água almejada:

- I. implementação de medidas de controle de poluição hídrica: implantação de sistemas de tratamento de efluentes industriais e urbanos;
- II. procedimentos de outorga para utilização dos recursos hídricos: os órgãos responsáveis pela outorga devem fazê-lo visando manter o enquadramento previsto para o trecho do corpo hídrico;
- III. procedimentos para o licenciamento ambiental: o licenciamento, fornecido pelos órgãos ambientais, de projetos e empreendimentos a serem instalados na bacia deve contemplar o respectivo enquadramento do corpo hídrico;
- IV. gerenciamento da carga difusa: deverão ser previstas também medidas estruturais e não-estruturais para controle de cargas difusas, tais como: varrição de ruas, implantação de estações de tratamento de águas pluviais, implantação de “wetlands”, conservação de matas ciliares, educação ambiental e gerenciamento do uso e ocupação do solo.

O alcance da efetivação do enquadramento depende de um conjunto de medidas e ações necessárias tanto para a definição de metas progressivas e finais realistas quanto para a sua implantação (DINIZ, 2006).

O Programa de Efetivação do Enquadramento define as ações necessárias e prazos para o alcance dessas metas intermediárias e final de qualidade da água, é aprovado pelo respectivo Comitê, o qual deverá ser observado pelos órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente. Esse Programa deverá, minimamente, considerar as seguintes etapas (ANA, 2005a):

- reconhecimento dos usos existentes no corpo d’água;
- levantamento da condição de qualidade do corpo d’água;
- identificação dos parâmetros prioritários de qualidade da água;
- identificação das medidas ou ações necessárias à melhoria da qualidade das águas;
- estabelecimento de metas intermediárias progressivas de melhoria da qualidade da água;

- elaboração do Programa de efetivação do enquadramento.

As “metas progressivas” fundamentais para atingir a meta final de qualidade representam o escalonamento dos investimentos no tempo e a disponibilidade da população em pagar por uma determinada situação de controle da poluição hídrica, para isso, é essencial que se faça uma avaliação econômica e de benefícios para a implantação dessas metas (USP/UFPR, 2008).

O parâmetro Z elaborado por Marin (2001) citado por Diniz (2006) desenvolvido para avaliar as intervenções e benefícios dos planos de despoluição na bacia do Alto Iguaçu é um exemplo de indicador capaz de incorporar o valor econômico nos processos de decisão. Segue uma breve descrição da metodologia (USP/UFPR, 2008).

O benefício econômico é função de um parâmetro de decisão chamado de Z, onde Z é função da variação de poluição em mg/L. Essa variação da poluição é função dos pesos relativos de cada poluente e do peso relativo do uso da água. Os pesos relativos do uso da água são pesos arbitrados pelos usuários e gestores com base em critérios de uso da água e devem refletir a importância relativa entre todos os parâmetros avaliados.

Desta forma, os pesos quantificarão a importância da redução ou ganho de concentração de um determinado parâmetro de qualidade da água em relação aos outros parâmetros utilizados na avaliação de benefícios de medidas de despoluição hídrica. Como exemplo, pode-se citar a quantificação do grau relativo de importância entre o aumento de concentração de oxigênio dissolvido e a redução da concentração da demanda bioquímica de oxigênio no corpo de água, que deve ser equacionada através da atribuição de pesos relativos aos parâmetros de qualidade da água.

A metodologia proposta para avaliação dos benefícios de medidas de despoluição hídrica considera, além da variação da concentração do poluente, o valor final da concentração do parâmetro de qualidade de água após a implementação das medidas de despoluição. Atribui-se peso maior para aquela redução de concentração que mais aproxima a concentração final do parâmetro de qualidade da água às faixas de concentração das classes de rios mais nobres.

5.4 Acompanhamento da Efetivação do Enquadramento

O acompanhamento da efetivação do enquadramento implica no monitoramento das condições de qualidade da água do trecho do rio para verificar se os parâmetros monitorados atendem aos critérios estabelecidos para a classe definida no processo de enquadramento.

Este processo visa também acompanhar a implantação das medidas, estruturais e não estruturais previstas para o controle da poluição pontual e difusa.

As conclusões a serem obtidas por este processo de acompanhamento podem ser melhor trabalhadas se houver informação objetiva sobre a qualidade da água. Como as variáveis a serem monitoradas são muitas, um índice que facilite este acompanhamento pode ser bastante útil.

6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Este tópico visa esclarecer a importância que o monitoramento da qualidade da água tem em fornecer informações a respeito das concentrações dos diversos elementos presentes na água e que servirão de base para a aplicação do índice. Além de outras questões, como a deficiência desta atividade no Brasil e a necessidade de se otimizá-la para o fornecimento de dados suficientes.

O monitoramento da qualidade da água tem por finalidade acompanhar as condições dos corpos hídricos, fornecendo subsídios ou dados para a elaboração e avaliação da efetividade de ações de planos de recuperação e prevenção dos ambientes aquáticos, garantindo as condições adequadas aos múltiplos usos hídricos atuais e futuros pretendidos, como preconizado na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

As informações geradas no processo de monitoramento fornecem o conhecimento dos impactos na qualidade da água, devido às ações do homem na bacia hidrográfica. Fundamental para o planejamento territorial e controle dos impactos, devem representar a verdadeira situação atual da região (CGEE, 2003) e as tendências, isto é, se a qualidade da água está piorando ou melhorando.

Os dados sobre a qualidade da água disponíveis no Brasil ainda são insuficientes, apenas nove Unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons, sete possuem sistemas bons ou regulares e onze apresentam sistemas fracos ou incipientes (ANA, 2005b). A região Sudeste é aquela que possui uma melhor condição em termos de monitoramento da qualidade da água (ANA, 2005b) e dentre as entidades mais representativas pode-se citar a CETESB, responsável pelo controle da poluição no Estado de São Paulo.

Além disso, o número de variáveis avaliadas é pouco expressivo na grande parte dos estados, cujas estações de monitoramento estão em operação há pouco tempo e com séries pequenas de observação. E para agravar, a periodicidade das amostragens é irregular dificultando ainda mais a avaliação da qualidade da água na bacia hidrográfica (CGEE, 2003). As variáveis monitoradas devem representar principalmente os usos atuais e futuros do solo como as potenciais fontes poluidoras

da bacia, bem como os usos mais nobres da água para a preservação da sua sustentabilidade.

Meybeck e Helmer (1989 apud RÖRIG, 2005) alegam a falta de recursos financeiros, de laboratórios e de pessoal capacitado, bem como a despreocupação dos responsáveis perante as questões ambientais, os motivos para as poucas iniciativas de controle da qualidade da água no Brasil.

A existência de um monitoramento constante da qualidade da água que forneça sistematicamente dados completos e precisos, usados corretamente e conjuntamente por meio de metodologias que permitam o acompanhamento da qualidade da água, é um grande aliado para a garantia das condições adequadas da água para os diferentes usos em diferentes locais ao longo do tempo.

7 ÍNDICES DE QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água precisa está relacionada ao uso que se faz dela, a definição de características para mostrar se a mesma está apta a um determinado uso é feita utilizando-se de indicadores, importante instrumento que pode ser composto por variáveis individuais ou por um conjunto delas denominado de índices de qualidade da água.

Khan; Husain e Lumb (2003) salientam que os índices de qualidade da água são ferramentas de simples compreensão e fundamentados em bases científicas, é esperado que estes transmitam resumidamente a condição global dos corpos hídricos ao longo do tempo, mas é preciso lembrar que essas formulações possuem limitações.

Além disso, a combinação e interação entre diferentes variáveis de qualidade da água transformadas em simples valores podem resultar em perda de informações significativas.

O valor obtido é capaz realmente de transmitir a condição em que se encontra o corpo hídrico, uma vez que o índice precisa ser adaptável aos diferentes ecossistemas e aos usos do solo preponderantes da região estudada (ZANDBERGEN; HALL, 1998 apud KHAN; HUSAIN; LUMB, 2003).

Os índices de qualidade da água (IQA) permitem uma análise integrada das ações das variáveis de qualidade da água no sistema, possuem a vantagem da facilidade de entendimento e reconhecimento das tendências ao longo do tempo e do espaço das condições hídricas para os gestores e o público em geral. (CETESB, 2005 apud PIZELLA, 2006; BOLLMAN; MARQUES, 2000 apud RÖRIG, 2005).

A escolha dos indicadores que farão parte de um IQA depende dos objetivos de qualidade desejados e das características do corpo hídrico analisado. Os indicadores podem ser definidos por variáveis físicas, químicas ou biológicas, as mais utilizadas são as seguintes (TCHOBANOGLOUS; SCHROEDER, 1987):

- Físicas: condutividade, cor, temperatura, turbidez, sólidos (totais, suspensos, dissolvidos).
- Químicas: alcalinidade, amônia, bicarbonatos, cádmio, cálcio, chumbo, cloretos, cobre, demanda bioquímica de oxigênio, dureza, ferro, fosfato,

magnésio, manganês, mercúrio, nitrato, oxigênio dissolvido, pesticidas, pH, sódio, sulfato, surfactantes, etc..

- Biológicas: coliformes termotolerantes, espécies de algas, organismo bentônicos, utilização de bioensaios.

Fundamentalmente, existem três tipos básicos de índices de qualidade de água (OTT, 1978 apud MMA, 2003.):

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

Os desenvolvimentos pioneiros de utilização de categorias de qualidade (classes) para informar o nível de poluição da água iniciaram-se na Alemanha em 1848 (OTT, 1978; DERÍSIO, 1992 apud MMA, 2003).

Para OTT (1978 apud MMA, 2003) os índices de qualidade da água podem ser utilizados para diversas finalidades, dentre elas, as que mais se encaixam com o presente texto são:

- IV. análise de tendências: avaliação de mudanças na qualidade ambiental, em determinado período de tempo e acompanhamento da qualidade dos recursos hídricos superficiais;
- V. informação ao público: informe à população sobre as condições de qualidade ambiental em determinado ecossistema;
- VI. identificar problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais em trechos de rios;
- VII. servir de instrumentos para a gestão dos recursos hídricos.

O Brasil intensificou a adoção do IQA a partir de um relatório anual de 1972 do Conselho Nacional de Meio Ambiente, o qual verificou a necessidade da utilização de índices para o meio ambiente (MMA, 2003).

Pizella (2006) comenta que somente 11 estados brasileiros utilizam índices de qualidade da água para avaliar o estado de suas águas (Amapá, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Sul e São Paulo) que diferem entre si pelas variáveis de qualidade da água e nas metodologias adotadas.

Com intuito de elucidar a importância da utilização de índices para avaliação e gestão dos recursos hídricos, bem como para subsidiar a discussão dos enquadramentos de rios junto aos comitês de gerenciamento da bacia, segue uma breve descrição dos principais IQA's já desenvolvidos e utilizados atualmente, principalmente no Brasil.

Estes índices ou avaliam os impactos específicos sobre os corpos hídricos, por exemplo, os esgotos domésticos ou a adequabilidade da água a usos específicos, por exemplo, para abastecimento público. No geral, estes índices não são destinados à avaliação do atendimento ao enquadramento dos corpos hídricos. No caso do ICE, este tem por finalidade avaliar a condição hídrica em relação ao conjunto de usos.

Índice de Horton

Foi o primeiro IQA utilizado como ferramenta para a avaliação dos programas de redução da poluição e para informação pública, elaborado para ser de uso geral, independente da utilização do recurso hídrico.

Interessante observar os critérios adotados na escolha das variáveis, pois já existia uma preocupação com a praticidade e com a relevância das mesmas para a representividade do local (DERÍSIO, 1992 apud MMA, 2003):

- número limitado de variáveis de qualidade da água;
- variáveis significativas em todo o país;
- refletir a disponibilidade de dados.

As variáveis escolhidas por Horton para compor o índice eram: OD, pH, coliformes termotolerantes, alcalinidade, cloreto, condutividade, tratamento de esgoto, CCE - Carbono Cloriforme Extraído e atribuiu a cada um deles um peso que variou de 1 a 4, mais tarde OTT (1978 apud MMA, 2003) como Bollmann e Marques (2000 apud MMA, 2003) fizeram modificações.

O cálculo do índice consiste no somatório dos pesos (P_i), multiplicados por um subíndice que varia entre 0 e 100 e está relacionado com a concentração encontrada de cada variável analisada (I_i); dividido pelo somatório dos pesos (P_i).

O valor obtido é multiplicado por dois coeficientes com valores de 1 ou 0,5, que refletem a temperatura no corpo d'água (M_1) e a poluição aparente representada pela concentração de sólidos sedimentáveis na água (M_2). O resultado final é um número que varia entre 0 a 100, quanto mais próximo de 100 melhor é a qualidade da água.

$$IH = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \times I_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \times M_1 \times M_2$$

onde :

- P_i = peso para a variável de qualidade da água i ;
- I_i = subíndice para a variável de qualidade da água i ;
- M_1 = coeficiente que reflete a temperatura; (7.1)
- $M_1 = 1$ se temperatura $< 34^\circ \text{C}$;
- $M_1 = 0,5$ se temperatura $\geq 34^\circ \text{C}$;
- M_2 = coeficiente que reflete a poluição aparente;
- $M_2 = 1$ se sólidos sedimentáveis $< 0,1 \text{ mL/L}$;
- $M_2 = 0,5$ se sólidos sedimentáveis $> 0,1 \text{ mL/L}$.

Este índice possui como limitação a não avaliação do potencial tóxico da água, isto é, os metais pesados e alguns compostos orgânicos não fazem parte de seu cálculo (MOREIRA, 2007).

Índice de qualidade de Água da National Sanitation Foundation (IQA_{NSF})

Índice bastante similar ao anterior, foi desenvolvido pela National Sanitation Foundation dos EUA por meio de opiniões de especialistas em gerenciamento de recursos hídricos que indicaram as variáveis para o cálculo do índice, o peso relativo das mesmas e a condição em que se apresentava cada uma delas, de acordo com uma escala de valores, estabelecendo curvas de variação da qualidade da água, de acordo com o estado ou condições de cada variável.

As nove variáveis de qualidade da água que fazem parte do IQA_{NSF} são: oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH, demanda bioquímica de oxigênio, nitrato, fosfato total, temperatura, turbidez e sólidos totais.

Atualmente, onze estados utilizam o IQA_{NSF} como indicador da condição dos corpos da água (Amapá, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Sul, São Paulo), além do Distrito Federal (ALMEIDA, 2007).

A CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental) utiliza este índice adaptado para gerar informações e auxiliar no gerenciamento ambiental, as

variáveis (pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20° C), coliformes total e termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, resíduo total e turbidez) que fazem parte do cálculo, refletem, principalmente, a poluição gerada pelos esgotos domésticos e desenvolvido para avaliar a qualidade da água para fins de abastecimento público.

Possui limitações, não é um índice flexível, pois existe a necessidade de que todas as variáveis sejam avaliadas e não permite a inclusão de novas variáveis de qualidade da água (MOREIRA, 2007).

O índice gera valores que variam entre 0 e 100, quanto mais próximo de 100 melhor é a qualidade da água, a Tabela 7.1 mostra a classificação da qualidade da água no Estado de São Paulo e adotada pela CETESB.

Tabela 7.1 - Classificação da qualidade das águas

Categoria	Faixa de Valores
Ótima	80-100
Boa	52-79
Regular	37-51
Ruim	20-36
Péssima	0-19

Fonte: adaptado ANA (2005b)

Índices desenvolvidos pela Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (CETESB)

A partir de 2002, a CETESB desenvolveu índices específicos para determinados usos, porque existiu a preocupação na perda de importantes informações utilizando um índice global (IQA). Nos seus cálculos estes índices consideram um número maior de variáveis, dentre elas metais pesados, poluentes orgânicos, parâmetros de toxicidade e características organolépticas da água (CETESB, 2003 apud RÖRIG, 2005). Os três índices são os seguintes:

- **IAP (Índice de Qualidade de Água para fim de Abastecimento Público):** para águas destinadas para fins de abastecimento público, consiste na ponderação do IQA e a inserção de substâncias que afetam a qualidade organoléptica da água, substâncias tóxicas, incluindo metais, além de resultados do teste de Ames (Genotoxicidade) e do Potencial Formador de Trihalometanos, representada pela criação do

ISTO (Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas); a classificação adotada é a mesma para o IQA_{NSF};

- **IVA (Índice de Preservação da Vida Aquática):** para a proteção da vida aquática, faz parte deste índice, outros dois, um que avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes, chamado de IET (Índice do Estado Trófico); e outro composto pelo grupo de parâmetros considerados essenciais e pelo grupo de substâncias tóxicas, por meio da ponderação de seus valores, denominado IPMCA (Índice de Parâmetros Mínimos para Preservação da Vida Aquática); as categorias são as mesmas presentes no IAP, diferindo dos valores que variam de abaixo de 2,5 (qualidade ótima) a acima de 6,8 (qualidade péssima);
- **IB (Índice de Balneabilidade):** avaliar a qualidade da água para fins de recreação de contato primário, é obtido por meio da síntese das classificações ao longo das praias a partir do cálculo das densidades de *Escherichia coli*, quanto menores melhores serão as condições para o banho.

Os índices usados pela CETESB fornecem informações relevantes a respeito da qualidade da água, mas as metodologias não são expeditas, isto é, envolvem muitos processos e a existência de vários índices tornam difícil a compreensão pelo público em geral.

Além disso, os cálculos não levam em conta diretamente os padrões de qualidade estipulados pela Resolução CONAMA n. 357, são feitos por meio da ponderação, dificultando o conhecimento de quão distante as concentrações dos poluentes estão dos limites legais ou das condições ideais para os usos da água. Esta limitação também surge na interpretação das categorias adotadas para classificar a qualidade das águas.

Também pouco flexível, pois a inclusão de novas variáveis de qualidade da água empregaria considerável tempo de estudos para a sua agregação nas metodologias atualmente utilizadas.

Índice Geral de Qualidade de Água Distribuída pela SABESP (IGQA)

Índice proposto pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) para avaliar a água distribuída, é calculado mensalmente por meio da reunião dos dados medidos em amostras da rede de distribuição, cujos parâmetros são reunidos em três diferentes grupos separados por características de semelhança (MMA, 2003):

- **Grupo 1:** Parâmetro bacteriológico (coliformes totais).
- **Grupo 2:** Parâmetros orgânicos ou inorgânicos que podem afetar a saúde da população (cádmio, chumbo, cloro residual livre, cromo total, flúor e trihalometanos).
- **Grupo 3:** Parâmetros que podem interferir na qualidade organoléptica da água (alumínio, cor aparente, ferro total, pH e turbidez).

O IGQA é obtido por meio de correlações matemáticas dadas para cada um dos doze parâmetros analíticos pertencentes aos três grupos, o resultado final decorre da média geométrica de três subíndices, resultando em um valor numérico entre 0 e 100, variando de impróprio à excelente respectivamente.

$$IGQA = (I_1 \times I_2 \times I_3)^{1/3} \times 100$$

onde :

- I_1 = subíndice para o Grupo 1;

- I_2 = subíndice para o Grupo 2;

- I_3 = subíndice para o Grupo 3.

(7.2)

A classificação deste índice estima a adequabilidade da água a ser distribuída para o abastecimento, a categoria Excelente significa que a qualidade da água é superior àquela definida pelos padrões, por outro lado uma qualidade Imprópria representa riscos para o consumidor, devendo-se agir imediatamente para que tal situação não persista.

Controle dinâmico da qualidade da água

Este índice desenvolvido pela SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná) tem por objetivo avaliar a qualidade dos mananciais, a eficiência dos processos de tratamento de água, avaliação da qualidade durante o processo de distribuição e avaliação da eficiência do processo de tratamento de esgoto, isto é,

conhecer e ajustar o processo produtivo. E assim comparar se a qualidade da água que está sendo devolvida ao manancial está melhor em relação a que foi captada para o tratamento (KULCHESKI et al., 2001).

O controle dinâmico da qualidade da água baseia-se em quatro índices:

- **Iqai (Índice de qualidade da água *in Natura*):** avalia a qualidade da água *in natura* tanto do ponto de vista estético quanto sanitário;
- **Iqap (Índice de qualidade da água produzida):** avalia a qualidade da água produzida nas estações de tratamento de água operadas pela Sanepar tanto do ponto de vista estético quanto sanitário;
- **Iqad (Índice de qualidade da água distribuída):** avaliar a qualidade da água distribuída à população do Paraná, para o controle da qualidade na rede de distribuição tanto do ponto de vista estético quanto sanitário;
- **Iqet (Índice de qualidade do esgoto tratado):** acompanhamento, monitoramento e avaliação dos níveis de qualidade do esgoto tratado tanto do ponto de vista estético quanto sanitário.

Os índices são obtidos mediante curvas de qualidade desenvolvidas considerando-se os limites estipulados pela legislação vigente e de acordo com cada tipo de controle da qualidade da água.

IQUA – Índice de qualidade de uso da água

Este índice apesar de não enfocar a qualidade da água é uma metodologia que revelou ser um interessante instrumento de orientação de procedimentos capazes de promover melhorias nas relações de uso da água (NEGRI, 2002 e EXTERCKOTER, 2006 apud ALVES et al., 2007) e para a implementação de políticas públicas e de planejamento local (ALVES et al., 2007).

Desenvolvido no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina pelo Professor Doutor Luiz Renato D'Agostini é aplicado na avaliação da qualidade do uso da água nos processos produtivos e demais usos humanos, utiliza indicadores de qualidade da água para analisar o desempenho ambiental do ser humano em usar a água e o significado de implicações desse uso sobre o interesse para outros usos (D'AGOSTINI, 2002 apud FILHO, 2003), além dos custos entrópicos do consumo de água, considerando as alterações sobre os indicadores de qualidade da água (FILHO, 2003; MMA, 2003).

Possui a preocupação em utilizar o maior número possível de variáveis existentes no meio a ser avaliado, utiliza como dados referenciais os aspectos qualitativos, quantitativos e a regularidade de fluxo existentes nos processos em determinado tempo (FILHO, 2003; MMA, 2003).

No cálculo do IQUA é utilizado o valor do custo ambiental, o resultado consiste em um valor que varia entre 0 e 1, admite-se um valor 1 para o custo ambiental máximo e valor 0 para o custo ambiental mínimo, quanto menor o custo ambiental melhor será a qualidade do uso da água.

$$IQUA = 1 - CA$$

onde :

- *CA* = custo ambiental do uso da água.

(7.3)

D'Agostini (2002 apud FILHO, 2003) salienta que o IQUA pode constituir-se em importante e objetivo instrumento de políticas públicas para a orientação e instituição de metas e medidas compensatórias na questão ambiental, mais especificamente no uso da água.

Índice de Dinius

Este índice lembra o parâmetro de decisão Z, desenvolvido por Dinius tinha como objetivo contabilizar socialmente os custos e impactos das medidas de controle de poluição e facilitar a divulgação de informações de dados de qualidade ambiental ao público e administradores, permitindo que os recursos fossem gastos efetivamente no controle da poluição. O índice inclui onze parâmetros e é baseado no somatório ponderado dos subíndices, determinados através de funções matemáticas e desenvolvidos a partir de pesquisa na literatura científica (DINIUS, 1972, apud ABASSI, 2005).

Mais tarde, em 1987, Dinius desenvolveu um segundo índice, este para avaliar a qualidade da água, composto por equações para os subíndices de doze poluentes, baseadas em estudos realizados por especialistas e os pesos de cada parâmetro em estudos da importância de cada um para cinco usos da água (abastecimento público, recreação, pesca, agricultura e indústria).

O cálculo do índice é fundamentado em subíndices pré-definidos (I_i) multiplicados pelo peso de cada variável de qualidade da água (P_i) e dividido ao somatório desses pesos.

A escala do índice varia de 0 a 100, sendo a qualidade da água medida de forma crescente. A distribuição dos pesos é referente a uma escala básica de importância: muito pequena (1), pequena (2) média (3), grande (4), importância muito grande (19), resultando em um somatório de pesos igual a 21.

$$ID = \frac{1}{21} \sum_{i=1}^{I_i} I_i \times P_i$$

onde : (7.4)

- I_i = subíndice para a variável de qualidade i , expresso por funções matemáticas;
- P_i = peso para cada variável de qualidade i .

A qualidade da água medida neste índice não remete a um uso ao um conjunto de usos da água, bem como não avalia a presença de metais pesados e nem de alguns compostos orgânicos, havendo assim uma limitação de seu uso em casos mais específicos.

Avaliação Integrada da Qualidade das Águas (AIQA)

Metodologia em que são identificadas as soluções que atendam aos melhores requisitos de qualidade da água, isto é, aquelas que permitem que um corpo hídrico se aproxime da condição de qualidade desejada, ou seja, dos limites estabelecidos na Resolução CONAMA n. 357/2005 para as diferentes classes de enquadramento, usando medidas de proximidade.

Parte do pressuposto da possibilidade de comparação de um ponto com certa qualidade de água com uma situação teórica ideal, quanto mais próximo o ponto monitorado estiver da situação ideal, mais estará atendendo à condição de qualidade desejada, ou em outras palavras, estará mais compatível com a classe de uso pretendida (IAP, 1999a).

Os resultados são mostrados mediante sete categorias fundamentadas na equidistância do ponto ideal, quanto mais afastado deste ponto, maior o grau de poluição observado.

As classes de qualidade do índice estão correlacionadas com as classes de enquadramento presentes na Resolução CONAMA n. 357/2005 e são as seguintes: muito boa (classe 1), boa (classe 2), pouco poluída (classe 3), medianamente poluída (classe 3), poluída (classe 4), muito poluída (fora de classe) e extremamente poluída (fora de classe).

Esta relação permite uma avaliação dos corpos hídricos perante seus critérios, mas é aproximativa, uma vez que se define a “classe preponderante” por meio estatísticos dentro de um período de monitoramento.

Comumente como as avaliações da qualidade da água limitam-se às substâncias físico-químicas, desconsiderando seus efeitos nas comunidades biológicas envolvidas, bem como a capacidade que os organismos vivos têm de atuar ativamente na manutenção do equilíbrio geral do ecossistema impactado, este índice tem a vantagem de ser também expandido para os aspectos bacteriológicos e ecotoxicológicos da água (IAP, 1999b , 2005).

8 METODOLOGIA

8.1 Descrição do Índice

O ICE - Índice de Conformidade do Enquadramento será utilizado para indicar a condição de aderência das condições de qualidade da água do corpo hídrico ao enquadramento atualmente vigente ou proposto.

A utilização de índices possibilita a agregação da informação permitindo uma visão geral do comportamento de um grupo de variáveis. Esta representação agregada facilita a análise e o entendimento de resultados e, portanto, é uma valiosa ferramenta que auxilia os gestores na tomada de decisões em várias áreas de atuação.

Entre os modelos de índices utilizados, escolheu-se para aplicação desta proposta de pesquisa o modelo desenvolvido pela subcomissão técnica de qualidade da água do Canadá (CCME, 2001a). A escolha deste índice deu-se pela sua facilidade de aplicação e por permitir sua adaptação à verificação da condição de conformidade da situação do corpo hídrico ao seu enquadramento segundo os usos preponderantes.

A definição do índice canadense está baseada na comparação dos valores das variáveis de qualidade da água conseguidos nos monitoramentos com os padrões de qualidade da água instituídos pela legislação ou com os critérios de qualidade da água fundamentados cientificamente.

O índice canadense é a combinação dos valores de três fatores que representam a desconformidade, isto é, o não atendimento aos padrões (critérios) de qualidade propostos. Estes fatores criam um vetor no espaço tridimensional e cada um corresponde a um dos componentes do vetor.

A Figura 8.1 mostra o modelo conceitual do índice desenvolvido para a qualidade da água.

Figura 8.1 - Modelo conceitual do Índice
Fonte: adaptado CCME (2001)

Os três fatores que compõem o índice representam: a abrangência do impacto causado pela desconformidade; a frequência com que as desconformidades ocorrem; e a amplitude da desconformidade, isto é, o desvio em relação ao valor objetivo da variável de qualidade da água.

O comprimento do vetor pode variar entre zero e 100, e subtraído de 100 para produzir um índice que seja 0 ou perto de 0, para a qualidade de água muito pobre, e perto de 100 para a qualidade de água excelente. O índice, portanto, produz números mais elevados quando a qualidade de água for melhor. Assim, tem-se um índice projetado para medir a qualidade de água.

No caso da presente pesquisa, um resultado próximo de zero representará uma situação em que a condição do corpo hídrico está muito distante do enquadramento desejado, enquanto que um índice próximo de 100 indicará aquela situação em que o corpo hídrico está em situação de conformidade com o enquadramento.

8.1.1 Formulação do índice da qualidade de água de CCME WQI

O índice proposto pelo CCME é composto pelos fatores:

Fator 1 - Abrangência/Espaço: representa a abrangência das desconformidades, isto é, o número de variáveis de qualidade da água que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período de observação.

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de variáveis que falharam}}{\text{Número total de variáveis}} \right) * 100 \quad (8.1)$$

Fator 2 - Frequência: representa a porcentagem de vezes que as variáveis de qualidade da água estiveram em desconformidade em relação ao número de observações, isto é, aos testes para comparar o valor observado com o padrão (critério) estabelecido.

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de testes que falharam}}{\text{Número total de testes}} \right) * 100 \quad (8.2)$$

Fator 3 - Amplitude: representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, isto é, a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água. O fator F_3 é calculado em três etapas:

- 1) O número de vezes em que a concentração individual é maior que (ou menor que, quando o objetivo é um mínimo), ou seja, quando o valor do teste não deve exceder o objetivo.

$$\Delta V = \text{variação} = \left(\frac{\text{Valor testado que falhou}}{\text{Objetivo}} \right) - 1 \quad (8.3)$$

Para os casos em que o valor do teste não deve ser abaixo do objetivo a equação é expressa por:

$$\Delta V = \text{variação} = \left(\frac{\text{Objetivo}}{\text{Valor testado que falhou}} \right) - 1 \quad (8.4)$$

- 2) A reunião dos testes individuais que estão fora da conformidade é calculada somando todas as variações individuais que não atenderam aos objetivos e dividindo pelo número total de testes. Esta variável denominada como a soma normalizada das variações, ou *snv* é calculada da seguinte maneira:

$$snv = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta V_i}{\text{Número total de testes}} \quad (8.5)$$

- 3) O valor de F_3 é calculado pela soma normalizada das variações dos objetivos (snv), sendo que estas foram reduzidas a uma variável entre 0 e 100.

$$F_3 = \left(\frac{snv}{0,01 \times snv + 0,01} \right) \quad (8.6)$$

O Índice *CCME WQI* é calculado da seguinte forma:

$$CCME.WQI = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (8.7)$$

O fator de 1,732 é utilizado, pois cada um dos três fatores individuais pode chegar até 100. Isto significa que o comprimento do vetor pode alcançar:

$$\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2} = \sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (8.8)$$

Logo, a divisão por 1,732 faz com que o comprimento do vetor não exceda a 100, logo a segunda parcela do *CCME WQI* fica limitado ao valor 100:

$$\left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) = \frac{173,2}{1,732} = 100 \quad (8.9)$$

8.1.2 Resultados do Índice

Os resultados do índice são divididos em cinco categorias. As categorias devem estar baseadas nas melhores informações disponíveis, no julgamento técnico, e nas expectativas do público em geral da qualidade da água. Assim sendo, para o índice desenvolvido no Canadá, as categorias de qualidade da água são apresentadas da seguinte forma:

- 1) **Excelente:** (95 - 100) – a qualidade da água é protegida, ausência de ameaça ou impacto virtual; condições muito perto dos níveis naturais. Estes valores de índice podem somente ser obtidos se todas as medidas estiverem dentro dos objetivos durante todo o tempo.
- 2) **Bom:** (80 – 94) - a qualidade de água é protegida, apresenta somente um grau pequeno de ameaça ou impacto; as circunstâncias ocorrem raramente nos níveis naturais ou desejáveis.
- 3) **Mediano:** (65 – 79) - a qualidade de água geralmente é protegida, mas ameaçada ocasionalmente ou danificada; as circunstâncias ocorrem às vezes nos níveis naturais ou desejáveis.
- 4) **Marginal:** (45 – 64) - a qualidade de água freqüentemente é ameaçada ou danificada; as circunstâncias ocorrem freqüentemente nos níveis naturais ou desejáveis.
- 5) **Ruim:** (0 – 44) - a qualidade de água quase sempre é ameaçada ou danificada; as circunstâncias ocorrem geralmente nos níveis naturais ou desejáveis.

O modelo do cálculo do índice da qualidade de água desenvolvido permitiu que os usuários determinassem as principais variáveis responsáveis para o comportamento do índice.

8.2 Origem do Índice

O desenvolvimento do CCME Water Quality Index partiu de outros métodos de avaliação da qualidade da água, adotados pelas diversas jurisdições e instituições atuantes no Canadá.

O subcomitê técnico do índice de qualidade da água (Water Quality Index Technical Subcommittee) foi formado pelo comitê de padrões da qualidade da água do Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente (Water Quality Guidelines Committee of the Canadian Council of Ministers of the Environment) em 1997 para avaliar as inúmeras formulações já existentes e desenvolver um IQA nacional padronizado e que pudesse ser usado para simplificar a divulgação da qualidade da água dos corpos hídricos canadenses para especialistas e o público em geral (CCME, 2001a).

Sendo assim, em 2001, o Conselho decidiu por um método fundamentado no uso de diretrizes de qualidade da água, surgindo o CCME WQI (CCME, 2001a).

A definição do índice canadense está baseada na comparação dos resultados dos monitoramentos realizados com os valores estipulados pela legislação (padrões de qualidade da água) ou obtidos cientificamente (critérios de qualidade da água).

A vantagem de aplicação deste índice, além de ser um instrumento de fácil comunicação, outra peculiaridade, a qual é uma opinião quase unânime entre os especialistas (CCME, 2003), é a sua flexibilidade de adaptação às diversas situações.

Um exemplo disso foi a modificação na categorização do índice CWQI em Newfoundland and Labrador (KHAN; PATERSON; KHAN, 2004) com o objetivo de se avaliar as condições da qualidade da água em relação às características peculiares das regiões monitoradas do Canadá, levando-se em conta as opiniões de especialistas locais; com a escolha das variáveis de qualidade da água relativas ao uso do solo e às características físicas, biológicas e químicas peculiares das bacias monitoradas (CCME, 2002 apud KHAN et al., 2005).

Um workshop realizado em Nova Scotia no Canadá reuniu as opiniões de especialistas e usuários do CCME WQI para sugerir melhoramentos e reforçar seu uso no monitoramento da qualidade da água no Canadá. Os cinco tópicos abordados foram a respeito da metodologia de cálculo, uso dos padrões e objetivos de qualidade da água, monitoramentos e dados, divulgação dos resultados e usos futuros do índice (CCME, 2003).

A seguir são mostradas algumas das opiniões de especialistas e usuários, quanto aos pontos fortes, benefícios e os pontos fracos do emprego do CCME WQI. As opiniões escolhidas foram aquelas mais adequadas ao tema dessa dissertação.

Pontos fortes e benefícios:

- flexibilidade quanto à escolha das variáveis e dos padrões/critérios de qualidade da água;
- reflete a opinião dos especialistas;
- simplifica estatisticamente dados mais complexos;
- adaptável às exigências jurisdicionais;
- bom instrumento para divulgar a qualidade da água de qualquer região;
- instrumento de gerenciamento para os tomadores de decisão;

- facilidade de cálculo;
- fácil entendimento;
- incentiva a criação de programas de monitoramento;
- promove discussões a respeito das ações sobre a região monitorada;
- o público em geral passa a ver o monitoramento e a qualidade da água como assuntos importantes, pois resultam em informações que vão ao encontro às suas necessidades e interesses.

Pontos fracos:

- o fator F_1 (abrangência; número de variáveis) pode ter um peso maior no valor final do índice quando existirem poucas variáveis de qualidade da água;
- fornece uma “história” parcial sobre a qualidade da água.

A seguir são citados alguns dos métodos de avaliação da qualidade da água adotados nas províncias do Canadá e que serviram de base para a formulação do CCME WQI (CCME, 2001a).

8.2.1 Centre St Laurent

O índice desenvolvido pelo Centre St Laurent (CSL), uma instituição ambiental canadense responsável por divulgar a qualidade da água do rio St. Lawrence, é baseado nos usos propostos para a água e possui a seguinte formulação (CCME, 2001a):

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times F_i)}{n} \quad (8.10)$$

onde :

- A_i é a medida de excedência do padrão para a variável i , quando o valor é excedido, calcula - se a relação valor excedido/valor limite, em seguida somam - se estas relações e então divide - se pelo número de ocorrências de excedência (n_{exc});

$$\left(\frac{\text{valor excedido}}{\text{valor limite}} \right)_j \rightarrow \sum_{j=1}^{n_{exc}} \left(\frac{\text{valor excedido}}{\text{valor limite}} \right)_j \rightarrow$$

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_{exc}} \left(\frac{\text{valor excedido}}{\text{valor limite}} \right)_j}{n_{exc}}$$

- F_i é a frequência de valores que excederam o valor limite (padrão) para a variável i em relação ao total de valores obtidos para essa variável ($F_i = F_{exc} / F_{tot}$ para a variável i);

$$F_i = \frac{F_{exc}}{F_{tot}} = \frac{n_{exc}}{n}$$

- n é o número total de variáveis.

8.2.2 Quebec

Denominado Índice da qualidade bacteriológica e físico-químico da água (IQBP), este índice foi baseado no original desenvolvido na Nova Zelândia (CCME, 2001a), o valor é o mínimo dentre vários subíndices calculados para cada variável de qualidade da água em relação à concentração da mesma na amostra coletada, isto é, o IQBP representa a pior situação de degradação da água do contaminante responsável.

$$IQBP = WQI = \text{mín}(I_{sub_1}, I_{sub_2}, I_{sub_3}, \dots, I_{sub_n})$$

(8.11)

onde :

- I_{sub_n} = valor do subíndice para a variável de qualidade "n"

Os subíndices foram obtidos a partir das “curvas Delphi” (curvas de depreciação da qualidade da água), resultantes das opiniões de vários especialistas e profissionais de qualidade da água de diferentes áreas, como químicos, biólogos, gestores, etc. (HÉBERT, 1997). Estas opiniões levaram em consideração a importância da variável de qualidade da água na circunstância adotada, isto é, a relevância de um determinado contaminante em relação ao uso atual do corpo hídrico e sua interferência na qualidade da mesma.

Estas curvas não são lineares e representam a reunião das opiniões dos especialistas, a seguir um exemplo (Figura 8.2) para o fósforo total.

Figura 8.2 - Exemplos de curvas de depreciação da qualidade da água para o fósforo total
(a) versão inicial; (b) versão definitiva
Fonte: adaptado Hébert (1996)

8.2.3 British Columbia

O índice de qualidade da água de British Columbia (BCWQI) tem um fator não considerado nos outros índices, o fator F_1 (CCME, 2001a; KHAN; PATERSON; KHAN, 2004).

$$WQI = (F_1^2 + F_2^2 + F_3^2)^{1/2} \quad (8.12)$$

onde :

- F_1 é a porcentagem de vezes que a variável de qualidade da água excedeu o limite estipulado;
- F_2 é a porcentagem das medições em que um ou mais limites foram excedidos;
- F_3 é o máximo (normalizado para 100) de quaisquer limites excedidos.

O índice leva em consideração o uso designado para o corpo hídrico, uma vez que o cálculo está baseado na variedade de objetivos de qualidade da água existentes (CCME, 2001a; KHAN; PATERSON; KHAN, 2004).

8.2.4 Alberta

Em Alberta no Canadá é usado o “indicador de desempenho” para a qualidade da água nos relatórios ambientais, descrito a seguir.

$$A = (n_{exc} / n_{med}) \times 100$$

onde :

(8.13)

- n_{exc} = número de amostras que excedeu o objetivo;
- n_{med} = número total de amostras.

Esta porcentagem provém de amostras coletadas em regiões onde uma ou mais variáveis excederam seus objetivos de qualidade.

O CCME WQI, ou simplesmente CWQI, foi concebido mediante o modelo adotado em British Columbia (BCWQI) em que os três fatores presentes no cálculo variam entre 0 e 100. Depois de muitas pesquisas para resolver problemas encontrados em se definir os fatores F_2 (frequência) e F_3 (amplitude) e estudar alternativas de formulações para os fatores F_1 (abrangência) e F_2 (frequência) surgiu o CWQI propriamente dito (HART, 1998; PHIPPEN, 1998; HUSAIN, 1998; WRIGHT et al., 1998 apud KHAN, PATERSON; KHAN, 2004).

8.3 Proposta de Aplicação do Índice

O estudo que será realizado nesta dissertação consistirá na adaptação do índice de qualidade da água canadense de forma a criar um Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE), a ser aplicado por trecho do corpo hídrico e também a sua variação no tempo.

O índice canadense mostrou-se adequado, por ser flexível na escolha das variáveis de qualidade da água e adaptável para o acompanhamento do enquadramento.

O ICE (Índice de Conformidade ao Enquadramento) será utilizado para avaliar se a condição do corpo hídrico está de acordo com o enquadramento vigente ou proposto. O índice será capaz de informar a “distância” que o corpo hídrico está do enquadramento, isto é, se pode ser considerado como conforme, afastado ou não conforme.

Por exemplo, se o corpo hídrico estiver com um índice próximo de 100, a condição de enquadramento está atendida. No entanto, quando o índice estiver próximo de zero o corpo hídrico estará fora dos padrões de conformidade, possibilitando aos tomadores de decisão identificar quais os locais que precisam de maior prioridade na aplicação de medidas de controle para atingir o objetivo de qualidade da água.

A medição da “distância”, isto é, para saber o quão longe o corpo hídrico está da meta, será idealizada uma categorização similar aquela adotada para o índice canadense e adaptada para o acompanhamento da situação de enquadramento, em três categorias: conforme, afastado e não conforme.

As categorias de classificação do ICE adotadas pretendem refletir as condições dos corpos hídricos em relação aos usos preponderantes do trecho do rio analisado, uma vez que as variáveis mais representativas do uso da água naquele trecho farão parte do cálculo do índice.

Nos casos em que o ICE possuir um valor baixo e o trecho do rio em questão é enquadrado como Classe 1, o ICE pertencerá à categoria da não conformidade, mas para a Classe 4 (menos restritiva), por exemplo, este poderia estar na categoria conforme; mas caso contrário, o valor seja alto, o trecho do rio em questão estará em conformidade com o enquadramento de valor legal.

8.4 Aplicação do Índice

O ICE foi aplicado para avaliação da conformidade ao enquadramento utilizando-se os dados de qualidade da água resultantes das atividades de monitoramento realizadas pela CETESB.

As variáveis de qualidade da água consideradas no cálculo do ICE, foram aquelas adotadas pela CETESB para cada ponto de monitoramento, com algumas exceções que serão melhor esclarecidas no decorrer desta dissertação, mas que no final, foram eleitas aquelas mais representativas dos usos preponderantes do solo e da água.

Vale salientar que as variáveis e a quantidade de dados de qualidade da água utilizadas, também não foram as mesmas para todos os pontos, pois as informações baseadas nos resultados das medições de qualidade da água feitas pela CETESB não possuem uma padronização, variando de um posto para outro, porque os monitoramentos realizados estão focados principalmente nos problemas de poluição presentes no trecho do rio onde está sendo realizada a análise da água.

Inicialmente o cálculo foi feito utilizando todas as variáveis de qualidade da água monitoradas pela CETESB e que possuem os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA n.357 e mostrados os resultados. Depois foi realizada uma análise de sensibilidade, em que o ICE foi recalculado mediante a adoção das variáveis de qualidade da água relacionadas com os usos da água, conforme definição de Chapman (1996).

A divisão da bacia foi feita em trechos conforme o uso de solo preponderante e é a mesma daquela realizada pela CETESB para a localização de seus pontos de monitoramento de qualidade da água.

8.4.1 Observações quanto à confecção das planilhas

Adotou-se para os cálculos do ICE o programa MS Excel® e as planilhas foram padronizadas obedecendo-se aos enquadramentos (Classes Especial, 1, 2, 3 ou 4) determinados pelo Decreto n.10.755 para cada trecho de rio, respeitando os limites para as variáveis de qualidade da água estipulados pela Resolução CONAMA 357.

Para cada rio foi criado um arquivo em MS Excel® composto por planilhas padronizadas que representam os postos de monitoramento presentes no rio em questão.

A seguir são descritas as planilhas e seus principais componentes:

- **Planilha de apoio:** contém as variáveis de qualidade da água e seus limites para cada classe de qualidade, baseados na Resolução CONAMA 357 (Figura 8.3), os valores limites são remetidos à planilha de cálculo, conforme o enquadramento de valor legal para o trecho do rio que contém o ponto de monitoramento que está sendo calculado.

LIMITES PARA AS ÁGUAS DOÇES					
Variáveis	Resolução CONAMA 357				
	Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Alumínio dissolvido	-	0,1	0,1	0,2	-
Bário total	-	0,7	0,7	1,0	-
Cádmio total	-	0,001	0,001	0,01	-
Chumbo total	-	0,01	0,01	0,033	-
Cloreto total	-	250	250	250	-
Cobre dissolvido	-	0,009	0,009	0,013	-
				2500	
				1000	
Coliformes Termotolerantes	-	200	1000		-

Figura 8.3 - Visualização parcial da planilha com as variáveis de qualidade da água e os limites da Resolução CONAMA 357

- **Planilha de cálculo do índice:** contém as variáveis de qualidade da água separadas por colunas com as datas de amostragem, os valores provenientes dos monitoramentos, os padrões de qualidade e os cálculos parciais do ICE. Os componentes desta planilha são descritos mais detalhadamente a seguir, estão separados em dados de entrada e dados de cálculo (Figura 8.4).

Figura 8.4 - Exemplo de planilha de cálculo

Dados de entrada:

- *Classe*: o enquadramento atual ou proposto para o trecho do rio monitorado;
- *Data*: os dias de amostragem realizadas pela CETESB;
- *Variável*: nome da variável de qualidade da água analisada; na mesma coluna são colocados os valores obtidos das análises (valor da variável) e se os mesmos estiverem em desacordo com o padrão estabelecido (células “Valor Máximo” ou “Valor Mínimo”) pela Resolução CONAMA 357, a célula muda de formato (fundo de cor amarela e fonte de cor vermelha);
- *Valor Máximo* ou *Valor Mínimo*: depende do objetivo de qualidade e do enquadramento de valor legal, as células ao longo da coluna terão automaticamente seus valores (valor limite) iguais aos especificados pela Resolução CONAMA 357 para cada variável de qualidade da água, ou seja, a célula é dependente da planilha “Limites” (Figura 8.3); caso a variável não possua um padrão de qualidade, a célula apresentará “-” resposta como resposta.

Segue um exemplo aplicado para o Cloreto total, em que a fórmula verifica qual o enquadramento de valor legal e remete para a planilha “Limites” (Figura 8.3), devolvendo como resposta o valor do padrão correspondente.

“=SE(\$B\$2=1;Limites!\$N\$9;SE(\$B\$2=2;Limites!\$P\$9;SE(\$B\$2=3;Limites!\$R\$9;SE(\$B\$2=4;Limites!\$T\$9)))”

Vale salientar que o limite do nitrogênio amoniacal depende do valor do pH, então além do enquadramento é preciso também verificar o valor deste.

Dados de cálculo:

- *Inconformes*: verifica se o valor da variável está de acordo com os limites exigidos, se estiver a resposta da célula é igual a **0** (zero), caso contrário o valor será igual a **1** (um);

É calculado pela seguinte fórmula: *“=SE(valor da variável>valor limite;1;0)”*

- *Varição 1*: indica o quanto a variável afastou-se do objetivo, este é calculado quando o valor correspondente à célula Inconformes for igual a **1** (um), são utilizadas as equações (8.3) e (8.4) da página 57, as quais fazem parte do processo de cálculo do fator F_3 do ICE.

Para variáveis que não podem exceder o objetivo (limite de classe), por exemplo, para a variável DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), tem-se a seguinte expressão:

“=SE(valor da variável>valor limite;(valor da variável/valor limite)-1;0)”

Para os casos em que o valor do teste não deve ser abaixo do objetivo, por exemplo para a variável OD (Oxigênio Dissolvido), foi utilizada a seguinte expressão:

“=SE(valor da variável="" ;0;SE(valor da variável<valor limite;(valor limite/valor da variável)-1;0))”

- **“Totais”**: é o quadro resumo dos cálculos, contendo os fatores que compõem o índice, bem como o valor do ICE para os anos monitorados, exemplificado na Figura 8.5, esta tabela é composta pelos seguintes valores:

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	129	22	48	460,35	12	54,55	37,21	3,57	78,11	2975,21	1384,53	6101,40	40,95
2001	128	23	47	540,06	13	56,52	36,72	4,22	80,84	3194,71	1348,27	6535,13	39,23
2002	127	22	45	266,47	14	63,64	35,43	2,10	67,72	4049,59	1255,50	4586,40	42,58
2003	116	21	47	288,80	11	52,38	40,52	2,49	71,34	2743,76	1641,65	5089,94	43,80
2004	131	22	40	795,23	11	50,00	30,53	6,07	85,86	2500,00	932,35	7371,36	39,99
2005	132	22	47	2273,99	13	59,09	35,61	17,23	94,51	3491,74	1267,79	8932,84	32,44
2006	140	25	35	364,28	9	36,00	25,00	2,60	72,24	1296,00	625,00	5218,25	51,22
2007	137	24	28	58,27	11	45,83	20,44	0,43	29,84	2100,69	417,71	890,52	66,29

Figura 8.5 - Exemplo de resumo dos cálculos e de resultados do ICE

- *Testes*: número total de testes realizados de todas as variáveis de qualidade, caso o trecho do rio é enquadrado como de Classe 4, foram considerados somente os testes das variáveis que possuem limites exigidos, utilizando a expressão seguinte.

“= CONT.VALORES(número de valores da variável)”

- *Variáveis*: quantidade total de variáveis monitoradas durante o ano, a mesma, quando o rio for de Classe 4, foram consideradas somente as variáveis que possuem os padrões de qualidade, empregou-se a seguinte expressão.

“= CONT.VALORES(existência de valores da variável)”

- *Inconf*: número total de testes inconformes, isto é, que não atenderam à meta proposta, a fórmula utilizada foi “=SOMA(quantidade de valores igual a 1)”;

- *Varição*: soma de todas as variações dos testes inconformes do ano calculado, por meio da expressão “=SOMA(valores das variação1)”;

- *Var.Inconf.2*: quantidade de variáveis inconformes, a fórmula foi “=SOMA(SE((SOMA(quantidades de valores igual a 1))>0;1;0))”;

- *F₁ (Abrangência/Espaço)*: componente do **ICE** que representa a abrangência das desconformidades, isto é, o número de variáveis que violaram os limites desejáveis pelo menos uma vez no período de observação, dada pela fórmula (8.1) na página 57, a expressão na planilha foi “=(Var.Inconf.2/Variáveis)*100”;

- F_2 (*Frequência*): componente do **ICE** que representa a porcentagem de vezes que a variável esteve em desacordo com os padrões em relação ao número de observações dada pela fórmula (8.2) na página 57, a expressão na planilha foi “ $=(Inconformes/Testes)*100$ ”;
- snv : consiste na divisão da soma de todas as variações pelo número total de testes individuais que está fora dos padrões estabelecidos, é a fórmula (8.5) citada na página 58, a expressão utilizada nas planilhas foi “ $=(Variação/Testes)$ ”;
- F_3 (*Amplitude*): componente do **ICE** que representa a quantidade pela qual o valor testado falhou, isto é, a diferença entre o valor observado e o valor desejado de acordo com o objetivo de qualidade da água, fórmula (8.6) da página 58, com a seguinte expressão nas planilhas “ $=(snv/((0,01*snv)+0,01))$ ”;
- ICE : Índice de Conformidade ao Enquadramento, consiste na fórmula (8.7) mencionada na página 58 e nas planilhas foi expresso por “ $=100-(((F_1^2+F_2^2+F_3^2))^{(1/2)})/1,732$ ”.

8.4.2 Observações quanto aos procedimentos de cálculo

Surgiram algumas questões que precisaram ser levantadas para a aplicação do índice. Estas questões tiveram por finalidade adequar o método de cálculo do ICE aos dados de qualidade da água disponíveis.

Estas questões defrontadas no decorrer do desenvolvimento do ICE são descritas a seguir:

- **não uniformização da apresentação dos resultados:** definições distintas entre as variáveis na Resolução CONAMA n. 20 e na Resolução CONAMA n. 357 para o cobre, alumínio e o ferro. Na Resolução CONAMA n. 357 são consideradas as formas dissolvidas destas variáveis, mas em resultados mais antigos da CETESB foi analisada somente a forma total, portanto, para os anos em que a CESTESB monitorou esta categoria, as variáveis foram desconsideradas do cálculo, apenas serão válidos os resultados em que a

CETESB, explicitamente, indicou que a forma monitorada naquele ano foi a dissolvida. Esta decisão evitará que o valor do índice retorne em interpretações equivocadas a respeito do atendimento ao enquadramento;

- **casos de conformidade indefinida:** ocasiões em que a análise laboratorial não atinge os limites especificados na legislação, isto é, estão abaixo do limite de detecção do método analítico adotado. Nestes casos os valores também não foram usados no cálculo, cabe aqui outra observação, muitos resultados nos laudos da CETESB apresentam a indicação “<” acompanhados de valores acima do limite da classe, pelo mesmo motivo citado anteriormente, também foram desconsiderados do cálculo;
- **os valores nulos de oxigênio dissolvido:** nestes casos existe o problema da divisão por zero, como pode ser verificado na equação (8.4), adotou-se então um valor que fosse o mais baixo possível e se aproximasse do valor nulo, depois de várias tentativas para que o valor do ICE ficasse praticamente constante, foi adotado o valor “0,000001”. Os valores nulos de OD não foram descartados do cálculo, pois são eventos críticos de degradação da qualidade da água e não podem ser ignorados, quando se quer justamente observar o comportamento da mesma.

8.4.3 Exemplo de cálculo

Com o intuito de elucidar os procedimentos de cálculo do ICE para a obtenção dos gráficos de evolução temporal, será apresentado um exemplo de cálculo. O conjunto de dados consistirá de alguns resultados de análises do Ponto CPIV02900, referente ao ano de 2006, das variáveis Nitrito, OD e pH, mostrados na Tabela 8.1.

Tabela 8.1 - Exemplo de valores observados

Data	N. Nitrito (mg/L)	OD (mg/L)	pH ()
01/02/2006	0,30	0,70	7,0
24/04/2006	0,40	1,55	7,3
05/06/2006	0,40	3,61	7,3
08/08/2006	0,40	3,00	7,1
02/10/2006	0,50	6,00	8,1
11/12/2006	0,20	0,60	7,2

O trecho do rio em que está localizado o Ponto CPIV02900 possui Classe 2 como enquadramento.

O primeiro passo é saber quais são os limites para cada uma das variáveis de qualidade da água, para isso utiliza-se uma expressão similar aquela exemplificada para o Cloreto total na página 69, cabe aqui lembrar que quando não existir um padrão para uma variável, esta não é considerada no cálculo do ICE, bem como para aquelas em que os instrumentos de análise laboratorial possuem um limite detecção acima do padrão estabelecido:

- Nitrito: o valor máximo é dado pela seguinte expressão.

“=SE(\$B\$2=1;Limites!\$N\$31;SE(\$B\$2=2;Limites!\$P\$31;SE(\$B\$2=3;Limites!\$R\$31;SE(\$B\$2=4;Limites!\$T\$31)))”

- Oxigênio dissolvido: nesse caso o limite é um valor mínimo.

“=SE(\$B\$2=1;Limites!\$N\$32;SE(\$B\$2=2;Limites!\$P\$32;SE(\$B\$2=3;Limites!\$R\$32;SE(\$B\$2=4;Limites!\$T\$32)))”

- pH: esta variável tem como limite um intervalo, então foram consideradas duas expressões, para os limites inferior e superior.

“=SE(\$B\$2=1;Limites!\$N\$33;SE(\$B\$2=2;Limites!\$P\$33;SE(\$B\$2=3;Limites!\$R\$33;SE(\$B\$2=4;Limites!\$T\$33)))” , para o limite inferior.

“=SE(\$B\$2=1;Limites!\$O\$33;SE(\$B\$2=2;Limites!\$Q\$33;SE(\$B\$2=3;Limites!\$S\$33;SE(\$B\$2=4;Limites!\$U\$33)))” , para o limite superior.

Os valores obtidos podem ser visualizados na Tabela 8.2, vale notar a mudança de formato da célula (fundo amarelo e fonte vermelha) quando o valor da mesma está em desacordo com o limite estipulado pela Resolução CONAMA n.357.

Tabela 8.2 - Comparação dos valores com os limites para a Classe 2

Data	N. Nitrito (mg/L)	Valor Máximo	OD (mg/L)	Valor Mínimo	pH ()	Intervalo	
01/02/2006	0,30	1	0,70	5	7,0	6	9
24/04/2006	0,40	1	1,55	5	7,3	6	9
05/06/2006	0,40	1	3,61	5	7,3	6	9
08/08/2006	0,40	1	3,00	5	7,1	6	9
02/10/2006	0,50	1	6,00	5	8,1	6	9
11/12/2006	0,20	1	0,60	5	7,2	6	9

Em seguida são calculados os valores para os fatores que compõem o índice:

- **Inconformes:** comparou-se o valor observado com o limite estipulado, por exemplo, para os valores observados no dia 01/02/2006, as variáveis nitrito e pH atenderam aos limites específicos, ao contrário do oxigênio dissolvido, então de acordo com a explicação na página 69, os resultados para este dia de observação, serão os seguintes:

- Nitrito: *valor observado* = 0,3 < *valor limite(máx)* = 1,0, então **Inconformes = 0**;
- OD: *valor observado* = 0,7 < *valor limite(mín)* = 5,0, então **Inconformes = 1**;
- pH: *valor limite(mín)* = 6,0 < *valor observado* = 7,0 < *valor limite(máx)* = 9,0, então **Inconformes = 0**.

E assim por diante para os demais dias de observação, a seguir são mostrados os resultados para cada variável, nitrito (Tabela 8.3), OD (Tabela 8.4) e pH (Tabela 8.5).

Tabela 8.3 - Resultados dos valores Inconformes para a variável nitrito

Data	N. Nitrito (mg/L)	Valor Máximo	Inconformes
01/02/2006	0,30	1	0
24/04/2006	0,40	1	0
05/06/2006	0,40	1	0
08/08/2006	0,40	1	0
02/10/2006	0,50	1	0
11/12/2006	0,20	1	0

Tabela 8.4 - Resultados dos valores Inconformes para a variável oxigênio dissolvido

Data	OD (mg/L)	Valor Mínimo	Inconformes
01/02/2006	0,70	5	1
24/04/2006	1,55	5	1
05/06/2006	3,61	5	1
08/08/2006	3,00	5	1
02/10/2006	6,00	5	0
11/12/2006	0,60	5	1

Tabela 8.5 - Resultados dos valores Inconformes para a variável pH

Data	pH()	Intervalo		Inconformes
01/02/2006	7,0	6	9	0
24/04/2006	7,3	6	9	0
05/06/2006	7,3	6	9	0
08/08/2006	7,1	6	9	0
02/10/2006	8,1	6	9	0
11/12/2006	7,2	6	9	0

Pode-se verificar nos resultados obtidos que o número de variáveis que não atenderam aos padrões de qualidade (número de variáveis que falharam) é 1 e o número total de variáveis é 3, substituindo esses valores na equação 8.1, tem-se:

$$F_1 = \left(\frac{1}{3}\right) * 100 \therefore F_1 = 33,33 \quad (8.14)$$

O número de testes que não atenderam aos padrões (número de testes falhos) é 5 e o número total de testes é 25, substituindo na equação (8.2), tem-se:

$$F_2 = \left(\frac{5}{25}\right) * 100 \therefore F_2 = 20,00 \quad (8.15)$$

- **Variação 1:** calculado quando o valor correspondente à célula Inconformes for igual a 1, neste caso, serão calculados os valores para a variável oxigênio dissolvido. Como explicado na página 69 e de acordo com a equação (8.4), para as observações do ano de 2006 os valores da Variação 1 serão:

$$\Delta V = \left(\frac{5,0}{0,70}\right) - 1 = 6,1$$

$$\Delta V = \left(\frac{5,0}{1,55}\right) - 1 = 2,2$$

$$\Delta V = \left(\frac{5,0}{3,61}\right) - 1 = 0,4$$

$$\Delta V = \left(\frac{5,0}{3,00}\right) - 1 = 0,7$$

$$\Delta V = \left(\frac{5,0}{0,60}\right) - 1 = 7,3$$

A soma normalizada é então calculada:

$$snv = \frac{(6,1 + 2,2 + 0,4 + 0,7 + 7,3)}{25} \therefore snv = 0,672$$

A partir do valor da soma normalizada calcula-se o fator F_3 :

$$F_3 = \left(\frac{0,672}{0,01 \times 0,672 + 0,01} \right) \therefore F_3 = 40,19$$

(8.16)

Substituindo os valores das equações (9.1), (9.2) e (9.3) na expressão da página 71, tem-se o ICE.

$$ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{(33,33)^2 + (20,00)^2 + (40,19)^2}}{1,732} \right) \therefore ICE = 100 - \left(\frac{\sqrt{3126,46}}{1,732} \right) \therefore$$

$$ICE = 100 - \left(\frac{55,91}{1,732} \right) \therefore ICE = 67,72$$

Portanto, referente ao ano de 2006, o ICE obtido foi aproximadamente igual a 68, vale lembrar que este valor calculado foi a título de exemplo, porque o ICE em si será calculado mediante um número maior de dados de qualidade da água.

pelo controle da qualidade da água nesta região (no Estado de São Paulo) e disponibilizando dados suficientes para a aplicação da metodologia.

Além disso, a região possui vários problemas relacionados à poluição, o que é pertinente para a aplicação e validação do ICE em verificar se os corpos hídricos da região que possuem pontos de monitoramento operacionalizados pela CETESB, estão ou não atendendo ao enquadramento estabelecido.

A importância estratégica que a bacia dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí possui no estado de São Paulo também influenciou na escolha, uma vez, que o desenvolvimento de um instrumento que ajudará nas tomadas de decisões e tendo como ponto de partida uma das áreas mais desenvolvidas da economia brasileira, despertará o interesse não só dos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, mas de todos os usuários, do valor do acompanhamento da qualidade dos corpos de água para a garantia da sustentabilidade de seus usos e conseqüentemente do bom desenvolvimento da região como um todo.

9.1 Área de Estudo

O Estado de São Paulo é dividido em vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) de acordo com a Lei Estadual n.º 9.034 de 27 de dezembro de 1994, conforme mostrado na Figura 9.3.

As bacias dos rios Piracicaba/Capivari/Jundiaí pertence a uma das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI 5), a qual corresponde às bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. A UGRHI 5 está localizada na região leste do estado de São Paulo, desde a divisa com o estado de Minas Gerais até o reservatório da Usina de Barra Bonita, no rio Tietê, numa extensão de, aproximadamente, 230 km.

Figura 9.3 - As vinte e duas Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo – UGRHI
(<http://www.sigrh.sp.gov.br>)

As bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí localizam-se entre as coordenadas geográficas 45° 50' e 48° 30' de longitude oeste e 22° 00' e 23° 20' de latitude sul, e abrangem uma área aproximada de 15.304 km², composta por cinquenta e oito municípios paulistas e quatro mineiros, e parte de mais treze municípios paulistas e um mineiro (CBH-PCJ; SABESP, 2006; IRRIGART, 2007c).

A bacia conjunta dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, estende-se por uma área de 14.043 km², em território paulista, sendo 11.313 km² correspondentes à bacia do rio Piracicaba, 1.612 km² correspondentes à bacia do rio Capivari e a bacia do rio Jundiaí com 1.118 km². As três bacias desenvolvem-se paralelamente no sentido leste/oeste (CARMO, 2001).

Importante área da região sudeste, ela faz parte da bacia do rio Tietê em sua porção média, localizada na região leste/nordeste atingindo também pequena parte de Minas Gerais, a Figura 9.4 apresenta a localização das bacias dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí no estado de São Paulo (CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 9.4 - Localização das bacias do PCJ e a divisão hidrográfica do estado de São Paulo por UGRHI (<http://www.comitepcj.sp.gov.br>)

Composta por sete sub-bacias, sendo cinco pertencentes ao rio Piracicaba (Piracicaba, Corumbataí, Jaguari, Camanducaia e Atibaia) e dos rios Capivari e Jundiá.

As principais cidades localizadas na UGRHI são: Campinas, Piracicaba, Jundiá, Limeira, Americana, Sumaré, Santa Bárbara d'Oeste e Rio Claro. O território completo da bacia do PCJ com a indicação das cidades pode ser visualizado na Figura 9.5.

Figura 9.5 - Bacia do rios Piracicaba/Capivari/Jundiá (<http://www.comitepcj.sp.gov.br>)

A bacia do rio Piracicaba apresenta desnível topográfico de cerca de 1.400 m em uma extensão da ordem de 370 km, desde suas cabeceiras na serra da Mantiqueira, no estado de Minas Gerais, até sua foz no rio Tietê. O rio Piracicaba possui de sua foz até sua formação na confluência dos rios Jaguari e Atibaia a extensão de 177,45 km, estando o Salto do Piracicaba, na cidade de Piracicaba, distante 120 km da foz, que está localizada na divisa dos municípios de Dois Córregos e Botucatu, no reservatório de Barra Bonita.

Os principais cursos d'água da bacia são: rios Piracicaba, Jaguari, Atibaia, Camanducaia, Corumbataí, Passa Cinco, ribeirões Anhumas, Pinheiros e Quilombo na bacia do rio Piracicaba; rios Capivari, Capivari-Mirim, ribeirões Água Clara e Piçarrão na bacia do rio Capivari; rios Jundiaí, Jundiaí-Mirim, córrego Castanho e ribeirão Piraí na bacia do rio Jundiaí.

Esta Unidade de Gerenciamento de Recursos hídricos é composta por cinquenta e sete municípios, compreende mais de 11% da população do Estado e, de acordo com dados do plano Estadual de Recursos Hídricos 2004-2007, 85% dos habitantes vivem em áreas urbanas (CETESB, 2008).

A região das bacias PCJ é uma região altamente industrializada, com grandes cidades como Campinas, Piracicaba, Americana, entre outras, um grande parque sucro-alcooleiro e áreas de agricultura intensiva.

9.2 Fontes de poluição

Dados utilizados do cadastro DAEE/PRODESP 2004 de lançamentos efluentes líquidos de diversas origens para o relatório de situação de 2002/2003 citados no Plano de Bacias 2000/2004 do PCJ, foi possível constatar que o uso industrial representa 44,6% da vazão de efluentes líquidos liberados nos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, valor bastante significativo e que indica um dos principais problemas de poluição na região.

Uma das principais pressões sobre a qualidade das águas dos rios e reservatórios nas bacias do PCJ é o lançamento orgânico *in natura* diretamente nos corpos de água e também a preservação das cabeceiras, essenciais para o abastecimento público da região e da Região Metropolitana de São Paulo, por elas estarem localizadas em áreas de alta densidade populacional hoje fortemente

impactadas pela falta de tratamento dos esgotos domésticos, que em 2007 atingiu o nível no Estado de São Paulo da ordem de 45% (CETESB, 2008).

Outros problemas de poluição geralmente encontrados nos corpos hídricos da área de estudo, dizem respeito ao alto grau de eutrofização, devido às elevadas cargas de nutrientes (nitrogênio e fósforo) advindos, principalmente, da atividade agrícola e presença de matéria orgânica, decorrentes em boa parte do lançamento de esgotos domésticos.

A Figura 9.6 ilustra a utilização da água por tipo de uso na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.

Figura 9.6 - Vazões captadas por tipo de uso nas bacias PCJ
Fonte: IRRIGART (2007b) - Relatório de Situação 2004/2006

E a Figura 9.7 apresenta a demanda segundo os tipos de uso em cada uma das três Bacias Hidrográficas pertencentes à UGRHI.

Figura 9.7 - Demanda de água nas bacias PCJ
Fonte: IRRIGART (2007b) - Relatório de Situação 2004/2006

Nota-se pelos volumes de água utilizados por tipo de uso, a predominância nos usos já citados e que caracterizam bem a região que são o urbano, industrial e o rural os grandes consumidores de água e por consequência também as principais fontes de poluição da bacia.

Bacia do Rio Piracicaba

A bacia do rio Piracicaba apresenta desnível topográfico de cerca de 1.400 m em uma extensão da ordem de 370 km, desde suas cabeceiras na Serra da Mantiqueira, no estado de Minas Gerais, até a sua foz no rio Tietê, mais especificamente no reservatório de Barra Bonita, na divisa entre os municípios de Dois Córregos (fora das bacias PCJ) e Botucatu (com sede fora das bacias PCJ) e Santa Maria da Serra.

Os principais problemas de poluição encontrados são as altas concentrações de coliformes termotolerantes, elevado potencial de formação de trihalometanos (carga difusa) e a influência do lançamento de esgotos sanitários *in natura* e dos lançamentos de cargas remanescentes de origem industrial e urbana (CETESB, 2008; CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Bacia do Rio Capivari

O desnível topográfico da bacia no rio Capivari é pequeno, não ultrapassando 250 m em um percurso de 180 km, desde as suas nascentes na Serra do Jardim, em altitude de 750 m.

No relatório anual sobre a qualidade das águas interiores no estado de São Paulo, a CETESB (2008) explica que o adensamento urbano na região e o expressivo aporte de esgoto doméstico sem tratamento, afetam de forma significativa a qualidade das águas do rio Capivari e a sua piora foi por causa das altas concentrações de coliformes termotolerantes e de DBO_{5,20}.

Bacia do Rio Jundiá

O rio Jundiá, com suas nascentes a 1.000 m de altitude na serra da Pedra Vermelha, município de Mairiporã, apresenta desnível topográfico total em torno de 500 m, em uma extensão aproximada de 110 km.

CETESB (2008) comenta que o lançamento de esgotos domésticos sem tratamento continua sendo a causa da degradação das águas do rio Jundiá e resultados positivos de mutagenicidade indicam a necessidade de investigação de possíveis fontes de contaminantes que possam causar esse efeito.

9.3 Levantamento dos dados de qualidade da água

Os dados de qualidade da água necessários para o cálculo do ICE foram obtidos a partir de um levantamento dos pontos de monitoramento presentes na bacia do PCJ e mantidos pela CETESB.

Este levantamento teve como base os laudos disponíveis na página eletrônica da CETESB (<http://www.cetesb.sp.gov.br/>) e também os dados de qualidade da água da base do SSD-PCJ.

O resultado final do levantamento encontra-se no ANEXO A, são tabelas que contêm as variáveis consideradas no cálculo do ICE para cada ponto de monitoramento pertencente à CETESB, o enquadramento de valor legal para o trecho do rio, bem como a série de dados disponível para cada variável de qualidade da água.

Observa-se que as variáveis de qualidade da água citadas nas respectivas tabelas são apenas aquelas que possuem padrões de qualidade estipulados na Resolução CONAMA n. 357, uma vez que a CETESB monitora um número maior de variáveis de qualidade da água.

10 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ICEs foram calculados segundo os procedimentos explicados na seção anterior e os produtos resultantes foram gráficos que permitem a visualização da evolução temporal dos índices de conformidade para os diversos pontos de monitoramento presentes na bacia.

Os gráficos permitem avaliar a situação do rio em relação à classe de enquadramento e a verificar os pontos da bacia que precisam de maior controle para atender aos padrões estabelecidos. A numeração adotada para os pontos está no sentido da nascente para a foz.

As variáveis e o número de dados de qualidade da água, considerados no cálculo do índice, não foram os mesmos para todos os pontos e anos de monitoramento, pois as informações foram baseadas nos resultados das medições de qualidade da água feitas pela CETESB, pelos motivos já citados na página 66 da seção 8.4. As informações a respeito dos dados de qualidade da água utilizados no cálculo podem ser obtidas no ANEXO A.

O cálculo foi feito utilizando todas as variáveis de qualidade da água monitoradas pela CETESB e que possuem os padrões de qualidade estabelecidos pela Resolução CONAMA n.357.

Os corpos hídricos considerados no cálculo do ICE foram:

- bacia do rio Piracicaba: rios Piracicaba, Atibaia, Camanducaia, Corumbataí e Jaguari;
- bacia do rio Capivari: rio Capivari;
- bacia do rio Jundiaí: rios Jundiaí, Jundiaí-Mirim e ribeirão Piraí.

Os resultados estão separados para cada corpo hídrico, inicialmente com a apresentação dos aspectos gerais como uso do solo e da água, bem como um mapa com a localizações dos pontos de monitoramento utilizados no cálculo do ICE, vale lembrar que a numeração crescente adotada para os pontos está no sentido da nascente para a foz.

Em seguida, para cada ponto de monitoramento presente nos diversos trechos é feita uma caracterização geral com a localização e classe de enquadramento proposta.

As tabelas das parciais permitem uma visualização mais detalhada do cálculo, é possível o conhecimento dos valores de cada parcela que influenciam no cálculo do índice, por exemplo o número de variáveis utilizadas no cálculo para cada ano, bem como aquelas que não atenderam aos padrões de qualidade da água. Os significados de cada parcela são explicados na seção 8.4.1 (página 69).

As variáveis de qualidade da água utilizadas no cálculo do ICE para cada rio são apresentadas no ANEXO A, nas páginas 218 a 224.

As curvas que descrevem os valores do ICE apresentam a evolução temporal e indicam a tendência a que os valores do índice estão alcançando, isto é, o seu comportamento em relação ao enquadramento no decorrer dos anos. Os gráficos tipo *Box Plot* possibilitam a comparação dos resultados obtidos para o ICE com os valores das variáveis de qualidade da água. Dentre estas variáveis foram eleitas: coliformes termotolerantes, DBO, pH e OD.

A escolha preferencial das variáveis DBO e coliformes termotolerantes para a construção dos gráficos *Box Plot*, deveu-se porque estas mostraram representativas do comportamento temporal do índice, sobretudo nos casos em que a presença de outliers, principalmente aqueles mais afastados, influenciou consideravelmente no resultado final.

A opção pela DBO em vez do oxigênio dissolvido para a maioria dos pontos, foi porque a DBO, além de representar o potencial de matéria orgânica (biodegradável) nas águas poluídas por esgotos sanitários e efluentes industriais (principais fontes poluidoras da bacia em estudo), é uma variável fundamental para o controle da poluição das águas por este tipos de poluentes, bem como da eficiência das estações de tratamento de esgotos existentes (PIVELI; KATO, 2005), constituindo, portanto, em um auxílio na tomada de decisões quanto a investimentos neste setor.

Nos casos em que os corpos hídricos são enquadrados na classe 4 foram utilizadas as variáveis pH e OD no lugar dos valores de coliformes termotolerantes e DBO, pois estas não possuem limites de classe na Resolução CONAMA n.357.

Os outliers não foram excluídos do cálculo, pois são ocorrências que não podem ser descartadas, principalmente aquelas extremamente afastadas das medições habituais, uma vez sendo ocorrências isoladas, mas de características extraordinárias podem acontecer novamente. A permanência destes outliers ocasionais no cálculo, gera valores baixos do índice, servindo assim de alerta aos

tomadores de decisões aplicarem medidas de recuperação do corpo hídrico para evitar no futuro o comprometimento do uso da água.

O comportamento espacial do ICE é conseguido por meio dos mapas colocados ao final dos resultados de cada rio. Estes mapas contêm os pontos utilizados nos cálculos e as curvas do ICE obtidos, possibilitando, além do acompanhamento temporal, a relação do índice com a localização dos pontos estudados e por decorrência as prováveis fontes de poluição da bacia.

Antes da apresentação dos resultados propriamente ditos, será feita uma breve justificativa do procedimento de elaboração das faixas de classificação do índice.

10.1 Categorias de Classificação

As classes do Índice de Conformidade ao Enquadramento são:

- **Conforme:** ($80 \leq \text{ICE} \leq 100$) – valores obtidos se a maioria ou todas as medições estiverem dentro dos padrões de qualidade da água naquele ano de monitoramento;
- **Afastado:** ($45 \leq \text{ICE} < 80$) – as medições estão frequentemente em desacordo com os padrões de qualidade da água;
- **Não conforme:** ($\text{ICE} < 45$) – os padrões de qualidade da água quase sempre não atendidos; a maioria ou a totalidade das medições está violando os limites da classe de enquadramento correspondente ao trecho do rio naquele ano de monitoramento.

As faixas de classificação do ICE foram baseadas nas categorias de qualidade da água do CCME WQI, estas se mostraram mais apropriadas, uma vez que, pelos resultados obtidos do índice, não foi possível achar uma relação de valores do ICE com a porcentagem do número de variáveis de qualidade da água (ou testes) não conformes em relação ao total das variáveis monitoradas (ou testes realizados).

Nas classificações propostas para o ICE, procurou-se extrair das definições das categorias do CCME WQI, a questão do grau de atendimento das medições realizadas nos monitoramentos aos padrões de qualidade da água, base para a verificação se o corpo hídrico está ou não de acordo com enquadramento atualmente válido.

A Tabela 10.1 mostra a categorização adotada para o ICE.

Tabela 10.1 - Faixas de classificação do ICE

Categorias	Faixas de Valores
Conforme	100
	80
	79
Afastado	45
	44
	0
Não conforme	

10.2 Resultados para a Bacia do Rio Piracicaba

Rio Piracicaba

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Piracicaba:* predominam as áreas com cultivo de cana-de-açúcar e considerável área de pastagens, bem como o uso urbano-industrial, como pode ser observado na Figura 10.1 (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.1 - Usos do solo na bacia do rio Piracicaba

Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 (2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006)

- *Usos da água:* abastecimento urbano (35%), uso industrial (43,4%), uso agrícola (20,3%) e outros (1,1%) (IRRIGART, 2007b).

Figura 10.2 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Piracicaba

Fonte: adaptado IRRIGART (2007a)

Ponto PCAB02100

Características do Ponto

- Localização: rio Piracicaba, junto à captação de água de Americana, na localidade de Carioba.
- Latitude: 22° 42' 39"
- Longitude: 47° 19' 22"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.2 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02100

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1991	59	21	8	63	6	29	14	1	52	816	184	2676	65
1992	113	20	23	177	6	30	20	2	61	900	414	3729	59
1993	108	18	14	68	4	22	13	1	39	494	168	1495	73
1994	112	19	13	56	4	21	12	1	33	443	135	1104	76
1995	114	20	15	106	5	25	13	1	48	625	173	2316	68
1996	111	20	14	100	5	25	13	1	47	625	159	2252	68
1997	114	20	18	42	7	35	16	0,4	27	1225	249	713	73
1998	115	20	17	148	5	25	15	1	56	625	219	3163	63
1999	119	20	20	54	6	30	17	0,5	31	900	282	964	73
2000	118	20	13	15	7	35	11	0,1	11	1225	121	120	78
2001	113	20	12	9	7	35	11	0,1	7	1225	113	55	78
2002	120	19	13	31	5	26	11	0,3	21	693	117	425	80
2003	106	19	14	325	4	21	13	3	75	443	174	5689	54
2004	125	21	16	28	5	24	13	0,2	18	567	164	336	81
2005	126	21	14	106	6	29	11	1	46	816	123	2087	68
2006	142	26	19	58	10	38	13	0,4	29	1479	179	844	71
2007	154	26	27	42	8	31	18	0,3	22	947	307	465	76

Figura 10.3 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02100

Verifica-se pela Figura 10.3 que as condições hídricas ao longo do tempo para o Ponto PCAB02100 possuem comportamento que tende a melhoria da qualidade da água, possivelmente devido à implantação de medidas para o tratamento dos efluentes domésticos e industriais oriundos dos usos do solo e da água predominantes nesta região (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006). Estas medidas estão sendo eficientes nos últimos três anos.

A queda em 2003, possivelmente pode ter ocorrido pela piora na redução das cargas orgânicas domésticas provenientes da Região Metropolitana de Campinas, devido ao lançamento de esgotos sanitários *in natura* e dos lançamentos de cargas remanescente de origem industrial, agravada provavelmente pela baixa precipitação registrada neste período.

Aliado a isso, tem-se nesse mesmo ano uma carga de coliformes termotolerantes bem acima do que ocorre normalmente neste trecho do rio Piracicaba (Figura 10.4), o que contribuiu ainda mais para a queda no valor do ICE em 2003.

Figura 10.4 - Box Plot dos valores de Coliformes Termotolerantes para o Ponto PCAB02100

Ponto PCAB02135

Características do Ponto

- Localização: rio Piracicaba, na ponte de concreto da estrada Americana-Limeira, na divisa de Limeira e Sta. Bárbara d'Oeste.
- Latitude: 22° 41' 51"
- Longitude: 47° 23' 14"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.3 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02135

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	113	19	28	1885	8	42	25	17	94	1773	614	8901	39
1990	114	19	32	3731	9	47	28	33	97	2244	788	9416	36
1991	78	21	19	756	9	43	24	10	91	1837	593	8217	40
1992	113	20	32	4758	10	50	28	42	98	2500	802	9541	35
1993	108	18	23	8371	6	33	21	78	99	1111	454	9747	39
1994	114	18	28	4404	7	39	25	39	97	1512	603	9502	38
1995	114	20	25	2029	6	30	22	18	95	900	481	8964	41
1996	114	20	19	7510	7	35	17	66	99	1225	278	9703	39
1997	113	19	24	7996	7	37	21	71	99	1357	451	9723	38
1998	115	20	27	17485	7	35	23	152	99	1225	551	9870	38
1999	114	19	25	2793	7	37	22	25	96	1357	481	9231	39
2000	115	20	34	2183	10	50	30	19	95	2500	874	9024	36
2001	108	19	35	503961	10	53	32	4666	100	2770	1050	9996	32
2002	109	18	33	1192	10	56	30	11	92	3086	917	8395	36
2003	99	17	37	3667	10	59	37	37	97	3460	1397	9481	31
2004	113	19	24	2180	7	37	21	19	95	1357	451	9039	40
2005	114	19	24	991	5	26	21	9	90	693	443	8042	45
2006	133	24	30	2009	11	46	23	15	94	2101	509	8797	38
2007	141	25	37	1488	12	48	26	11	91	2304	689	8344	39

Figura 10.5 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02135

A Figura 10.5 mostra uma situação extremamente crítica, os valores do índice indicam uma tendência estacionária de não melhoramento das condições hídricas, o principal problema é a forte influência dos lançamentos de efluentes domésticos dos municípios vizinhos (grande quantidade de matéria orgânica) e contaminação por coliformes termotolerantes presentes neste trecho. A adoção de medidas de recuperação da qualidade da água neste trecho deve ser encarada como ação prioritária pelos gestores locais.

Ponto PCAB02192

Características do Ponto

- Localização: rio Piracicaba, na Ponte a 50 m do Km 135,3 da estrada que liga Piracicaba a Limeira, próximo à Usina Monte Alegre.
- Latitude: 22° 41' 20"
- Longitude: 47° 34' 58"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.4 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02192

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	113	19	29	779	7	37	26	7	87	1357	659	7626	43
1990	114	19	32	3858	8	42	28	34	97	1773	788	9434	37
1991	77	21	19	507	8	38	25	7	87	1451	609	7537	43
1992	113	20	38	6690	10	50	34	59	98	2500	1131	9671	33
1993	109	19	28	9190	7	37	26	84	99	1357	660	9767	37
1994	113	19	27	5633	6	32	24	50	98	997	571	9611	39
1995	115	20	27	1098	6	30	23	10	91	900	551	8194	43
1996	93	19	21	2222	6	32	23	24	96	997	510	9213	40
1997	100	19	24	1487	9	47	24	15	94	2244	576	8779	38
1998	115	20	26	1853	6	30	23	16	94	900	511	8865	41
1999	114	19	26	2008	6	32	23	18	95	997	520	8954	41
2000	115	20	34	503	10	50	30	4	81	2500	874	6624	42
2001	107	19	31	293	8	42	29	3	73	1773	839	5363	48
2002	108	18	29	838	7	39	27	8	89	1512	721	7846	42
2003	99	17	32	1452	9	53	32	15	94	2803	1045	8764	35
2004	113	19	28	238	9	47	25	2	68	2244	614	4597	50
2005	116	20	27	338	8	40	23	3	74	1600	542	5541	49
2006	135	24	33	542	11	46	24	4	80	2101	598	6411	45
2007	142	24	31	315	11	46	22	2	69	2101	477	4748	51

Figura 10.6 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02192

Tendência tímida na melhoria do trecho em se adequar à Classe 2, é o que se pode visualizar na Figura 10.6. A eficácia das ações de recuperação do corpo hídrico está além do desejado, necessidade de se reavaliar as medidas, melhorando

as já existentes ou adotando outras mais eficientes, como o controle mais rigoroso das fontes de poluição.

Ponto PCAB02220

Características do Ponto

- Localização: rio Piracicaba, na margem esquerda, 2,5 km a jusante da foz do rib. Piracica-Mirim, na captação de Piracicaba.
- Latitude: 22° 42' 44"
- Longitude: 47° 38' 58"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.5 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02220

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	119	21	31	178	10	48	26	1	60	2268	679	3590	53
2001	110	19	25	137	8	42	23	1	56	1773	517	3080	58
2002	118	19	30	1390	8	42	25	12	92	1773	646	8496	40
2003	108	19	36	1594	12	63	33	15	94	3989	1111	8771	32
2004	126	21	28	442	8	38	22	4	78	1451	494	6057	48
2005	128	22	29	508	9	41	23	4	80	1674	513	6379	47
2006	141	26	24	131	9	35	17	1	48	1198	290	2317	64
2007	153	26	30	220	10	38	20	1	59	1479	384	3474	58

Figura 10.7 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02220

O Ponto PCAB02220 possui um comportamento favorável em relação ao enquadramento estabelecido, pela Figura 10.7 é possível concluir que houve uma significativa melhora da qualidade hídrica a partir de 2003, apesar da queda em 2007, a tendência é positiva. A queda em 2007 pode ter sido ocasionada por algum evento extraordinário de poluição ou climático, o qual precisa ser investigado.

Ponto PCAB02800

Características do Ponto

- Localização: rio Piracicaba, em frente à fonte sulfurosa, junto ao posto 4D-07 do DAEE, na localidade de Artemis.
- Latitude: 22º 41' 31"
- Longitude: 47º 46' 39"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.6 - Parcelas do ICE para o Ponto PCAB02800

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	24	4	7	132	2	50	29	6	85	2500	851	7160	41
1990	24	4	8	154	2	50	33	6	87	2500	1111	7485	39
1991	16	4	6	298	2	50	38	19	95	2500	1406	9007	34
1992	24	4	11	540	3	75	46	23	96	5625	2101	9167	25
1993	30	2	6	129	1	50	20	4	81	2500	400	6582	44
1994	35	4	6	118	1	25	17	3	77	625	294	5948	52
1995	22	4	6	86	1	25	27	4	80	625	744	6341	49
1996	30	5	6	1114	1	20	20	37	97	400	400	9482	41
1997	30	5	7	633	1	20	23	21	95	400	544	9116	42
1998	30	5	6	436	1	20	20	15	94	400	400	8754	44
1999	24	4	7	208	2	50	29	9	90	2500	851	8038	38
2000	117	21	31	132	9	43	27	1	53	1837	702	2808	58
2001	108	19	29	103	8	42	27	1	49	1773	721	2372	60
2002	108	18	34	1746	8	44	31	16	94	1975	991	8869	37
2003	101	18	34	643	11	61	34	6	86	3735	1133	7468	36
2004	115	20	27	240	8	40	23	2	68	1600	551	4575	53
2005	116	20	31	310	8	40	27	3	73	1600	714	5300	50
2006	130	24	28	82	10	42	22	1	39	1736	464	1495	65
2007	141	24	32	268	10	42	23	2	66	1736	515	4294	53

Figura 10.8 - Evolução temporal do ICE para o Ponto PCAB02800

Apesar da inconstância dos valores do ICE (Figura 10.8) e da queda ocorrida em 2007, o trecho está se comportando em direção à conformidade de enquadramento para o qual foi estabelecido.

Nota-se pelos resultados que o rio Piracicaba apresentou uma elevação nos valores do índice a partir de 2004, possivelmente em decorrência da criação do Comitê Federal do PCJ em 2003. A consciência por uma melhor qualidade ambiental e preservação dos recursos hídricos passou a ter um impulso na região, com programas de recuperação da qualidade da água, por meio de investimentos em educação ambiental, construção de estações de tratamento de esgoto e várias outras medidas na bacia do rio Piracicaba.

A Figura 10.9 mostra o comportamento do índice ao longo tempo e do rio Piracicaba, nota-se a degradação da qualidade da água em direção a foz, uma vez que os valores do ICE decrescem, isso é devido à poluição acumulada ao longo do corpo hídrico e gerada pelos usos do solo da bacia, ocupados principalmente pela área urbana (usos urbano e industrial) e rural (cultivo da cana de açúcar e pastagem), como pode ser verificado na Figura 10.1.

O afastamento da adequabilidade ao enquadramento, presente em praticamente todos os pontos do rio Piracicaba, se deve principalmente aos lançamentos de efluentes domésticos e industriais, indicando a necessidade de

ações de recuperação da qualidade hídrica do mesmo, dados do DAEE;PRODESP (2004 apud IRRIGART, 2004) indicam que o uso urbano contribui com 50,8% e o uso industrial com 47,2%, totalizando 98% dos efluentes líquidos lançados nas águas da bacia do rio Piracicaba.

Nota-se esse tipo de comportamento quando ocorre o aumento das cargas de DBO (Figura 10.10) e coliformes termotolerantes (Figura 10.11) da nascente em direção a foz, fortemente associado às fontes antrópicas e à proximidade dos aglomerados urbanos (Americana e Piracicaba), devido ao lançamento de esgotos domésticos.

As melhores condições encontram-se na região de captação de água para abastecimento público, o Ponto PCAB02100 apresenta tendência em se adequar ao enquadramento desde o ano de 2004, indicativo de que as medidas de recuperação estão sendo eficientes.

Figura 10.9 - Tendência temporal do ICE para o rio Piracicaba

Figura 10.10 - Box Plot dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Piracicaba

Figura 10.11 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Piracicaba

Rio Atibaia

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Atibaia:* predominam as áreas de pastagens, como pode ser observado na Figura 10.12 (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.12 - Usos do solo na bacia do rio Atibaia

Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 (2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006)

- *Usos da água:* abastecimento urbano (50,7%), uso industrial (32,1%), uso agrícola (16,6%) e 0,6% para outro usos (IRRIGART, 2007b).

Figura 10.13 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Atibaia

Fonte: adaptado IRRIGART (2007a)

Ponto ATIB02010

Características do Ponto

- Localização: rio Atibaia, junto à captação do município de Atibaia.
- Latitude: 23° 06' 12"
- Longitude: 46° 32' 42"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.7 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02010

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1995	138	20	21	60	6	30	15	0,4	30	900	232	918	74
1996	118	21	19	121	7	33	16	1	51	1111	259	2556	64
1997	95	19	11	48	3	16	12	1	34	249	134	1137	77
1998	113	19	12	86	3	16	11	1	43	249	113	1873	73
1999	119	20	14	38	5	25	12	0,3	24	625	138	595	79
2000	125	21	12	265	6	29	10	2	68	816	92	4620	57
2001	112	20	15	29	7	35	13	0,3	20	1225	179	416	75
2002	112	19	19	32	7	37	17	0,3	22	1357	288	484	73
2003	105	19	15	47	6	32	14	0,4	31	997	204	947	73
2004	120	20	13	32	6	30	11	0,3	21	900	117	451	78
2005	120	20	16	39	6	30	13	0,3	24	900	178	591	76
2006	137	25	17	19	8	32	12	0,1	12	1024	154	143	79
2007	143	25	23	28	8	32	16	0,2	16	1024	259	268	77

Figura 10.14 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02010

A Figura 10.14 mostra que a partir de 2001 a qualidade hídrica deste trecho está melhorando e tende a situação de conformidade ao enquadramento estabelecido, as medidas tomadas estão obtendo sucesso gradual e permanente durante os últimos sete anos.

A queda brusca em 2000 foi devido a uma grande carga, tanto de DBO (vide Figura 10.20) como de coliformes termotolerantes (vide Figura 10.21), ocorrida neste ano, provavelmente oriunda de efluentes domésticos, por este ponto ficar próximo de um aglomerado urbano (Atibaia); mas também pode ter ocorrido problemas operacionais no sistema de tratamento de esgoto ou escassez de chuvas neste período que piorou as condições de diluição do corpo hídrico, portanto, é preciso investigar as causas da queda no valor do ICE neste ano.

Ponto ATIB02065

Características do Ponto

- Localização: rio Atibaia, na captação de Campinas, na divisa entre os municípios de Campinas e Valinhos.
- Latitude: 22° 54' 18"
- Longitude: 46° 58' 26"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.8 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02065

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	113	19	18	8183	6	32	16	72	99	997	254	9729	40
1990	116	20	24	536	7	35	21	5	82	1225	428	6757	47
1991	98	21	17	1050	6	29	17	11	91	816	301	8366	44
1992	115	20	28	5824	8	40	24	51	98	1600	593	9616	37
1993	111	19	22	794	6	32	20	7	88	997	393	7697	45
1994	112	19	17	2519	5	26	15	22	96	693	230	9167	42
1995	116	20	19	835	6	30	16	7	88	900	268	7709	46
1996	114	21	21	492	7	33	18	4	81	1111	339	6590	48
1997	108	18	18	333	5	28	17	3	75	772	278	5698	53
1998	113	19	20	418	6	32	18	4	79	997	313	6198	50
1999	120	21	16	1173	5	24	13	10	91	567	178	8230	45
2000	120	20	23	500	6	30	19	4	81	900	367	6503	49
2001	111	20	23	388	7	35	21	4	78	1225	429	6048	49
2002	114	19	19	460	8	42	17	4	80	1773	278	6421	47
2003	106	19	20	243	6	32	19	2	70	997	356	4852	55
2004	125	21	19	639	8	38	15	5	84	1451	231	6996	46
2005	127	21	18	143	5	24	14	1	53	567	201	2809	65
2006	144	26	21	116	7	27	15	1	45	725	213	1990	69
2007	145	25	27	154	8	32	19	1	52	1024	347	2656	63

Figura 10.15 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02065

Para o Ponto ATIB02065, o crescimento dos valores do ICE, indicado na Figura 10.15, mostra a preocupação por parte dos gestores públicos e da população da região em melhorar a condição de usabilidade da água, pois a qualidade da mesma

vem aumentando desde 1989, com algumas quedas, mas pequenas, tendendo sempre a atingir a adequabilidade e, por conseguinte a categoria de conformidade ao enquadramento.

O salto ocorrido em 2005 se deve possivelmente à instalação de estações de tratamento de esgoto para a redução da matéria orgânica lançada no rio e provenientes das áreas urbanas vizinhas.

A queda em 2007 se deve ao fato de que a CETESB, a partir de 2006, iniciou o monitoramento da quantidade nas águas das formas dissolvidas do alumínio, cobre e ferro, logo estas variáveis começaram a fazer parte do cálculo e dentre elas, o alumínio violou os padrões de qualidade estipulados pela Resolução CONAMA n.357. O aumento da carga orgânica (vide Figura 10.20) e do número de coliformes termotolerantes neste período também contribuiu para tal decaimento (vide Figura 10.21).

Ponto ATIB02605

Características do Ponto

- Localização: rio Atibaia, na ponte da rodovia SP - 332 que liga Campinas a Cosmópolis.
- Latitude: 22º 45' 47" e 22º 45' 09"
- Longitude: 47º 09' 18" e 47º 09' 17"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.9 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02605

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	115	20	24	4234	8	40	21	37	97	1600	436	9478	38
1990	118	20	32	18035	10	50	27	153	99	2500	735	9870	34
1991	97	21	24	457	7	33	25	5	82	1111	612	6803	47
1992	114	20	32	1075	10	50	28	9	90	2500	788	8174	38
1993	112	19	23	1205	6	32	21	11	91	997	422	8371	43
1994	115	20	26	1763	7	35	23	15	94	1225	511	8813	41
1995	119	21	26	1223	8	38	22	10	91	1451	477	8305	42
1996	114	21	28	2216	8	38	25	19	95	1451	603	9045	39
1997	108	18	20	833	7	39	19	8	89	1512	343	7836	43
1998	115	20	23	1249	6	30	20	11	92	900	400	8385	43
1999	115	20	20	755	7	35	17	7	87	1225	302	7531	45
2000	114	19	28	560	9	47	25	5	83	2244	603	6903	43
2001	105	18	30	9790	9	50	29	93	99	2500	816	9789	34
2002	108	19	27	341	7	37	25	3	76	1357	625	5768	49
2003	103	18	25	83	9	50	24	1	44	2500	589	1978	59
2004	113	19	26	509	9	47	23	5	82	2244	529	6697	44
2005	116	19	25	205	8	42	22	2	64	1773	464	4072	54
2006	132	24	28	1171	10	42	21	9	90	1736	450	8076	42
2007	137	24	23	899	9	38	17	7	87	1406	282	7531	45

Figura 10.16 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02605

Apesar da tendência de crescimento dos valores do ICE (vide Figura 10.16), este trecho do rio Atibaia possui graves problemas de poluição, pois a condição sempre oscila entre não conforme e afastado, estando a maior parte do tempo na

condição de não conforme. Medidas como controle das fontes de poluição precisam ser intensificadas, pois o ponto localiza-se em região de grande concentração de indústrias e na área pertencente à Região Metropolitana de Campinas, conseqüentemente com alta densidade urbana.

Além disso, é preciso que os responsáveis realoquem os recursos disponíveis em planos de bacia e para subsidiar um melhor gerenciamento da mesma, pois as ações adotadas atualmente não estão trazendo benefícios.

Ponto ATIB02800

Características do Ponto

- Localização: rio Atibaia, na captação de Sumaré, perto do Mini-Pantanal de Paulínia.
- Latitude: 22º 45' 41"
- Longitude: 47º 10' 24"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.10 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02800

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2002	31	7	13	369	4	57	42	12	92	3265	1759	8510	33
2003	64	11	25	851	7	64	39	13	93	4050	1526	8650	31
2004	60	10	22	699	5	50	37	12	92	2500	1344	8482	36
2005	60	9	21	371	6	67	35	6	86	4444	1225	7411	34
2006	61	11	26	906	7	64	43	15	94	4050	1817	8778	30
2007	74	13	25	617	7	54	34	8	89	2899	1141	7972	37

Figura 10.17 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02800

Similar ao trecho anterior, a Figura 10.17 mostra uma situação de degradação extrema da qualidade da água, a tendência de crescimento neste caso não significa muito, pois os valores do índice estão muito baixos.

Neste trecho, medidas urgentes de recuperação ou reenquadramento do mesmo para se adequar à realidade da região, precisam ser levados em conta no processo de gestão da sub-bacia do rio Atibaia.

Ponto ATIB02900

Características do Ponto

- Localização: rio Atibaia, na Ponte de Salto Grande, a jusante do Reservatório da CPFL.
- Latitude: 22° 41' 54"
- Longitude: 47° 17' 27"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.11 - Parcelas do ICE para o Ponto ATIB02900

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2002	49	10	8	9	2	20	16	0,2	16	400	267	258	82
2003	36	6	4	1	2	33	11	0,03	3	1111	123	8	80
2004	36	6	5	3	2	33	14	0,1	7	1111	193	49	79
2005	36	6	6	2	2	33	17	0,04	4	1111	278	17	78
2006	36	6	8	9	3	50	22	0,2	19	2500	494	377	66
2007	36	6	6	8	2	33	17	0,2	19	1111	278	363	76

Figura 10.18 - Evolução temporal do ICE para o Ponto ATIB02900

Apesar de possuir uma condição hídrica favorável, o maior volume de água favorecer a diluição dos poluentes, nota-se pela Figura 10.18 uma tendência de degradação nos últimos anos, influenciada pelo aumento populacional da Região Metropolitana de Campinas, ocasionando o aumento das cargas de origem orgânica e fecal, oriundas dos esgotos domésticos, o que faz o contínuo afastamento da condição deste trecho ao enquadramento almejado.

A Figura 10.19 ilustra o comportamento espacial do ICE ao longo do rio Atibaia, percebe-se o crescente afastamento do enquadramento da nascente para a foz, exceto no Ponto ATIB02900, região destinada à captação de água para abastecimento, em que os valores do ICE estão muito próximos da conformidade ao enquadramento estabelecido, com as cargas de DBO (vide Figura 10.20) e coliformes termotolerantes (vide Figura 10.21) abaixo dos limites estipulados pela

Resolução CONAMA n.357, mas mesmo assim é preciso um maior controle neste trecho, uma vez que a tendência mostra o seu afastamento ao enquadramento.

Este comportamento favorável se deve ao fato do Ponto ATIB02900 estar localizado em área de manancial, o volume considerável de água favorece a diluição dos contaminantes oriundos das fontes poluidoras da bacia e a distância em relação a estas contribuiu para o decaimento da matéria orgânica, contribuindo para que os valores do índice estejam em níveis aceitáveis de adequação ao enquadramento estabelecido.

Figura 10.19 - Tendência temporal do ICE para o rio Atibaia

Figura 10.20 - Box Plot dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Atibaia

Figura 10.21 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Atibaia

Rio Camanducaia

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Camanducaia:* predominam as áreas de pastagens, como pode ser observado na Figura 10.22 (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.22 - Usos do solo na bacia do rio Camanducaia
Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 (2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006)

- *Usos da água:* abastecimento urbano (37,4%), uso industrial (11,2%) e uso agrícola (51,4%) (IRRIGART, 2007b).

Figura 10.23 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Camanducaia
Fonte: adaptado IRRIGART (2007a)

Ponto CMDC02050

Características do Ponto

- Localização: rio Camanducaia, na ponte no distrito de Mostardas, Amparo.
- Latitude: 22° 46' 26"
- Longitude: 46° 37' 28"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.12 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02050

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2003	59	10	9	171	3	30	15	3	74	900	233	5522	53
2004	60	10	9	74	2	20	15	1	55	400	225	3050	65
2005	60	10	10	63	3	30	17	1	51	900	278	2605	64
2006	56	10	9	70	3	30	16	1	56	900	258	3092	62
2007	56	10	11	69	3	30	20	1	55	900	386	3061	62

Figura 10.24 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02050

O Ponto CMDC02050, pelos poucos dados existentes, nota-se uma tímida tendência (vide Figura 10.24) em se ajustar ao enquadramento, mas ainda assim seria muito precipitado para esta afirmação, justamente pela série de dados ainda ser insuficiente para tal conclusão.

Ponto CMDC02300

Características do Ponto

- Localização: rio Camanducaia, na captação de Amparo.
- Latitude: 22° 42' 09"
- Longitude: 46° 44' 58"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.13 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02300

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	4	5	2	50	20	0,3	21	2500	400	421	67
2001	16	4	4	40	1	25	25	3	71	625	625	5102	54
2002	31	7	6	31	2	29	19	1	50	816	375	2529	65
2003	36	6	12	110	4	67	33	3	75	4444	1111	5666	39
2004	36	6	9	20	2	33	25	1	35	1111	625	1234	69
2005	36	6	11	132	4	67	31	4	79	4444	934	6183	38
2006	36	6	13	139	4	67	36	4	79	4444	1304	6301	37
2007	68	14	17	59	5	36	25	1	46	1276	625	2159	63

Figura 10.25 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02300

A Figura 10.25 mostra uma tendência do trecho hídrico em se afastar do enquadramento estabelecido, apesar de 2007 indicar uma melhora. Uma explicação

para este salto no valor do ICE em 2007, pode ser o aumento do número de variáveis de qualidade da água monitoradas pela CETESB para este ano.

A CETESB passou a monitorar para este ponto, a partir de 2007, os nutrientes (fósforo e formas do nitrogênio), além dos metais (manganês; alumínio, cobre e ferro na forma dissolvida), o que pode ter dado uma avaliação mais realística sobre o corpo hídrico, portanto é de se esperar que nos próximos resultados de monitoramento se tenha uma resposta mais conclusiva sobre o comportamento deste trecho em específico.

Ponto CMD02400

Características do Ponto

- Localização: rio Camanducaia, na ponte a jusante do córrego do Mosquito na SP - 107, rodovia que liga Pedreira a Santo Antônio da Posse.
- Latitude: 22° 41' 21"
- Longitude: 46° 52' 51"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.14 - Parcelas do ICE para o Ponto CMD02400

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	8	31	2	50	40	2	61	2500	1600	3685	49
2001	16	4	4	18	1	25	25	1	53	625	625	2847	63
2002	30	6	5	60	2	33	17	2	67	1111	278	4459	56
2003	59	10	13	103	4	40	22	2	63	1600	485	4032	55
2004	60	10	12	79	3	30	20	1	57	900	400	3221	61
2005	60	10	12	86	4	40	20	1	59	1600	400	3478	57
2006	60	10	14	60	5	50	23	1	50	2500	544	2508	57
2007	59	10	16	22	5	50	27	0,4	27	2500	735	745	64

Figura 10.26 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02400

Comportamento estável, no caminho para adequação ao enquadramento de valor legal, sem grandes variações no valor do índice, pela tendência crescente mostrada na Figura 10.26, indica que as ações para melhorar a qualidade hídrica estão no rumo certo.

Ponto CMDC02900

Características do Ponto

- Localização: rio Camanducaia, na Ponte na rodovia SP-340 no trecho que liga Campinas à Mogi-Mirim.
- Latitude: 22º 39' 42"
- Longitude: 47º 00' 11"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.15 - Parcelas do ICE para o Ponto CMDC02900

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1995	113	21	15	92	5	24	13	1	45	567	176	2025	70
1996	113	20	20	89	7	35	18	1	44	1225	313	1944	66
1997	108	18	14	171	5	28	13	2	61	772	168	3755	60
1998	114	19	22	867	9	47	19	8	88	2244	372	7811	41
1999	114	19	17	67	5	26	15	1	37	693	222	1374	72
2000	114	19	18	29	6	32	16	0,3	20	997	249	400	77
2001	106	19	11	31	3	16	10	0,3	23	249	108	515	83
2002	108	18	14	76	4	22	13	1	41	494	168	1695	72
2003	100	17	19	45	8	47	19	0,5	31	2215	361	967	66
2004	112	19	18	149	5	26	16	1	57	693	258	3266	63
2005	108	19	16	123	7	37	15	1	53	1357	219	2827	62
2006	123	23	20	71	8	35	16	1	37	1210	264	1338	69
2007	130	23	26	43	11	48	20	0,3	25	2287	400	614	67

Ponto CMDC02900 - Ponte na rodovia SP-340 no trecho que liga Campinas à Mogi-Mirim

Figura 10.27 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CMDC02900

Até o ano de 1998, os níveis de poluição deste trecho estavam caminhando rumo à situação de não conformidade, a partir de 1999 as ações de controle das fontes de poluição começaram a surtir efeito positivo sobre a qualidade da água, havendo ligeira queda até 2005 para alavancar novamente sofrendo uma pequena queda outra vez em 2007, mas não o suficiente para anular a tendência que este

trecho possui para atingir os limites compatíveis a sua conformidade ao enquadramento.

Ainda pode-se verificar pela Figura 10.27 que este trecho precisa sempre do controle da sua qualidade hídrica, uma vez que ele possui vários altos e baixos nos valores do ICE, porque este ponto está localizado em uma região que recebe toda a contribuição de poluentes da bacia e sofre a variação das cargas da mesma ao longo do tempo.

Observa-se pela Figura 10.28 que o rio Camanducaia, como um todo, apresenta comportamento uniforme ao longo de sua extensão, de situação afastada do enquadramento, há uma sensível melhora nos valores do índice nos últimos anos, mas ainda existe a necessidade crescente e permanente de medidas de recuperação da qualidade de suas águas para atender plenamente ao enquadramento de Classe 2 estabelecido.

A Figura 10.29 e a Figura 10.30 permitem acompanhar o comportamento do índice ao longo do rio Camanducaia e ao mesmo tempo dos níveis de DBO e coliformes termotolerantes em cada trecho do corpo hídrico. É possível constatar o aumento dos níveis destes dois poluentes desde a nascente até a foz do rio, indicando que é preciso a adoção de medidas para minimizar tal tipo de ocorrência, uma delas deveria ser o tratamento do esgoto.

Figura 10.28 - Tendência temporal do ICE para o rio Camanducaia

Figura 10.29 - Box Plot dos dados de DBO_{5,20} para o rio Camanducaia

Figura 10.30 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Camanducaia

Rio Corumbataí

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Corumbataí*: predominam as áreas pastagens e de cultivo de cana de açúcar, também uma área urbana considerável, como pode ser observado na Figura 10.31 (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.31 - Usos do solo na bacia do rio Corumbataí
 Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 (2004, apud CBH-PCJ; SABESP, 2006)

- *Usos da água*: abastecimento urbano (57,8%), uso industrial (18,6%), uso agrícola (20,6%) e 3,3% para outros usos (IRRIGART, 2007b).

Figura 10.32 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Corumbataí
Fonte: adaptado IRRIGART (2007a)

Ponto CRUM02050

Características do Ponto

- Localização: rio Corumbataí, na régua do DAEE em Analândia.
- Latitude: 22° 07' 47"
- Longitude: 47° 40' 03"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.16 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02050

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2002	46	10	5	5	2	20	11	0,1	10	400	118	100	86
2003	66	11	5	74	2	18	8	1	53	331	57	2795	67
2004	64	11	5	11	2	18	8	0,2	15	331	61	228	86
2005	65	11	5	13	3	27	8	0,2	17	744	59	275	81
2006	56	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2007	63	11	4	153	2	18	6	2	71	331	40	5023	58

Figura 10.33 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02050

Este ponto possui variações de comportamento, alternando de condição conforme para uma condição de afastado do enquadramento, apesar de que é prematuro dizer alguma coisa sobre o ponto, uma vez que a série de dados é relativamente pequena, mas pelo pouco que se tem, é possível verificar que esta inconstância de comportamento leva a necessidade de um controle mais rigoroso sobre as fontes poluidoras deste trecho do rio Corumbataí.

O controle deverá ser principalmente dos poluentes provenientes dos esgotos urbanos, a queda brusca do ICE em 2007 foi devido ao aumento da quantidade de coliformes termotolerantes, como pode ser verificado na Figura 10.39 mais adiante.

Ponto CRUM02200

Características do Ponto

- Localização: rio Corumbataí, na Ponte na Estr. Assistência/Paraisolândia.
- Latitude: 22° 30' 54"
- Longitude: 47° 37' 26"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.17 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02200

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2001	104	18	30	772	8	44	29	7	88	1975	832	7768	41
2002	108	18	28	571	8	44	26	5	84	1975	672	7071	43
2003	101	18	25	1262	7	39	25	12	93	1512	613	8573	40
2004	113	19	25	946	6	32	22	8	89	997	489	7980	44
2005	115	20	28	597	9	45	24	5	84	2025	593	7030	43
2006	131	24	25	405	7	29	19	3	76	851	364	5711	52
2007	137	23	26	854	8	35	19	6	86	1210	360	7425	45

Figura 10.34 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02200

A Figura 10.34 mostra uma pequena e contínua tendência deste trecho em tornar-se conforme ao enquadramento, mas ainda está muito longe disso, portanto ações de recuperação da qualidade hídrica devem ser adotadas.

Ponto CRUM02500*Características do Ponto*

- Localização: rio Corumbataí, na captação de Piracicaba.
- Latitude: 22º 38' 01"
- Longitude: 47º 40' 58"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.18 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02500

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	113	19	24	1324	9	47	21	12	92	2244	451	8489	39
1990	114	19	25	1206	9	47	22	11	91	2244	481	8347	39
1991	76	19	14	732	6	32	18	10	91	997	339	8208	44
1992	114	21	29	4147	8	38	25	36	97	1451	647	9472	38
1993	108	18	19	292	5	28	18	3	73	772	310	5333	54
1994	114	19	18	78	6	32	16	1	41	997	249	1644	69
1995	114	21	19	129	5	24	17	1	53	567	278	2814	65
1996	115	20	17	159	5	25	15	1	58	625	219	3363	63
1997	113	19	20	133	6	32	18	1	54	997	313	2915	62
1998	115	20	19	219	7	35	17	2	66	1225	273	4293	56
1999	113	19	19	244	5	26	17	2	68	693	283	4666	57
2000	114	20	25	438	8	40	22	4	79	1600	481	6295	47
2001	111	20	21	53	8	40	19	0,5	32	1600	358	1046	68
2002	114	19	20	166	7	37	18	2	59	1357	308	3523	58
2003	106	19	19	236	6	32	18	2	69	997	321	4765	55
2004	125	21	22	119	7	33	18	1	49	1111	310	2385	64
2005	126	21	20	48	6	29	16	0,4	27	816	252	750	75
2006	141	26	22	95	9	35	16	1	40	1198	243	1626	68
2007	151	25	21	485	8	32	14	3	76	1024	193	5816	52

Figura 10.35 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02500

Apesar da queda brusca ocorrida em 2007, como pode ser verificada na Figura 10.35, o corpo hídrico neste trecho está em direção para atingir a condição de conforme ao enquadramento.

A melhoria da condição hídrica a partir de 2004 foi, provavelmente, em decorrência de medidas tomadas em relação ao tratamento de esgotos. Já a queda no valor do índice a partir de 2006 foi devido à inclusão dos metais alumínio, cobre e ferro nas formas dissolvidas, que não eram até então monitoradas, no cálculo do ICE, indicando uma piora na adequação ao enquadramento até o último ano de monitoramento.

É possível também que os limites na Resolução CONAMA n. 357 seja inferior à concentração natural destes materiais nesta região e portanto precisariam ser revistos, contudo é um indício de que é necessário o controle, por parte dos gestores públicos, destas fontes lançadoras de metais neste curso de água.

Ponto CRUM02900

Características do Ponto

- Localização: rio Corumbataí, na foz do rio Piracicaba.
- Latitude: 22° 41' 04"
- Longitude: 47° 40' 37"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.19 - Parcelas do ICE para o Ponto CRUM02900

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	11	6	2	1	2	33	18	0,1	6	1111	331	36	78
2002	27	6	7	316	3	50	26	12	92	2500	672	8487	38
2003	60	10	18	868	4	40	30	14	94	1600	900	8749	39
2004	64	11	18	389	5	45	28	6	86	2066	791	7372	42
2005	60	10	20	288	5	50	33	5	83	2500	1111	6852	41
2006	60	10	17	277	5	50	28	5	82	2500	803	6756	42
2007	57	10	15	312	5	50	26	5	85	2500	693	7146	41

Figura 10.36 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CRUM02900

O Ponto CRUM02900 é um típico exemplo de região onde se concentra toda a carga poluidora de uma bacia hidrográfica, localizado na foz do rio Piracicaba, a Figura 10.36 ilustra a degradação desse trecho ao longo do tempo e a linha de

tendência confirma que esta situação não mudará. Medidas extremas de controle e recuperação da qualidade hídrica precisam ser adotadas.

A Figura 10.37 mostra nitidamente a degradação da qualidade da água do rio Corumbataí no sentido da nascente para a sua foz, isto é verificado pelos valores decrescentes do ICE e consequentemente o afastamento do enquadramento sugerido para cada trecho do rio em questão, cargas crescentes de matéria orgânica e de origem fecal poderiam também ser a explicação para essa piora nas condições hídricas (vide Figura 10.38 e Figura 10.39).

É possível verificar a influência do uso do solo nos resultados, quanto mais próximos os pontos estão de aglomerados urbanos, menores são os valores do ICE e existe uma melhora dos mesmos quando ocorre o afastamento dessas regiões.

Figura 10.37 - Tendência temporal do ICE para o rio Corumbataí

Figura 10.38 - Box Plot dos dados de DBO_{5,20} para o rio Corumbataí

Figura 10.39 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Corumbataí

Rio Jaguari

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Jaguari:* predominam as áreas de pastagens e aquelas com cultivo de cana-de-açúcar, como pode ser observado na Figura 10.40 (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.40 - Usos do solo na bacia do rio Jaguarí
 Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 (2004, apud CBH-PCJ; SABESP, 2006)

- *Usos da água:* abastecimento urbano (50%), uso industrial (33%), uso agrícola (15%) e 2% para outros usos (IRRIGART, 2007b).

Figura 10.41 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Jaguarí
 Fonte: adaptado IRRIGART (2007a)

Ponto JAGR02010

Características do Ponto

- Localização: rio Jaguari, na captação da SABESP de Bragança Paulista, no bairro Curitibaanos.
- Latitude: 22º 54' 30"
- Longitude: 46º 32' 37"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.20 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02010

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	4	5	2	50	20	0,2	19	2500	400	347	67
2001	16	4	5	500001	2	50	31	31250	100	2500	977	9999	33
2002	30	6	6	12	2	33	20	0,4	29	1111	400	820	72
2003	36	6	8	500025	2	33	22	13890	100	1111	494	9999	38
2004	36	6	6	24	1	17	17	1	40	278	278	1571	73
2005	36	6	7	6	3	50	19	0,2	15	2500	378	211	68
2006	36	6	9	10	3	50	25	0,3	22	2500	625	470	65
2007	60	12	16	34	7	58	27	1	36	3403	711	1322	57

Figura 10.42 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02010

Na Figura 10.42 verifica-se uma tendência do corpo hídrico em se adequar ao enquadramento estabelecido, mas nos últimos três anos o índice vem caindo depois de um súbito crescimento em 2004, indicativo de que as medidas adotadas para o melhoramento da qualidade hídrica não estão sendo eficientes, portanto, é preciso

reavaliar tais medidas para que estas se adaptem à situação de poluição presente e sejam capazes de controlar ou minimizar os efeitos negativos, caso ocorra aumento de lançamento de cargas poluentes no rio.

Ponto JAGR02200

Características do Ponto

- Localização: rio Jaguari, na Ponte Pênsil, na captação de Pedreira.
- Latitude: 22° 44' 48"
- Longitude: 46° 53' 52"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.21 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02200

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	5	35	1	25	25	2	64	625	625	4050	58
2001	16	4	4	15	1	25	25	1	49	625	625	2389	65
2002	30	6	5	35	1	17	17	1	54	278	278	2899	66
2003	36	6	7	64	2	33	19	2	64	1111	378	4104	57
2004	36	6	6	53	1	17	17	1	60	278	278	3562	63
2005	36	6	6	205	1	17	17	6	85	278	278	7237	49
2006	36	6	8	53	3	50	22	1	60	2500	494	3549	53
2007	54	12	8	54	2	17	15	1	50	278	219	2509	68

Figura 10.43 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02200

O gráfico da Figura 10.43 mostra uma pequena tendência de afastamento ao enquadramento, mas a ponto de inverter tal situação, pois os últimos três anos de monitoramento indicam uma melhora da condição hídrica, a eficácia das ações de gerenciamento adotadas nesta bacia está produzindo os efeitos desejados sobre a qualidade das águas.

Ponto JAGR02300

Características do Ponto

- Localização: rio Jaguari, na captação de Jaguariúna – DAE.
- Latitude: 22º 42' 44"
- Longitude: 46º 58' 17"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.22 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02300

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	113	19	27	206	7	37	24	2	65	1357	571	4174	55
1990	114	18	31	153	8	44	27	1	57	1975	739	3292	55
1991	77	21	16	262	8	38	21	3	77	1451	432	5969	49
1992	113	20	36	380	10	50	32	3	77	2500	1015	5938	44
1993	108	18	29	3287	7	39	27	30	97	1512	721	9374	38
1994	113	19	26	607	6	32	23	5	84	997	529	7107	46
1995	115	20	27	3159	5	25	23	27	96	625	551	9310	41
1996	111	20	25	5867	6	30	23	53	98	900	507	9632	39
1997	114	19	29	1619	9	47	25	14	93	2244	647	8728	38
1998	116	21	25	476	8	38	22	4	80	1451	464	6467	47
1999	119	20	30	539	9	45	25	5	82	2025	636	6711	44
2000	119	21	29	179	9	43	24	2	60	1837	594	3616	55
2001	111	20	22	134	6	30	20	1	55	900	393	2987	62
2002	104	18	13	157	3	17	13	2	60	278	156	3615	63
2003	101	18	22	321	10	56	22	3	76	3086	474	5785	44
2004	36	6	7	110	3	50	19	3	75	2500	378	5686	47
2005	36	6	6	66	1	17	17	2	65	278	278	4196	60
2006	36	6	8	317	2	33	22	9	90	1111	494	8063	43
2007	60	12	13	265	6	50	22	4	82	2500	469	6653	43

Figura 10.44 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02300

Índice com valores baixos ao longo tempo é o que pode ser verificado na Figura 10.44, apesar da tendência indicar a melhora das condições hídricas, é preciso certa cautela, pois a queda em 2006 é um alerta aos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos que as medidas adotadas em 2005 não estão sendo mais suficientes para controlar a poluição neste trecho do rio.

Ponto JAGR02400

Características do Ponto

- Localização: rio Jaguari, na ponte da rodovia SP340.
- Latitude: 22° 42' 15"
- Longitude: 47° 00' 51"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.23 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02400

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	5	301	1	25	25	15	94	625	625	8793	42
2001	16	4	5	136	2	50	31	9	89	2500	977	8008	38
2002	30	6	5	228	1	17	17	8	88	278	278	7810	47
2003	36	6	12	227	4	67	33	6	86	4444	1111	7445	34
2004	36	6	10	174	4	67	28	5	83	4444	772	6863	37
2005	36	6	6	446	1	17	17	12	93	278	278	8562	45
2006	36	6	11	283	4	67	31	8	89	4444	934	7867	34
2007	36	6	12	276	4	67	33	8	88	4444	1111	7828	33

Figura 10.45 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02400

A queda contínua nos valores do ICE verificada na Figura 10.45 adverte sobre o aumento das cargas orgânicas (vide Figura 10.48) e de origem fecal (vide Figura 10.49) no trecho em questão, geradas pelo esgoto urbano próximo a este ponto. Medidas de recuperação precisam ser adotadas para o não comprometimento do uso da água, principalmente para o Ponto JAGR02800 a jusante deste, em que as águas são destinadas para o abastecimento da região de Limeira.

Ponto JAGR02800

Características do Ponto

- Localização: rio Jaguari, na captação de Limeira.
- Latitude: 22º 39' 44"
- Longitude: 47º 16' 40"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.24 - Parcelas do ICE para o Ponto JAGR02800

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	115	20	13	17	8	40	11	0,1	13	1600	128	172	75
2001	113	20	12	8	6	30	11	0,1	7	900	113	42	81
2002	114	19	14	28	6	32	12	0,3	20	997	151	389	77
2003	105	18	14	57	6	33	13	0,5	35	1111	178	1231	71
2004	119	20	10	14	6	30	8	0,1	10	900	71	106	81
2005	121	21	15	45	6	29	12	0,4	27	816	154	730	76
2006	141	25	19	49	10	40	13	0,4	26	1600	182	673	71
2007	147	25	18	82	9	36	12	0,6	36	1296	150	1280	70

Figura 10.46 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JAGR02800

O comprometimento gradual da adequação ao enquadramento verificado na Figura 10.46 deve ser levado em conta nos processos decisórios sobre a gestão dos recursos hídricos, as causas desse decaimento precisam ser investigadas e adotar

medidas para o controle da poluição antes que ocorra o agravamento da qualidade da água.

O rio Jaguari apresenta um atendimento ao enquadramento relativamente satisfatório, o que é de se almejar, pois a maioria dos pontos de monitoramentos está situada em locais destinados à captação de água para abastecimento. As exceções são os Pontos JAGR02010 e JAGR02300, que além de possuírem valores bem longe do ideal, como pode ser visto na Figura 10.47 estão decaindo nos últimos anos, o que demonstra a demanda por medidas de recuperação hídrica e de controle dos lançamentos de poluentes capazes de reverter tal situação para que o ICE atinja um nível de adequabilidade ao enquadramento de valor legal.

O Ponto JAGR02200 apresentou a partir de 2005 uma melhora na sua condição hídrica, com cargas de DBO baixas (Figura 10.48) e decaimento da quantidade de coliformes termotolerantes (Figura 10.49), sugerindo que as ações de recuperação da qualidade hídrica estão surtindo efeito, apesar do número de coliformes termotolerantes ainda permanecer acima do padrão de qualidade.

Figura 10.47 - Tendência temporal do ICE para o rio Jaguarí

Figura 10.48 - Box Plot dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Jaguari

Figura 10.49 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Jaguarí

10.3 Resultados para a Bacia do Rio Capivari

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Capivari:* predominam as áreas agrícolas (cana de açúcar) e de pastagens, bem como considerável área urbano-industrial, como pode ser verificado na Figura 10.50 (RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003, 2004 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.50 - Usos do solo na bacia do rio Capivari
Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 (2004 apud CBH-PCJ; SABESP 2006)

- *Usos da água:* abastecimento urbano (19,6%), uso industrial (65%), uso agrícola (13%) e 2,4% para outros usos (IRRIGART, 2007b).

Rio Capivari

Figura 10.51 - Localização dos pontos de monitoramento no rio Capivari.
Fonte: adaptado IRRIGART (2007a)

Ponto CPIV02030

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, na Ponte na Estrada SP 360 Jundiá/Itatiba, no bairro do Mato – dentro.
- Latitude: 23º 06' 54"
- Longitude: 46º 51' 09"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.25 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02030

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	6	120	2	50	30	6	86	2500	900	7354	40
2001	16	4	4	89	1	25	25	6	85	625	625	7185	47
2002	30	6	10	641	4	67	33	21	96	4444	1111	9126	30
2003	54	9	12	189	4	44	22	4	78	1975	494	6050	47
2004	54	9	6	287	1	11	11	5	84	123	123	7083	51
2005	54	9	6	231	1	11	11	4	81	123	123	6570	52
2006	54	9	6	76	1	11	11	1	58	123	123	3414	65
2007	36	6	6	101	1	17	17	3	74	278	278	5435	55

Ponto CPIV02030 - Ponte na estrada SP 360 Jundiá/Itatiba,
no bairro do Mato - dentro

Figura 10.52 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02030

O Ponto CPIV02030 ao longo de oito anos de monitoramento apresenta uma convergência para alcançar a meta de enquadramento proposta, indicada pela linha de tendência na Figura 10.52.

A queda no valor do ICE em 2007 se deve à retirada por parte da CETESB, em suas campanhas de monitoramento, das formas de nitrogênio, provavelmente porque as mesmas não estariam sendo relevantes para analisar a qualidade da água neste trecho, mas mesmo assim o valor do índice em 2007 comparando com o ano de 2005 (em que estas variáveis estavam sendo monitoradas) é maior, o que confirma a tendência de melhora nas condições hídricas deste trecho.

Ponto CPIV02100

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, no condomínio São Joaquim, em Vinhedo.
- Latitude: 23° 03' 48"
- Longitude: 46° 58' 58"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.26 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02100

Totais													ICE
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	
2002	30	6	15	16127	4	67	50	538	100	4444	2500	9963	25
2003	36	6	21	157358	4	67	58	4371	100	4444	3403	9995	23
2004	36	6	19	12339	4	67	53	343	100	4444	2785	9942	24
2005	36	6	16	3329	4	67	44	92	99	4444	1975	9787	27
2006	36	6	18	12595	4	67	50	350	100	4444	2500	9943	25
2007	36	6	18	6275	4	67	50	174	99	4444	2500	9886	25

Figura 10.53 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02100

O gráfico da Figura 10.53 mostra a típica degradação hídrica provocada por efluentes de origem doméstica, índice extremamente baixo e a linha tendência adverte que a situação permanecerá crítica, sem sinal de recuperação. Este trecho precisa de altos investimentos para a recuperação da qualidade, principalmente em tratamento de esgoto.

Ponto CPIV02130

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, na captação de Campinas-ETA Capivari na Rodovia dos Bandeirantes.
- Latitude: 22° 00' 22"
- Longitude: 47° 05' 60"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.27 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02130

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	118	20	28	53	9	45	24	0,5	31	2025	563	951	66
2001	112	21	32	52	11	52	29	0,5	32	2744	816	994	61
2002	115	20	18	24	6	30	16	0,2	18	900	245	307	78
2003	105	19	27	627	8	42	26	6	86	1773	661	7336	43
2004	119	21	23	133	7	33	19	1	53	1111	374	2781	62
2005	125	21	23	379	5	24	18	3	75	567	339	5654	53
2006	145	23	26	99	9	39	18	1	41	1531	322	1645	66
2007	151	26	31	319	11	42	21	2	68	1790	421	4609	52

Figura 10.54 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02130

Semelhante ao que ocorre no ponto a montante, o Ponto CPIV02130 sofre com as consequências da poluição urbana nas águas, como pode ser observado na Figura 10.54, os valores do ICE tende a se afastar continuamente da condição de atendimento ao enquadramento.

A carga orgânica, resultante do despejo de esgoto (vide Figura 10.62), bem como a quantidade de coliformes termotolerantes (vide Figura 10.63), presentes nos dejetos humanos, acabam comprometendo a qualidade para o abastecimento.

Outro problema que também existe neste ponto e presente na bacia do PCJ como um todo, exemplificado pela Figura 10.55, é a presença considerável de

fósforo nas águas, o que significa, dentre outras, poluição gerada principalmente por detergentes domésticos.

Figura 10.55 - *Box Plot* dos valores de Fósforo Total para o Ponto CPIV02130

Ponto CPIV02160

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, na estrada de terra que liga Campinas a Monte Mor.
- Latitude: 22° 57' 18"
- Longitude: 47° 14' 37"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.28 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02160

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	119	21	38	534	11	52	32	4	82	2744	1020	6689	41
1990	120	20	42	1622	11	55	35	14	93	3025	1225	8669	34
1991	100	20	35	24499	11	55	35	245	100	3025	1225	9919	31
1992	122	21	50	6054	14	67	41	50	98	4444	1680	9609	28
1993	115	19	40	5000219	12	63	35	43480	100	3989	1210	10000	29
1994	116	20	44	3663	12	60	38	32	97	3600	1439	9395	31
1995	109	20	39	1145	13	65	36	11	91	4225	1280	8337	32
1996	117	20	41	2251	14	70	35	19	95	4900	1228	9036	29
1997	114	19	32	1822	6	32	28	16	94	997	788	8857	40
1998	114	21	38	552	10	48	33	5	83	2268	1111	6869	42
1999	106	20	38	3451	8	40	36	33	97	1600	1285	9413	36
2000	106	21	42	2115	10	48	40	20	95	2268	1570	9068	34
2001	115	20	43	5008693	9	45	37	43554	100	2025	1398	10000	33
2002	114	19	44	5000953	9	47	39	43868	100	2244	1490	10000	32
2003	114	19	44	1894	10	53	39	17	94	2770	1490	8897	34
2004	60	10	28	1125	5	50	47	19	95	2500	2178	9013	32
2005	60	10	29	781	6	60	48	13	93	3600	2336	8623	30
2006	60	10	25	902	6	60	42	15	94	3600	1736	8791	31
2007	60	10	27	1118	6	60	45	19	95	3600	2025	9007	30

Ponto CPIV02160 - Na estrada de terra que liga Campinas a Monte Mor

Figura 10.56 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02160

Tendência de não melhorar a qualidade da água, uma vez que a condição de não conformidade ao enquadramento persiste em permanecer com valores muito

baixos. Medidas de recuperação hídrica precisam ser adotadas, reforçando o investimento em obras para o tratamento dos esgotos domésticos e industriais.

Ponto CPIV02200

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, na Ponte de madeira na estrada que liga Monte Mor a Fazenda Rio Acima.
- Latitude: 22º 57' 34"
- Longitude: 47º 17' 51"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.29 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02200

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	105	20	48	2118	10	50	46	20	95	2500	2090	9078	33
2001	114	20	49	5008698	11	55	43	43936	100	3025	1847	10000	30
2002	110	19	45	5000953	10	53	41	45463	100	2770	1674	10000	31
2003	99	18	44	1894	10	56	44	19	95	3086	1975	9031	31
2004	115	20	39	1039	10	50	34	9	90	2500	1150	8107	37
2005	114	19	46	669	9	47	40	6	85	2244	1628	7301	39
2006	137	21	43	494	12	57	31	4	78	3265	985	6128	41
2007	137	24	47	1267	14	58	34	9	90	3403	1177	8143	35

Figura 10.57 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02200

Condição um pouco melhor que o do ponto a montante, mas ainda assim longe do ideal, índice na faixa correspondente a categoria de não conforme (vide Figura 10.57). A eficácia das ações para a recuperação da qualidade da água neste trecho não estão dando resultados positivos, as medidas de gestão deverão aumentar o investimento em tratamento dos esgotos domésticos (altas concentrações de fósforo e surfactantes na água, vide Figura 10.58) para melhorar a condição do trecho hídrico, a fim de que a mesma atinja a faixa de conformidade à Classe 2.

Figura 10.58 - Box Plot dos valores de fósforo total e surfactantes para o Ponto CPIV02200

Ponto CPIV02700

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, na Ponte na Represa da Usina São Paulo.
- Latitude: 22º 59' 58"
- Longitude: 47º 31' 52"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.30 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02700

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2003	36	6	17	837	4	67	47	23	96	4444	2230	9192	27
2004	36	6	19	463	4	67	53	13	93	4444	2785	8608	27
2005	36	6	17	9789	3	50	47	272	100	2500	2230	9927	30
2006	36	6	18	934	4	67	50	26	96	4444	2500	9271	26
2007	36	6	17	575	3	50	47	16	94	2500	2230	8857	33

Figura 10.59 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02700

Pela Figura 10.59, é possível constatar que o trecho em questão precisa de ações para a melhoria da qualidade da água ou um possível reenquadramento mais condizente com os problemas locais de poluição.

Ponto CPIV02900

Características do Ponto

- Localização: rio Capivari, na ponte no canavial, próximo à foz do rio Tietê.
- Latitude: 22º 59' 21"
- Longitude: 47º 45' 17"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.31 - Parcelas do ICE para o Ponto CPIV02900

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	111	19	33	99	9	47	30	1	47	2244	884	2224	58
2001	110	20	32	97	10	50	29	1	47	2500	846	2194	57
2002	109	19	29	110	11	58	27	1	50	3352	708	2515	53
2003	98	18	29	66	8	44	30	1	40	1975	876	1615	61
2004	113	19	23	60	8	42	20	1	35	1773	414	1212	66
2005	114	19	29	73	10	53	25	1	39	2770	647	1535	59
2006	134	22	29	61	9	41	22	0,5	31	1674	468	981	68
2007	137	24	28	58	11	46	20	0,4	30	2101	418	891	66

Figura 10.60 - Evolução temporal do ICE para o Ponto CPIV02900

As condições hídricas do Ponto CPIV02900 são relativamente impróprias, o que pode ser constatado pelos valores do índice, na categoria de afastado do enquadramento, apresentados na Figura 10.60, além disso, é possível verificar uma tendência de melhoria na qualidade da água, isto sugere que medidas de recuperação estão sendo adotadas.

A Figura 10.61 possibilita a analogia do ICE com a localização do ponto em relação ao curso do rio e suas cargas poluidoras, com a ajuda da Figura 10.62 e Figura 10.63, por exemplo, no Ponto CPIV02900, o valor do ICE ao longo do tempo é relativamente baixo, justificado por sua localização próxima da foz, onde se reúne toda a carga poluidora da bacia. As considerações de tal analogia são descritas a seguir e reforçam as observações tratadas anteriormente.

O Ponto CPIV02130 está localizado em área de captação de água, os valores do ICE indicam uma permanência de afastamento ao enquadramento, isso devido, principalmente, às altas cargas de fósforo total e das formas de nitrogênio nas águas, devido ao uso de fertilizantes nas áreas agrícolas dos arredores, bem como aos efluentes oriundos dos esgotos sanitários. Portanto, há de se adotar medidas de recuperação das condições da qualidade da água para que o trecho atenda ao uso para abastecimento público.

A relação do ICE com os usos preponderantes do solo pode ser demonstrada nos pontos que recebem influência de áreas urbanizadas e industrializadas da bacia do rio Capivari, como por exemplo, os Pontos CPIV02160 e CPIV02200. Nestes pontos, os valores do ICE são relativamente baixos, refletindo a poluição gerada pelo uso urbano do solo.

O Ponto CPIV02100 também tem índices baixos devido à contribuição de esgotos domésticos da área a montante.

Pela análise do ICE pode-se constatar, pelos pontos citados anteriormente, que a eficácia das ações de gerenciamento adotadas nesta bacia não está produzindo os efeitos desejados sobre a qualidade das águas, se é que estão sendo adotadas medidas.

Já o Ponto CPIV02030, demonstra que as ações de recuperação do corpo hídrico para que este se aproxime da meta de enquadramento proposta estão sendo suficientes, pois os valores do ICE tendem ao crescimento, isto também pode ser verificado, mas com menos evidência, para o CPIV02900. A bacia como um todo apresenta dificuldades para atingir suas metas de enquadramento.

Figura 10.61 - Tendência temporal do ICE para o rio Capivari

Figura 10.62 - Box Plot dos dados de $DBO_{5,20}$ para o rio Capivari

Figura 10.63 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Capivari

10.4 Resultados para a Bacia do Rio Jundiáí

Aspectos gerais

- *Uso e ocupação do solo na bacia do rio Jundiáí*: predominam as áreas com pastagens e considerável área urbano-industrial, como pode ser observado na Figura 10.64 (SÃO PAULO, CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2000 apud NEVES; CARDOSO, 2006 e RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2002/2003 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006).

Figura 10.64 - Usos do solo na bacia do rio Jundiáí
Fonte: Relatório de Situação 2002/2003 apud CBH-PCJ; SABESP, 2006

- *Usos da água*: abastecimento urbano (60%), uso industrial (20,2%), uso agrícola (18%) e 1,8% para outros usos (IRRIGART, 2007b).

Figura 10.66 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA02010

A Figura 10.66 mostra que as medidas possivelmente adotadas em 2005 não foram suficientes para manter a qualidade da água até 2006, principalmente na redução de cargas orgânicas e de origem fecal (vide Figura 10.73 e Figura 10.74 respectivamente), em que novamente, um provável investimento em estação de tratamento de esgotos (redução da DBO a níveis aceitáveis, vide Figura 10.73) foi implantado melhorando o valor do ICE e assim mantendo a tendência do mesmo em atingir a faixa de adequação ao enquadramento.

Ponto JUNA02020

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiaí, na ponte na Av. Aderbal da Costa Madeira, 50m a jusante do lançamento da Krupp,(Ind. Siderúrgica).
- Latitude: 23º 12' 13"
- Longitude: 46º 46' 23"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.33 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA02020

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1989	120	21	18	409	8	38	15	3	77	1451	225	5975	50
1990	121	21	21	478	9	43	17	4	80	1837	301	6371	47
1991	101	21	16	235	6	29	16	2	70	816	251	4891	55
1992	121	21	22	370	8	38	18	3	75	1451	331	5681	50
1993	114	19	10	82	3	16	9	1	42	249	77	1761	74
1994	116	20	18	5013197	8	40	16	43217	100	1600	241	10000	37
1995	157	20	22	815	5	25	14	5	84	625	196	7031	49
1996	117	21	17	232	7	33	15	2	66	1111	211	4422	56
1997	114	19	16	688	6	32	14	6	86	997	197	7359	47
1998	119	20	21	1072	7	35	18	9	90	1225	311	8101	43
1999	120	20	23	1145	6	30	19	10	91	900	367	8193	44
2000	112	21	25	390	10	48	22	3	78	2268	498	6034	46
2001	108	18	29	807	8	44	27	7	88	1975	721	7778	41
2002	108	18	22	10273	5	28	20	95	99	772	415	9793	40
2003	109	19	31	824	9	47	28	8	88	2244	809	7800	40
2004	120	20	32	4216	9	45	27	35	97	2025	711	9454	36
2005	108	18	39	1123	8	44	36	10	91	1975	1304	8322	38
2006	135	21	47	1530	16	76	35	11	92	5805	1212	8444	28
2007	139	24	35	1518	9	38	25	11	92	1406	634	8392	41

Figura 10.67 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA02020

Apesar do aumento no valor do ICE em 2007, como mostra a Figura 10.67, este não foi suficiente para mudar a tendência de decaimento e, por conseguinte a condição de afastamento do enquadramento estabelecido. As ações tomadas para

melhorar a qualidade da água neste trecho não estão sendo suficientes para a redução das cargas de poluentes de origem urbana e industrial.

Ponto JUNA04150

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiá, na passarela em frente à Vulcabrás - Av. Antônio Frederico Ozana nº 1440.
- Latitude: 23° 11' 52"
- Longitude: 46° 51' 59"
- Classe de enquadramento: 4

Resultado

Tabela 10.34 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA04150

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	12	2	2	1	1	50	17	0,05	5	2500	278	26	69
2001	8	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2002	10	2	4	7	1	50	40	1	40	2500	1600	1608	56
2003	12	2	6	4000047	1	50	50	333337	100	2500	2500	10000	29
2004	12	2	4	8	1	50	33	1	41	2500	1111	1688	58
2005	12	2	5	2000039	1	50	42	166670	100	2500	1736	10000	31
2006	12	2	6	43	1	50	50	4	78	2500	2500	6137	39
2007	12	2	6	25	1	50	50	2	68	2500	2500	4557	44

Figura 10.68 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA04150

A linha tendência do gráfico mostrada na Figura 10.68 é preocupante, pois a condição deste trecho está em direção a uma qualidade abaixo daquela esperada para a Classe 4. Medidas urgentes precisam ser implantadas pelo responsáveis a fim de que não ocorra o comprometimento definitivo do corpo hídrico e o ecossistema como um todo, o indício de começo destas implantações pode ser verificado pelo crescimento do ICE a partir de 2006.

Ponto JUNA04190

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiá, na ponte de acesso à Akso Nobel, em Itupeva.
- Latitude: 23º 08' 49"
- Longitude: 47º 01' 22"
- Classe de enquadramento: 4

Resultado

Tabela 10.35 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA04190

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2002	10	2	5	5999998	1	50	50	600000	100	2500	2500	10000	29
2003	12	2	6	4000021	1	50	50	333335	100	2500	2500	10000	29
2004	12	2	4	10	1	50	33	1	45	2500	1111	2043	57
2005	12	2	7	15	2	100	58	1	56	10000	3403	3159	26
2006	12	2	8	26	2	100	67	2	68	10000	4444	4664	20
2007	10	2	3	41	1	50	30	4	80	2500	900	6463	43

Figura 10.69 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA04190

Embora o valor do índice apresenta uma elevação em 2007 (vide Figura 10.69), ainda seria cedo para concluir se a condição deste trecho tende ao melhoramento, pois além da série histórica ser insuficiente para tal análise, pode-se verificar que em 2007 o nível de OD atingiu concentrações abaixo do recomendável para a Classe 4 (vide Figura 10.73).

Ponto JUNA04900

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiaí, na área urbana de Salto. Ponte na Praça Álvaro Guião, próximo à foz com o rio Tietê.
- Latitude: 23º 12' 36"
- Longitude: 47º 17' 28"
- Classe de enquadramento: 4

Resultado

Tabela 10.36 - Parcelas do ICE para o Ponto JUNA04900

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1993	14	2	4	2000000	1	50	29	142857	100	2500	816	10000	33
1994	22	2	4	3999998	1	50	18	181818	100	2500	331	10000	35
1995	35	3	1	1999999	1	33	3	57143	100	1111	8	10000	39
1996	36	3	4	2000000	1	33	11	55556	100	1111	123	10000	39
1997	38	3	6	5999999	1	33	16	157895	100	1111	249	10000	38
1998	29	3	5	2000026	1	33	17	68966	100	1111	297	10000	38
1999	16	3	2	3999998	1	33	13	250000	100	1111	156	10000	39
2000	13	3	3	11	1	33	23	1	46	1111	533	2135	65
2001	18	3	6	4000018	1	33	33	222223	100	1111	1111	10000	36
2002	18	3	4	4000008	1	33	22	222223	100	1111	494	10000	38
2003	18	3	6	2000061	1	33	33	111114	100	1111	1111	10000	36
2004	18	3	2	38	1	33	11	2	68	1111	123	4605	56
2005	18	3	4	22	1	33	22	1	55	1111	494	2973	61
2006	18	3	2	3	1	33	11	0,2	13	1111	123	166	78
2007	18	3	3	10	1	33	17	1	35	1111	278	1254	70

Figura 10.70 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUNA04900

Para a Classe 4, o trecho do corpo hídrico em que se encontra o Ponto CPIV04900 está se comportando muito bem, com tendência a se adequar ao enquadramento estabelecido, como pode ser verificado na Figura 10.70, portanto os investimentos colocados para a recuperação da qualidade da água estão produzindo bons resultados, mas ainda há muito a se fazer, uma vez que os níveis de OD ainda se apresentam abaixo do recomendável para a Classe 4 e longe de atingirem a Classe 3.

A Figura 10.72 mostra a tendência temporal dos valores do ICE para o rio Jundiaí. Dentre os resultados obtidos, merece destaque o Ponto JUNA02020, pois mostra a influência do uso da água e do solo nos valores baixos do índice, isto se deve claramente à contribuição de uma indústria siderúrgica implantada na área. Na Figura 10.71 é possível verificar a influência do uso do solo e do crescimento populacional no decorrer do tempo nos valores do índice, as cargas de DBO aumentam em concordância com o decaimento do ICE.

Figura 10.71 - Box Plot dos valores de $DBO_{5,20}$ e coli. termo para o Ponto JUNA02020

Pela análise feita nos pontos citados anteriormente, pode-se constatar que a bacia possui problemas em se adequar ao enquadramento, mas existem locais em que as ações de gerenciamento para melhorar a qualidade da água parecem estar surtindo efeito, principalmente no Ponto JUNA04900 em que os valores do índice estão em crescimento.

A Figura 10.73 e a Figura 10.74 possibilitam uma visão geral do comportamento dos níveis de DBO , coliformes termotolerantes, OD e pH ao longo do rio Jundiaí. De uma maneira geral, o rio Jundiaí, em seus diversos trechos, apresenta dificuldades em se adequar aos enquadramentos estabelecidos.

Figura 10.72 - Tendência temporal do ICE para o rio Jundiá

Figura 10.73 - Box Plot para valores de $DBO_{5,20}$ e OD para o rio Jundiaí

Figura 10.74 - *Box Plot* para valores de coliformes termotolerantes e pH para o rio Jundiaí

Rio Jundiá-Mirim

Ponto JUMI00250

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiá-Mirim, na ponte na estrada Jundiá/Jarinu, em frente ao Condomínio Campo Verde.
- Latitude: 23° 08' 47"
- Longitude: 46° 48' 22"
- Classe de enquadramento: 1

Resultado

Tabela 10.37 - Parcelas do ICE para o Ponto JUMI00250

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	23	4	5	81	2	50	22	4	78	2500	473	6068	45
2001	16	4	3	40	1	25	19	3	71	625	352	5102	55
2002	30	6	6	65	2	33	20	2	68	1111	400	4667	55
2003	36	6	8	128	3	50	22	4	78	2500	494	6086	45
2004	36	6	9	44	3	50	25	1	55	2500	625	3005	55
2005	36	6	4	30	2	33	11	1	46	1111	123	2100	67
2006	36	6	9	1091	3	50	25	30	97	2500	625	9372	35
2007	36	6	6	126	2	33	17	4	78	1111	278	6051	50

Figura 10.75 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUMI00250

Considerando o gráfico da Figura 10.75, nota-se uma leve tendência de afastamento deste trecho do enquadramento pretendido, a elevação do valor do índice em 2007, se deve provavelmente a alguma medida para restaurar a qualidade hídrica, pois neste mesmo ano a CETESB constatou uma queda no nível de coliformes termotolerantes em relação a 2006, como pode ser verificado na Figura 10.81 adiante.

Ponto JUMI00500

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiaí-Mirim, na ponte a jusante da Cereser.
- Latitude: 23° 08' 43"
- Longitude: 46° 51' 04"
- Classe de enquadramento: 1

Resultado

Tabela 10.38 - Parcelas do ICE para o Ponto JUMI00500

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	23	4	8	382	2	50	35	17	94	2500	1210	8897	35
2001	16	4	4	221	1	25	25	14	93	625	625	8695	42
2002	30	6	9	284	2	33	30	9	90	1111	900	8183	42
2003	36	6	12	588	4	67	33	16	94	4444	1111	8879	31
2004	36	6	15	928	4	67	42	26	96	4444	1736	9267	28
2005	36	6	9	153	2	33	25	4	81	1111	625	6559	47
2006	36	6	13	725	4	67	36	20	95	4444	1304	9076	30
2007	36	6	8	627	2	33	22	17	95	1111	494	8943	41

Figura 10.76 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUMI00500

O Ponto JUMI00500 apresenta sérios problemas de poluição, oriundos dos esgotos domésticos (vide Figura 10.81) fazendo com que a tendência permaneça na condição de não conformidade ao enquadramento.

Outra fonte de poluição para este trecho é aquela oriunda do desmatamento de áreas para atividades agropecuárias, o mau uso do solo causa erosão e carreamento do solo provocando assoreamento do rio, bem como o aumento de turbidez nas águas, o qual pode ser verificado pelo gráfico *Box Plot* dos valores de turbidez representado pela Figura 10.77. Medidas de controle do uso do solo para esta região devem fazer parte do plano da bacia.

Figura 10.77 - Box Plot dos valores de turbidez para o Ponto JUMI00500

Ponto JUMI00800

Características do Ponto

- Localização: rio Jundiaí-Mirim, na captação de Jundiaí.
- Latitude: 23° 09' 30"
- Longitude: 46° 54' 34"
- Classe de enquadramento: 1

Resultado

Tabela 10.39 - Parcelas do ICE para o Ponto JUMI00800

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	23	4	2	6	2	50	9	0,2	19	2500	76	372	69
2001	16	4	1	1	1	25	6	0,03	3	625	39	9	85
2002	31	6	3	80	3	50	10	3	72	2500	94	5212	49
2003	60	10	11	337	4	40	18	6	85	1600	336	7206	45
2004	60	10	8	75	4	40	13	1	55	1600	178	3079	60
2005	60	10	8	46	3	30	13	1	44	900	178	1903	68
2006	60	10	11	82	4	40	18	1	58	1600	336	3332	58
2007	75	13	16	45	3	23	21	1	38	533	455	1423	72

Figura 10.78 - Evolução temporal do ICE para o Ponto JUMI00800

Constata-se pela Figura 10.78 que o Ponto JUMI00800, designado para captação de água para abastecimento público, possui índices aceitáveis na maior parte do tempo e que nos últimos anos a qualidade do corpo hídrico está razoavelmente adequada aos objetivos de qualidade previstos no enquadramento, mas a tendência indica a possibilidade de degradação da qualidade da água, a subida no valor do ICE em 2007, possivelmente pode ser decorrência de ações para evitar tal dano para a mesma.

A Figura 10.79 fornece uma visão geral do comportamento temporal e espacial do ICE para o rio Jundiaí-Mirim. A Figura 10.80 e a Figura 10.81 fornecem a relação das cargas de DBO e coliformes termotolerantes respectivamente para os trechos do rio Jundiaí-Mirim, permitindo a analogia entre essas cargas e a localização dos pontos de monitoramento. De uma maneira geral o rio Jundiaí-Mirim possui quantidade de coliformes termotolerantes acima do limite para a Classe 1, sinal de contaminação por esgotos domésticos.

Figura 10.79 - Tendência temporal do ICE para o rio Jundiaí-Mirim

Figura 10.80 - *Box Plot* dos dados de DBO_{5,20} para o rio Jundiaí-Mirim

Figura 10.81 - Box Plot dos dados de coliformes termotolerantes para o rio Jundiá-Mirim

Ribeirão Pirai

Ponto IRIS02100

Características do Ponto

- Localização: ribeirão Pirai, na captação de Cabreúva, no bairro do Jacaré.
- Latitude: 23º 15' 43"
- Longitude: 47º 03' 28"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.40 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02100

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
2001	24	4	2	8	1	25	8	0,3	25	625	69	625	79
2002	30	6	3	19	1	17	10	0,6	39	278	100	1533	75
2003	60	10	7	48	2	20	12	0,8	45	400	136	1993	71
2004	60	10	9	14	2	20	15	0,2	19	400	225	374	82
2005	60	10	4	9	1	10	7	0,2	13	100	44	170	90
2006	60	10	2	18	1	10	3	0,3	23	100	11	542	85
2007	75	10	4	2	4	40	5	0,02	2	1600	28	5	77

Figura 10.82 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02100

A condição favorável ao enquadramento está sendo ameaçada, pois a linha de tendência decrescente indica a degradação da qualidade da água para os próximos anos (vide Figura 10.82), esta disposição vem se manifestando desde 2006.

Os responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos precisam estar atentos, pois o Ponto IRIS02100 é fundamental para os usos da água na bacia do Piraí destinada principalmente ao abastecimento público e à diluição de efluentes. A proteção desta região é de suma importância para a garantia de quantidade de água de boa qualidade para suprir às demandas dos municípios a jusante deste ponto.

Controlar a poluição gerada principalmente pelo esgoto doméstico e elaborar projetos para disciplinar a ocupação urbana seriam um bom começo.

Ponto IRIS02200

Características do Ponto

- Localização: ribeirão Piraí, na ponte na rodovia Marechal Rondon em frente à indústria Crown Cork.
- Latitude: 23º 14' 52"
- Longitude: 47º 04' 24"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.41 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02200

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	3	30	1	25	15	2	60	625	225	3629	61
2001	24	4	7	277	3	75	29	12	92	5625	851	8469	29
2002	30	6	7	1458	3	50	23	49	98	2500	544	9601	35
2003	36	6	7	2254	4	67	19	63	98	4444	378	9688	30
2004	36	6	6	239	2	33	17	7	87	1111	278	7555	45
2005	36	6	5	953	2	33	14	26	96	1111	193	9285	41
2006	35	6	6	188	2	33	17	5	84	1111	294	7104	47
2007	36	6	10	2738	5	83	28	76	99	6944	772	9742	24

Figura 10.83 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02200

A Figura 10.83 mostra uma queda crescente na condição de qualidade da água em decorrência das altas cargas orgânicas de origem doméstica e industrial da região. O controle dessas fontes de poluição deve ser adotado de imediato, a fim de não comprometer os usos da água a jusante deste ponto.

Ponto IRIS02250

Características do Ponto

- Localização: ribeirão Piraí, na estrada de terra, antes da indústria BIC.
- Latitude: 23° 14' 24"
- Longitude: 47° 05' 01"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.42 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02250

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	9	47	3	75	45	2	70	5625	2025	4934	35
2001	24	4	13	476	3	75	54	20	95	5625	2934	9063	23
2002	26	5	13	10009462	3	60	50	384979	100	3600	2500	10000	27
2003	30	5	17	3165	3	60	57	106	99	3600	3211	9813	26
2004	30	5	17	714	3	60	57	24	96	3600	3211	9210	27
2005	36	6	14	703	3	50	39	20	95	2500	1512	9050	34
2006	36	6	14	1092	3	50	39	30	97	2500	1512	9372	33
2007	36	6	17	2748	4	67	47	76	99	4444	2230	9743	26

Figura 10.84 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02250

A Figura 10.84 mostra uma tendência de nenhuma reação de melhoria das condições da água, provavelmente os sistemas de tratamento de efluentes doméstico e industrial instalados são deficientes. Nestes dois últimos trechos (Ponto IRIS02200 e Ponto IRIS02250) é preciso que seja feito um planejamento estratégico de forma a garantir a recuperação da qualidade ambiental e para a definição de uma meta de qualidade hídrica a ser atingida, compatível com o uso da água e do solo desta região.

Ponto IRIS02400

Características do Ponto

- Localização: ribeirão Piraí, na estrada sentido Faz. Santana, após aproximadamente 500m do trevo.
- Latitude: 23° 15' 44"
- Longitude: 47° 03' 13"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.43 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02400

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Varição	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
2000	20	4	7	274	3	75	35	14	93	5625	1225	8687	28
2001	24	4	10	175	3	75	42	7	88	5625	1736	7736	29
2002	30	6	11	15	3	50	37	1	33	2500	1344	1115	59
2003	60	10	18	195	5	50	30	3	76	2500	900	5841	45
2004	60	10	18	132	4	40	30	2	69	1600	900	4727	51
2005	60	10	16	118	4	40	27	2	66	1600	711	4392	53
2006	59	10	16	72	4	40	27	1	55	1600	735	3028	58
2007	60	10	16	34	5	50	27	1	36	2500	711	1320	61

Figura 10.85 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02400

A Figura 10.85 mostra que a eficácia das ações de gestão está recuperando as condições hídricas deste trecho, tendendo a sua adequação ao enquadramento pretendido.

Ponto IRIS02900

Características do Ponto

- Localização: ribeirão Piraí, na barragem de captação dos municípios de Salto e Indaiatuba.
- Latitude: 23° 11' 12"
- Longitude: 47° 14' 44"
- Classe de enquadramento: 2

Resultado

Tabela 10.44 - Parcelas do ICE para o Ponto IRIS02900

Totais													
Ano	Testes	Variáveis	Inconf	Variação	Var.Inconf.2	F1	F2	snv	F3	F1 ²	F2 ²	F3 ²	ICE
1998	84	21	6	17	3	14	7	0,2	17	204	51	274	87
1999	126	21	9	16	2	10	7	0,1	11	91	51	123	91
2000	130	22	10	55	5	23	8	0,4	30	517	59	886	78
2001	120	20	8	10	5	25	7	0,1	8	625	44	59	84
2002	120	20	13	54	7	35	11	0,5	31	1225	117	974	72
2003	120	20	11	111	5	25	9	0,9	48	625	84	2308	68
2004	129	21	7	144	3	14	5	1	53	204	29	2774	68
2005	132	22	6	41	2	9	5	0,3	24	83	21	566	85
2006	142	22	18	105	9	41	13	0,7	42	1674	161	1800	65
2007	143	24	11	36	6	25	8	0,3	20	625	59	406	81

Figura 10.86 - Evolução temporal do ICE para o Ponto IRIS02900

O Ponto IRIS02900 apresenta condições hídricas satisfatórias, mas a linha de tendência (vide Figura 10.86) alerta a possibilidade de degradação das mesmas, a queda em 2006, provavelmente, fez com que ações de controle da poluição fossem reforçadas melhorando o índice no ano seguinte.

A Figura 10.87 mostra os resultados do índice para o ribeirão Piraí, a Figura 10.88 e a Figura 10.89 fornecem dados a respeito das cargas de DBO e coliformes termotolerantes respectivamente em relação à localização dos pontos neste curso de água. Mais considerações serão esclarecidas a seguir e pretendem reforçar o que já foi dito anteriormente.

Observando-se a Figura 10.87, nos pontos designados para a captação de água para abastecimento público os índices são elevados (Pontos IRIS02100, IRIS02900), mostrando a adequação da qualidade atual do corpo hídrico aos objetivos de qualidade previstos no enquadramento.

Os pontos IRIS02200 e IRIS02250, situados a jusante de uma área industrial apresentam índices baixos, sendo que o segundo é ainda mais baixo por receber contribuições de uma área maior. Este diagnóstico mostra a necessidade de se adequar a ocupação da bacia às metas de qualidade da água possíveis de serem atingidas. Nestes pontos, o enquadramento precisará ser revisto para que tal adequação seja feita, com uma definição de objetivos de qualidade da água mais realista.

A nítida tendência de crescimento no valor do índice, a partir de 2003, no Ponto IRIS02400 demonstra que as ações de recuperação do corpo hídrico para que este se aproxime da meta de enquadramento proposta estão sendo suficientes, mas ainda há por se fazer para diminuir a carga de material orgânico, uma vez que os níveis de DBO ainda ultrapassam o limite exigido pela legislação para a Classe 2, como pode ser observado na Figura 10.88.

De uma maneira geral o ribeirão Piraí possui os já conhecidos problemas de poluição por esgotos de origem doméstica e industrial. Medidas de recuperação estão sendo adotadas e surtindo efeito em alguns trechos do rio, notadamente de 2003 a 2004.

O ribeirão Piraí por ser um importante curso hídrico, pois é fonte para o abastecimento das cidades ao seu redor, precisa estabelecer diretrizes para o planejamento e gestão estratégica de seus mananciais, por meio de atuações participativas, envolvendo o estado, os municípios e a sociedade civil, de forma a garantir a recuperação da qualidade ambiental deste corpo hídrico.

Figura 10.87 - Tendência temporal do ICE para o ribeirão Pirai

Figura 10.88 - Box Plot dos dados de DBO_{5,20} para o ribeirão Pirai

Figura 10.89 - Box Plot dos dados de Coliformes Termotolerantes para o ribeirão Pirai

10.5 Resultado para a Bacia do PCJ

A Figura 10.90 mostra a condição geral do Índice de Conformidade ao Enquadramento para a bacia do PCJ. As médias dos valores do ICE indicam que a bacia como um todo se encontra numa situação de afastamento do enquadramento, com exceção do rio Capivari que se encontra, na média, na categoria de não conforme.

Portanto, a bacia do PCJ encontra problemas em se adequar aos enquadramentos estabelecidos para os diversos trechos hídricos que a compõem.

Vale observar que os desvios padrões estão relativamente parecidos, o que indica que as três bacias possuem um comportamento bastante similar, os valores baixos indicam que há pouca dispersão nos valores dos índices.

As grandes amplitudes nos valores, presentes também nas três bacias, se deve, na maioria das vezes, da diferença entre as condições hídricas das cabeceiras, geralmente, serem melhores do que na foz.

ICE - Índice de Conformidade ao Enquadramento

Bacia PCJ				
média	máx	mín	desvp	dif
50,90	100	20,19	16,42	79,81

Bacia Piracicaba				
Rio Piracicaba				
média	máx	mín	desvp	dif
48,58	81,14	24,96	13,98	56,18
Rio Atibaia				
média	máx	mín	desvp	dif
53,65	82,44	30,13	15,99	52,31
Rio Camanducaia				
média	máx	mín	desvp	dif
60,77	82,95	36,62	10,61	46,33
Rio Corumbataí				
média	máx	mín	desvp	dif
55,88	100	37,66	16,01	62,34
Rio Jaguari				
média	máx	mín	desvp	dif
54,53	81,25	32,98	14,27	48,27

Bacia Capivari				
Rio Capivari				
média	máx	mín	desvp	dif
41,25	78	22,88	14,39	55,12

Bacia Jundiá				
Rio Jundiá				
média	máx	mín	desvp	dif
45,29	100	20,19	14,52	79,81
Rio Jundiá-Mirim				
média	máx	mín	desvp	dif
50,34	85,02	28,24	14,56	56,78
Ribeirão Pirai				
média	máx	mín	desvp	dif
56,31	100	23,36	23,54	76,64

Figura 10.90 - Situação geral para a bacia do PCJ

11 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

11.1 Usos da Água x Poluição das Águas

O conceito de qualidade da água está intimamente ligado ao uso que se faz dela, não existe uma maneira direta de julgar se a qualidade da água está boa ou ruim, mas o certo é criar meios que mostrem se a água está adequada ou não a um determinado uso requerido (PORTO, 2002).

As condições de um corpo hídrico são os resultados dos processos que ocorrem na bacia hidrográfica. Em ambientes isentos de impactos advindos das ações humanas, a qualidade da água varia de acordo com as características naturais (geográficas, físicas, climáticas e etc.).

A adequabilidade de um corpo hídrico para um ou vários usos é dada pela situação de um conjunto de indicadores de características físicas, químicas e biológicas do sistema aquático comparada com a situação desejável do mesmo para aqueles usos em questão.

Dentre os indicadores, os mais comuns de um sistema hídrico (TCHOBANOGLIOUS; SCHROEDER, 1987) são brevemente descritos a seguir:

- a) *Características físicas*: fornecem indicações preliminares sobre alterações na qualidade da água e sobre os fenômenos que ocorrem nos ecossistemas aquáticos. Indispensável no controle da qualidade das águas, principalmente para aquelas destinadas ao abastecimento público. Dentro deste conjunto os mais comuns são: temperatura, turbidez, sólidos (totais, suspensos e dissolvidos), condutividade e cor;
- b) *Características químicas*: a qualidade da água está sujeita ao uso e ocupação do solo e a presença humana normalmente gera despejos domésticos, efluentes industriais e rurais, carregados de espécies iônicas que afetam a qualidade das águas, influenciando nos ecossistemas aquáticos, em processos biológicos e químicos de outras variáveis, assim como na saúde humana. Importante também no controle da qualidade da água para abastecimento público e industrial, irrigação, bem como nos processos de tratamento da água e do esgoto. Neste conjunto estão englobados:

- espécies iônicas: cálcio, magnésio, sódio, ferro, manganês, cobre, cádmio, cromo, mercúrio, chumbo, cloretos, sulfato, nitrato, fosfato, bicarbonato, entre outros;
- compostos orgânicos naturais: medidos por meio de testes como a Demanda Bioquímica de Oxigênio;
- compostos orgânicos sintéticos: surfactantes, pesticidas, trihalometanos, entre outros;
- gases: oxigênio, amônia, entre outros;
- pH;
- alcalinidade; e
- dureza;

c) *Características biológicas*: indicadores de alterações físicas, químicas ou biológicas que ocorrem no corpo hídrico, podem afetar a saúde humana. Relevante no controle da qualidade da água para uso recreativo, para a dessedentação de animais e também em mananciais para abastecimento público. As mais comuns são:

- presença de organismos patogênicos;
- quantificação e identificação de espécies de algas ou organismos bentônicos;
- bioensaios que consiste na verificação dos impactos de poluentes sobre a biota e a potencialidade de dano à saúde humana.

A ocupação humana da bacia com suas atividades tendem a modificar as características das águas, na maioria das vezes resultando na degradação da sua qualidade. A poluição das águas afeta a saúde da população, prejudica todos os ecossistemas e as atividade que dependem direta ou indiretamente do uso de suas águas.

Portanto, os diferentes usos da água (abastecimento público, proteção do ecossistema, indústria, agricultura, turismo/recreação, geração de energia e navegação) produzem vários poluentes (ver Tabela 11.1) causando diferentes impactos sobre os diversos usos da água (ver Tabela 11.2).

Tabela 11.1 - Principais fontes poluidoras de ambientes aquáticos

Fontes	Poluentes					
	Bactérias	Nutrientes	Metais	Pesticidas/ Herbicidas	Micropoluentes Orgânicos Industriais	Óleos e Graxas
Esgoto Doméstico	xxx	xxx	xxx	x	xx	
Efluentes Industriais		x	xxxG		xxxG	xx
Agricultura	xx	xxx	x	xxxG		
Navegação e Portos	x	x	xx		x	xxx
Drenagem Urbana	xx	xx	xxx	xx	xx	xx

x - baixa significância local

xx – moderada significância local/regional

xxx – alta significância local/regional

G – significância global

Fonte: Chapman (1992 apud PORTO, 2002) e adaptado Chapman (1996)

Tabela 11.2 - Matriz de impacto sobre os usos da água

Poluentes	Usos						
	Abastecimento Público	Proteção do Ecossistema	Recreação	Irrigação	Industrial	Geração de Energia e Resfriamento	Navegação
Patógenos	xx	0	xx	x	xx	na	na
Sólidos em Suspensão	xx	xx	xx	x	x	x	xx
Matéria Orgânica	xx	x	xx	+	xx	x	na
Nitratos	xx	x	na	+	xx	na	na
Algas	x	x	xx	+	xx	x	x
Sais	xx	xx	na	xx	xx	x	na
Metais	xx	xx	x	x	x	na	na
Micropoluentes Orgânicos	xx	xx	x	x	?	na	na
Acidificação	x	xx	x	?	x	x	na

x – impacto pequeno sobre o uso

xx – impacto significativo sobre o uso

0 – sem impacto sobre o uso

na – não se aplica ao uso

+ - eventual impacto benéfico

? – impacto desconhecido sobre o uso

Fonte: Chapman (1992 apud PORTO, 2002) e adaptado Chapman (1996)

11.2 Seleção das Variáveis de Qualidade da Água

O ICE deve ser composto pelas variáveis mais relevantes para o local monitorado, porque a escolha inadequada de um poluente pode indicar erroneamente uma condição favorável ao corpo hídrico. Locais em que a utilização,

por exemplo, de algum tipo de pesticida seja desprezível e a sua inclusão no cálculo pode superestimar o valor do índice, pois seus níveis sempre estarão abaixo dos padrões de qualidade.

Assim sendo, é importante reconhecer todos os usos dos recursos hídricos que efetivamente ocorrem na bacia, mesmo os irregulares, para quando identificados seja avaliada a sua compatibilidade com o enquadramento de valor legal.

O conhecimento das atividades na bacia permite a definição do conjunto de variáveis de qualidade da água representativos da região monitorada e também utilizado como a base para as ações de controle e recuperação da qualidade hídrica e assim ser possível o alcance do enquadramento estabelecido.

Na análise de sensibilidade do Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) teve como ponto de partida, as variáveis de qualidade da água relevantes para os diversos usos da água presentes na bacia, uma vez que os valores obtidos anteriormente foram resultado da aplicação do cálculo com todas as variáveis que possuem padrões de qualidade determinados pela Resolução CONAMA n.357 referentes a cada classe de uso.

A análise de sensibilidade foi realizada calculando-se novamente o índice, mas agora com as variáveis que estão relacionadas efetivamente com os usos destinados à água, de acordo com o enquadramento de valor legal para o trecho do rio em questão.

A Resolução CONAMA n.357 classifica as águas doces brasileiras em cinco classes de usos descritas a seguir (BRASIL, 2005):

Art. 4º As águas doces são classificadas em:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

A Tabela 11.3 resume esta classificação das águas doces em função dos usos preponderantes.

Tabela 11.3 - Classificação das águas doces em função dos usos preponderantes
(Resolução CONAMA n.357, de 17/03/2005)

Uso	Classe				
	Especial	1	2	3	4
Abastecimento de consumo humano	x (a)	x (b)	x (c)	x(d)	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas e preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral	x				
Proteção das comunidades aquáticas		x (e)	x		
Recreação		x (f)	x (f)	x (g)	
Irrigação		x (h)	x (i)	x (j)	
Aquicultura e atividade de pesca			x	x(k)	
Dessedentação de animais				x	
Navegação					x
Harmonia paisagística					x

(a) com desinfecção; (b) após tratamento simplificado; (c) após tratamento convencional; (d) após tratamento convencional ou avançado; (e) também das Terras Indígenas; (f) contato primário; (g) contato secundário; (h) hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; (i) hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; (j) culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; (k) somente pesca amadora

Fonte: BRASIL (2005) e adaptado von Sperling (1998)

A escolha das variáveis de qualidade da água foi realizada por meio do cruzamento dos usos destinados à água para cada classe na Resolução CONAMA n. 357 com as variáveis sugeridas em Chapman (1996) para programas de monitoramento de qualidade da água, as quais são específicas para cada uso da água. Estas variáveis podem ser visualizadas na Tabela 11.4 seguinte, em que somente foram colocadas aquelas que são monitoradas pela CETESB e possuem padrões de qualidade na Resolução CONAMA n. 357.

Tabela 11.4 - Variáveis de qualidade da água x usos da água

Variáveis	Usos				
	Proteção das Comunidades Aquáticas e Pesca	Abastecimento	Recreação e Saúde	Agricultura	
				Irrigação	Dessedentação de Animais
Cor		xx	xx		
Turbidez		xxx	xx		
Sólidos Dissolvidos Totais	x	x		xxx	x
pH	xx	x	x	xx	
OD	xxx	x		x	
Clorofila a	xx	xx	xx		
Nitrogênio Amoniacal	xxx	x			
Nitrato /Nitrito	xx	x	xxx		xx
Fósforo*					
DBO	xxx	xx			
Magnésio		x			
Cloreto		x		xxx	
Sulfato		x			x
Boro				xx	x
Metais	xx	xxx		x	x
Fenóis	x	xx			x
Surfactantes	x	x	x		x
Coliformes Termotolerantes		xxx	xxx	xxx	

x-xxx: importância para o monitoramento (baixa-alta)

* utilizado para monitoramento das características naturais ("*Background monitoring*")

Fonte: adaptado Chapman (1996)

Desta forma, as variáveis de qualidade da água escolhidas levaram em conta os usos hídricos das sub-bacias pertencentes ao PCJ, o enquadramento de valor legal de cada ponto de monitoramento e a maior importância para o monitoramento,

resultando na seguinte seleção: alumínio dissolvido, bário, cádmio, chumbo, cloreto total, clorofila a, cobre dissolvido, coliformes termotolerantes, cor verdadeira, cromo, DBO, fenóis, ferro dissolvido, manganês, mercúrio, níquel, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, OD, pH, sólidos dissolvidos, turbidez e zinco.

Estas variáveis “sensíveis ao uso” são relevantes porque são as consideradas como necessárias para a garantia dos usos da água (Tabela 11.4) e ao mesmo tempo provocam os impactos mais significativos sobre os usos (Tabela 11.2), isto é, existe aqui o risco de se escolher uma ou outra variável, se há o descarte daquela que provocará um impacto significativo, corre-se o risco de a qualidade da água não ser a adequada para o atendimento ao uso desejado, à classe de uso pretendida e consequentemente o desconhecimento da violação do padrão de qualidade.

O fósforo total foi descartado do cálculo, porque é considerada por Chapman (1996) uma variável utilizada como detector de impactos humanos sobre os recursos hídricos, não remete a um uso específico. Já o manganês a sua ocorrência é mais rara nas águas (PIVELI; KATO, 2005), as cianobactérias também foram desconsideradas, bem como as variáveis sulfato e surfactantes, pois de acordo com a Tabela 11.4 possuem importância baixa em programas de monitoramento (CHAPMAN, 1996).

A diferença entre os valores do ICE com todas as variáveis de qualidade da água e aquelas “sensíveis ao uso”, pode ser verificada na Tabela 11.5, em que são comparadas as médias dos valores do índice de todo o período para cada ponto de monitoramento.

Posteriormente, foram escolhidas para a análise de sensibilidade as variáveis denominadas gerais, por permitirem obter uma avaliação preliminar da qualidade do corpo hídrico e que, também, podem dar uma indicação da necessidade de um monitoramento mais abrangente (MIERZWA et al., 2008a, 2008b).

Além disso, a introdução das variáveis DBO e coliformes termotolerantes na combinação “gerais” seria importante em relação à simplicidade e redução dos custos nos programas de monitoramento, ao mesmo tempo, em que se estaria colocando os principais indicadores de poluição e degradação dos corpos hídricos.

A Tabela 11.5 apresenta as médias obtidas do índice de todo o período para cada ponto de monitoramento destas quatro combinações:

- **Todas:** as variáveis monitoradas pela CETESB e que possuem padrões de qualidade na Resolução CONAMA n. 357;

- **Sensíveis:** alumínio dissolvido, bário, boro, cádmio, chumbo, cloreto total, clorofila a, cobre dissolvido, coliformes termotolerantes, cor verdadeira, cromo, DBO, fenóis, ferro dissolvido, mercúrio, níquel, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, OD, pH, sólidos dissolvidos, turbidez e zinco.

- **Gerais:** cor, OD, pH, sólidos dissolvidos.

- **Gerais + DBO + Coli:** cor, coliformes termotolerantes, DBO, OD, pH e sólidos dissolvidos.

Tabela 11.5 - Quadro comparativo das médias dos valores obtidos do ICE

Ponto		Média do ICE			
		Todas	Sensíveis	Gerais	Gerais+ DBO+Coli
Ponto	ATIB02010	74	77	82	65
Ponto	ATIB02065	49	51	93	40
Ponto	ATIB02605	43	44	89	37
Ponto	ATIB02800	33	35	61	21
Ponto	ATIB02900	77	79	62	69
Ponto	CMDC02050	61	64	100	52
Ponto	CMDC02300	54	54	83	46
Ponto	CMDC02400	58	61	89	48
Ponto	CMDC02900	67	68	97	56
Ponto	CRUM02050	80	86	100	78
Ponto	CRUM02200	44	45	86	36
Ponto	CRUM02500	57	58	88	45
Ponto	CRUM02900	46	47	78	35
Ponto	JAGR02010	59	59	44	50
Ponto	JAGR02200	60	60	96	55
Ponto	JAGR02300	48	50	73	36
Ponto	JAGR02400	39	39	85	35
Ponto	JAGR02500	67	69	79	56
Ponto	JAGR02800	75	78	83	67
Ponto	PCAB02100	71	73	84	60
Ponto	PCAB02135	38	38	66	29
Ponto	PCAB02192	42	43	61	31
Ponto	PCAB02220	50	50	64	34
Ponto	PCAB02800	45	45	76	17
Ponto	CPIV02030	48	48	92	41
Ponto	CPIV02100	25	25	51	17
Ponto	CPIV02130	60	61	86	49
Ponto	CPIV02160	33	35	56	24

		Média do ICE			
Ponto		Todas	Sensíveis	Gerais	Gerais+ DBO+Coli
Ponto	CPIV02200	35	36	56	27
Ponto	CPIV02700	29	29	47	18
Ponto	CPIV02900	61	63	78	53
Ponto	JUNA02010	43	44	100	39
Ponto	JUNA02020	45	46	86	37
Ponto	JUNA04150	53	53	53	53
Ponto	JUNA04190	34	34	34	34
Ponto	JUNA04900	47	47	41	41
Ponto	JUMI00250	51	51	85	48
Ponto	JUMI00500	37	37	89	36
Ponto	JUMI00800	63	73	85	70
Ponto	IRIS02100	82	85	100	80
Ponto	IRIS02200	39	39	82	35
Ponto	IRIS02250	29	29	50	22
Ponto	IRIS02400	48	52	66	34
Ponto	IRIS02900	78	87	97	86
conforme	afastado			não	conforme

É possível notar pouca variação entre as médias “Todas” e “Sensíveis”, praticamente não há mudança de classificação de um para outro. Isso se deve ao fato de que as três fontes de poluição da bacia serem as de origem urbana (esgotos domésticos), industrial e agrícola, as principais variáveis responsáveis que as representam como, coliformes termotolerantes, nutrientes, OD, metais, entre outros, também importantes para os principais usos estão presentes nas duas combinações.

A melhora nos valores do ICE na maioria dos pontos de “Todas” para a “Sensíveis”, é justamente porque as variáveis escolhidas na segunda combinação são as relevantes para os usos da água.

No caso da combinação “Gerais”, com a qual o objetivo era fazer um diagnóstico preliminar das condições de atendimento ao enquadramento, os resultados não foram o que se esperava das funções dessas variáveis, uma vez que a amplitude dos valores entre “Todas” e “Gerais”, na maioria dos resultados, foi bem significativo (57%).

Isto quer dizer que os valores das combinações “Todas” e “Sensíveis” indicam que o corpo hídrico não está realmente de acordo com o enquadramento pretendido

(57% dos resultados totais), portanto seria um risco, por exemplo, não realizar um monitoramento mais detalhado, principalmente, para aqueles trechos hídricos em que os resultados são extremamente positivos, por exemplo, para o Ponto JUNA02010 em que a diferença chega a 57 pontos, esses casos críticos ocorrem em 36% dos 57% citados anteriormente.

Portanto, a adoção das combinação “Gerais” superestimaria uma condição favorável de atendimento ao enquadramento, mas que na verdade, verificando os valores obtidos nas “Sensíveis” ou em “Todas”, as quais todas as variáveis relevantes aos usos da água participaram do cálculo indicam uma situação mais desfavorável ao enquadramento estabelecido.

Além disso, somente 25% do total de resultados da utilização das variáveis gerais foram satisfatórias para uma adequada avaliação preliminar das condições de atendimento ao enquadramento vigente, ainda assim dentro destes, em 45% a variação dentro da mesma categoria chegou bem próxima de 20 pontos.

Essa falta de garantia, dada pela baixa porcentagem de satisfação, a qual seria fundamental para a apropriada verificação do enquadramento e alta porcentagem de oscilação dentro de uma mesma faixa, se deve ao fato das variáveis gerais não conterem todas aquelas efetivamente importantes para os usos hídricos pretendidos da região estudada, bem como dos usos do solo, pois não refletem de maneira completa as principais fontes de poluição.

Assim sendo, as variáveis gerais não seriam indicadas para averiguação, nem preliminar, de atendimento ao enquadramento, auxiliariam apenas na verificação de qualidade da água, com a finalidade de controle e indicação da necessidade de reforço nas campanhas de monitoramento.

Algumas observações podem ser feitas a respeito destes resultados. O Ponto ATIB02900 seria um exemplo de caso mais favorável e motivo de utilização das variáveis gerais, pois para estas, as médias dos valores do ICE são menores do que as das outras duas combinações (Todas e Sensíveis).

Este comportamento daria certa margem de segurança, porque uma vez considerada na situação de afastada do enquadramento, poderia se correr o risco de não fazer um monitoramento mais intenso (falta de recursos, por exemplo), pois o corpo hídrico estaria na verdade em uma condição mais favorável ao

enquadramento estabelecido, neste caso, bem próxima da condição de conforme. Esta ressalva valeria também para o Ponto JAGR02010, mas com maiores riscos.

As variáveis DBO e coliformes termotolerantes adicionadas à combinação “Gerais” proporcionaram valores próximos daqueles obtidos na combinação “Sensíveis”, isto seria um bom indicativo de que esta última combinação ajudaria na verificação da adequabilidade do corpo hídrico ao enquadramento vigente.

O número reduzido de variáveis utilizadas na combinação “Gerais+DBO+Coli” em relação às duas primeiras, diminuiria os custos relacionados às atividades de monitoramento (campo e laboratoriais), liberando desta forma recursos para serem aplicados em medidas de recuperação da qualidade da água, como por exemplo, investimentos em novas ou melhoramento das estações de tratamento de esgotos existentes, portanto, os recursos financeiros disponíveis seriam melhor aproveitados.

Os resultados indicam que a primeira (Todas) e a segunda (Sensíveis) combinações são as que fariam o melhor papel de investigação de cumprimento do enquadramento proposto e pretendido, por elas justamente conterem os principais constituintes que representam os usos da água e do solo de uma região e a última combinação (Gerais+DBO+Coli) tornar-se-ia um bom aliado nesta verificação, principalmente em ocasiões de limitações orçamentárias, uma vez que o número de variáveis a ser monitorado é menor em relação às duas primeiras combinações.

12 CONCLUSÕES

Este trabalho procurou apresentar a importância que o acompanhamento da situação de enquadramento dos corpos hídricos possui para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos.

É por meio deste acompanhamento que se verificará como o rio se comporta ao longo do tempo em relação a sua condição hídrica, permitindo a localização dos pontos da bacia que precisam de maior controle para atender aos padrões estabelecidos na Resolução CONAMA n.357.

A principal proposta desta dissertação foi adaptar um índice capaz de verificar as condições de atendimento ao enquadramento proposto ou pretendido para um corpo hídrico.

A opção pelo CCME WQI como base de formulação do ICE, mostrou-se adequada às questões relativas ao enquadramento, uma vez que este índice está fundamentado na excedência dos padrões de qualidade, além de possuir flexibilidade para a inclusão de variáveis de qualidade da água, possibilitando a sua adaptação aos objetivos existentes para cada classe de uso. Estas características também permitiram analisar a sensibilidade do ICE por meio de combinação de variáveis.

A categorização inicial do ICE, baseada nas definições originais do CCME WQI mostrou-se conveniente neste trabalho, no futuro, para o aprimoramento do índice, sugere-se a aplicação do método Delphi. Com a opinião de especialistas em recursos hídricos será possível elaborar uma seleção de variáveis de qualidade da água condizente com as reais condições hídricas existentes no Brasil.

O ICE possibilitou, por meio de seus resultados, mostrar a adequação da qualidade atual do corpo hídrico aos objetivos de qualidade previstos no enquadramento, quando os valores do índice eram relativamente altos, em casos contrários, valores baixos, demonstraram que as ações de gerenciamento ou de recuperação adotadas para melhorar a qualidade das águas não estariam surtindo o efeito desejado e para valores extremamente baixos, as ações de recuperação ou de reenquadramento para objetivos de qualidade da água mais realistas, teriam que ser efetivamente adotadas.

Também seria possível verificar se ações de recuperação do corpo hídrico para

que este se aproxime da meta de enquadramento proposta estariam sendo suficientes, principalmente quando se notava uma tendência de crescimento do valor do índice.

Na análise de sensibilidade foram apontadas questões e observada a necessidade da escolha das variáveis que mais representassem os usos da água da bacia, bem como dos usos do solo para a composição do índice, com o objetivo de melhorar a aplicabilidade do mesmo na verificação de atendimento ao enquadramento pretendido.

Os resultados da análise de sensibilidade indicam que as variáveis que representam os usos da água e do solo da bacia foram as que mais se adaptaram para a verificação da adequabilidade das condições hídricas ao enquadramento proposto ou pretendido em relação às variáveis denominadas gerais, pois estas superestimaram o atendimento ao enquadramento, gerando valores, na maioria das vezes, distantes daqueles com as variáveis relevantes aos usos.

Assim sendo, as variáveis designadas como gerais seriam mais indicadas para a investigação da qualidade da água para ações de melhoramento das atividades de monitoramento, porém com a inclusão das variáveis DBO e coliformes termotolerantes foi possível constatar a sua adaptabilidade para averiguação do atendimento ao enquadramento vigente, pois os valores do ICE aproximaram-se bastante daqueles obtidos com as variáveis representativas dos usos preponderantes, com a vantagem de que poderá ser feita com um menor custo, uma vez que se utiliza no cálculo um número menor de variáveis de qualidade da água.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e o ICE foi capaz de indicar se determinado trecho do rio está de acordo com o enquadramento estabelecido, utilizando-se das variáveis de qualidade da água relacionadas com os usos do solo e da água presentes nos trechos hídricos estudados.

A bacia do PCJ como um todo apresenta sérias dificuldades em se adequar aos enquadramentos estabelecidos, a maioria dos pontos encontra-se na faixa de afastado na classificação do ICE, os principais responsáveis por tal comportamento são os poluentes com cargas orgânicas e os coliformes termotolerantes oriundos principalmente de esgotos domésticos.

Portanto, medidas precisam ser tomadas para recuperar os corpos hídricos desta bacia e devem ser encaradas como prioritárias pelos gestores. O controle

mais rigoroso das fontes de poluição de origem doméstica e industrial, investimentos em estações de tratamento de esgotos, reenquadramento de trechos com metas de qualidade possíveis de serem atingidas são as mais recorrentes para a bacia do PCJ.

A relação dos valores do ICE com o uso e ocupação do solo é mais evidente nos perímetros urbanos, em que existe um afastamento do enquadramento, devido às altas concentrações de coliformes termotolerantes, fósforo total e DBO, os quais são os principais responsáveis pela degradação da qualidade da água ao longo dos rios pertencentes à bacia do PCJ.

Logo, os resultados do ICE permitiram, além da localização dos trechos que precisam ser melhor geridos, a correlação da influência do uso do solo com os valores obtidos do índice.

Pontos de monitoramento próximos de grandes aglomerados urbanos e industriais apresentaram valores baixos do índice, reflexo dos efluentes gerados pelo uso da água e do solo na região, no rio Capivari, por exemplo, a presença considerável de fósforo e surfactantes, oriundos do consumo dos detergentes domésticos (CETESB, 2008); no rio Corumbataí a presença considerável de metais nas águas proveniente das indústrias (JARDIM, 2004; FALQUETO, 2008); turbidez elevada no rio Jundiaí-Mirim pelo uso inadequado do solo para a agricultura (BATALHA, 2006) são alguns exemplos desta relação uso versus ICE.

Assim sendo, medidas de controle do uso do solo também devem ser adotadas para adequar as condições hídricas ao enquadramento vigente. Dentre as questões relacionadas a isto, vale destacar a proteção dos mananciais localizados nas nascentes, considerados como estratégicos, são responsáveis pelo abastecimento de água de grande parte da região estudada e de cidades próximas.

Além do controle da poluição originada principalmente pelo esgoto doméstico, a elaboração de projetos que disciplinassem a ocupação urbana longe destes mananciais e o envolvimento mais atuante da sociedade nas decisões, bem como no conhecimento dos prejuízos que tal ocupação afeta a disponibilidade de água adequada ao abastecimento; seriam garantias a mais para a conservação e recuperação ambiental destes corpos hídricos.

Para que os resultados sejam considerados relevantes no processo decisório de gestão, será necessária a padronização do cálculo do ICE, com a seleção das

variáveis de qualidade da água, da extensão da série de dados, do número mínimo de variáveis e do período da amostragem (influência da sazonalidade nas variáveis), apropriados para o local estudado.

O ICE também poderia trabalhar com outras variáveis, não menos importantes, pelo contrário, que influenciam também na qualidade das águas, uma delas, seria a incorporação da vazão de referência no cálculo do índice.

A CETESB não monitora juntamente com as variáveis de qualidade da água a vazão no corpo hídrico, a inclusão deste valor seria um grande aliado na verificação da adequabilidade do corpo hídrico ao enquadramento, pois estaria em acordo com a Resolução CONAMA n.357, pois cada variável de qualidade da água precisa obedecer aos valores máximos estabelecidos para cada uma das classes de enquadramento nas condições de vazão de referência, isto é, garantir os usos múltiplos da água.

A incorporação de componentes do meio ambiente poderia ser outra idéia interessante para aperfeiçoar a utilização do ICE, as respostas biológicas dos organismos aquáticos do meio frente às adversidades causadas pela poluição na qualidade da água forneceria uma visão mais abrangente do ecossistema como um todo, pois a concentração de cada constituinte na água causa efeitos biológicos no sistema aquático.

Além disso, para melhorar a representatividade, o ICE deve ser composto de variáveis que representem também os usos futuros da bacia condizentes com a nova meta de enquadramento a ser proposta.

Confirma-se, assim, que o processo de acompanhamento de efetivação do enquadramento de um corpo hídrico pode ser melhor desenvolvido se existir informação objetiva sobre a qualidade da água, sendo a quantidade de variáveis a serem monitoradas relativamente alta, a existência do ICE (Índice de Conformidade ao Enquadramento) facilitará este acompanhamento.

Além disso, por envolver diversos processos decisórios em vários níveis, o enquadramento dos corpos hídricos ainda é um instrumento pouco entendido e aplicado, devido às dificuldades metodológicas que o envolvem, portanto, a geração de informações claras e objetivas promoveria a adoção deste importante instrumento, essa facilitação pode ser conseguida também com o auxílio do Índice de Conformidade ao Enquadramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABASSI, S. A. **Water Quality Indices: state of the art**. Centre for Pollution Control & Energy Technology Pondicherry University. Pondicherry, 2005. Disponível em: <<http://www.nih.ernet.in/general/>>. Acesso em: 03 dez. 2008.

ALVES, J. M. **Medida da Convergência entre Distintos Olhares na Sub-Bacia Hidrográfica do Ribeirão São João: Indicador de Sustentabilidade em Planejamento Participativo**. 2006. 77 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

ALVES, J. M. et al. **Indicador de qualidade do uso da água: identificando instrumentos de gestão dos recursos hídricos**. 2007. Disponível em: <<http://www.issbrasil.usp.br/pdfs2/juliana.pdf>>. Acesso em: 03 dez. 2008.

ALMEIDA, A. A. de. **Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**. 2007. 89 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente, Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso, 2007.

ANA - Agência Nacional de Águas. **A gestão dos recursos hídricos e a mineração**. Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. Acesso em: 03 dez. 2008.

_____. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. In: Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, 2005b.

_____. **Panorama do Enquadramento dos Corpos d'Água**. In: Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, 2005a.

BARTRAM, J. & BALANCE, R. **Water Quality Monitoring**. UNEP, WHO, 1996.

BATALHA, R. M. P. **Expectativa de risco de degradação dos recursos hídricos na bacia do Rio Jundiá Mirim**. 2006. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

BORDALO, Adriano A.; TEIXEIRA, Rita; WIEBE, William J. **A Water Quality Index Applied to an International Shared River Basin: The Case of the Douro River**. Environmental Management, v. 38, n. 6, p. 910-920, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 12, de 19 de Julho de 2000**. Estabelece os procedimentos para o enquadramento de corpos de água em classes segundo os usos preponderantes. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000a.

_____. **Decreto nº 2.612, de 3 de Junho de 1998**. Regulamenta o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1998.

_____. **Decreto nº 3.059, de 14 de maio de 1999.** Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1999.

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

_____. **Lei nº 9.984, de 17 de Julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Água - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2000b.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 2005.

CALLIES, Ulrich. **Interaction structures analysed from water-quality data.** Ecological Modelling, v. 187, n. 4, p. 475-490, 2005.

CARMO, R. L. do. **A água é o limite? Redistribuição espacial da população e recursos hídricos no Estado de São Paulo.** 2001. 194 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

CBH – PCJ - Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Plano de Bacias Hidrográficas 2004-2007 dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: Relatório Final.** SHS/CBH-PCJ/SABESP/FEHIDRO/ Secretaria de Energia, Recursos Hídricos e Saneamento/Governo do Estado de São Paulo, 2006.

CCME - Canadian Council of Ministers of the Environment. **A Sensitivity Analysis of the Canadian Water Quality Index.** 2006. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_sensitivity_analysis_rpt_web.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2007.

_____. **Application and Testing of the Water Quality Index in Atlantic Canada: Report Summary.** 2005. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/awi_en_posting.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2007.

_____. **Index Workshop: A Path Forward for Consistent Implementation and Reporting.** Nova Scotia, 2003. Disponível em:

<http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_wkshp_rpt_nov_2003_e.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2007.

_____. **Water Quality Index: Technical Report. In: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.** 2001a. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_tchrprtftsht_e.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2007.

_____. **Water Quality Index: User's Manual. In: Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life.** 2001b. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_usermanualftsht_e.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2007.

_____. **Application and Testing of the Water Quality Index for Selected Water Bodies in Atlantic Canada.** CCME Water Quality Index website, Canadá, 2005. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/soerree/English/resource_network/status_report_e.cfm>. Acesso em: 04 abr. 2007.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Relatórios de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** Resultados dos parâmetros e indicadores de qualidade das águas (2000-2006). Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/relatorios.asp>>. Acesso em: entre 2006 e 2008.

_____. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/publicacoes.asp>>. Acesso em: 11 jun. 2008.

CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Qualidade da Água Superficial: Síntese de Painel de Especialistas.** In: Prospecção Tecnológica Recursos Hídricos. Anexo III-a. 2003.

CHAMBERS, P. A.; DUPONT, J.; SCHAEFER, K. A.; BIELAK, A. T. **Effects of Agricultural Activities on Water Quality.** Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Manitoba. CCME Linking Water Science to Policy Workshop Series. Report No.1. Disponível em: <http://www.ccme.ca/assets/pdf/2002_06_26_agriculture_report.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2007.

CHAPMAN, D. **Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring – Second Edition.** UNESCO, WHO, UNEP, 1996. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/wqa/en/>. Acesso em: 09 jan. 2009.

CUDE, Curtis G. **Oregon Water Quality Index a Tool for Evaluating Water Quality Management Effectiveness.** Journal of the American Water Resources Association, v. 37, n.1, p. 125-137, 2001.

DINIZ, L. T. **Efetivação das metas de qualidade de águas superficiais no Brasil**. 2006. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DOTTO, S. E.; SANTOS, R. F. dos; SINGER, E. da M. **Determinação de um índice de qualidade de água para algumas culturas irrigadas em São Paulo**. Bragantia, Campinas, v. 55, n. 1, 1996. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S000687051996000100025&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 mar. 2008.

FALQUETO, M. A. **Avaliação do Índice de Qualidade da Água (IQA) e dos elementos químicos nas águas e nos sedimentos do rio Corumbataí-SP**. 2008. 116 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

FILHO, J. L. de A. **Educação Ambiental para a Sustentabilidade dos Recursos Hídricos: a Integração das Políticas Públicas de Recursos Hídricos e Educação Ambiental**. 2003. 212 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GRAÇA, M. A. S.; COIMBRA, C. N. **The elaboration of indices to asses biological water quality. A case study**. Water Research, v. 32, n. 2, p. 380-392, 1998.

HÉBERT, S., 1997. **Développement d'un indice de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau pour les rivières du Québec**. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques. Québec, 1997. Disponível em: <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/rivieres/indice/index.htm>. Acesso em: 06 dez. 2008.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Avaliação da presença de toxicidade aguda para *Daphnia magna* (Straus, 1820), em águas de rios das bacias do altíssimo Iguaçu e Ribeira, no período de julho/1992 a julho/1999**. Curitiba, 1999b. 16p.

_____. **Avaliação e classificação da qualidade das águas de rios das bacias do altíssimo Iguaçu e Ribeira, no período de março de 1997 a março de 1999**. Curitiba, 1999a. 13p.

_____. **Monitoramento da qualidade das águas dos rios da região metropolitana de Curitiba, no período de 2002 a 2005**. Curitiba: IAP, 2005. 79p. Disponível em: <http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/meioambiente/rel_monit_qual_aguas_rios_rmc_9205.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2009.

IRRIGART – Engenharia e Consultoria em Recursos Hídricos. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá : situação dos recursos hídricos 2004/2006; mapa IQA 2005**. SIGNORETTI, R. P. (Coord.) et al. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ-PCJ, 2007a. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>>. Acesso em: 09 dez. 2008.

_____. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá : situação dos recursos hídricos 2004/2006; relatório completo.** SIGNORETTI, R. P. (Coord.) et al. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ-PCJ, cap. 5, p. 193-257, 2007d. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>>. Acesso em: 09 dez. 2008.

_____. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá : situação dos recursos hídricos 2004/2006; relatório completo.** SIGNORETTI, R. P. (Coord.) et al. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ-PCJ, cap. 6, p. 258-309, 2007b. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>>. Acesso em: 09 dez. 2008.

_____. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá : situação dos recursos hídricos 2002/2003; relatório síntese.** SAAD, A. M. (Coord.) et al. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ-PCJ, 2004. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>>. Acesso em: 09 dez. 2008.

_____. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá : situação dos recursos hídricos 2004/2006; relatório síntese.** SIGNORETTI, R. P. (Coord.) et al. Piracicaba: FEHIDRO/PCJ/CBJ-PCJ, 2007c. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/comitespcj.htm>>. Acesso em: 09 dez. 2008.

JARDIM, G. M. **Estudos ecotoxicológicos da água e do sedimento do rio Corumbataí, SP.** 2004. 126 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

KANNEL, P. R. et al. **Application of Water Quality Indices and Dissolved Oxygen as Indicators for River Water Classification and Urban Impact Assessment.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 132, n. 1-3, p. 93-110, 2007.

KAURISH, F. W.; YOUNOS, T. **Developing a Standardized Water Quality Index for Evaluating Surface Water Quality.** Journal of the American Water Resources Association, v. 43, n. 2, p. 533-545, 2007.

KHAN, A. A.; PATERSON, R.; KHAN, H. **Modification and Application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the Communication of Drinking Water Quality Data in Newfoundland and Labrador.** Water Quality Research Journal of Canada, v. 39, n. 3, p. 285-293, 2004. Canadian Association on Water Quality, Canadá.

KHAN, A. A. et al. **Application of CCME Procedures for Deriving Site-Specific Water Quality Guidelines for the CCME Water Quality Index.** Water Quality Research Journal of Canada, v. 40, n. 4, p. 448-456, 2005. Canadian Association on Water Quality, Canadá.

KHAN, Faisal; HUSAIN, Tahir; LUMB, Ashok. **Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the Atlantic region of Canada.** Environmental Monitoring and Assessment, v. 88, n. 1-3, p. 221-242, Out. 2003.

KULCHESKI, E. et al. **Controle Dinâmico da Qualidade da Água**. Sanare – Revista Técnica da SANEPAR, v. 16, n. 16, Jul./Dez. 2001. Disponível em: < http://www.sanepar.com.br/sanepar/sanare/v16/CONTROLE_QUALIDADE.htm>. Acesso em: 03 dez. 2008.

LabSid - Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões em Engenharia Ambiental e de Recursos Hídricos. **Sistema de Suporte à Decisão para Manipulação de Dados de Quantidade e de Qualidade da Água das Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. 2004. Disponível em: < <http://200.144.189.36/labsid/>>. Acesso em: 2006.

LEEUWESTEIN, J. M.; MONTEIRO, R. A. *Procedimentos técnicos para enquadramento de corpos de água – Documento orientativo*. **Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. Diretoria de Programa de Implementação**. Brasília, 2000.

LIBANIO, Paulo Augusto Cunha; CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. **A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública**. Eng. Sanit. Ambient., Rio de Janeiro, v. 10, n. 3, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522005000300006&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 mar. 2008.

LUMB, Ashok; HALLIWELL, Doug; SHARMA, Tribeni. **Application of CCME Water Quality Index to Monitor Water Quality: A Case of the Mackenzie River Basin, Canada**. Environmental Monitoring and Assessment, Fev. 2006, v. 113, n. 1-3, p. 411-429.

MACIEL JR., P. **Zoneamento das Águas – Um Instrumento de Gestão dos Recursos Hídricos**. 1ª ed. Belo Horizonte: RC Editora Gráfica, 2000.

MARCON, G. **Avaliação da Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo nas Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí**. 2005. 256 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública, Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

MARQUES, M. N. et al. **Avaliação de um índice dinâmico de qualidade de água para abastecimento: um estudo de caso**. Exacta, Jan./Jun. 2007, v. 5, n. 1, p. 47-55. Disponível em: < <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/810/81050105.pdf> >. Acesso em: 03 dez. 2008.

MERCIER, Vicent; LÉGER, Daniel. **An Assessment of the Application and Testing of the Water Quality Index of the Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) in the Atlantic Provinces: A Discussion Paper**. CCME Water Quality Index website, Canadá, 2005. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/soer-ree/English/resource_network/ccme_e.cfm>. Acesso em: 04 abr. 2007.

_____. **Technical Supplement to the Application and Testing of the CCME Canadian Water Quality Index for Selected Water Bodies in Atlantic Canada.** CCME Water Quality Index website, Canadá, 2005. Disponível em: <http://www.ec.gc.ca/soer-ree/English/resource_network/tech_suppl_e.cfm>. Acesso em: 04 abr. 2007.

MIERZWA, J. C. et al. **Definição de variáveis de monitoramento para apoio ao Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos.** In: Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2008, Santiago. XXXI Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, 2008a.

_____. **Variáveis de qualidade para o apoio ao Sistema Nacional de Informações sobre os Recursos Hídricos.** In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, 2008, Rio de Janeiro. II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste: Monitoramento, Modelagem, Sistemas de Alerta e de Suporte a Decisões, 2008b.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Índices e Indicadores de Qualidade da Água – Revisão da Literatura. Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco.** Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II. Componente Desenvolvimento Institucional. Subcomponente Monitoramento de Qualidade da Água. Subprojeto Pernambuco. Recife, 2003. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/indice-agua-volume1.pdf>>. Acesso em: 27 jan. 2008.

MMA - Ministério do Meio Ambiente; SRH - Secretaria de Recursos Hídricos. **Interface da Gestão dos Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas em 1997.** Parte 2: A Gestão dos Recursos Hídricos no Contexto das Políticas Ambientais. In: MUÑOZ, R. H. (org.). 2ª ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000a.

_____. **Interface da Gestão dos Recursos Hídricos: Desafios da Lei de Águas em 1997.** Parte 5: A Gestão dos Recursos – Interfaces Setoriais. In: MUÑOZ, R. H. (org.). 2ª ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 2000b.

MOREIRA, H. A. **Diagnóstico da qualidade ambiental da Bacia do Rio Jaboatão: sugestão de enquadramento preliminar.** 2007. 101 p. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

NEVES, M. A.; CARDOSO, M. S. N. **Qualidade das águas no Rio Jundiá (SP): A necessidade de uma gestão integrada.** HOLO Environment, v. 6, n. 2, p. 91-105, 2006. Disponível em: <<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/holos/index>>. Acesso em: 13 dez. 2008.

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

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285 p.

PIZELLA, Denise Gallo. **Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais**. 2006. 159 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PIZELLA, Denise Gallo; SOUZA, Marcelo Pereira de. **Análise da sustentabilidade ambiental do sistema de classificação das águas doces superficiais brasileiras**. Eng. Sanit. Ambient. , Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, 2007 . Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522007000200005&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 18 mar. 2008.

PORTO, M. F. A. **Sistemas de gestão da qualidade das águas: uma proposta para o caso brasileiro**. 2002. 131 p. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142008000200004&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 27 nov. 2008.

PRATI, L.; PAVANELLO, R.; PESARIN, F. **Assessment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution**. Water Research Pergamon Press, v. 5, p. 741-751, 1971.

RÖRIG, L. R. **Usos múltiplos e qualidade das águas da Bacia do Alto Itajaí-Açu-SC: elementos para um sistema integrado**. 2005. 295 p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2005.

SAID, Ahmed; STEVENS, David. K.; SEHLKE, Gerald. **An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams**. Environmental Management, v. 34, n. 3, p. 406–414, 2004.

SÁNCHEZ, Enrique et al. **Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution**. Ecological Indicators, v. 7, n. 2, p. 315–328, 2007.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. **Decreto Estadual nº 10.755/77, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. São Paulo: Diário Oficial do Estado, 1977.

_____. **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo: Diário Oficial do Estado, 1991.

SARKAR, Chinmoy; ABBASI, S. A. **Qualidex – A New Software for Generating Water Quality Indice**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 119, n. 1-3, p. 201-231, 2006.

SEDEÑO-DÍAZ, Jacinto Elías; LÓPEZ-LÓPEZ, Eugenia. **Water Quality in the Río Lerma, Mexico: An Overview of the Last Quarter of the Twentieth Century**. Water Resources Management, v. 21, n. 10, p. 1797-1812, 2007.

SILVA, Gilberto Silvério da; JARDIM, Wilson de F.. **Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia-SP**. Quím. Nova, São Paulo, v. 29, n. 4, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422006000400012&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 18 mar. 2008.

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

SWAMEE, Prabhata K.; TYAGI, ADITYA, P.E. **Describing Water Quality with Aggregate Index**. Journal of Environmental Engineering, v. 126, n. 5, p. 451-455, 2000.

_____. **Improved Method for Aggregation of Water Quality Subindices**. Journal of Environmental Engineering, v. 133, n. 2, p. 220-225, 2007.

TCHOBANOGLIOUS, G.; SCHROEDER, E. D. **Water quality**. Universidade da Califórnia, 1987.

TEBUTT, T. H. Y. **Water quality control**. 4^a ed., 1992.

USP/UFPR. **Relatório Final do Projeto Bacias Críticas: Bases Técnicas para a Definição de Metas Progressivas e sua Integração com os demais Instrumentos de Gestão**. São Paulo: FINEP/CTHIDRO, 2008.

VON SPERLING, M. **Análise dos padrões brasileiros de qualidade de corpos d'água e de lançamentos de efluentes**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos-RBRH. Porto Alegre, v.3, n. 1, p. 111-132, jan./mar. 1998.

_____. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. DESA-UFMG, 1996.

ZHOU, Feng; LIU, Yong; GUO, Huaicheng. **Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong**. Environmental Monitoring and Assessment, v. 132, n. 1-3, p. 1-13, 2007.

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUA)

		Classe de Enquadramento	Período	Alumínio*	Bário	Boro	Cádmio	Chumbo	Cloreto Total	Clorofila a
Rio Atibaia										
Ponto	ATIB02010	2	1995-2007	a partir de 1998	até 2000		LD	LD	período	a partir de 1999
Ponto	ATIB02065	2	1989-2007	a partir de 1998	até 2000-não 1993		LD	LD	período	a partir de 1999
Ponto	ATIB02605	2	1989-2007	a partir de 1998	até 2000		LD	LD	período	
Ponto	ATIB02800	2	2002-2007	2007					período	
Ponto	ATIB02900	2	2002-2007						período	
Rio Camanducaia										
Ponto	CMDC02050	2	2003-2007						período	
Ponto	CMDC02300	2	2000-2007	2007					a partir de 2002	
Ponto	CMDC02400	2	2000-2007						a partir de 2002	
Ponto	CMDC02900	2	1995-2007	a partir de 1998	até 2000		LD	LD	período	
Rio Corumbataí										
Ponto	CRUM02050	2	2002-2007			a partir de 2003			período	
Ponto	CRUM02200	2	2001-2007	período			LD	LD	período	
Ponto	CRUM02500	2	1989-2007	período	período		LD	LD	período	
Ponto	CRUM02900	2	2000-2007			2004			não 2001	
				Cobre*	Coliformes Termotolerantes	Cor Verdadeira	Cromo Total	DBO_(5,20)	Densidade de Cianobactérias	Fenóis
Rio Atibaia										
Ponto	ATIB02010	2	1995-2007	LD	período	a partir de 2004	até 2000	período		período
Ponto	ATIB02065	2	1989-2007	LD	período	a partir de 2004	até 2000	período	a partir de 2004	período
Ponto	ATIB02605	2	1989-2007	LD	período	a partir de 2004	até 2000	período		LD
Ponto	ATIB02800	2	2002-2007		período			período		LD-não (2004 e 2005)
Ponto	ATIB02900	2	2002-2007		período			período		período
Rio Camanducaia										
Ponto	CMDC02050	2	2003-2007		período			período		
Ponto	CMDC02300	2	2000-2007		período			período		2002
Ponto	CMDC02400	2	2000-2007		período			período		
Ponto	CMDC02900	2	1995-2007	LD	período	2004	até 2000	período		período
Rio Corumbataí										
Ponto	CRUM02050	2	2002-2007		período			período		
Ponto	CRUM02200	2	2001-2007	LD	período	a partir de 2004		período		até 2006
Ponto	CRUM02500	2	1989-2007	LD	período	a partir de 2004	até 2000	período	a partir de 2004	LD
Ponto	CRUM02900	2	2000-2007		a partir de 2002			período		

LD : abaixo do limite de detecção

* forma dissolvida a partir de 2006

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUAÇÃO)

		Classe de Enquadramento	Período	Ferro*	Fósforo Total	Manganês Total	Mercúrio Total	Níquel Total	N. Amoniacal	N. Nitrato	N. Nitrito
Rio Atibaia											
Ponto	ATIB02010	2	1995-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	ATIB02065	2	1989-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	ATIB02605	2	1989-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	ATIB02800	2	2002-2007		a partir de 2003	2007			a partir de 2003	a partir de 2003	a partir de 2003
Ponto	ATIB02900	2	2002-2007		2002				2002	2002	2002
Rio Camanducaia											
Ponto	CMDC02050	2	2003-2007		período						
Ponto	CMDC02300	2	2000-2007	2007		2007			2007	2007	2007
Ponto	CMDC02400	2	2000-2007		a partir de 2003				a partir de 2003	a partir de 2003	a partir de 2003
Ponto	CMDC02900	2	1995-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Rio Corumbataí											
Ponto	CRUM02050	2	2002-2007		período				período	período	período
Ponto	CRUM02200	2	2001-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	CRUM02500	2	1989-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	CRUM02900	2	2000-2007		a partir de 2003				a partir de 2003	a partir de 2003	a partir de 2003
				OD	pH	Res. Filtrável	Sulfato	Surfactantes	Turbidez	Zinco Total	
Rio Atibaia											
Ponto	ATIB02010	2	1995-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	ATIB02065	2	1989-2007	período	período	período	a partir de 2004		período	período	
Ponto	ATIB02605	2	1989-2007	período	período	período	a partir de 2004	não 1997	período		
Ponto	ATIB02800	2	2002-2007	período	período				período		
Ponto	ATIB02900	2	2002-2007	período	período				período		
Rio Camanducaia											
Ponto	CMDC02050	2	2003-2007	período	período				período		
Ponto	CMDC02300	2	2000-2007	período	período	2007			a partir de 2002		
Ponto	CMDC02400	2	2000-2007	período	período				a partir de 2002		
Ponto	CMDC02900	2	1995-2007	período	período		a partir de 2004	não 1997	período	período	
Rio Corumbataí											
Ponto	CRUM02050	2	2002-2007	período	período				período		
Ponto	CRUM02200	2	2001-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	CRUM02500	2	1989-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	CRUM02900	2	2000-2007	período	período	2000			período	período	

LD : abaixo do limite de detecção

* forma dissolvida a partir de 2006

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUAÇÃO)

		Classe de Enquadramento	Período	Alumínio*	Bário	Cádmio	Chumbo	Cloreto Total	Clorofila a	Cobre*
Rio Jaguari										
Ponto	JAGR02010	2	2004-2007	2007						
Ponto	JAGR02200	2	2000-2007	2007				a partir de 2002		
Ponto	JAGR02300	2	1989-2007	1998 a 2003 e 2007	até 2000 – não 1993	período	até 2003 - LD	período	1999 a 2003	até 2003 - LD
Ponto	JAGR02400	2	2000-2007					a partir de 2002		
Ponto	JAGR02500	2	2001-2007	período		LD	LD	período	período	LD
Ponto	JAGR02800	2	2000-2007	período	2000	LD	LD	período	a partir de 2001	LD
Rio Piracicaba										
Ponto	PCAB02100	2	1991-2007	a partir de 1998	até 2000 – não 1993	LD	LD	período	a partir de 1999	LD
Ponto	PCAB02135	2	1989-2007	a partir de 1998	até 2000 – não 1993	LD	LD	período		LD
Ponto	PCAB02192	2	1989-2007	a partir de 1998	até 2000 – não 1993	LD	LD	período		LD
Ponto	PCAB02220	2	2000-2007	período	2000	LD	LD	período	período	LD
Ponto	PCAB02800	2	1989-2007	a partir de 1998	até 2000 – não 1993	LD	LD	período	1996 a 1998	LD
				Coliformes Termotolerantes	Cor Verdadeira	Cromo Total	DBO_(5,20)	Densidade de Cianobactérias	Fenóis	
Rio Jaguari										
Ponto	JAGR02010	2	2004-2007	período			período			
Ponto	JAGR02200	2	2000-2007	período			período			
Ponto	JAGR02300	2	1989-2007	não 1998		até 2000	período		até 2003	
Ponto	JAGR02400	2	2000-2007	período			período			
Ponto	JAGR02500	2	2001-2007	período	a partir de 2004		período		LD	
Ponto	JAGR02800	2	2000-2007	período	a partir de 2004	2000	período		LD	
Rio Piracicaba										
Ponto	PCAB02100	2	1991-2007	período	a partir de 2004	até 2000	período	a partir de 2004	período	
Ponto	PCAB02135	2	1989-2007	período	a partir de 2004	até 2000	período	2007	período	
Ponto	PCAB02192	2	1989-2007	período	a partir de 2004	até 2000	período		período	
Ponto	PCAB02220	2	2000-2007	período	a partir de 2004	2000	período	a partir de 2004	período	
Ponto	PCAB02800	2	1989-2007	período	a partir de 2004	2000	a partir de 2000		a partir de 2000	

LD : abaixo do limite de detecção

* forma dissolvida a partir de 2006

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUAÇÃO)

		Classe de Enquadramento	Período	Ferro*	Fósforo Total	Manganês Total	Mercurio Total	Níquel Total	N. Amoniacal	N. Nitrato	N. Nitrito
Rio Jaguari											
Ponto	JAGR02010	2	2004-2007	período	período	período	LD	período	período	período	2007
Ponto	JAGR02200	2	2000-2007	até 2003 e 2007	até 2002	até 2003 e 2007	até 2003 - LD	até 2003	até 2003	até 2003 e 2007	2007
Ponto	JAGR02300	2	1989-2007								até 2003 e 2007
Ponto	JAGR02400	2	2000-2007								
Ponto	JAGR02500	2	2001-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	JAGR02800	2	2000-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Rio Piracicaba											
Ponto	PCAB02100	2	1991-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	PCAB02135	2	1989-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	PCAB02192	2	1989-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	PCAB02220	2	2000-2007	período	período	período	LD	período	período	período	período
Ponto	PCAB02800	2	1989-2007	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2000 - LD	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2000
				OD	pH	Res. Filtrável	Sulfato	Surfactantes	Turbidez	Zinco Total	
Rio Jaguari											
Ponto	JAGR02010	2	2004-2007	período	período				período		
Ponto	JAGR02200	2	2000-2007	período	período				a partir de 2002	até 2003	
Ponto	JAGR02300	2	1989-2007	período	período	até 2003		até 2003	período		
Ponto	JAGR02400	2	2000-2007	período	período				período	período	
Ponto	JAGR02500	2	2001-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	JAGR02800	2	2000-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Rio Piracicaba											
Ponto	PCAB02100	2	1991-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	PCAB02135	2	1989-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	PCAB02192	2	1989-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	PCAB02220	2	2000-2007	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período	
Ponto	PCAB02800	2	1989-2007	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2004	a partir de 2000	a partir de 2000	a partir de 2000	

LD : abaixo do limite de detecção

* forma dissolvida a partir de 2006

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUAÇÃO)

		Classe de Enquadramento	Período	Alumínio*	Bário	Cádmio	Chumbo	Cloreto Total	Cobre*	Coliformes Termotolerantes	Cor Verdadeira	Cromo Total
Rio Capivari												
Ponto	CPIV02030	2	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	CPIV02100	2	2002-2007					período		período		
Ponto	CPIV02130	2	2000-2007	período	2000	LD	LD	período	LD	período	a partir de 2004	período
Ponto	CPIV02160	2	1989-2007	1998 a 2003	até 2000 - não 1993	até 2003-LD	até 2003-LD	período	até 2003	período		até 2003
Ponto	CPIV02200	2	2000-2007	período	2000	LD	LD	período	LD	período	2004 e 2006	período
Ponto	CPIV02700	2	2003-2007					período		período		
Ponto	CPIV02900	2	2000-2007	período	2000	LD	LD	período	LD	período	2004 e 2006	LD
Rio Jundiá												
Ponto	JUNA02010	2	2000-2007	2007				a partir de 2002		período		
Ponto	JUNA02020	2	1989-2007	a partir de 1998	até 2000 - não 1993	LD	LD	período	período	período	2004 e 2006	até 2000
Ponto	JUNA04150	4	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	JUNA04190	4	2002-2007					período		período		
Ponto	JUNA04900	4	1993-2007	a partir de 1998	1995 a 2000	período	período	a partir de 1995	período	período	2004 e 2006	1995 a 2000
Rio Jundiá-Mirim												
Ponto	JUMI00100	1	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	JUMI00250	1	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	JUMI00500	1	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	JUMI00800	1	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ribeirão Pirai												
Ponto	IRIS02100	2	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	IRIS02200	2	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	IRIS02250	2	2000-2007	2002 a 2004				a partir de 2005		período		
Ponto	IRIS02400	2	2000-2007					a partir de 2002		período		
Ponto	IRIS02900	2	1998-2007	período	até 2000	LD	LD	período	LD	período	a partir de 2004	até 2000

LD : abaixo do limite de detecção

* forma dissolvida a partir de 2006

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUAÇÃO)

		Classe de Enquadramento	Período	DBO _(5, 20)	Fenóis	Ferro*	Fósforo Total	Manganês Total	Mercúrio Total	Níquel Total	N. Amoniacal
Rio Capivari											
Ponto	CPIV02030	2	2000-2007	período							a partir de 2003
Ponto	CPIV02100	2	2002-2007	período							
Ponto	CPIV02130	2	2000-2007	período	LD	período	período	período	LD	período	período
Ponto	CPIV02160	2	1989-2007	período	até 2003	até 2003	período	até 2003	até 2003	até 2003	período
Ponto	CPIV02200	2	2000-2007	período	LD	período	período	período	LD	período	período
Ponto	CPIV02700	2	2003-2007	período							
Ponto	CPIV02900	2	2000-2007	período	LD	período	período	período	LD	período	período
Rio Jundiá											
Ponto	JUNA02010	2	2000-2007	período		2007	até 2003	2007			a partir de 2003
Ponto	JUNA02020	2	1989-2007	período	período	período	período	período	período	período	período
Ponto	JUNA04150	4	2000-2007	período							
Ponto	JUNA04190	4	2002-2007	período			até 2003				a partir de 2003
Ponto	JUNA04900	4	1993-2007	período	a partir de 1995	a partir de 1995	período	a partir de 1995	período	período	período
Rio Jundiá-Mirim											
Ponto	JUMI00100	1	2000-2007	período			até 2003				a partir de 2003
Ponto	JUMI00250	1	2000-2007	período							
Ponto	JUMI00500	1	2000-2007	período							
Ponto	JUMI00800	1	2000-2007	período			até 2003				a partir de 2003
Ribeirão Pirai											
Ponto	IRIS02100	2	2000-2007	período			a partir de 2003				a partir de 2003
Ponto	IRIS02200	2	2000-2007	período							
Ponto	IRIS02250	2	2000-2007	período							
Ponto	IRIS02400	2	2000-2007	período			a partir de 2003				a partir de 2003
Ponto	IRIS02900	2	1998-2007	período	LD	período	período	período	LD	período	período

LD : abaixo do limite de detecção

* forma dissolvida a partir de 2006

ANEXO A – LEVANTAMENTO DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (CONTINUAÇÃO)

		Classe de Enquadramento	Período	N. Nitrato	N. Nitrito	OD	pH	Res. Filtrável	Sulfato	Surfactantes	Turbidez	Zinco Total
Rio Capivari												
Ponto	CPIV02030	2	2000-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				a partir de 2002	
Ponto	CPIV02100	2	2002-2007			período	período				período	
Ponto	CPIV02130	2	2000-2007	período	período	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período
Ponto	CPIV02160	2	1989-2007	período	período	período	período	até 2003		até 2003	período	até 2003
Ponto	CPIV02200	2	2000-2007	período	período	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período
Ponto	CPIV02700	2	2003-2007			período	período				período	
Ponto	CPIV02900	2	2000-2007	período	período	período	período	período	a partir de 2004	período	período	período
Rio Jundiaí												
Ponto	JUNA02010	2	2000-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				a partir de 2002	
Ponto	JUNA02020	2	1989-2007	período	período	período	período	período	a partir de 2004	não 1997	período	período
Ponto	JUNA04150	4	2000-2007			período	período				a partir de 2002	
Ponto	JUNA04190	4	2002-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				período	
Ponto	JUNA04900	4	1993-2007	período	período	período	período	a partir de 1995	a partir de 1994	período	período	período
Rio Jundiaí-Mirim												
Ponto	JUMI00100	1	2000-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				a partir de 2002	
Ponto	JUMI00250	1	2000-2007			período	período				a partir de 2002	
Ponto	JUMI00500	1	2000-2007			período	período				a partir de 2002	
Ponto	JUMI00800	1	2000-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				a partir de 2002	
Rio Pirai												
Ponto	IRIS02100	2	2000-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				a partir de 2002	
Ponto	IRIS02200	2	2000-2007			período	período				a partir de 2002	
Ponto	IRIS02250	2	2000-2007			período	período				a partir de 2002	
Ponto	IRIS02400	2	2000-2007	a partir de 2003	a partir de 2003	período	período				a partir de 2002	
Ponto	IRIS02900	2	1998-2007	período	período	período	período	período	período	a partir de 2004	período	período

LD : abaixo do limite de detecção