



**Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Escola Politécnica & Escola de Química  
Programa de Engenharia Ambiental**

Filip Lacerda Tonon e Rocha

**APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA  
PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA DE FUTURO  
USO INDUSTRIAL**

Rio de Janeiro

2011



**UFRJ**

Filip Lacerda Tonon e Rocha

**APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA  
PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA DE FUTURO  
USO INDUSTRIAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Isaac Volschan Júnior

Rio de Janeiro

2011

ROCHA, Filip Lacerda Tonon.

Aplicação de Índices de Qualidade de Água para Avaliação Ambiental de Área de Futuro Uso Industrial / Filip Lacerda Tonon e Rocha. - 2011.

107f. : 11il. 30 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2011.

Orientador: Isaac Volschan Junior

1. Qualidade de Água. 2. Índices. 3. Três Lagoas. I. Volschan, Junior Isaac. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola Politécnica e Escola de Química. III. Título.



**UFRJ**

# **APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA PARA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE ÁREA DE FUTURO USO INDUSTRIAL**

Filip Lacerda Tonon e Rocha

Orientador: Isaac Volschan Júnior

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:

---

Isaac Volschan Júnior, *D.Sc* – PEP/COPPE/UFRJ

---

Alessandra Magrini, *D.Sc.* – COPPE / UFRJ

---

José Paulo Soares de Azevedo, *D.Sc.* – PEC / COPPE / UFRJ

---

Fabiana Valéria da Fonseca Araújo, *Ph.D.* – EQ / UFRJ

Rio de Janeiro

2011

## RESUMO

ROCHA, Filip Lacerda Tonon. **Aplicação de Índices de Qualidade de Água para Avaliação Ambiental de Área de Futuro Uso Industrial**. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

Neste estudo efetuou-se o diagnóstico da qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área onde será implantado um novo empreendimento em Três Lagoas/MS, avaliando-se os resultados obtidos em relação às legislações aplicáveis e através da aplicação dos índices de qualidade de águas superficiais CETESB, Mínimo, Objetivo & Subjetivo e o índice biológico BMWP. Realizou-se também o comparativo dos resultados obtidos entre índices, a análise comparativa da influência dos parâmetros monitorados em relação ao cálculo dos índices e o atendimento à legislação e, por fim, definiram-se os limites de lançamento de efluentes a fim de garantir a manutenção da qualidade da água.

Os resultados para águas superficiais e subterrâneas demonstraram que o parâmetro ferro apresentou valores em desconformidade com os limites legais de forma regular na área em estudo e assim, considerando-se as características do solo, entende-se que os resultados associam-se diretamente às características naturais do terreno. Quando da aplicação dos índices, todos classificaram a qualidade da água superficial como BOA, concluindo-se que não ocorreu diferença significativa dos resultados obtidos entre índices. Observou-se ainda, que os parâmetros coliformes, turbidez, DBO<sub>5,20</sub> e fósforo não apresentaram boa correlação entre os valores normalizados e o atendimento a legislação, demonstrando que os índices de qualidade de água aplicados ao caso específico, não podem ser considerados como um instrumento de atendimento legal. Já para o lançamento de efluentes, concluiu-se que devem ser atendidos os valores previstos na legislação e que a remoção do parâmetro ferro deve ser realizada considerando-se a melhor tecnologia disponível de forma a não elevar ainda mais as concentrações já existentes.

Palavras-chave: Qualidade de Água, Índices, Três Lagoas

## ABSTRACT

ROCHA, Filip Lacerda Tonon. **Application of Water Quality Indices in the Environmental Evaluation of Future Industrial Area.** Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado) – Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

In this research was made a diagnoses of the groundwater and superficial water quality where will be installed a new industrial mill in Três Lagoas city/MS, evaluating the results in accordance with the legislation and by the application of the biological index BMWP and by the CETESB, Minimum, Objective & Subjective superficial water quality indices. Therefore, the results between indices were compared, so was the influence of the parameters used to calculate the indices in relation to the accordance with the legislation. At last, the waste water limits were established in order to guarantee the maintenance of water quality.

The results for groundwater and superficial water showed that the parameter dissolve iron was above the limits determined by the legislation in a regular way for the entire area and, considering the characteristics of the soil, was possible to conclude that the results are associated with natural characteristics of the terrain. By the application of the water quality indices, all of them classified the superficial water quality as GOOD and so there wasn't difference between de results obtained by different indices. It was also observed that the parameters phosphorous, BOD<sub>5,20</sub>, turbidity and coliforms didn't presented a good correlation between its normalized values and the legal limits, and so, the indices can't be considered an instrument of evaluation with the legislation. For waste water limits, was concluded that must be followed the limits established by present legislation with the use of the best technology for the removal of phosphorous, once this parameter is already above the limit in the water course evaluated.

Key-words: Water Quality, Indices, Três Lagoas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 Estrutura do Trabalho</b> .....	<b>15</b>
<b>2. OBJETIVOS DO TRABALHO</b> .....	<b>16</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>17</b>
<b>3.1 Aspectos Legais</b> .....	<b>17</b>
3.1.1 O Código das Águas.....	17
3.1.2 A Política Nacional do Meio Ambiente.....	18
3.1.3 Os Preceitos Constitucionais .....	19
3.1.4 A Política Nacional de Recursos Hídricos.....	19
3.1.5 Balneabilidade das Águas.....	21
3.1.6 A Agência Nacional das Águas - ANA .....	21
3.1.7 O Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos.....	22
3.1.8 Portaria 518/2004.....	22
3.1.9 Resolução CONAMA 357/2005 .....	23
3.1.10 Resolução CONAMA 396/2008.....	25
3.1.11 Resolução CONAMA 420/2009 .....	26
3.1.12 Resolução CONAMA 430/2011 .....	27
3.1.13 A Política Estadual de Recursos Hídricos .....	27
3.1.14 O Plano Estadual de Recursos Hídricos .....	29
<b>3.2 Índices de Qualidade de Águas</b> .....	<b>30</b>
3.2.1 Índice de Horton.....	34
3.2.2 Índice de Qualidade de Água – NSF / CETESB.....	35
3.2.3 Índice Implícito de Poluição de Prati .....	47
3.2.4 Índice de Qualidade de Água de Dinius.....	48
3.2.5 Índice Universal de Qualidade de Água.....	49
3.2.6 Índice Simplificado de Qualidade de Água .....	50
3.2.7 IQA - Mínimo .....	51
3.2.8 IQA - Subjetivo & Objetivo .....	52

3.2.9	BMWP – Biological Monitoring Working Party .....	53
3.2.10	O Efeito Eclipse .....	55
3.2.11	Comparativo Entre Índices .....	56
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>58</b>
4.1	Área em Estudo.....	58
4.1.1	Recursos Hídricos Superficiais.....	61
4.1.2	Recursos Hídricos Subterrâneos .....	62
4.2	Monitoramentos Realizados .....	63
4.3	Comparativos com as Legislações Aplicáveis .....	65
4.4	Aplicação dos Índices de Qualidade de Água Superficial.....	66
4.4.1	Índices Gerais de Qualidade de Água Superficial .....	66
4.4.2	Índice BMWP .....	68
4.5	Análise Crítica Comparativa entre Índices.....	69
4.6	Análise Crítica dos Índices Gerais em Relação a Legislação.....	69
4.7	Avaliação dos Limites para Lançamento de Efluentes .....	70
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>71</b>
5.1	Avaliação Segundo as Legislações Aplicáveis .....	71
5.1.1	Águas Superficiais .....	71
5.1.2	Águas Subterrâneas .....	74
5.2	Índices de Qualidade de Água .....	77
5.2.1	IQA NSF / CETESB .....	77
5.2.2	IQA - Mínimo .....	79
5.2.3	IQA – Subjetivo & Objetivo.....	81
5.2.4	BMWP – Biological Monitoring Working Party .....	84
5.3	Comparativo Entre Índices.....	86
5.4	Análise Crítica da Legislação e Índices de Qualidade de Água.....	90
5.5	Definição dos Limites para Lançamento de Efluentes .....	92



<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>94</b>
<b>6.1 Comparativo com a Legislação – Águas Subterrâneas.....</b>	<b>94</b>
<b>6.2 Comparativo com a Legislação – Águas Superficiais .....</b>	<b>95</b>
<b>6.3 Avaliação Individual dos Índices de Qualidade de Água.....</b>	<b>96</b>
<b>6.4 Análise Comparativa entre Índices.....</b>	<b>97</b>
<b>6.5 Comparativo Entre a CONAMA 357 e os IQAs.....</b>	<b>98</b>
<b>6.6 Limites para Lançamento de Efluentes .....</b>	<b>99</b>
<b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>100</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>102</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva de Projeção da População Brasileira .....	1
Figura 2 – Água Doce no Planeta.....	2
Figura 3 – Curvas de qi – IQA CETESB .....	31
Figura 4 – Três Lagoas - MS .....	47
Figura 5 – Localização de Três Lagoas .....	49
Figura 6 – Pontos de Monitoramento 01 e 02 .....	53
Figura 7 – Concentrações de Ferro Dissolvido .....	61
Figura 8 – IQA CETESB .....	67
Figura 9 – IQA Mínimo.....	68
Figura 10 – IQA Objetivo.....	71
Figura 11 – IQA Subjetivo .....	72

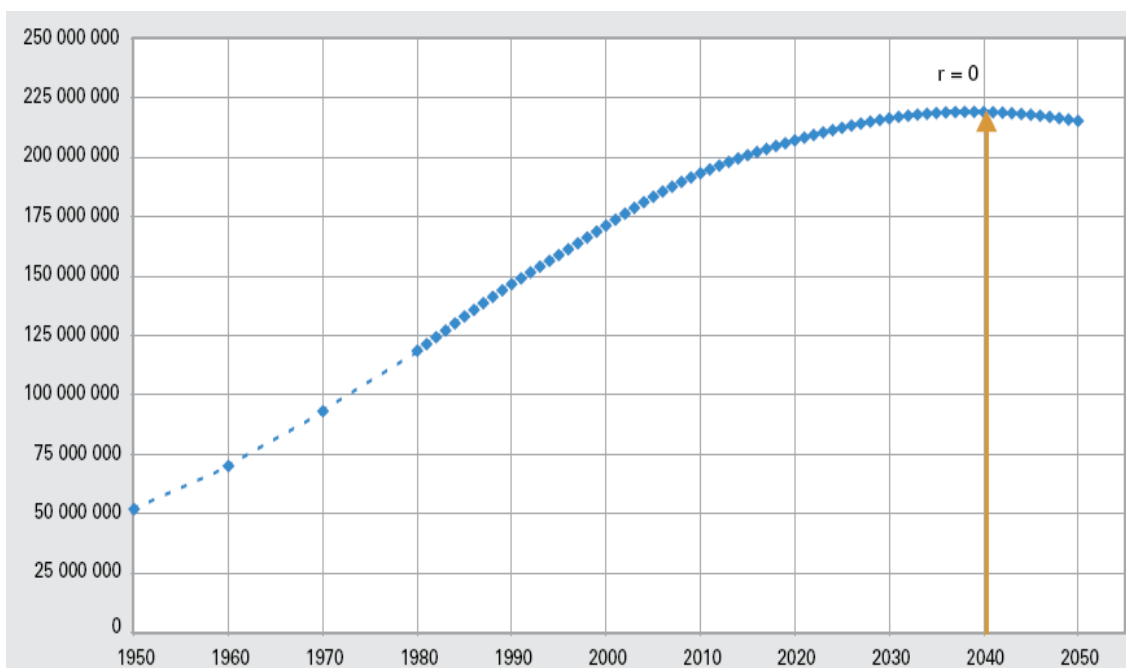
## LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Índices de Qualidade de Água.....	21
Quadro 2: Variáveis e Pesos para o Índice de Horton.....	23
Quadro 3: Peso dos parâmetros utilizados no cálculo do IQA CETESB .....	28
Quadro 4: Fórmulas para cálculo de $q_i$ – IQA CETESB .....	29
Quadro 5: Classificação da qualidade da água segundo o IQA CETESB.....	34
Quadro 6: Significado do método BMWP .....	42
Quadro 7: Comparativo dos Parâmetros Monitorados e IQAs.....	56
Quadro 8: Avaliação segundo a Resolução CONAMA 357 de 2005.....	60
Quadro 9: Avaliação segundo a Resolução CONAMA 420 de 2009.....	64
Quadro 10: Valores de $q_i$ e IQA CETESB .....	66
Quadro 11: Valores de $q_i$ e IQA Mínimo .....	68
Quadro 12: Valores de $q_i$ , IQA Objetivo & Subjetivo.....	70
Quadro 13: Valores de BMWP.....	73
Quadro 14: Estatística básica entre índices .....	75
Quadro 15: Estatística básica entre índices por ponto amostrado .....	76
Quadro 16: Valores normalizados e em desconformidade com a Legislação.....	79
Quadro 17: Limites para Lançamento de Efluentes .....	82

## 1. INTRODUÇÃO

Nas décadas recentes, o crescimento populacional e o conseqüente incremento nas atividades industriais vêm contribuindo para a degradação das condições ambientais, incluindo-se a preservação da água superficial e subterrânea (TIBURTIUS; ZAMORA, 2004).

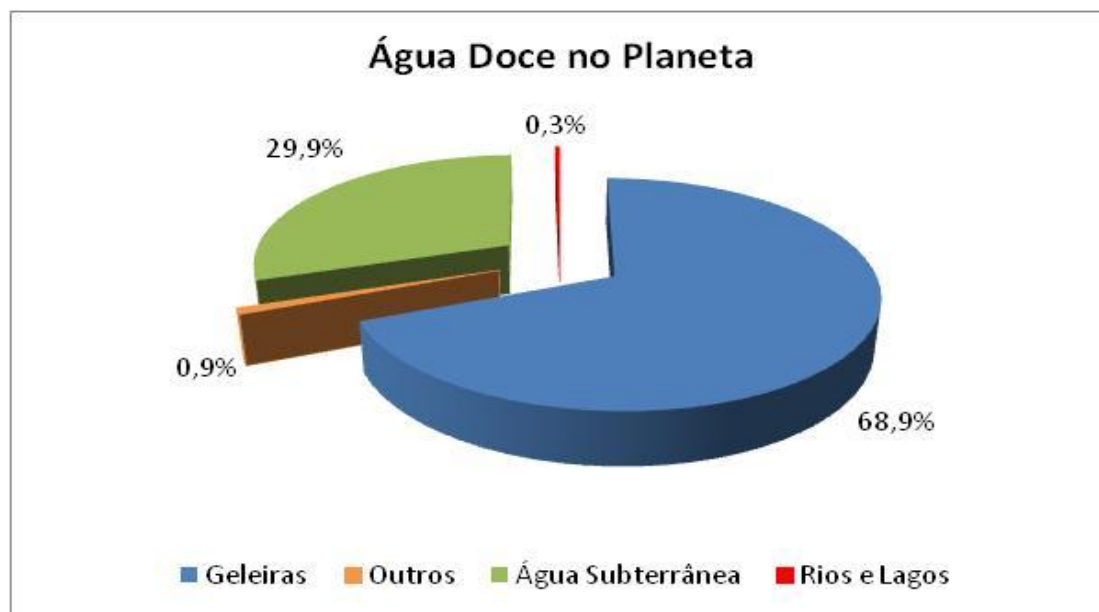
Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), espera-se que a população do Brasil atinja o chamado “crescimento zero” por volta de 2039, apresentando, a partir daí, taxas de crescimento negativas, o que acarretaria no declínio da população. Assim, até 2039, o Brasil ainda apresentará um potencial de crescimento populacional, fruto do balanço entre os nascimentos e os óbitos ocorridos no País, chegando a uma população próxima dos duzentos e vinte milhões de pessoas. A Figura 1 apresenta a projeção da população brasileira até o ano 2050.



Fonte: IBGE (2008)

**Figura 1:** Curva de Projeção da População Brasileira

Embora três quartos da superfície da Terra sejam compostos por água, a maior parte não está disponível para consumo humano, pois aproximadamente 97,5% da água é salgada. Do total restante de 2,5% de água doce, aproximadamente 69% estão armazenados em geleiras e 30% em águas subterrâneas, conforme apresentado na Figura 2 (REBOUÇAS, 1999).



Fonte: REBOUÇAS (1999)

**Figura 2:** Água Doce no Planeta

Em vista da falta de água doce e da crescente demanda por água, torna-se cada vez mais importante o monitoramento e a manutenção de sua disponibilidade e qualidade. Segundo SARGAONKAR e DESHPANDE (2003), a qualidade da água pode ser definida por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos e a certeza desta qualidade é crucial antes de designá-la para os mais diversos propósitos, tais como o uso como água potável, para a agricultura, recreação, indústria, entre outras.

A fim de determinar a qualidade da água, é necessário monitorar os cursos de águas e fontes subterrâneas, disponibilizando informações que permitam propor medidas de manejo para manter os ambientes aquáticos disponíveis ao uso proposto. Assim, para assegurar o gerenciamento sustentado dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica e seus múltiplos usos, a avaliação periódica da qualidade da água é de fundamental importância (STRIEDER *et al.*, 2006).

Para avaliar-se a qualidade de água é tradicional utilizar-se de relatórios técnicos de qualidade de água, os quais tendem a ser detalhados e normalmente voltados para público de especialistas, apresentando dados de monitoramento com ênfase em variáveis analíticas individuais, sem prover uma visão global da qualidade da água. Faz-se assim necessário a definição de um indicador que possa ser facilmente entendido e sirva de suporte à tomada de decisões pelos atores institucionais da bacia hidrográfica, as organizações não governamentais, o estado, as prefeituras e a própria população, normalmente leigos nos assuntos técnicos. (LERMONTOV, 2009).

Neste contexto, fica evidenciada a necessidade da utilização de métodos simples, que considerem de forma agregada a grande variedade de parâmetros físicos, químicos e biológicos. É neste sentido que foram desenvolvidos os Índices de Qualidade de Água (IQAs), visando expor as informações a respeito da qualidade das águas do público técnico para o público em geral.

Dessa forma, tendo em vista que se torna imprescindível a realização de um plano de monitoramento periódico no sentido de garantir a manutenção da qualidade ambiental dos recursos hídricos, em função da complexidade inerente à avaliação da qualidade da água e considerando a água como um dos mais importantes recursos para a sustentação da vida no planeta, o presente trabalho tem como motivação aportar conhecimento relacionado às características das águas superficiais e subterrâneas na área de influência de um novo empreendimento industrial a ser instalado em Três Lagoas, Mato Grosso do Sul (MS).

## 1.1 Estrutura do Trabalho

Com intuito de proporcionar o melhor entendimento do trabalho, a disposição dos capítulos foi assim disposta:

- Capítulo 1: Apresenta a contextualização do tema qualidade das águas.
- Capítulo 2: Delimitam-se o objetivo geral e os objetivos específicos.
- Capítulo 3: Realiza-se a revisão bibliográfica, primeiramente com foco nos aspectos legais relacionados ao tema. Em seguida, apresentam-se os índices de qualidade de água (IQAs), com especial destaque para o IQA CETESB, IQA Objetivo & Subjetivo, IQA Mínimo e Índice BMWP, os quais foram aplicados no presente trabalho.
- Capítulo 4: Destacam-se as características da área em estudo, informações sobre o futuro empreendimento a ser instalado no local e a metodologia utilizada para atendimento aos objetivos do presente trabalho.
- Capítulo 5: São apresentados os resultados dos monitoramentos segundo a ótica de comparativo com a legislação aplicável, os resultados da aplicação dos índices individualmente, o comparativo entre índices, a análise comparativa da legislação com os índices e, por fim, a definição dos limites para lançamento de efluentes a serem observados pelo empreendimento.
- Capítulo 6: Refere-se às conclusões.
- Capítulo 7: Refere-se às recomendações.

Após as recomendações encontram-se relacionadas às referências bibliográficas, utilizadas para o desenvolvimento dessa dissertação.

## **2. OBJETIVOS DO TRABALHO**

O presente trabalho tem como objetivo a aplicação de índices de qualidade de água para avaliação ambiental de área de futuro uso industrial localizada em Três Lagoas/MS.

Como objetivos específicos esperam-se realizar:

- O diagnóstico das águas superficiais da área em estudo e sua avaliação em relação aos limites definidos na Resolução 357 de 17 de março 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA);
- O diagnóstico das águas subterrâneas da área em estudo e sua avaliação em relação à Resolução CONAMA 420 de 28 de dezembro de 2009;
- A aplicação de índices de qualidade de águas superficiais e a avaliação dos resultados obtidos por cada metodologia de cálculo;
- A análise comparativa dos resultados obtidos entre os índices de qualidade de águas superficiais;
- A análise comparativa dos limites propostos pela Resolução CONAMA 357/2005 e o cálculo dos índices de qualidade de águas superficiais;
- A definição dos valores limites de lançamento de efluentes a serem observados pelo empreendimento a fim de garantir a manutenção da qualidade de água no corpo hídrico avaliado.



### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Para o desenvolvimento do presente trabalho se faz necessário o conhecimento da fundamentação teórica que direciona a conservação dos recursos hídricos. Dessa forma, esse capítulo apresenta em primeiro plano as principais legislações em ambiente nacional e estadual e, em seguida, aborda os índices de qualidade de água e os resultados obtidos por diversos autores na tentativa de sintetizar, de forma simples e concisa, para o público em geral, as condições ambientais dos corpos de água.

#### **3.1 Aspectos Legais**

##### **3.1.1 O Código de Águas**

O Código de Águas, estabelecido pelo Decreto Federal n.º 24.643, de 10/7/34, consubstancia a legislação básica brasileira de águas. Considerado avançado pelos juristas, haja vista a época em que foi promulgado, necessita de atualização, principalmente para se ajustado à Constituição Federal de 1988, à Lei n.º 9.433, de 8/1/97, e de regulamentação de muitos de seus aspectos. Segundo MELGES (2005) a lei ainda é considerada boa e aplicável, carecendo de fiscalização e sanções aos infratores.

O referido Código assegura o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente de água para as primeiras necessidades da vida e permite a todos usar as águas públicas, conformando-se com os regulamentos administrativos. Impede a derivação das águas públicas para aplicação na agricultura, indústria e higiene sem a existência de concessão, no caso de utilidade pública, e de autorização nos outros casos; em qualquer hipótese, dá preferência à derivação para abastecimento das populações.

Define também, que a recuperação de águas contaminadas será realizada à custa dos infratores que, além de responsabilizados criminalmente, se houver, responderão pelas perdas e danos que causarem e por multas que lhe forem impostas pelos regulamentos

administrativos. Esse dispositivo é visto como precursor do princípio usuário pagador, no que diz respeito ao uso para assimilação e transporte de poluentes.

Segundo LIMA (2007) o princípio do usuário-pagador estabelece que os recursos naturais devam estar sujeitos à aplicação de instrumentos econômicos para que o seu uso e aproveitamento se processem em benefício da coletividade, definindo valor econômico ao bem natural. A apropriação desses recursos por parte de um ou de vários entes privados ou públicos devem favorecer a coletividade o direito a uma compensação financeira.

### 3.1.2 A Política Nacional do Meio Ambiente

A Política Nacional do Meio Ambiente foi estabelecida através da Lei 6.938, de 31/8/81, e tem como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar no País, condições para o desenvolvimento socioeconômico, os interesses da segurança nacional e a proteção da dignidade da vida humana. É válido notar que o conceito de Sustentabilidade aparece implícito dentre os objetivos da Política Nacional do Meio Ambiente quando esta deixa claro que devem ser garantidas condições de preservação em conjunto com o desenvolvimento socioeconômico.

Entre os princípios adotados pela citada lei pode ser destacada, em função do contexto do presente trabalho, a consideração do meio ambiente como patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo e sustentável da água, assim como de outros recursos ambientais, bem como o planejamento e a fiscalização do uso de recursos ambientais. Quanto aos objetivos, vale mencionar à menção a necessidade do estabelecimento de critérios e padrões de qualidade ambiental e de normas relativas ao uso e manejo dos recursos ambientais.

### 3.1.3 Os Preceitos Constitucionais

A Constituição Federal de 1988 estabelece que "são bens da União os lagos, rios e quaisquer correntes em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado da federação, sirvam de limite com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais". Estabelece, ainda, como "bens dos Estados, as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes ou em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União".

Constituem competência comum da União, dos Estados e dos Municípios, protegerem o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; promover a melhoria das condições e fiscalizar as concessões de direitos de exploração de recursos hídricos em seus territórios; e legislar concorrentemente sobre defesa do solo e dos recursos naturais, proteção do meio ambiente e controle da poluição, responsabilidade por dano ao meio ambiente e proteção e defesa da saúde.

### 3.1.4 A Política Nacional de Recursos Hídricos

A Lei Federal n.º 9.433, de 8/1/97, institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Essa Lei traz seis fundamentos:

- I. A água é um bem de domínio público;
- II. A água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III. Em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é para o consumo humano e de animais;
- IV. A gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

- V. A bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI. A gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Para o completo entendimento desta importante legislação é importante destacar que, segundo ROCHA (1997), entende-se por bacia hidrográfica como a área que drena as águas de chuvas por ravinas, canais e tributários, para um curso principal, com vazão efluente convergindo para uma única saída e desaguando diretamente no mar ou em um grande lago.

A fim de garantir a correta aplicação dos fundamentos propostos, a Política Nacional de Recursos Hídricos definiu os seguintes instrumentos:

- I. Os Planos de Recursos Hídricos;
- II. O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III. A outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV. A cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V. A compensação a municípios (Vetado);
- VI. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos são planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos. O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água, visa assegurar às águas qualidade compatível com os usos mais exigentes a que forem destinadas e diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes. Já o regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo do uso da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. A cobrança pelo uso de recursos hídricos objetiva reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, incentivando a racionalização do uso da água e obtendo recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados

nos planos de recursos hídricos. O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos é o sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.

### 3.1.5 Balneabilidade das Águas

A Resolução CONAMA 274, de 29/11/00, especifica critérios sobre balneabilidade de águas, sendo esta definida como o estudo da qualidade das águas destinadas à recreação de contato primário.

Recreação de contato primário deve ser entendida como um contato direto e prolongado com a água (natação, mergulho, esqui-aquático, etc.), onde a possibilidade de ingerir quantidades significativas de água é expressiva. O estudo da balneabilidade de uma praia, por exemplo, compreende a medida das condições sanitárias, objetivando a sua classificação em PRÓPRIA e IMPRÓPRIA para o banho, em conformidade com as especificações pré determinadas pela Resolução supracitada.

### 3.1.6 A Agência Nacional de Águas (ANA)

A Lei 9.984, de 17/7/00, dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Segundo LERMONTOV (2009), através da criação da Agência, o governo demonstra o interesse em sistematizar a utilização dos recursos hídricos da União, o que é fator preponderante no desenvolvimento do país neste início de milênio.

### 3.1.7 O Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos

A Resolução ANA 317 de 26/8/03 instituiu o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), para registro obrigatório de pessoas físicas e jurídicas de direito público ou privado usuárias de recursos hídricos.

O CNARH integra o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos e contém informações sobre a vazão utilizada, local de captação, denominação e localização do curso de água, empreendimento do usuário, sua atividade ou a intervenção que pretende realizar, como derivação, captação e lançamento de efluentes, a serem prestadas pelos usuários de recursos hídricos.

### 3.1.8 Portaria 518/2004

A Portaria 518 do Ministério da Saúde, publicada em 25/3/04, rege especificamente sobre a qualidade da água para o consumo humano. A legislação traz em diversas tabelas os parâmetros e seus respectivos limites a serem considerados quando da avaliação da qualidade da água para consumo humano.

Segundo MINISTÉRIO DA SAÚDE (2005), esta legislação define como regra geral que toda água destinada ao consumo humano deve obedecer ao padrão de potabilidade e está sujeita à vigilância da qualidade da água para consumo humano. Ou seja, sob a ótica da avaliação de riscos à saúde, mesmo as fontes individuais de abastecimento devem receber atenção das autoridades de saúde pública, sendo que somente sobre as formas coletivas de abastecimento incidem as diversas exigências de controle da qualidade da água para consumo humano. Dentre estas, cabe aos respectivos responsáveis manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, observar o preceito da promoção de boas práticas em todo o sistema de produção e abastecimento de água e prestar contas ao setor de saúde e ao público consumidor.

Esta Portaria encontra-se atualmente em processo final de revisão pelo Ministério da Saúde e em tramitação nas instâncias colegiadas do Sistema Único de Saúde (SUS) com o Grupo Técnico de Vigilância em Saúde e a Comissão Intergestora Tripartite. O encerramento do processo de revisão da Portaria do Ministério da Saúde Nº 518/2004 se dará com a publicação, no Diário Oficial da União (DOU), da nova norma de potabilidade da água para consumo humano.

### 3.1.9 Resolução CONAMA 357/2005

A Resolução CONAMA 357, de 17/3/05, 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.

Essa legislação vem sendo constantemente atualizada – alterada por meio das Resoluções CONAMA 370/06, 397/08, 410/09 e 430/11 e possui grande destaque tendo em vista que atualizou a Resolução CONAMA 20/86 e, atualmente, determina em âmbito nacional, a classificação dos corpos de água, dividindo as águas em três tipos:

- I. águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 %
- II. águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 % e inferior a 30 %
- III. águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 %

No que diz respeito às águas doces, caso específico do presente trabalho, estas são subdivididas em cinco classes:

- 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 nº 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 nº 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 aqüicultura 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.

Segundo LERMONTOV (2009), essa legislação apresenta falhas ao tratar e considerar resultados isolados de variáveis analíticas de monitoramento para o enquadramento das



águas dentro das classes pré-determinadas, sendo que a qualidade da água, por definição, se caracteriza pelo conjunto de características físicas, químicas e biológicas do corpo hídrico e não apenas por cada variável analisada separadamente.

#### 3.1.10 Resolução CONAMA 396/2008

A Resolução CONAMA 396, de 03/04/08, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento, prevenção e controle da poluição das águas subterrâneas

A Resolução estabeleceu valores máximos permitidos para diversos parâmetros em função do uso pretendido das águas subterrâneas e classificou as águas subterrâneas em cinco classes:

- I. Classe Especial: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
- II. Classe 1: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- III. Classe 2: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
- IV. Classe 3: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir

tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;

- V. Classe 4: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e
- VI. Classe 5: águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

#### 3.1.11 Resolução CONAMA 420/2009

A Resolução CONAMA 420, de 28/12/09, dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo e águas subterrâneas quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Considerando a necessidade de prevenção da contaminação do solo, visando à manutenção de sua funcionalidade e a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas, essa recente resolução é considerada pela comunidade técnica como um grande avanço no gerenciamento ambiental de áreas contaminadas e para a manutenção da qualidade de águas subterrânea.

### 3.1.12 Resolução CONAMA 430/2011

A Resolução CONAMA 430, de 13/5/11, tem especial importância, pois complementa a Resolução 357/05, dispondo sobre condições e padrões de lançamento de efluentes.

Como pontos de destaque desta nova legislação pode-se considerar a fixação, a nível federal, de valores de remoção (60%) para Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5,20</sub>) e no caso do esgoto sanitário a determinação do valor de 120 mg/L como limite máximo de lançamento de DBO<sub>5,20</sub>. Nos artigos 18 e 19 torna claro o limite a ser atendido em termos de toxicidade e em seu artigo 26 estabelece que os laboratórios a serem utilizados para realização das análises de qualidade dos efluentes devem ser acreditados pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) ou minimamente credenciados pelos órgãos ambientais.

### 3.1.13 A Política Estadual de Recursos Hídricos

O Estado de Mato Grosso do Sul instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e criou o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos mediante a Lei nº 2.406 de 29 de janeiro de 2002, seguindo os mesmos princípios e diretrizes estabelecidas na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997.

O Conselho Estadual de Recursos Hídricos é o órgão de instância superior desse Sistema, regulamentado pelo Decreto nº 11.621 de 01 de junho de 2004 e reorganizado pelo Decreto nº 12.366, de 5 de julho de 2007, de caráter normativo, deliberativo e consultivo. A composição deste Conselho assegura a participação paritária dentre membros do poder público, representantes de organizações civis e de usuários dos recursos hídricos.

A Lei nº 2.406/2002, que instituiu a Política Estadual dos Recursos Hídricos e criou o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, tem por finalidade (art. 2º):

- I. assegurar, em todo o território do Estado, a necessária disponibilidade de água, para os atuais usuários e gerações futuras, em padrões de qualidade e quantidade adequados aos respectivos usos;
- II. promover a compatibilização entre os múltiplos e competitivos usos dos recursos hídricos, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III. promover a prevenção e defesa contra os eventos hidrológicos críticos, de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais, que ofereçam riscos à saúde e à segurança pública ou prejuízos econômicos ou sociais;
- IV. incentivar a preservação, conservação e melhoria quantitativa e qualitativa dos recursos hídricos.

São princípios da mesma Lei (art. 3º):

- I. a água é um recurso natural limitado, bem de domínio público e dotado de valor econômico;
- II. todos os tipos de usuários terão acesso aos recursos hídricos, devendo a prioridade de uso observar critérios sociais, ambientais e econômicos;
- III. adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de implementação da Política Estadual dos Recursos Hídricos e atuação do Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos;
- IV. a gestão dos recursos hídricos do Estado será descentralizada e deverá contar com a participação do Poder Público, dos usuários e da comunidade.

Parágrafo único. O uso prioritário dos recursos hídricos é para o consumo humano e a dessedentação de animais.

Finalmente, quanto às águas subterrâneas de domínio do Estado, o regime jurídico que disciplina sua administração, proteção e conservação é o constante da Lei nº 3.183/2006. Ressalta-se a exigência de licenciamento ambiental para execução das obras destinadas à captação de água subterrânea.

### 3.1.14 O Plano Estadual de Recursos Hídricos

O Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul foi aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), por meio da Resolução CERH-MS nº 011 de 5 de novembro de 2009, publicado no Diário Oficial do Estado de Mato Grosso do Sul nº 7.598 de 7 de novembro de 2009. Este instrumento foi criado no sentido de orientar o planejamento e a implementação da Política Estadual de Recursos Hídricos.

A elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul foi coordenada pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) e pode ser considerado um marco na gestão de recursos hídricos do estado.

### 3.2 Índices de Qualidade de Água

Segundo SARGAONKAR e DESHPANDE (2003), a qualidade da água pode ser definida por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos e a certeza desta qualidade é crucial antes de designá-la para os mais diversos propósitos, tais como o uso como água potável, para a agricultura, recreação, indústria, entre outras.

Os teores máximos de impurezas permitidos na água, ou os valores máximos para cada parâmetro avaliado, são estabelecidos em função dos usos a que a água se destina. Esses teores constituem os padrões de qualidade, os quais são fixados por entidades públicas, como o objetivo de garantir que a água a ser utilizada para um determinado fim não contenha impurezas que venham a prejudicá-lo (GONÇALVES, 2009)

Os parâmetros considerados para avaliação da qualidade das águas podem ser divididos em categorias:

- Características Químicas: Atribuídas à presença de substâncias químicas.
  - ✓ Parâmetros Orgânicos: Benzeno, Glifosato, Tricloroetano, etc.
  - ✓ Parâmetros Inorgânicos: Fósforo, Mercúrio, Nitrato, Cianeto, etc.
  
- Características Biológicas: Atribuídas à presença ou teste com seres vivos.
  - ✓ Microbiológicas: Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, etc.
  - ✓ Hidrobiológicas: Clorofila a, fitoplâncton, zooplâncton, bentos, etc.
  - ✓ Toxicológicas: Microcistinas e ensaios de toxicidade
  
- Características Físicas: Atribuídas à presença de sólidos e gases. Os parâmetros sólidos totais, sólidos dissolvidos, temperatura, turbidez e outros, fazem parte da listagem de parâmetros avaliados nesta categoria.

Na seção 3.1 foram brevemente descritas as principais legislações aplicáveis ao presente trabalho, onde se destacam, em termos da definição de valores máximos para cada parâmetro, a Portaria 518 do Ministério da Saúde e as Resoluções do CONAMA 274, 357, 396, 420 e 430. Essas legislações são instrumentos básicos para a avaliação da

qualidade das águas no cenário nacional. É importante ainda destacar que cada estado pode estabelecer padrões próprios, sendo que estes deverão observar a compatibilidade entre os valores fixados pelo estado e os valores em nível nacional, prevalecendo sempre o valor mais restritivo para fins de análise.

Diferentemente da quantidade de água, que pode ser expressa em valores precisos, a qualidade da água é avaliada segundo diversos parâmetros. A utilidade da aplicação dos Índices de Qualidade de Água encontra-se na possibilidade de agregar estes parâmetros em um único número que representa todo o período de análise. Neste sentido, os IQAs tornam-se uma ferramenta valiosa na transmissão do conhecimento científico para o público em geral (TERRADO *et al.*, 2010).

Segundo LERMONTOV (2009), os índices de qualidade de água não são um instrumento de avaliação de atendimento à legislação ambiental e sim de comunicação para o público das condições ambientais dos corpos hídricos. Pelo seu caráter reducionista, em que vários parâmetros são convertidos em uma nota ou avaliação única, os índices são bastante polêmicos, uma vez que mascaram a multiplicidade de condições que ocorrem em um corpo hídrico. Por outro lado, a capacidade de síntese proporcionada por um índice, desde que entendidas suas limitações intrínsecas, é de grande valia para a comunicação com o público. Os índices não devem ser supervalorizados, mas, desde que bem empregados, podem ser de grande utilidade.

Desta forma, como conceito, podemos entender que o IQA é um número adimensional que exprime a qualidade da água para diversos fins de forma sintetizada. Esse número é obtido por meio de metodologias e formulações específicas e pode ser composto por parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, além de valores econômicos, que transferem informações de um sistema a outro, levando à melhoria na tomada de decisões (SANTOS & FLORENCIO, 2001).

Na literatura existem diversos índices de qualidade de águas disponíveis, podendo estes ser subdivididos em função das características da água que estes levam em consideração em sua metodologia de cálculo e do uso pretendido da água. O Quadro 1, adaptado de TERRADO *et al.* (2010), reúne alguns dos índices existentes subdivididos em função das características utilizadas para seu cálculo e o uso pretendido.

**Quadro 1:** Índices de Qualidade de Água

<i>Características Consideradas</i>	<i>Uso do Índice</i>	<i>Índice</i>
Físico-Químicas	Qualidade da Água em Geral	Índice de Horton
		Índice da National Sanitation Foundation
		Índice CETESB
		Índice de Poluição Implícita de Prati
		Índice de Qualidade de Água de Dinius
		Índice de Qualidade de Águas Universal
		Índice Simplificado
		Índice Subjetivo - Objetivo
		Índice Mínimo
	Usos Específicos	Índice de Stoner
		Índice de O'Connor
		Índice de Poluição de Nemerow e Sumitomo
		Índice para Recreação de Walski e Parker
	Planejamento	Índice do Potencial de Poluição de Zoeteman
		Índice Nacional do Canadá de Inhaber
	Avaliação Estatística	Índice de avaliação não paramétrica de Harkin
Índice de Shin e Lam		
Biológicas	Macroinvertebrados	Biological Monitoring Working Party (BMWP)
		Índice Biológico de Familiar
	Peixes	Integridade Biológica
	Macrofitas	Índice de Macrofitas
Índice de Vegetação Aquática Macroscópica		
Hidromorfológicos	Habitat	Índice de Habitat Fluvial
	Conectividade	Índice de Conectividade Fluvial
	Vegetação	Índice de Vegetação Fluvial

Fonte: Adaptado de TERRADO *et al.* (2010)

Vale ressaltar que no quadro acima não considerou-se os índices toxicológicos, visto que tais índices visam medir o efeito tóxico de uma substância em particular e não a qualidade da água como um todo (TERRADO *et al.*, 2010).



Como descrito anteriormente, o presente trabalho tem como objetivo a aplicação de índices de qualidade de água para avaliação ambiental de área de futuro uso industrial localizada em Três Lagoas/MS. A seleção dos índices a serem utilizados levou em consideração a aplicação de Índices de Qualidade da Água em Geral devido à disponibilidade de parâmetros monitorados durante as etapas de projeto do empreendimento. Dessa forma, a seguir é apresentada a descrição dos índices físico-químicos de uso geral descritos no quadro acima, com a inclusão adicional do índice biológico BMWP, o qual, devido à disponibilidade de dados advindos do monitoramento, também pôde ser aplicado ao trabalho.

### 3.2.1 Índice de Horton

Proposto por Horton em 1965, sua fórmula consiste no somatório dos pesos ( $P_i$ ) dos parâmetros, multiplicados pela concentração encontrada em cada parâmetro analisado ( $I_i$ ); dividido pelo somatório dos pesos dos parâmetros ( $P_i$ ) que variam entre 1 e 4. No final, multiplica-se por um valor variável de 1 ou 0,5, que representa a presença de alta temperatura no corpo d'água ( $M1$ ) ou poluição visual ( $M2$ ). Tem como resultado final um valor único entre 0 a 100, sendo classificado de forma crescente em relação à sua qualidade (ROQUE *et al.*2002)

Segundo OTT (1978) o Índice de Horton leva em consideração as seguintes variáveis e pesos, conforme Quadro 2:

**Quadro 2:** Variáveis e Pesos para o Índice de Horton

<i>Variável (<math>I_i</math>)</i>	<i>Pesos (<math>P_i</math>)</i>
Oxigênio Dissolvido (OD)	4
Tratamento de Esgoto (% da população)	4
pH	4
Coliformes Totais	2
Condutividade	1
Óleos e Graxas (OG)	1
Alcalinidade	1
Cloreto	1
M1 (temperatura normal)	1
M1 (temperatura anormal)	0,5
M2 (sólidos sedimentáveis < 0,1mg/L)	1
M2 (sólidos sedimentáveis > 0,1mg/L)	0,5

### 3.2.2 Índice de Qualidade de Água – NSF / CETESB

O IQA CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental de São Paulo) foi adaptado em 2006 a partir do IQA NSF, desenvolvido nos Estados Unidos pela National Sanitation Foundation (NSF) e consiste em atribuir uma nota à qualidade da água, podendo esta variar entre zero e cem. A criação do IQA NSF se baseou em pesquisa de opinião feita com 142 especialistas, os quais indicaram os parâmetros que deveriam ser medidos, bem como sua importância relativa. Dos trinta e cinco parâmetros indicados inicialmente, acabaram sendo considerados nove parâmetros para a metodologia de cálculo:

- *Oxigênio Dissolvido - OD*

O oxigênio proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais. A taxa de introdução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende das características hidráulicas e é proporcional à velocidade. Outra fonte importante de oxigênio nas águas é a fotossíntese de algas. Uma adequada provisão de oxigênio dissolvido é essencial para a manutenção de processos de autodepuração em sistemas aquáticos naturais. Através de medição do teor de oxigênio dissolvido, os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras, durante a oxidação bioquímica, podem ser avaliados. Os níveis de oxigênio dissolvido também indicam a capacidade de um corpo hídrico natural manter a vida aquática.

- *Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO<sub>5,20</sub>*

A DBO<sub>5,20</sub> pode ser entendida como a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar biologicamente a matéria orgânica presente em uma amostra, após um tempo dado - tomado para efeito de comparação em 5 dias - e a uma temperatura padrão de 20°C, também para efeito de comparação.

- *Coliformes Fecais*

Os Coliformes fecais constituem um subgrupo de bactérias que se caracterizam por serem tolerantes a temperaturas mais elevadas, sendo praticamente em sua totalidade de origem fecal. Dessa forma, este parâmetro indica a presença de bactérias associadas às fezes de animais de sangue quente e ao solo. Esta variável assume grande importância, pois é indicadora da presença de microorganismos patogênicos e da potencialidade de transmissão de doenças.

- *Temperatura*

Os gradientes de densidade do meio aquático dependem dos gradientes de temperatura associados. Além disso, a temperatura pode exercer grande influência na concentração de vários constituintes, alterando taxas de reações químicas, taxas de natalidade e de mortalidade de espécies, modificando concentrações de saturação de gases e taxas de volatilização, entre outras. Assim, a temperatura influencia na dinâmica dos processos aquáticos como um todo, como por exemplo, no processo de dissolução do oxigênio na água.

- *pH*

O termo pH é usado universalmente para expressar a intensidade de uma condição ácida ou alcalina de uma solução. Mede a concentração do íon hidrogênio, sendo que os valores de pH variam em uma escala de 0 a 14, sendo que o valor 7 representa uma amostra neutra, onde os íons de  $H^+$  e  $OH^-$  estão em equilíbrio. Valores abaixo de 7 representam uma amostra ácida e acima de 7 uma amostra alcalina. Este parâmetro influencia diretamente sobre a fisiologia das espécies e indiretamente pode ser determinante para a precipitação de elementos químicos tóxicos, como por exemplo, os metais pesados. Dessa forma, é importante para a proteção da vida aquática a manutenção de níveis adequados de pH nos cursos de água.

- *Nitrogênio total*

Os compostos de nitrogênio são nutrientes para os processos biológicos e, quando descarregados nas águas naturais, provocam o enriquecimento do meio, tornando-o mais fértil e possibilitando a multiplicação dos seres vivos. Cabe ressaltar que o excesso de nutrientes pode levar ao elevado consumo de oxigênio dissolvido, sendo este de grande importância para a manutenção dos seres vivos. O nitrogênio está naturalmente associado à decomposição de matéria orgânica de origem vegetal e animal. Como fontes antropogênicas mencionam-se o lançamento de efluentes industriais, domésticos e águas contaminadas pelo uso de fertilizantes.

- *Fósforo total*

Assim como o nitrogênio, o fósforo é um nutriente para os processos biológicos. Também como o nitrogênio, o excesso de fósforo pode levar à eutrofização das águas naturais. O fósforo está naturalmente associado à decomposição de matéria orgânica de origem vegetal e animal. Outra fonte natural associada à presença de fósforo são as rochas fosfóricas, sendo estas inclusive exploradas comercialmente para produção de compostos ricos em fósforo a serem utilizados na agricultura. Como fontes antropogênicas, mencionam-se o lançamento de efluentes industriais de indústrias de limpeza e detergentes. Os efluentes domésticos e águas contaminadas por fertilizantes também constituem fontes de fósforo.

- *Sólidos totais*

Corresponde a toda matéria que permanece como resíduo após a evaporação a 103°C de uma amostra de água em tempo pré-fixado. Os sólidos podem ser de origem natural, como por exemplo, provenientes da drenagem superficial de partículas quando da ocorrência de chuva. Podem ainda ser de origem antropogênica, quando contidos no lançamento de efluentes industriais e domésticos. O lançamento de sólidos nos corpos de água pode resultar no assoreamento, elevação da turbidez e alteração de coloração.

- *Turbidez*

É o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar a água devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas de areia e detritos orgânicos, tais como algas e bactérias. Como fontes naturais podem ser mencionadas a presença de algas, o escoamento superficial de sólidos devido a chuvas e a própria dissolução de partículas de rochas presentes nos corpos de água. Como fontes antropogênicas citam-se os lançamentos de efluentes.

O cálculo do IQA CETESB é dado através de produtório, conforme expressão abaixo:

Onde:

- IQA: Índice de Qualidade de Água (um número adimensional entre 0 e 100);
- $q_i$ : a qualidade da  $i$ -ésima variável analítica, um número normalizado, entre 0 e 100, obtido através da respectiva "curva média de variação de qualidade" em função da concentração ou medida;
- $w_i$ : peso correspondente a  $i$ -ésima variável analítica, um número entre 0 e 1, atribuído em função da importância para a conformação global da qualidade, sendo que o somatório de todos os pesos relativos deve ser igual a um.

Para a realização do cálculo do  $w_i$  a cada parâmetro foi atribuído um peso, listado no Quadro 3, de acordo com sua importância relativa.

**Quadro 3:** Peso dos parâmetros utilizados no cálculo do IQA CETESB

<i>Parâmetro</i>	<i>Unidade</i>	<i>Peso (<math>w_i</math>)</i>
Oxigênio Dissolvido	%	0,17
Coliformes Fecais	NMP/100mL	0,15
pH	-	0,12
DBO	mg/L	0,10
Nitrogênio	mg/L N	0,10
Fósforo	mg/L P	0,10
Temperatura	°C	0,10
Turbidez	UNT	0,08
Sólidos totais	mg/L	0,08

Fonte: CETESB (2006)

O Quadro 4 apresenta as fórmulas utilizadas para o cálculo do IQA CETESB.

**Quadro 4:** Fórmulas para cálculo de  $q_i$  – IQA CETESB

<i>Parâmetro</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Fórmula de <math>q_i</math></i>
Log <sub>10</sub> (C - Coliformes)	0	1	$100 - 33 \times \log_{10}C$
	1	5	$100 - 37,2 \times \log_{10}C + 3,60743 \times \log_{10}C^2$
	5		3
pH	0,0	2,0	2
	2,0	4,0	$13,6 - 10,6 \times \text{pH} + 2,4364 \times \text{pH}^2$
	4,0	6,2	$155,5 - 77,36 \times \text{pH} + 10,2481 \times \text{pH}^2$
	6,2	7,0	$-657,2 + 197,38 \times \text{pH} - 12,9167 \times \text{pH}^2$
	7,0	8,0	$-427,8 + 142,05 \times \text{pH} - 9,696 \times \text{pH}^2$
	8,0	8,5	$216 - 16 \times \text{pH}$
	8,5	9,0	$1415823 \times \text{EXP}(-1,1507 \times \text{pH})$
	8,0	10,0	$228 - 27 \times \text{pH}$
	10,0	12,0	$633 - 106,5 \times \text{pH} + 4,5 \times \text{pH}^2$
	12,0	14,0	3
DBO <sub>5,20</sub>	0	5	$99,96 \times \text{EXP}(-0,1232728 \times \text{DBO})$
	5	15	$104,67 - 31,5463 \times \log_{10}\text{DBO}$
	15	30	$4394,91 \times \text{DBO}^{1,99809}$
	30		2
Nitrogênio Total (N)	0	10	$100 - 8,169 \times N + 0,3059 \times N^2$
	10	60	$101,9 - 23,1023 \times \log_{10}N$
	60	100	$159,3148 \times \text{EXP}(-0,0512842 \times N)$
	100		1
Fósforo (P)	0	1	$99 \times \text{EXP}(-0,91629 \times P)$
	1	5	$57,6 - 20,178 \times P + 2,1326 \times P^2$
	5	10	$19,8 \times \text{EXP}(-0,13544 \times P)$
	10		5
Temperatura	-		94 (assumindo valor constante por se considerar que nas condições brasileiras a temperatura dos corpos de água não se afasta da temperatura de equilíbrio)

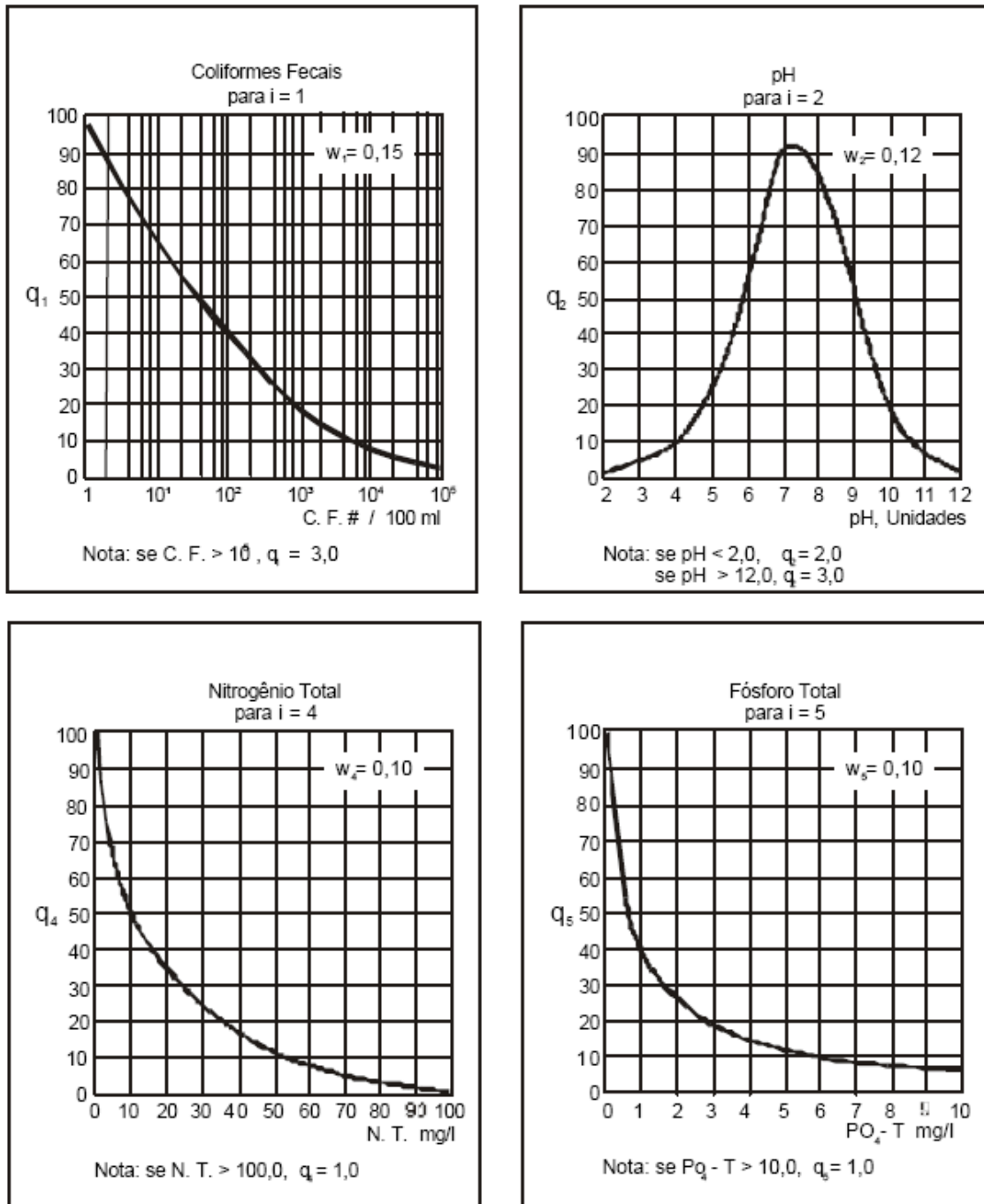


**Quadro 4 (continuação):** Fórmulas para cálculo de  $q_i$  - IQA-CETESB

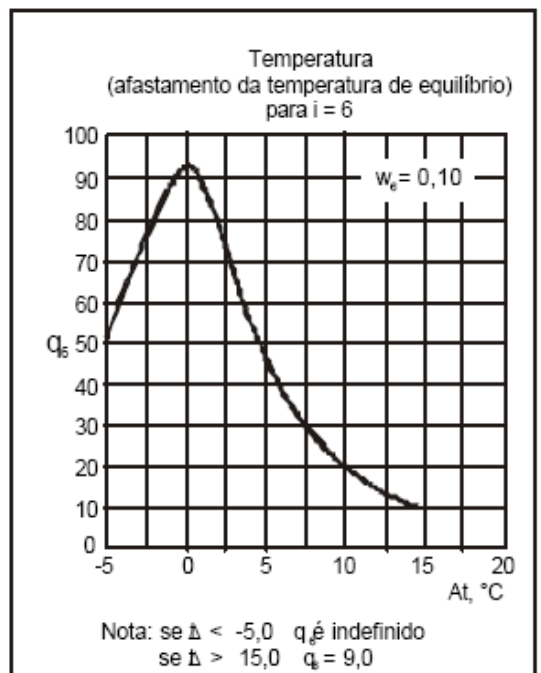
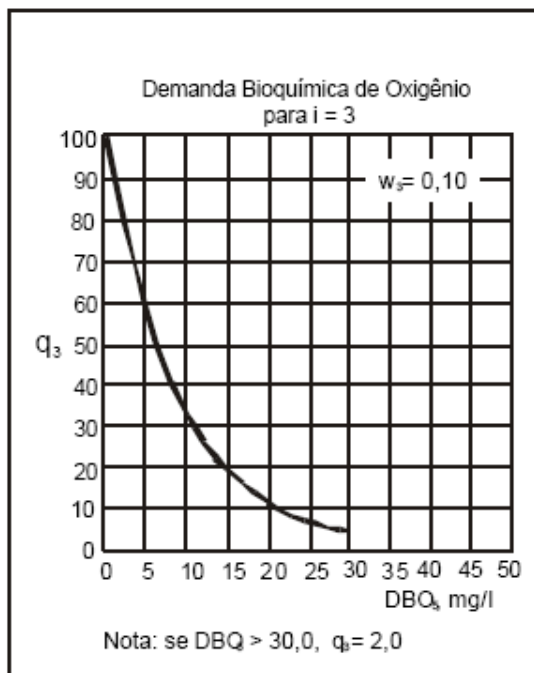
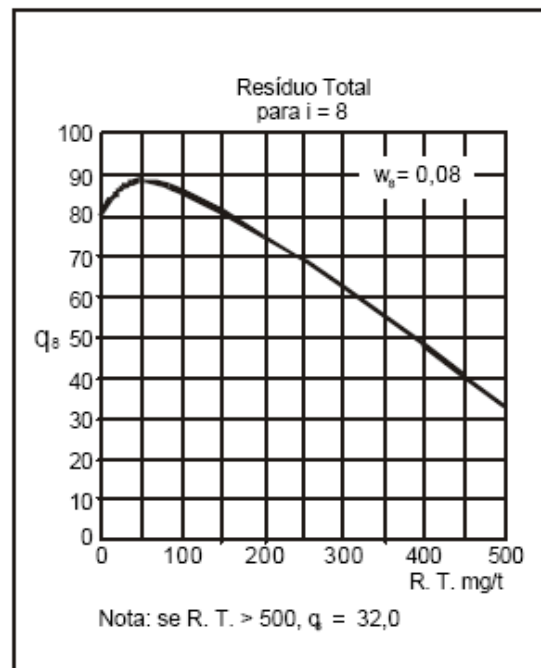
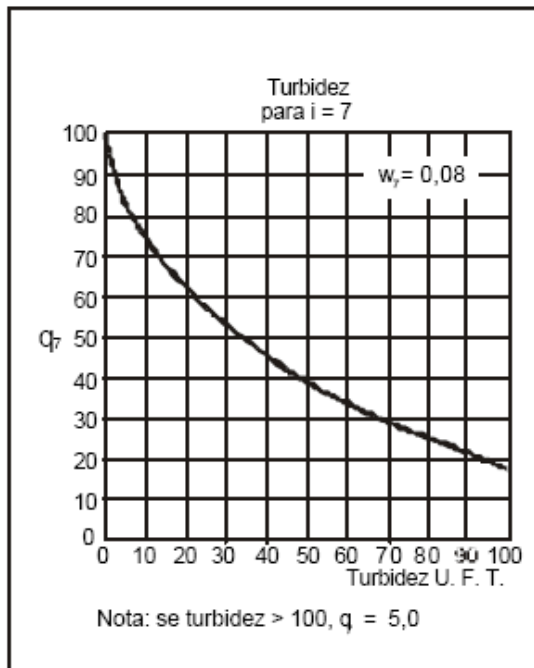
<i>Parâmetro</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Fórmula de <math>q_i</math></i>
Turbidez (T)	0	25	$100,17 - 2,67 \times T + 0,03775 \times T^2$
	25	100	$84,76 \times \text{EXP}(-0,016206 \times T)$
	100		5
Sólidos Totais (RS)	0	150	$79,75 + 0,166 \times RS - 0,001088 \times RS^2$
	150	500	$101,67 - 0,13917 \times RS$
	500		32
Percentual de Saturação de Oxigênio Dissolvido (OD)	0	50	$3 + 0,34 \times \%OD + 0,008095 \times \%OD^2 + 1,35252 \times 0,00001 \times \%OD^3$
	50	85	3
	85	100	$1,166 \times \%OD + 0,058 \times \%OD^2 - 3,803435 \times 0,00001 \times \%OD^3$
	100	140	$3 - 2,9 \times \%OD - 0,02496 \times \%OD^2 - 5,60919 \times 0,00001 \times \%OD^3$
	140		50
	Concentração de Saturação - Cs		$(14,62 - 0,3898 \times \text{Temp} + 0,006969 \times \text{Temp}^2 - 0,00005896 \times \text{Temp}^3) \times (1 - 0,0000228675 \times \text{Altitude})^{5,167}$
	Percentual de Saturação - %OD		$100 \times \text{Concentração de OD} / Cs$

Fonte: LERMONTOV (2009)

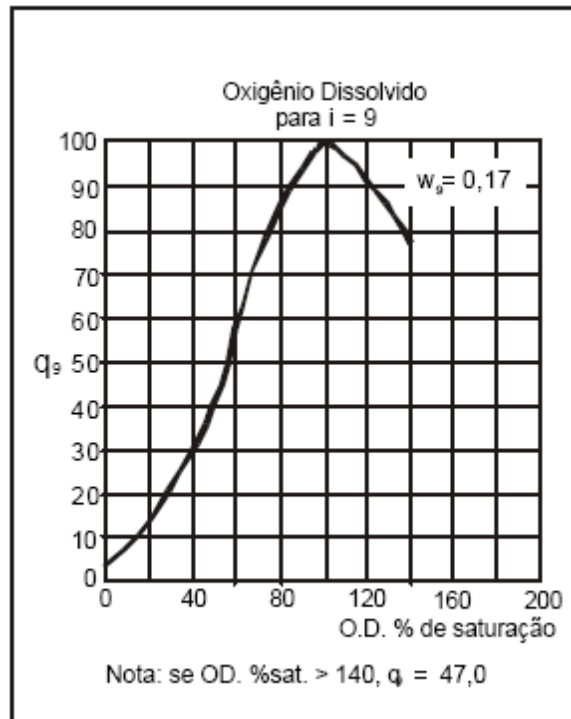
A Figura 3 apresenta as curvas normalizadas de  $q_i$  para as variáveis do IQA CETESB (CETESB, 2006).



**Figura 3** – Curvas de  $q_i$  – IQA CETESB



**Figura 3** – Curvas de  $q_i$  – IQA CETESB (Continuação)



**Figura 3** – Curvas de  $q_i$  – IQA CETESB (Continuação)

As curvas de  $q_i$  apresentam em seu eixo horizontal os valores de concentração monitorados, e em seu eixo vertical os valores normalizados, entre 0 e 100. Observa-se que o ponto onde o valor monitorado encontra a curva normalizada corresponde diretamente a um valor no eixo vertical, sendo este o valor aplicado como  $q_i$ .

O cálculo do IQA CETESB fica comprometido caso qualquer uma das nove variáveis envolvidas não esteja disponível, devido à função matemática do produtório. Essa é uma das maiores desvantagens encontradas nesta metodologia.

O Quadro 5 apresenta a classificação da água segundo o IQA CETESB

**Quadro 5:** Classificação da qualidade da água segundo o IQA CETESB

<i>Classificação</i>	<i>Resultado</i>
Excelente	$90 < \text{IQA} \leq 100$
Bom	$70 < \text{IQA} \leq 90$
Médio	$50 < \text{IQA} \leq 70$
Ruim	$25 < \text{IQA} \leq 50$
Muito Ruim	$0 < \text{IQA} \leq 25$

Fonte: CETESB, 2006

Diversos são os trabalhos encontrados na literatura que utilizaram da metodologia proposta para este índice, dentre os quais pode-se citar:

MACEDO *et al.* (2010) utilizou-se do índice IQA CETESB para realizar a avaliação da qualidade da água do rio dos Sinos, localizado no nordeste do Rio Grande do Sul e concluiu que os diferentes valores obtidos nos pontos de monitoramento sugeriam a existência de impacto ambiental causado pelo lançamento de efluentes sem tratamento de industriais metalúrgicas, de curtume e madeireira da região.

Utilizando o IQA CETESB, CAVALHO *et al.* (2000) avaliaram os impactos da atividade pecuária e agrícola na qualidade da água nas microbacias do Ribeirão da Onça e do Feijão, na região oeste do Estado de São Paulo, verificando variação sazonal da qualidade da água, com melhores resultados no período chuvoso. Também utilizando o IQA CETESB para trinta pontos de abastecimento do Distrito Federal - Brasília, BILICH & LACERDA (2005) verificaram que o padrão de qualidade da água foi bom ao longo de dez anos de estudo, ocorrendo redução da qualidade no período de chuva, em função do intenso escoamento superficial. Resultados do IQA CETESB, em Ribeirão Correias – Franca/SP, foram contrários aos obtidos no Distrito Federal, com redução no período de estiagem, em função da menor vazão de água e conseqüente aumento da concentração dos poluentes (JACINTHO, 2006).

FERREIRA *et al.*(2004) utilizou o IQA CETESB para a avaliar a qualidade das águas do ribeirão Ubá, em Minas Gerais, e conclui que a qualidade encontrava-se seriamente comprometida pelas atividades antrópicas, valendo-se de especial atenção para os péssimos resultados obtidos durante o monitoramento mesmo nas proximidades da captação para o abastecimento de água da cidade.

### 3.2.3 Índice de Poluição Implícita de Prati

Este índice foi proposto por L. Prati e outros autores em 1971 e baseia-se nos sistemas de classificação da qualidade de água utilizados em países da Europa e Estados Unidos (PRATI *et al.*, 1971).

O sistema de classificação envolve 13 poluentes com faixas de variações em 5 classes. Os limites superiores das quatro primeiras classes são 1, 2, 4 e 8, os quais correspondem a uma progressão geométrica. Funções matemáticas explícitas foram desenvolvidas para cada poluente, formando os sub-índices, consistentes com a faixa de classificação. As funções foram baseadas nos julgamentos dos autores quanto à severidade dos efeitos da poluição dentro de cada faixa. O Índice Implícito de Poluição de Prati considera as seguintes variáveis: Oxigênio Dissolvido, pH, Cloreto, DBO<sub>5,20</sub>, Amônia, Nitrato, Sólidos Suspensos, Demanda Química de Oxigênio, Ferro Total, Manganês, Permanganato, Condutividade e Surfactantes. (OTT, 1978).

A equação abaixo representa o cálculo do índice de Prati, sendo  $I_i$  o valor obtido a partir de cada variável monitorada, ou sub-índices:

—

### 3.2.4 Índice de Qualidade de Água de Dinius

Este índice foi inicialmente proposto por Dinius em 1972 em uma tentativa de projetar um sistema que medisse os custos e os impactos de esforços empreendidos para o controle de poluição. Por isso, ABBASI (2002) considera que o índice de Dinius é o precursor de índices voltados ao planejamento e a tomada de decisões.

Posteriormente alterado pelo próprio autor em 1987, consistindo a nova proposta no uso de 12 parâmetros para a formação do índice: Oxigênio Dissolvido,  $DBO_{5,20}$ , Coliforme Totais, E. Coli, pH, Alcalinidade, Dureza, Cloreto, Condutividade Específica, Temperatura, Cor e Nitrato. Assim como o índice de Horton este índice baseia-se em uma escala decrescente de qualidade, onde valores excelentes de qualidade correspondem ao valor máximo de 100 (ALMEIDA, 2007).

A equação abaixo representa o cálculo do índice de Dinius, sendo  $I_i$  o valor obtido para cada sub-índice e  $P_i$  o peso associado a cada parâmetro.

---



### 3.2.5 Índice Universal de Qualidade de Água

Segundo BOYACIOGLU (2006) o Índice Universal de Qualidade de Água (UWQI) foi concebido como um método simples para descrever a qualidade de águas superficiais utilizadas como fontes de água potável. O índice considera a legislação europeia para classificação das águas e baseia-se na utilização dos seguintes parâmetros: DBO<sub>5,20</sub>, Nitrato, Arsênio, Oxigênio Dissolvido, Fluoreto, Fósforo Total, Mercúrio, Selênio, Cianeto, Cádmio, pH e Coliformes Totais. Para cada parâmetro foi determinado um peso específico e equações que possibilitam a classificação das águas em uma escala de 0 a 100, sendo 100 o valor de melhor qualidade possível.

A equação abaixo representa o cálculo do índice de UWQI, sendo  $I_i$  o valor obtido para cada sub-índice e  $w_i$  o peso associado a cada parâmetro.

### 3.2.6 Índice Simplificado de Qualidade de Água

O Índice Simplificado de Qualidade de Água (SWQI) é utilizado desde 2006 pela Agencia Catalã de Águas (ACA, 2011) e baseia-se na utilização de cinco parâmetros físico-químicos para seu cálculo: Temperatura, Carbono Orgânico Total, Sólidos Suspensos, Oxigênio Dissolvido e Condutividade. Os valores de qualidade de água variam entre 0 e 100, sendo 100 o valor de melhor qualidade.

O cálculo do SWQI é realizado conforme a equação abaixo:

Sendo:

- SWQI: Índice Simplificado de Qualidade de Água (entre 0 e 100);
- T: Valor obtido através da temperatura (t), entre 0,8 e 1
  - Se  $t \leq 20^{\circ}\text{C}$ , então  $T = 1$
  - Se  $t > 20^{\circ}\text{C}$ , então  $T = 1 - (t - 20) * 0.0125$
- A: Valor obtido através do Carbono Orgânico Total (a), entre 0 e 30;
  - Se  $a \leq 5$ , então  $A = 30 - a$
  - Se  $12 \geq a > 5$ , então  $A = 21 - (0.35 * a)$
  - Se  $a > 12$ , então  $A = 0$
  - a expresso em C/L
- B: Valor obtido através dos Sólidos Suspensos (b), variando entre 0 e 25;
  - Se  $b \leq 100 \text{ mg/L}$ , então  $B = 25 - (0.15 * b)$
  - Se  $250 > b > 100 \text{ mg/L}$ , então  $B = 17 - (0.07 * b)$
  - Se  $b > 250 \text{ mg/L}$ , então  $B = 0$
- C: Valor obtido através do Oxigênio Dissolvido (c), variando entre 0 e 25;
  - $C = 2,5 * c$
  - Se  $c \geq 10 \text{ mg/L}$ , então  $C = 25$
- D: Valor obtido através da Condutividade (d), variando entre 0 e 20;
  - Se  $d \leq 4.000 \text{ mS/cm}$ , então  $D = (3,6 - \log_{10} d) * 15,4$
  - Se  $d > 4.000 \text{ mS/cm}$ , então  $D = 0$

### 3.2.7 IQA – Mínimo

O IQA Mínimo foi proposto por Pesce e Wunderlin (2000). Este índice é obtido através da média aritmética dos valores normalizados pelas Curvas Fernandes-Vitória (1997) dos parâmetros oxigênio dissolvido, turbidez e fósforo total, sendo que para este índice não são adotados pesos específicos para cada parâmetro. Os parâmetros utilizados no cálculo deste índice foram definidos anteriormente na seção 3.2.2, bem como as curvas de normalização, já apresentadas na Figura 3. O resultado final do IQA Mínimo varia entre 0 e 100 e segue a mesma classificação do IQA CETESB.

O cálculo do IQA Mínimo é realizado conforme a equação abaixo:

---

Sendo:

- $IQA_{\text{Mínimo}}$ : Índice Mínimo de Qualidade de Água
- A: Valor normalizado de oxigênio dissolvido
- B: Valor normalizado de turbidez
- C: Valor normalizado de fósforo total

### 3.2.8 IQA- Subjetivo & Objetivo

Conesa Fenandes-Vitora (1997) criou o índice denominado Subjetivo & Objetivo. A metodologia para cálculo deste índice é muito similar a praticada no IQA CETESB, com a diferença de que o resultado final do índice é formado pelo somatório das variáveis envolvidas e não pelo produtório. Esta formulação permite que um resultado seja gerado mesmo na ausência de alguma variável.

Ressalta-se ainda que para o cálculo do índice subjetivo é introduzida na formulação uma constante subjetiva denominada  $k$ , onde esta assume valores de 0,25 a 1, sendo 1 para águas aparentemente limpas e 0,25 para águas aparentemente contaminadas. Já para o cálculo do índice objetivo esta constante é eliminada da formulação.

---

Sendo:

- $IQA_{\text{Objetivo}}$ : Índice Objetivo de Qualidade de Água
- $IQA_{\text{Subjetivo}}$ : Índice Subjetivo de Qualidade de Água
- $q_i$ : a qualidade da  $i$ -ésima variável analítica, um número normalizado, entre 0 e 100, obtido através da respectiva "curva média de variação de qualidade" em função da concentração ou medida;
- $w_i$ : peso correspondente a  $i$ -ésima variável analítica, um número entre 0 e 1, atribuído em função da importância para a conformação global da qualidade, sendo que o somatório de todos os pesos relativos não necessita ser igual a um.
- $K$ : constante subjetiva (valor entre 0,25 e 1)

### 3.2.9 BMWP – Biological Monitoring Working Party

Os macroinvertebrados bentônicos constituem um instrumento adequado para estudos de impactos sobre ambientes aquáticos, pois refletem o estado de conservação ou degradação do ecossistema. Dentre as características que tornam estes organismos eficazes neste tipo de estudo destacam-se: abundância nos sistemas aquáticos, baixa mobilidade; maior permanência no ambiente, pois vivem de semanas a alguns meses no sedimento, possibilitando a explicação de padrões temporais de alterações causadas por perturbações; ampla variedade de tolerância a vários graus e tipos de poluição, funcionalidade como integradores das condições ambientais, estando presentes antes e após eventos perturbadores (ROSENBERG & RESH, 1993).

Para o cálculo deste índice, as famílias de macroinvertebrados estão ordenadas em 10 grupos, sendo conferido a cada grupo um valor numérico preestabelecido de acordo com sua tolerância à poluição. As pontuações são feitas de forma qualitativa e não quantitativa, de modo que, somente um exemplar é contado da respectiva família. A pontuação varia entre 1 e 10, onde as famílias intolerantes a poluição tem pontuações mais altas e famílias tolerantes tem pontuações mais baixas (ARMITAGE *et al.* 1983).

Por fim, o somatório da pontuação, em uma escala de 0 a 150, é interpretado conforme Quadro 6:

**Quadro 6:** Significado do método BMWP

<i>Faixa de Pontuação</i>	<i>Qualidade</i>	<i>Significado</i>
> 120	Excelente	Águas muito limpas
101 – 120	Excelente	Sem contaminação ou alteração de modo sensível
61 – 100	Boa	Alguns efeitos de contaminação
36 – 60	Regular	Contaminadas
16 – 35	Ruim	Muito Contaminadas
< 15	Péssima	Fortemente Contaminadas

Fonte: ALBA-TERCEDOR & SÁNCHEZ- ORTEGA (1996)

CZERNIAWSKA-KUSZA (2005) comparou a aplicação do índice BMWP e outros índices biológicos e concluiu que a fauna invertebrada investigada nos córregos e rios são sensíveis às condições ambientais e, portanto, podem ser utilizados como ferramentas de monitoramento para a avaliação da qualidade de águas.

### 3.2.10 O Efeito Eclipse

Uma desvantagem comumente associada ao uso dos índices de qualidade de águas é o chamado efeito eclipse. O eclipse ocorre quando uma determinada variável, ou parâmetro, apresenta uma condição extremamente ruim no ambiente em avaliação, porém o índice não reflete esta condição em seu resultado final (FLORES, 2002). É importante notar que este efeito pode ou não ocorrer em função da metodologia adotada para o cálculo do IQA e dos resultados de monitoramento.

Um exemplo desse efeito pode ser observado no evento descrito a seguir: Em 20 de Setembro de 1991, dez mil litros de ácido sulfúrico foram lançados diretamente no rio Tormes, na cidade de Salamanca, Espanha, causando a morte de aproximadamente vinte toneladas de peixes e deixando a água em condições impróprias para o consumo humano. Neste evento, foram coletadas diversas amostras de água ao longo do rio e, na compilação dos resultados através do uso de IQAs, o resultado apresentou valores superiores a 86, em uma escala de 0 a 100, sendo 100 o melhor resultado possível. Através dos valores obtidos pelo uso do índice foi possível concluir que o resultado final não pôde refletir a ocorrência real, uma vez que mesmo apresentado péssimos valores para a acidez da água – valores medidos de pH, os valores retrataram uma boa qualidade de água (FLORES, 2002).

Segundo SILVA & JARDIM (2006), o efeito eclipse resulta do processo de agregar diversas variáveis em um único número, podendo produzir atenuação do impacto negativo de uma ou mais variáveis frente ao bom comportamento das demais.

### 3.2.11 Comparativo Entre Índices

Por meio de pesquisa bibliográfica é possível observar que diversos trabalhos buscaram comparar os resultados obtidos entre índices existentes de forma a verificar a sensibilidade e/ou correlação entre estes.

PIMENTA *et al.*(2009) realizou a avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, no município de Rio Verde em Goiás através da utilização de três índices: Protocolo de avaliação ecológica rápida, Valor de Tolerância a Poluição (VTP) e o IQA CETESB e considerou que a utilização do conjunto de métodos de avaliação da qualidade da água e a correlação entre os métodos propiciaram a melhor interpretação dos resultados com a elaboração de uma avaliação mais consolidada.

CÓRDOBA *et al.* (2010) realizou a comparação entre a aplicação de um índice probabilístico com o índice proposto por PROVENCHER & LAMNONTAGNE (1997) e concluiu que os resultados eram correlacionados positivamente. Já para BOLLMANN & EDWIGES (2008) a aplicação do IQA NSF e o Índice de Habitat resultaram em informações distintas e complementares, contribuindo para ampliar o entendimento das transformações ocorridas na qualidade das águas superficiais do rio Belém.

ZANINI *et al.*(2010) realizou a caracterização da água da micro bacia do córrego Rico através da aplicação do índice de qualidade de água – IQA CETESB e do Índice de Estado Trófico (IET), concluindo que os resultados médios do IQA apresentaram relação direta com os valores médios do IET, porém ocorrendo maior discriminação da qualidade da água pelo IET, identificando diferentes graus de trofia para os pontos e períodos de amostragem.

IDE & FERREIRA (2010) realizaram a avaliação comparativa da sensibilidade do IQA HORTON, IQA SMITH e IQA NSF aplicados ao rio Miranda, Mato Grosso e concluíram que o IQA NSF e o IQA SMITH foram os que melhor representaram as condições de água do rio Miranda.



LERMONTOV (2009) propôs a criação de um novo índice de qualidade de água com uso da lógica e inferência nebulosa, o Índice Nebuloso de Qualidade das Águas (INQA). Em um sistema de inferência nebulosa, um valor numérico é nebulizado a um estado qualitativo e processado através de um processo de inferência, através de regras, conjuntos e operadores, numa esfera qualitativa, permitindo o uso de informações e dados que as outras metodologias não conseguem incluir e processar, como conhecimentos específicos, dados subjetivos, dados vagos e a experiência do especialista, permitindo que parâmetros e fatores qualitativos possam ser integrados e processados produzindo um resultado o mais similar possível ao mundo real. O resultado final foi comparado estatisticamente com índices tradicionais, como o IQA CETESB e apresentou correlação satisfatória. Como ponto de destaque ressalta-se que a metodologia proposta para cálculo do INQA pode ser uma alternativa aos modelos conceituais tradicionalmente utilizados, visto que apresenta facilidade em lidar com dados faltos e inexistentes, sem prejudicar o conceito da modelagem, gerando satisfatoriamente um resultado.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1 Área em Estudo

Três Lagoas é um município brasileiro da região Centro-Oeste, localizado no estado de Mato Grosso do Sul. Primitivamente habitadas pelos caiapós, as terras onde se localiza Três Lagoas foram devassadas, ao que se presume, por aventureiros paulistas, predadores de índios, que cruzaram os rios Paraná e Pardo por volta de 1632. A implantação de núcleos organizados teve lugar muito mais tarde, por colonos vindos de São Paulo e Minas Gerais. A cidade foi fundada por Antônio Trajano dos Santos, no alvorecer do século XX, em 19 de outubro de 1920, com a elevação da então vila de Três Lagoas a esta categoria através da Resolução estadual nº 820. A topografia local deu nome ao Município, pois ali se localizam três lagoas, situadas no perímetro suburbano da cidade, conforme mostra a Figura 4. (IBGE, 2011).



**Figura 4:** Três Lagoas - MS

Situada em um entroncamento das malhas viária, fluvial e ferroviária do Brasil, possui acesso privilegiado às regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país e a países da América do Sul. Devido a isto, à disposição de energia, água, matéria-prima e mão-de-obra, a cidade no momento passa por uma fase de transição econômica e rápida industrialização. Desde os anos 1990, muitas foram às indústrias que se instalaram na cidade, entre elas Mabel, uma das cinco maiores fabricantes de biscoito do país, Cortex, fabricante de tecidos e Metalfrio, empresa que atua no mercado de refrigeração comercial. No entanto, um dos maiores foi realizado pela companhia International Paper e pela Fibria, empresas do ramo de papel e celulose. Para os próximos anos ainda está prevista uma nova fábrica de fertilizantes, uma nova fábrica de celulose e uma siderúrgica.

Tendo em vista a grande quantidade de investimentos em execução e projetados para os próximos anos, é de especial importância que, ao selecionar uma área para a implantação de um novo projeto, esta seja avaliada com relação à sua qualidade de água, tanto superficial como subterrânea.

Dessa forma, tomaram-se por base os resultados obtidos por meio de monitoramento da qualidade da água superficial e subterrânea de um dos novos empreendimentos que se encontram previstos para a cidade. O programa de monitoramento, tanto de água superficial como de água subterrânea, foram exigidos como condicionantes do processo de licenciamento ambiental, sendo os parâmetros e pontos de monitoramento definidos diretamente pelo órgão ambiental em função de sua expertise em relação aos parâmetros mais críticos associados a possíveis lançamentos de efluentes e através da avaliação dos recursos hídricos existentes dentro da área de influência do empreendimento.

A Figura 5 apresenta a localização da cidade de Três Lagoas, distante aproximadamente 340 Km de Campo Grande/MS e 35 Km de Andradina/SP.



**Figura 5:** Localização de Três Lagoas

#### 4.1.1 Recursos Hídricos Superficiais

No território de Mato Grosso do Sul estão presentes duas das 12 Regiões Hidrográficas do Brasil, conforme definidas pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 32/2003: a Região Hidrográfica do Paraguai, constituída pela bacia do rio Paraguai, a oeste, e a Região Hidrográfica do Rio Paraná, constituída pela bacia do rio Paraná, a leste. Esta configuração delimita claramente no Estado o divisor de águas que se estende de nordeste a sudoeste (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL - SMAMS, 2010).

A Região Hidrográfica do Paraná ocupa a área total de 169.488,663 km<sup>2</sup>, o que representa aproximadamente 47,46% da área do Estado. Nesta Região, destacam-se os rios Aporé, Sucuriú, Verde, Pardo, Ivinhema, Amambai e Iguatemi, à margem direita do rio Paraná. O rio Paraná tem como principais formadores os rios Paranaíba e Grande, no tríplice limite entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul. A área de estudo situa-se na Bacia do Rio Paraná. A hidrografia da área apresenta como recurso hídrico um pequeno córrego, cuja área de drenagem corresponde a cerca de 1.500 ha. Este córrego apresenta curso de água de pequena vazão e pequena extensão, porém será de grande importância para o empreendimento visto que é o único recurso hídrico superficial nas proximidades (SMAMS, 2010).

Devido à pequena vazão disponível no córrego em estudo, este não é utilizado para abastecimento humano, sendo seu uso principal caracterizado pela dessedentação de animais, especialmente de gado criado na região.

#### 4.1.2 Recursos Hídricos Subterrâneos

Regionalmente a geologia é constituída pelas seguintes Formações Geológicas: Formação Serra Geral (Grupo São Bento), Formação Vale do Rio do Peixe e Formação Marília (Grupo Bauru) e Formação Santo Anastácio pertencente ao Grupo Caiuá. A estratigrafia da região indica que na base temos a Formação Serra Geral constituída por basalto e basalto andesítico de filiação toleítica, intercalados com camadas de arenitos e litoarenitos. Sobreposta à Formação Serra Geral, encontram-se os sedimentos da Formação Santo Anastácio caracterizada pela presença de arenitos quartzosos de granulometria muito fina a fina, seleção pobre e pouca matriz siltico-argilosa, com intercalação de argilite, cujo ambiente de formação é continental desértico e planícies de borda de maré. O Grupo Caiuá Indiviso é constituído por arenitos quartzosos a subarcoseano de granulometria fina a média. O ambiente de formação é definido como ambiental desértico: dunas eólicas, interdunas e lagos efêmeros. Os sedimentos quaternários são representados por areia, areia quartzosa, cascalho, silte, argila e localmente turfa. O ambiente de formação é continental fluvial (SALLUN *et al.*, 2007)

Na região, as unidades aquíferas disponíveis para exploração são representadas pela Formação Santo Anastácio que permite a extração de vazões médias da ordem de 30 a 45 m<sup>3</sup>/h, e a Formação Serra Geral com extração de vazão da ordem de 5 a 15 m<sup>3</sup>/h. Também localmente pode haver a ocorrência da unidade do Grupo Caiuá que apresenta vazões médias de 30 m<sup>3</sup>/h. A caracterização geológica e hidrogeológica da área permitem uma previsão de vazão média de 55 m<sup>3</sup>/h através da perfuração de poço tubular profundo abrangendo os aquíferos porosos e fissurais. Com relação ao lençol freático, na área do empreendimento, este se encontra a uma profundidade média de 13,4 m, variando de 8,4 m a 19,7 m (SMAMS, 2010).

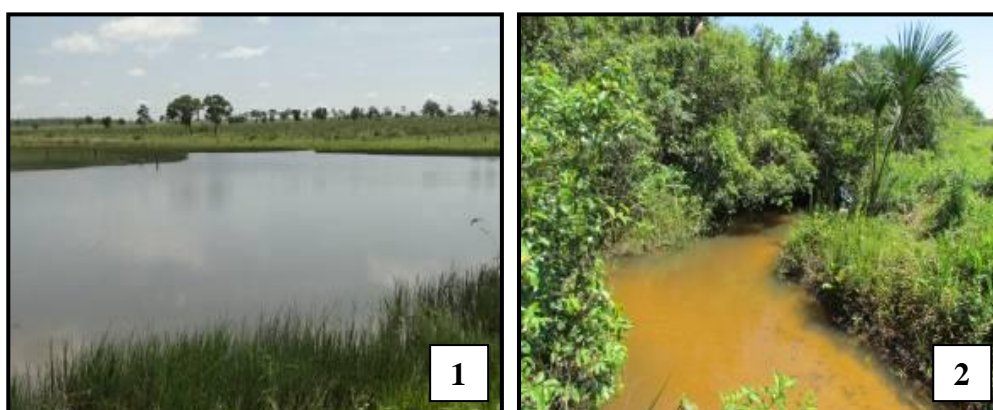
## 4.2 Monitoramentos Realizados

Em atendimento ao requisitado no processo de licenciamento do empreendimento em questão, a qualidade das águas superficiais foi avaliada trimestralmente, sendo a primeira campanha realizada em Novembro de 2010, a segunda em fevereiro de 2011 e a terceira em Maio de 2011. Para avaliação das águas superficiais foram utilizados dois pontos de monitoramento.

Os parâmetros físico-químicos monitorados foram: pH, Temperatura, Turbidez, Demanda Bioquímica Oxigênio – DBO<sub>5,20</sub>, Demanda Química de Oxigênio – DQO, Oxigênio dissolvido – OD, Óleos e Graxas – OG, Ferro Dissolvido, Manganês Total, Cloreto Total, Sólidos Dissolvidos e Totais, Coliformes Fecais, Nitrogênio Total e Fósforo Total.

Nos mesmos dois pontos onde foram monitorados os parâmetros físico-químicos, foi inventariada a comunidade bentônica semestralmente, sendo a primeira campanha realizada em Novembro de 2010 e a segunda campanha em Maio de 2011. Em relação ao empreendimento destaca-se que o Ponto 1 localiza-se a montante e o Ponto 2 a jusante do empreendimento e que, durante o período de monitoramento considerado no presente estudo, nenhuma modificação da área em estudo relacionada ao empreendimento havia sido executada.

As coletas, análise e os resultados de monitoramento utilizados no presente trabalho foram realizados através de empresa contratada pelo empreendimento para executar os programas de monitoramento de fauna e qualidade de águas. A Figura 6 mostra imagens dos pontos de Monitoramento de Recursos Hídricos 01 (20°47'54"S, 51°51'37"W) e 02 (20°49'41"S, 51°51'03"W).



**Figura 6** – Pontos de monitoramento 01 e 02

Com relação à avaliação dos recursos hídricos subterrâneos foram instalados dez poços de monitoramento de águas subterrâneas anteriormente a qualquer intervenção no terreno e analisados todos os parâmetros de interesse determinados na Resolução CONAMA 420 de 2009. Os trabalhos de execução dos poços e o monitoramento das águas subterrâneas também foram executados por empresa especializada. Considerou-se o comparativo com a CONAMA 420 de 2009 e não a aplicação de índices de qualidade de águas subterrâneas ou o comparativo com a Resolução CONAMA 396 de 2008, pois o objetivo relaciona-se à verificação de possíveis focos de contaminação na área em estudo e não na utilização da água subterrânea.



### **4.3 Comparativo com as Legislações Aplicáveis**

Visando o atendimento dos objetivos propostos para o presente trabalho, os resultados de qualidade de águas obtidos nos programas de monitoramento foram comparados com as legislações aplicáveis.

Dessa forma, os resultados associados à qualidade de águas superficiais foram avaliados segundo os limites definidos na Resolução CONAMA 357 de 17 de março 2005. Já os resultados associados à qualidade de águas subterrâneas foram avaliados segundo os limites definidos segundo a Resolução CONAMA 420 de 28 de dezembro de 2009.

É importante ressaltar que o Estado do Mato Grosso do Sul não dispõe, até a data do presente trabalho, de legislação específica que determine limites de qualidade para águas superficiais ou águas subterrâneas e, portanto, foram utilizadas as legislações federais como comparativo.

Apesar de não existir legislação específica no estado do Mato Grosso do Sul que determine a classificação das águas do córrego em estudo, foi estabelecido junto ao órgão ambiental competente que os padrões estabelecidos para classe dois deveriam ser utilizados para verificação da qualidade de água superficial durante as campanhas de monitoramento efetuadas.

## **4.4 Aplicação dos Índices de Qualidade de Água Superficial**

### **4.4.1 Índices Gerais de Qualidade de Água Superficial**

Tendo em vista a necessidade de compilar os resultados analíticos obtidos nas campanhas de monitoramento realizadas em números concisos que pudessem ser de fácil entendimento para a população de maneira geral, foi verificado quais dos índices pesquisados na literatura poderiam ser calculados em função dos monitoramentos realizados.

Vale ressaltar que o monitoramento realizado no córrego em estudo foi efetuado através de empresa contratada pelo empreendimento para executar os programas de monitoramento de fauna e qualidade de águas e, portanto, não houve possibilidade de alteração dos parâmetros avaliados. Ressalta-se ainda que não entende-se como objetivo do presente trabalho realizar a revisão bibliográfica de todos índices disponíveis na literatura e sim de utilizar-se dos índices mais comumente utilizados e possíveis de aplicação para compilação dos resultados obtidos.

O Quadro 7 apresenta quais parâmetros são considerados para cálculo de cada índice geral de qualidade de água (vide Quadro 1) apresentados no presente trabalho e os parâmetros monitorados.

**Quadro 7: Comparativo dos Parâmetros Monitorados e IQAs**

<i>Parâmetro / Índice</i>	<i>Horton</i>	<i>Cetesb</i>	<i>Prati</i>	<i>Dinius</i>	<i>Universal</i>	<i>Simplificado</i>	<i>Subjetivo &amp; Objetivo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Monitoramento Realizado</i>
Oxigênio Dissolvido	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Tratamento de Esgoto (% da população)	X								
pH	X	X	X	X	X		X		X
Coliformes Totais	X			X	X				
Condutividade	X		X	X		X			
Óleos e Graxas	X								X
Alcalinidade	X			X					
Cloreto	X		X	X					X
Temperatura	X	X		X		X	X		X
Sólido Sedimentáveis	X								
DBO		X	X	X	X		X		X
Coliformes Fecais		X					X		X
Nitrogênio Total / Nitrato		X	X	X	X		X		X
Fósforo Total / Fosfato		X			X		X	X	X
Sólidos Totais	X	X	X			X	X		X
Turbidez		X					X	X	X
Amônia			X						
DQO			X						X
Ferro			X						X
Manganês			X						X
Permanganato			X						
Surfactantes			X						
E. Coli				X					X
Dureza				X					
Cor				X					
Arsênio					X				
Fluoreto					X				
Mércurio					X				
Selênio					X				
Cianeto					X				
Cádmio					X				
Carbono Orgânico Total						X			
Sólidos Dissolvidos									X

Demarcados com um X encontram-se todos os parâmetros necessários ao cálculo dos índices de qualidade de água e na última coluna à direita todos os parâmetros monitorados. Em cinza, destacam-se os parâmetros que foram monitorados e que fazem parte do cálculo dos índices de qualidade de águas. Observando-se o Quadro 7, conclui-se que apenas o IQA CETESB, IQA Mínimo e IQA Objetivo & Subjetivo poderiam ser calculados a partir dos parâmetros monitorados. Portanto, ressalta-se que a seleção dos índices de qualidade de água aplicados deu-se devido à disponibilidade de parâmetros monitorados, os quais não puderam ser alterados, pois foram obtidos a partir de resultados de monitoramento efetuados pelo empreendimento.

Dessa forma, os índices IQA CETESB, IQA Mínimo e IQA Objetivo & Subjetivo foram calculados utilizando das metodologias já descritas na seção 3 do presente trabalho.

Para o cálculo do IQA Subjetivo, foi utilizado o valor de 1 como constante subjetiva  $k$  para o Ponto 01, pois neste ponto a água tem aspecto translúcido, aparentando boa qualidade. Já para o Ponto 2, atribuiu-se o valor de 0,75 para a constante  $k$ , uma vez que neste ponto a água apresenta-se com coloração marrom e portanto julgou-se necessário, por tratar-se de um índice subjetivo, a diferenciação para os pontos. O valor de 0,75 foi atribuído durante visita de campo em conjunto com a empresa especializada contratada pelo monitoramento, a qual recomendou a redução para o Ponto 2 de 1 para 0,75.

#### 4.4.2 Índice BMWP

Os resultados relacionados ao índice biológico BMWP – Biological Monitoring Working Party não foram calculados no presente trabalho, sendo estes obtidos já calculados pela empresa especializada pelo monitoramento da qualidade da água e fauna do empreendimento.

#### **4.5 Análise Crítica Comparativa Entre Índices**

A fim de comparar os resultados obtidos por meio da utilização de cada índice primeiramente utilizou-se o software EXCEL para o cálculo da estatística básica associada. Foram calculados a média aritmética, mediana, desvio padrão e a variância por campanha realizada e por ponto amostrado. A partir dos resultados, foi realizada a classificação da qualidade da água em função da média aritmética.

Em seguida, utilizou-se o software MINITAB para a aplicação da função ONE-WAY, ANOVA visando comparar se um dos índices havia apresentado resultado significativamente diferente dos demais. Para a confiabilidade desta função, foi utilizado o valor de 95%, representando que, com 95% de confiança, os índices apresentaram ou não resultados diferentes.

#### **4.6 Análise Crítica dos Índices Gerais em Relação à Legislação**

Para avaliação dos resultados obtidos através dos índices gerais de qualidade de águas superficiais com a Resolução CONAMA 357/2005, foram observados os valores normalizados inferiores a 70 pontos obtidos para cada parâmetro utilizado para cálculos dos índices IQA CETESB, IQA Mínimo e IQA Objetivo & Subjetivo. Foi considerado o valor de 70 pontos, pois este valor representa o maior valor para classificação da qualidade de água como MÉDIA.

Em seguida, foi verificado se os valores normalizados inferiores a 70 pontos apresentaram ou não violação em relação aos limites propostos pela legislação a fim de avaliar se os resultados apresentados pelos índices seriam compatíveis com os resultados associados à legislação pertinente.

#### 4.7 Avaliação dos Limites para Lançamento de Efluentes

A fim de garantir a manutenção da qualidade de água monitorada anteriormente à entrada em operação do empreendimento, foram calculados os valores limites para efluentes a serem lançados pelo empreendimento.

Para esta avaliação foram utilizados apenas os parâmetros que possuem limites de lançamento de efluentes estabelecidos através da Resolução CONAMA 430 de 2011.

Para o cálculo foi considerada como concentração inicial no curso de água a média aritmética das concentrações monitoradas em ambos os pontos nas três campanhas executadas. Para as concentrações finais no curso de água foram utilizados os valores limites propostos na Resolução CONAMA 357 de 2005. Para a vazão do curso de água foi utilizado o valor de 7.300 m<sup>3</sup>/dia e como vazão do efluente o valor de 41,6 m<sup>3</sup>/dia, valores estes fornecidos pelo empreendedor.

A equação utilizada para o cálculo da concentração final do efluente pode ser representada por:

Sendo:

- $Q_f = \text{Vazão final} = Q_i + Q_e = 7.300 + 41,6 = 7.341,6 \text{ m}^3/\text{dia}$
- $C_f = \text{Concentração final} = \text{Limite proposta na Resolução CONAMA 357/05}$
- $Q_i = \text{Vazão inicial do curso de água} = 7.300 \text{ m}^3/\text{dia}$
- $C_i = \text{Concentração inicial} = \text{Média aritmética das concentrações monitoradas em ambos os pontos nas três campanhas executadas}$
- $Q_e = \text{Vazão do efluente} = 41,6 \text{ m}^3/\text{dia}$
- $C_e = \text{Concentração máxima a ser lançada pelo empreendimento}$

## 5. RESULTADOS

Para facilitar a interpretação dos resultados, os mesmos foram separados em cinco seções.

### 5.1 Avaliação segundo as Legislações Aplicáveis

#### 5.1.1 Águas Superficiais

O Quadro 8 apresenta os resultados do monitoramento de águas superficiais, Pontos 1 e 2, para as três campanhas realizadas. Os parâmetros considerados no monitoramento foram selecionados pelo órgão ambiental competente em função da tipologia do empreendimento a ser instalado na área e do uso anterior ao empreendimento – dessedentação de animais, em especial a criação de gado. Os resultados destacados em cinza indicam valores fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357 de 2005 para cursos de águas de classe 2.

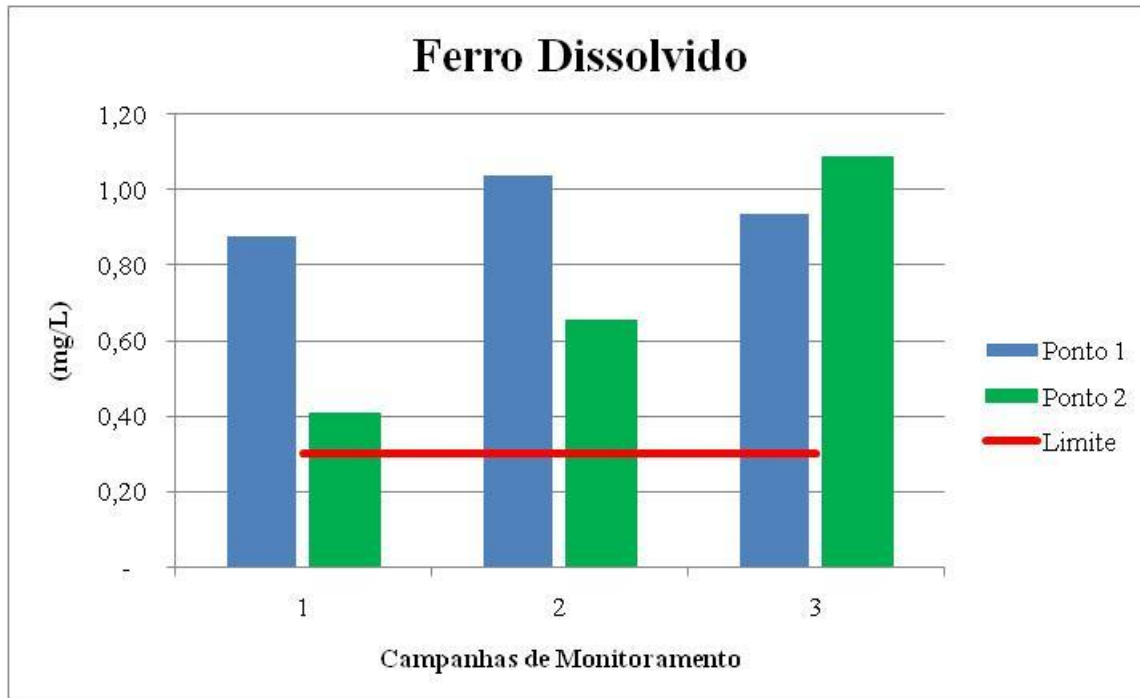
**Quadro 8:** Avaliação segundo a Resolução CONAMA 357 de 2005

<i>Parâmetros x Campanha</i>	<i>1ª Campanha</i>		<i>2ª Campanha</i>		<i>3ª Campanha</i>		<i>Limite CONAMA Classe 2</i>
	<i>nov/10</i>		<i>fev/11</i>		<i>mai/11</i>		
	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	
Cloreto (mg/L)	5,16	5,16	1,29	2,58	2,58	5,16	< 250
DBO (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	3	< 5
DQO (mg/L)	3,3	< 1	18,3	30,6	7,6	15,3	NA
Ferro Dissolvido (mg/L)	0,875	0,407	1,04	0,655	0,935	1,089	< 0,3
Fósforo (mg/L)	0,105	0,212	0,099	0,058	0,091	0,047	< 0,1
Manganês (mg/L)	0,148	0,074	0,142	0,037	0,049	0,068	< 0,1
Nitrogênio (mg/L)	13,59	6,57	2	2,71	11,4	15,47	NA
Óleos & Graxas (mg/L)	3,44	4,56	1,48	4,74	7,91	5,47	NA
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,3	6,1	5,1	4,4	5,7	7,3	> 5
pH	6,24	6,85	6,63	6,78	6,1	6,3	6-9
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	42	46	8	20	55	20	< 500
Sólidos Totais (mg/L)	58	76	52	88	88	60	NA
Turbidez (UFC)	7,2	6,2	14,7	15,7	10	15	< 100
Coliformes Fecais (UNT/100mL)	Ausente	500	Ausente	60	30	30	< 1000
E.Coli (UNT/100mL)	Ausente	Ausente	Ausente	43	Ausente	20	NA
Número de Violações	4	2	2	2	1	1	-

Observando-se os resultados obtidos nota-se que em nenhuma das amostragens foram atendidos por completo os limites estabelecidos na legislação CONAMA 357. Destaca-se ainda que o parâmetro Ferro Dissolvido manteve-se acima dos limites em todas as amostragens realizadas.

Nota-se ainda que o menor número de violações dos limites estabelecidos foi observado, para ambos os pontos, na 3ª Campanha, enquanto o maior número de violações ocorreu na 1ª Campanha, no Ponto 1. Isso pode ser justificado, pois a 3ª Campanha foi realizada em Maio de 2011, período de seca, enquanto as duas primeiras foram realizadas durante o período de chuva, novembro e fevereiro. PINTO *et al.* (2009) descreveu, quando avaliou a qualidade da água no Ribeirão Lavrinha na região do Alto Rio Grande, em MG, que quando da ocorrência de chuva o escoamento superficial influenciou nos resultados obtidos, elevando os valores dos resultados obtidos. Essa mesma afirmação pôde ser observada na avaliação do córrego em estudo.

A Figura 7 apresenta o gráfico das concentrações de Ferro Dissolvido.



**Figura 7:** Concentrações de Ferro Dissolvido

Apesar de os valores monitorados de Ferro Dissolvido se encontrarem acima dos limites propostos pela legislação, é importante observar que isto ocorreu de forma regular



durante as três campanhas e em ambos os pontos. Segundo a Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Mato Grosso do Sul – SMAMS (2010) evidenciou-se com frequência valores em desconformidade com a Resolução CONAMA n° 357/05 para os parâmetros chumbo, manganês, ferro e cádmio durante monitoramento realizado nas sub-bacias do Estado. Em complemento, segundo MATO GROSSO DO SUL (1990), os solos de maior ocorrência no Estado são os Latossolos, ocupando basicamente a bacia do Paraná, estando amplamente distribuídos na porção central do Estado, estendendo-se ao sul e nordeste, apresentando grande variação entre as diferentes classes, das quais o Latossolo Vermelho Escuro é o de maior expressividade. Considerando-se que o Latossolo Vermelho Escuro é caracterizado por apresentar um elevado teor de ferro e os resultados de monitoramento em desconformidade com a Resolução CONAMA 357 para o parâmetro ferro obtidos com frequência durante os monitoramentos realizados pela SMAMS, é possível afirmar que a presença desse parâmetro em valores acima dos limites na área em estudo está associada a fatores naturais da região e não devido a fontes de poluição específicas.

Para os valores de Fósforo Total observa-se que os mesmos apresentaram violação durante a 1ª Campanha para ambos os pontos. Como descrito anteriormente, o fósforo é um nutriente e está associado principalmente as descargas de efluentes domésticos além da própria matéria fecal em si. Desta forma, é importante considerar que os pontos monitorados encontram-se próximos a áreas de pastagens de gado, que podem vir a contribuir para o aumento das concentrações de fósforo.

Para os valores acima dos limites de oxigênio dissolvido e manganês, não foi possível associar as violações ocorridas a nenhuma causa específica.

### 5.1.2 Águas Subterrâneas

Os valores monitorados para as águas subterrâneas foram obtidos através da instalação de dez poços de monitoramento na área onde será instalado o empreendimento. Foram avaliados todos os parâmetros descritos na Resolução CONAMA 420 de 2009.

- Os grupos de parâmetros Hidrocarbonetos Voláteis Leves, Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, Benzenos Clorados, Etanos Clorados, Etenos Clorados, Metanos Clorados, Fenóis Clorados, Fenóis Não Clorados, Ésteres Ftálicos, Pesticidas Organoclorados e Bifenilas Policloradas (PCBs), também foram analisados, porém apresentaram resultados abaixo do limite de detecção do método analítico. Como os limites de detecção dos métodos são inferiores aos limites definidos pela Resolução CONAMA 420, conclui-se que estes parâmetros apresentaram resultados dentro dos limites definidos pela legislação.
- Parâmetros Inorgânicos: O Quadro 9 apresenta os resultados monitorados para os parâmetros inorgânicos. Os resultados destacados em cinza indicam valores fora dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420 de 2009.

**Quadro 9:** Avaliação segundo a Resolução CONAMA 420 de 2009

<i>Parâmetros ( µg/L)</i>	<i>Poços de Monitoramento</i>										<i>CONAMA 420</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	
Alumínio	8970	717	11300	1160	2350	934	8940	1130	7740	11000	3500
Antimônio	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	5
Arsênio	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	10
Bário	73,5	71,7	121	86,3	64,7	56,3	70,6	57,5	45,9	72,3	700
Cádmio	< 0,2	0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	0,3	< 0,2	5
Chumbo	59,2	45,5	73,5	14,3	1200	14,2	70,1	4,8	14,3	11170	10
Cobalto	1,7	0,6	1,6	0,6	0,6	0,4	1,7	0,7	1,2	2,2	70
Cobre	19,8	14,2	24,5	54,6	627	128	29,5	15,3	13,7	1490	2000
Cromo	15	2,8	16,3	6,7	7,1	6	14,5	3,9	19,5	9,4	50
Ferro	10800	13300	13100	1760	2530	432	9900	929	12000	6360	2450
Manganês	189	46,2	30	92,8	77,6	46,2	128	38,6	108	118	400
Mercurio	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	1
Molibdênio	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	70
Níquel	3,3	1,4	2,7	2,2	60,4	1,8	3,4	2,3	2,8	67,8	20
Nitrato	6752	43	43	507	47	116	511	326	385	503	10000
Prata	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	50
Selênio	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	10
Zinco	108	158	91,9	135	79,3	203	142	176	71,8	1540	1050

Observando-se os resultados obtidos através do monitoramento de águas subterrâneas em relação aos valores limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420, é possível observar que apenas o poço de monitoramento 8 apresentou todos os valores monitorados em conformidade com os limites. Os poços de monitoramento 4 e 6 apresentaram valores acima dos limites apenas para o parâmetro chumbo. Os demais poços apresentaram valores superiores aos limites propostos em mais de um parâmetro avaliado.

Especial destaque pode ser conferido aos parâmetros Alumínio, Chumbo e Ferro, que apresentaram violações em 50% ou mais dos pontos monitorados. Conforme descrito na seção 5.1.1, o latossolo vermelho escuro é predominante na área do empreendimento e, portanto, é possível afirmar que a presença de ferro possui correlação direta com características naturais da região. Ressalta-se ainda que a instalação dos poços e resultados aqui apresentados foi realizada antes mesmo do início das obras, o que reduz ainda mais a possibilidade de estes resultados acima dos limites estarem associados a algum evento específico de contaminação.

Os valores acima dos limites para o parâmetro Níquel no poço 5 e para os parâmetros Níquel e Zinco no ponto 10 apresentam-se próximos aos valores de referência e como não há indicativo de atividades pretéritas que poderiam causar este tipo de contaminação, entende-se que mais resultados devem ser obtidos para chegar-se a uma avaliação conclusiva, contribuindo assim para a necessidade de continuação do monitoramento de águas subterrâneas.

## 5.2 Índices de Qualidade de Água

### 5.2.1 IQA NSF / CETESB

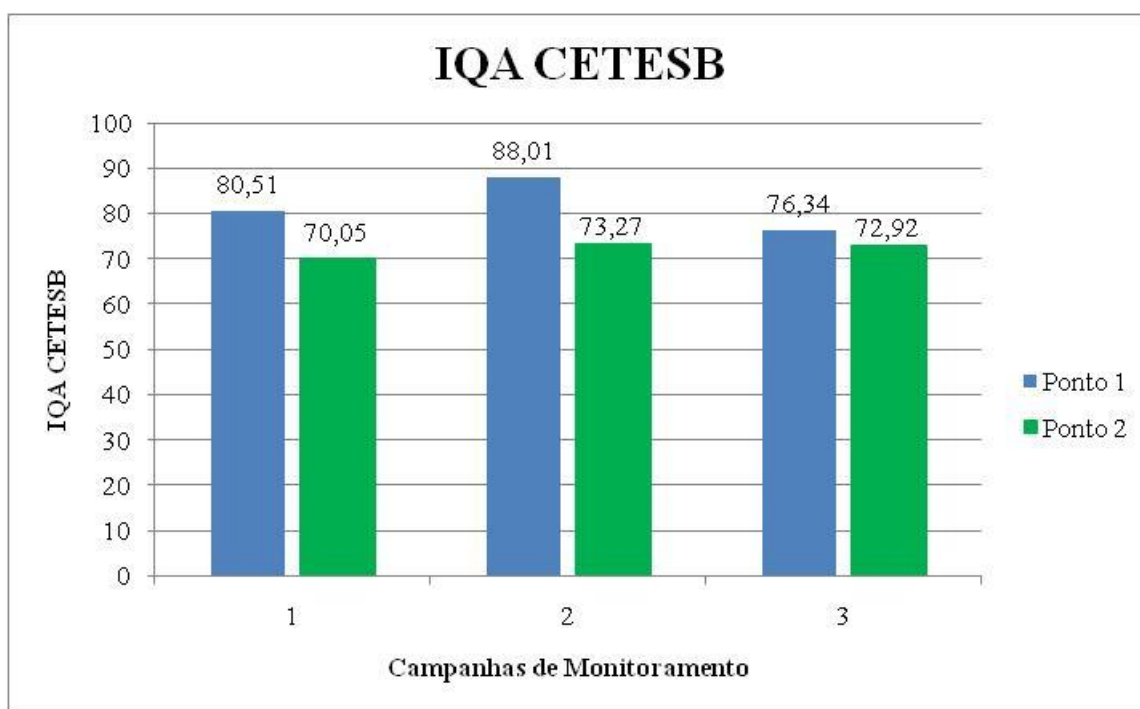
O Quadro 10 apresenta os valores normalizados ( $q_i$ ) para cada parâmetro obtido através da respectiva curva média de variação de qualidade. Apresenta ainda o valor final do IQA CETESB obtido após o cálculo do produto ponderado dos valores normalizados ( $q_i$ ) com seus respectivos pesos ( $w_i$ ).

Para o parâmetro temperatura, foi mantido constante o valor de  $q_i$  igual a 94 conforme recomendação da CETESB, tendo em vista que na realidade brasileira os ambientes não recebem carga térmica elevada. Ressalta-se ainda que na área de monitoramento também não existem lançamentos de efluentes que poderiam causar variação nos níveis de temperatura.

**Quadro 10:** Valores de  $q_i$  e IQA CETESB

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores de <math>q_i</math> / IQA CETESB</i>					
	<i>1ª Campanha</i>		<i>2ª Campanha</i>		<i>3ª Campanha</i>	
	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>
Oxigênio Dissolvido	54,05	81,18	77,84	56,33	75,05	90,57
Coliformes	100,00	25,88	100,00	45,26	52,92	52,92
pH	71,51	88,77	83,65	87,28	64,94	73,63
DBO	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	69,06
Nitrogênio	75,72	59,53	94,95	80,11	77,48	46,83
Fósforo	89,92	81,52	90,41	93,88	91,08	94,83
Turbidez	82,90	85,07	69,08	67,56	77,25	68,61
Sólidos Totais	85,72	86,08	85,44	85,93	85,93	85,79
Temperatura	94,00	94,00	94,00	94,00	94,00	94,00
<b>IQA CETESB</b>	<b>80,51</b>	<b>70,05</b>	<b>88,01</b>	<b>73,27</b>	<b>76,34</b>	<b>72,92</b>

A Figura 8 apresenta em gráfico os valores do IQA CETESB.



**Figura 8:** IQA CETESB

Segundo a classificação proposta pelo IQA CETESB, verifica-se que todos os valores obtidos apresentaram resultados entre a faixa de 70 a 90, podendo, portanto, a qualidade da água ser considerada como BOA em todas as campanhas e pontos monitorados.

Observam-se ainda através da Figura 8 que os resultados obtidos para o Ponto 01 foram superiores em todas as campanhas realizadas, sendo que na 3ª Campanha os valores obtidos ficaram mais próximos entre si. Na 1ª e 2ª campanhas observa-se que os valores de  $q_i$  para Coliformes é consideravelmente superior para o Ponto 1 e portanto esta pode ser considerada como a principal causa da melhor qualidade de água para este ponto nas duas primeiras campanhas. A presença de coliformes na área em estudo está associada ao principal uso do curso de água para a dessedentação animal, em especial a criação de gado.

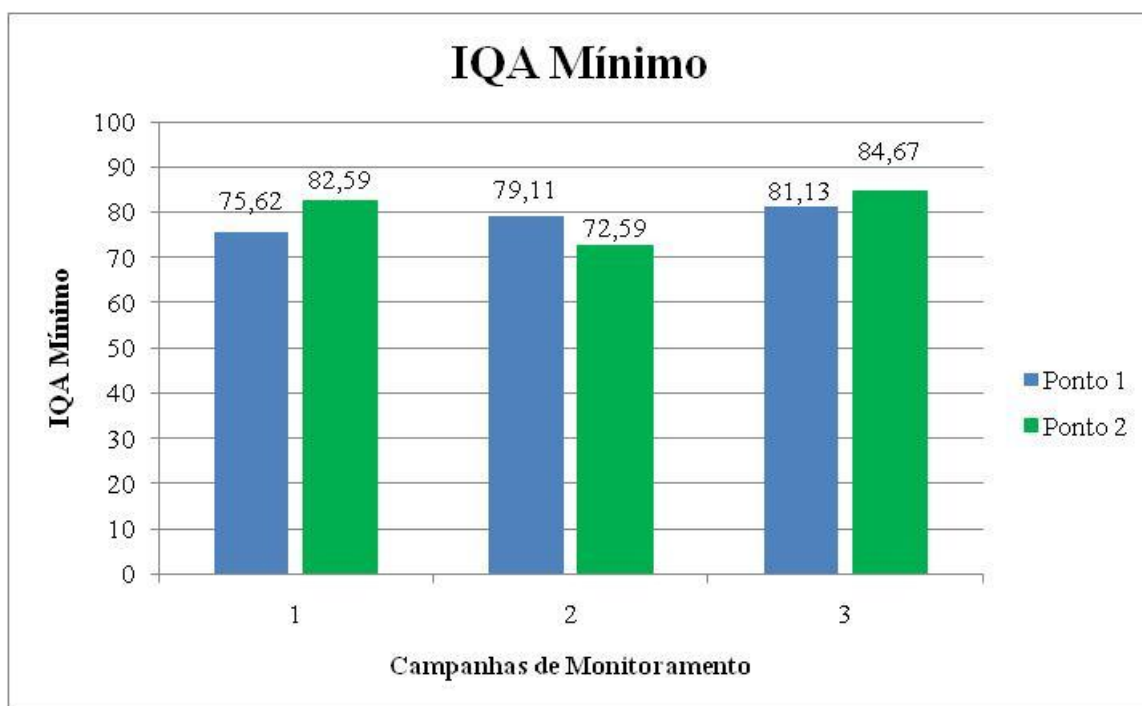
## 5.2.2 IQA Mínimo

O Quadro 11 apresenta os valores normalizados ( $q_i$ ) para cada parâmetro obtido através da respectiva curva média de variação de qualidade. Apresenta ainda o valor final do IQA Mínimo obtido após o cálculo da média aritmética.

**Quadro 11:** Valores de  $q_i$  e IQA Mínimo

<i>Parâmetros x Campanha</i>	<i>1ª Campanha</i>		<i>2ª Campanha</i>		<i>3ª Campanha</i>	
	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>
	<i><math>q_i</math></i>	<i><math>q_i</math></i>	<i><math>q_i</math></i>	<i><math>q_i</math></i>	<i><math>q_i</math></i>	<i><math>q_i</math></i>
Fósforo	89,92	81,52	90,41	93,88	91,08	94,83
Oxigênio Dissolvido	54,05	81,18	77,84	56,33	75,05	90,57
Turbidez	82,90	85,07	69,08	67,56	77,25	68,61
<b>IQAmin</b>	<b>75,62</b>	<b>82,59</b>	<b>79,11</b>	<b>72,59</b>	<b>81,13</b>	<b>84,67</b>

A Figura 9 apresenta em gráfico os valores do IQA Mínimo.



**Figura 9:** IQA Mínimo

Utilizando-se a mesma classificação proposta pelo IQA CETESB, verifica-se que todos os valores obtidos apresentaram resultados dentro da faixa de 70 a 90, podendo, portanto a qualidade da água ser considerada como BOA em todas as campanhas e pontos monitorados.

Ainda através da Figura 9, observa-se que os resultados obtidos para o Ponto 1 foram inferiores na 1ª e 3ª Campanha, sendo que na 2ª Campanha o IQA<sub>min</sub> obtido para o Ponto 2 foi superior. Por meio da avaliação dos valores de  $q_i$ , é possível verificar que o parâmetro oxigênio dissolvido foi decisivo na diferenciação dos pontos amostrados.



### 5.2.3 IQA Subjetivo & Objetivo

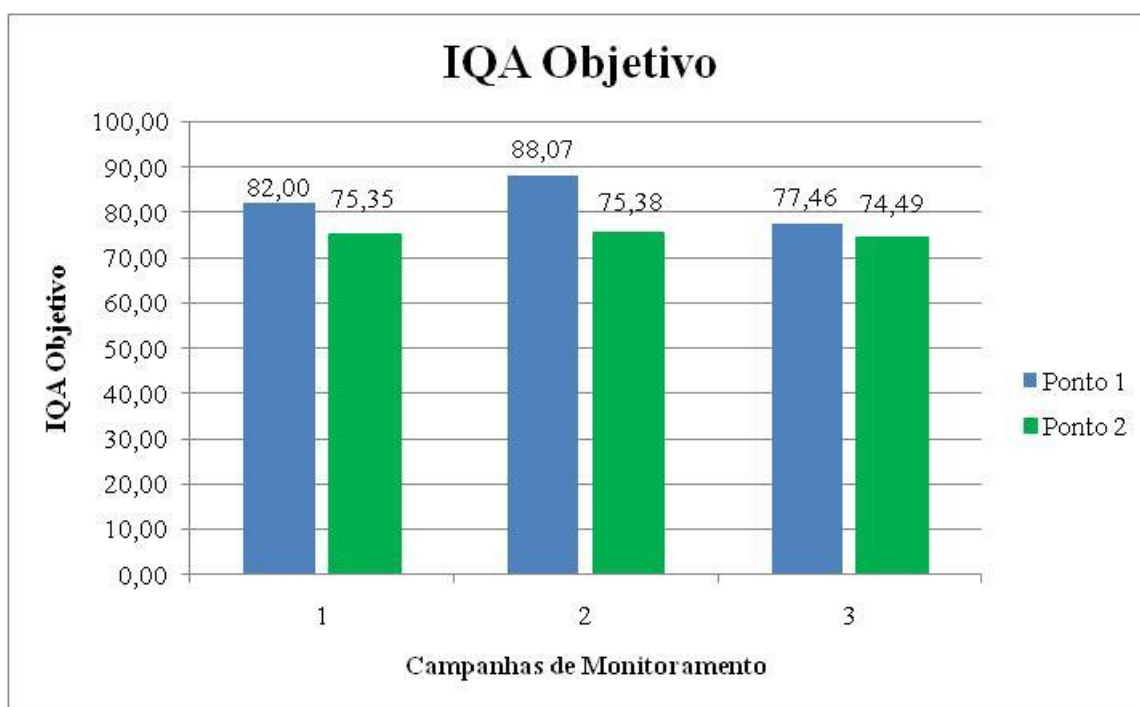
O Quadro 12 apresenta os valores normalizados ( $q_i$ ) para cada parâmetro obtido através da respectiva curva média de variação de qualidade. Apresenta ainda o valor final do IQA Subjetivo e Objetivo obtido após o cálculo do somatório das variáveis envolvidas.

Para o cálculo do IQA Subjetivo, foi utilizado o valor de 1 para o Ponto 1, pois neste ponto a água tem aspecto translúcido, aparentando boa qualidade. Já para o Ponto 2, atribuiu-se o valor de 0,75 para a constante k, uma vez que neste ponto a água apresenta-se com a coloração marrom e portanto julgou-se necessário, por tratar-se de um índice subjetivo, a diferenciação para os pontos.

**Quadro 12:** Valores de  $q_i$ , IQA Objetivo & Subjetivo

Parâmetros	1ª Campanha						2ª Campanha						3ª Campanha					
	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 1			Ponto 2			Ponto 1			Ponto 2		
	$q_i$	IQA obj	IQA sub	$q_i$	IQA obj	IQA sub	$q_i$	IQA obj	IQA sub	$q_i$	IQA obj	IQA sub	$q_i$	IQA obj	IQA sub	$q_i$	IQA obj	IQA sub
OD	54,05	9,19	9,19	81,18	13,80	10,35	77,84	13,23	13,23	56,33	9,58	7,18	75,05	12,76	12,76	90,57	15,40	11,55
Coliformes	100,00	15,00	15,00	25,88	3,88	2,91	100,00	15,00	15,00	45,26	6,79	5,09	52,92	7,94	7,94	52,92	7,94	5,95
pH	71,51	8,58	8,58	88,77	10,65	7,99	83,65	10,04	10,04	87,28	10,47	7,85	64,94	7,79	7,79	73,63	8,84	6,63
DBO	99,96	10,00	10,00	99,96	10,00	7,50	99,96	10,00	10,00	99,96	10,00	7,50	99,96	10,00	10,00	69,06	6,91	5,18
Nitrogenio	75,72	7,57	7,57	59,53	5,95	4,47	94,95	9,49	9,49	80,11	8,01	6,01	77,48	7,75	7,75	46,83	4,68	3,51
Fosforo	89,92	8,99	8,99	81,52	8,15	6,11	90,41	9,04	9,04	93,88	9,39	7,04	91,08	9,11	9,11	94,83	9,48	7,11
Turbidez	82,90	8,29	8,29	85,07	8,51	6,38	69,08	6,91	6,91	67,56	6,76	5,07	77,25	7,72	7,72	68,61	6,86	5,15
Sólidos Totais	85,72	6,86	6,86	86,08	6,89	5,16	85,44	6,84	6,84	85,93	6,87	5,16	85,93	6,87	6,87	85,79	6,86	5,15
Temperatura	94,00	7,52	7,52	94,00	7,52	5,64	94,00	7,52	7,52	94,00	7,52	5,64	94,00	7,52	7,52	94,00	7,52	5,64
<b>IQA</b>	-	<b>82,00</b>	<b>82,00</b>	-	<b>75,35</b>	<b>56,51</b>	-	<b>88,07</b>	<b>88,07</b>	-	<b>75,38</b>	<b>56,54</b>	-	<b>77,46</b>	<b>77,46</b>	-	<b>74,49</b>	<b>55,87</b>

A Figura 10 apresenta em gráficos os valores do IQA Objetivo.

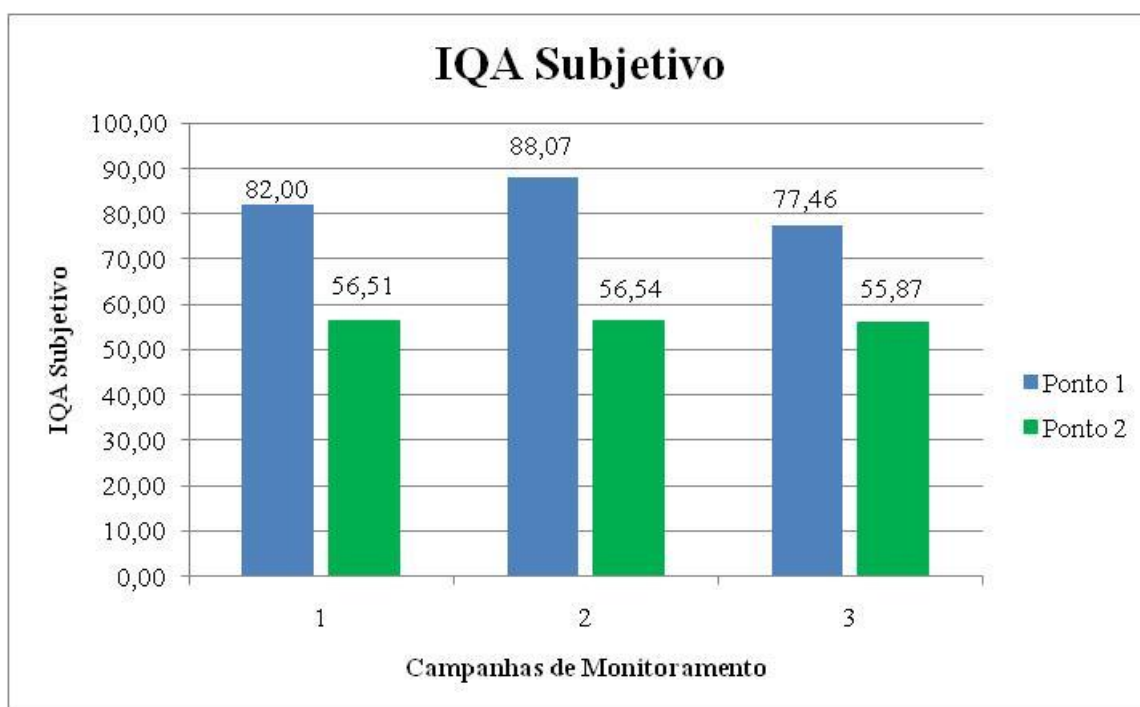


**Figura 10:** IQA Objetivo

Utilizando-se a mesma classificação proposta pelo IQA CETESB, verifica-se que todos os valores obtidos apresentaram resultados dentro da faixa de 70 a 90, podendo, portanto a qualidade da água ser considerada como BOA em todas as campanhas e pontos monitorados.

Observam-se ainda através da Figura 10 que os resultados obtidos para o Ponto 1 foram superiores em todas as campanhas realizadas, sendo que na 3ª Campanha os valores obtidos ficaram mais próximos entre si. As mesmas considerações já feitas para o IQA CETESB são válidas para o IQA Objetivo, permitindo afirmar que os valores de  $q_1$  para Coliformes pode ser atribuída como a principal causa da melhor qualidade de água para o Ponto 1 nas duas primeiras campanhas.

A Figura 11 apresenta em gráficos os valores do IQA Subjetivo.



**Figura 11:** IQA Subjetivo

Utilizando-se a mesma classificação proposta pelo IQA CETESB verifica-se que os resultados para o Ponto 1 encontram-se dentro da faixa de 70 a 90, podendo, portanto a qualidade da água ser considerada como BOA em todas as campanhas. Já para o Ponto 2, os resultados encontram-se na faixa de 50 a 70, podendo portanto a água ser considerada de qualidade MÉDIA.

Os valores do IQA Subjetivo são baseados na aplicação da constante subjetiva  $k$  e visto que para o Ponto 1 foi utilizado o valor de  $k$  igual a 1 e para o Ponto 2 o valor de  $k$  igual a 0,75 pode-se afirmar que esta foi determinante para o rebaixamento do Ponto 2 para uma nova classificação, de BOA para MÉDIA.

#### 5.2.4 BMWP - Biological Monitoring Working Party

O Quadro 13 apresenta os táxons encontrados nos pontos de monitoramento e a contagem de pontos para obtenção do índice BMWP. É importante ressaltar que os valores deste índice foram extraídos já calculados pela empresa especializada responsável pelo monitoramento do empreendimento.

**Quadro 13:** Valores de BMWP

<i>TAXON</i>	<i>1ª Campanha</i>		<i>3ª Campanha</i>	
	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>
Curculionidae	4	4	-	-
Dytiscidae	3	-	3	3
Elmidae	5	5	5	5
Gyrinidae	-	3	-	3
Hydrophilidae	3	-	3	-
Simuliidae	5	-	-	-
Ceratopogonidae	4	4	4	4
Chironomidae	2	2	2	2
Tipulidae	-	5	-	-
Leptohyphidae	10	-	10	10
Notonectidae	3	-	-	3
Naucoridae	3	3	3	3
Hydropsychidae	5	-	-	-
Gomphidae	8	-	8	-
Aeshnidae	8	8	-	8
Libellulidae	8	8	8	8
Cordullidae	8	8	-	-
Perlidae	-	10	-	10
Hidracarina	4	-	-	-
Leptoceridae	10	10	10	10
<b>BMWP</b>	<b>93</b>	<b>70</b>	<b>56</b>	<b>69</b>

Segundo classificação proposta por ALBA-TERCEDOR & SÁNCHEZ- ORTEGA (1996), na primeira campanha a qualidade de água em ambos os pontos pode ser classificada como BOA. Já na segunda campanha observa-se uma queda nos valores encontrados, especialmente no Ponto 1, onde a classificação passou para a faixa de 36 a 60, passando a ser considerado REGULAR.

Esta pequena variação verificada no comparativo entre as duas campanhas pode estar aliada às condições climáticas e não diretamente aliada a algum impacto negativo na qualidade da água no período. Destaca-se ainda que nas duas campanhas realizadas, a ordem Díptera foi a mais representativa nos pontos monitorados. As maiores densidades desse grupo são registradas em locais com maior disponibilidade de matéria orgânica, uma vez que muitos representantes desse grupo apresentam relativa tolerância às poluições orgânicas.

### 5.3 Comparativo Entre Índices

Com o intuito de comparar o resultado entre índices, foram calculados parâmetros estatísticos básicos, os quais são apresentados no Quadro 14. Os valores foram calculados levando-se em consideração os resultados agrupados de ambos os pontos em função do índice utilizado.

**Quadro 14:** Estatística básica entre índices

<i>Estatística Básica</i>	<i>IQA CETESB</i>	<i>IQA min</i>	<i>IQA sub</i>	<i>IQA obj</i>	<i>BMWP</i>
Ponto 1	80,51	75,62	82,00	82,00	93,00
	88,01	79,11	88,07	88,07	-
	76,34	81,13	77,46	77,46	56,00
Ponto 2	70,05	82,59	56,51	75,35	70,00
	73,27	72,59	56,54	75,38	-
	72,92	84,67	55,87	74,49	69,00
Média	76,85	79,28	69,41	78,79	72,00
Mediana	76,34	79,28	69,41	77,46	70,00
Desvio Padrão	6,52	4,51	14,74	5,29	15,38
Variância	42,55	20,32	217,36	28,01	236,67
<b>Classificação (segundo a média)</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>

Verifica-se que os valores de desvio padrão obtidos para os índices IQA CETESB, IQA Mínimo e IQA Objetivo foram sensivelmente inferiores aos valores obtidos para o IQA Subjetivo e o índice BMWP. Para o IQA Subjetivo esta diferença pode ser atribuída ao uso da constante subjetiva  $k$  para o Ponto 2. Já para o índice BMWP, podemos considerar como causa do elevado desvio padrão o resultado da 2ª campanha do Ponto 1 e ainda a menor quantidade de dados utilizada para o cálculo.

Entretanto, o destaque verificado no quadro é que, segundo a classificação proposta para os índices de qualidade de água, segundo a média aritmética, todos os índices classificaram a água do córrego em estudo como de BOA qualidade. Considerando que uma das principais finalidades dos índices de qualidade de águas é a comunicação com o público em geral, todos os índices levariam ao público a mesma informação.

Apesar da pequena quantidade de amostras consideradas, julgou-se interessante avaliar também a estatística básica por ponto amostrado e entre índices. Para essa informação pode-se observar o Quadro 15:

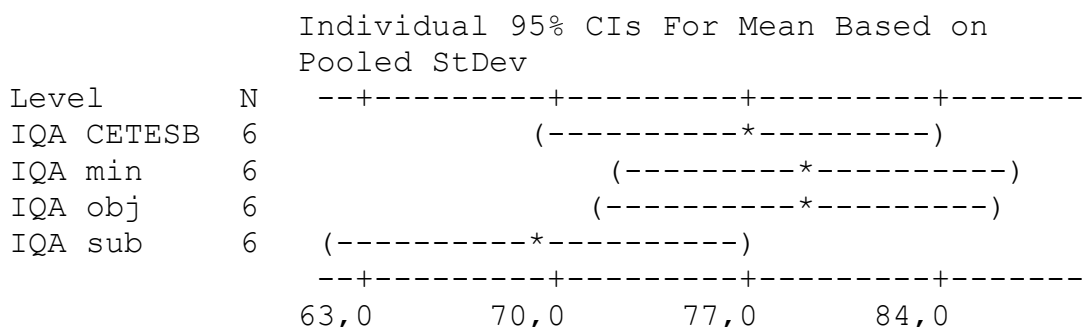
**Quadro 15:** Estatística básica entre índices por ponto amostrado

<i>Estatística Básica</i>	<i>Ponto 1</i>					<i>Ponto 2</i>				
	<i>IQA CETESB</i>	<i>IQA min</i>	<i>IQA sub</i>	<i>IQA obj</i>	<i>BMWP</i>	<i>IQA CETESB</i>	<i>IQA min</i>	<i>IQA sub</i>	<i>IQA obj</i>	<i>BMWP</i>
1ª Campanha	80,51	75,62	82,00	82,00	93,00	70,05	82,59	56,51	75,35	70,00
2ª Campanha	88,01	79,11	88,07	88,07	-	73,27	72,59	56,54	75,38	-
3ª Campanha	76,34	81,13	77,46	77,46	56,00	72,92	84,67	55,87	74,49	69,00
Média	81,62	78,62	82,51	82,51	74,50	72,08	79,95	56,31	75,07	69,50
Mediana	80,51	79,11	82,00	82,00	74,50	72,92	82,59	56,51	75,35	69,50
Desvio Padrão	5,91	2,78	5,32	5,32	26,16	1,77	6,46	0,38	0,51	0,71
Variância	34,97	7,75	28,31	28,31	684,50	3,12	41,72	0,15	0,26	0,50
<b>Classificação (segundo a média)</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>BOA</b>	<b>BOA</b>

Observa-se que os valores de desvio padrão são similares para os índices com exceção do valor obtido para o índice BMWP – Ponto 1. Essa diferença pode ser atribuída ao resultado da 2ª campanha do Ponto 1 e ainda à menor quantidade de dados utilizada para o cálculo.

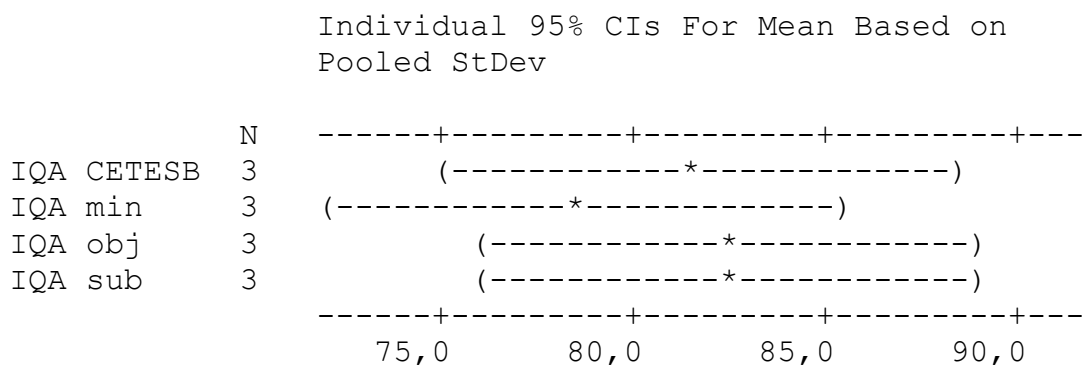
Novamente o principal resultado verificado no quadro é que, segundo a classificação proposta, todos os índices classificaram a água do córrego em estudo como de BOA qualidade para ambos os pontos com exceção do IQA Subjetivo para o Ponto 2, com qualidade MÉDIA, o que pode ser atribuído ao uso da constante subjetivo k para seu cálculo.

Para auxiliar no comparativo entre índice, fez-se uso no software MINITAB, da função ONE-WAY ANOVA. Esta função foi utilizada, pois a mesma é aplicada ao comparar-se uma variável discreta, neste caso os índices, com uma variável contínua, neste caso o resultado dos índices. Não foi considerado o índice BMWP devido à diferença de escalas entre os demais índices. Os resultados obtidos, considerando-se ambos os pontos, utilizando-se o fator de confiabilidade de 95% foram:



Observando-se os resultados obtidos, confirma-se que não há diferença significativa entre os índices, pois é possível observar que todas as linhas possuem pontos de sobreposição, ou seja, as linhas se tocam quando observadas uma sobre a outra.

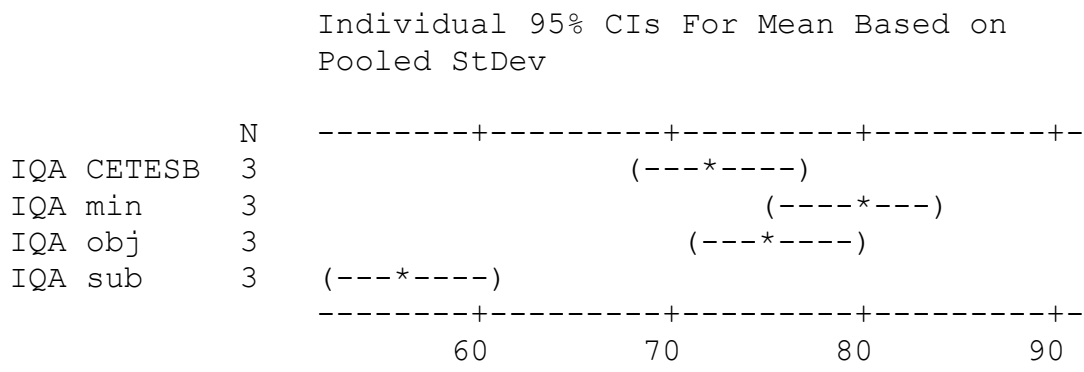
Utilizando-se a mesma função para análise entre índices do Ponto 1 obtiveram-se os seguintes resultados:



Com os resultados obtidos, confirma-se que não há diferença significativa entre os índices para o Ponto 1, pois para todos os índices avaliados as linhas se sobrepõem.



Para análise entre índices do Ponto 2 obtiveram-se os seguintes resultados:



Os resultados demonstram que apenas os resultados obtidos através IQA subjetivo podem ser considerados significativamente diferente dos demais para o Ponto 2. Novamente ressalta-se a inclusão da constante subjetiva k para o cálculo do IQA subjetivo para o Ponto 2 com valor inferior – 0,75 ao atribuído para o Ponto 1 – 1,00.

#### 5.4 Análise Crítica da Legislação e Índices de Qualidade de Água

O Quadro 16 apresenta, em sua parte superior, os valores normalizados (qi) obtidos para cada parâmetro utilizado para os cálculos dos índices IQA CETESB, IQA Mínimo e IQA Objetivo & Subjetivo. Já em sua parte inferior apresenta as concentrações monitoradas. Em cinza, destacam-se na parte superior, os valores inferiores a 70 pontos e, na parte inferior, os parâmetros em desconformidade com os limites propostos na legislação CONAMA 357/2005. Foi considerado o valor de 70 pontos, pois este valor representa o maior valor para classificação da qualidade de água como MÉDIA.

**Quadro 16:** Valores normalizados e em desconformidade com a legislação

<i>Parâmetros</i>	<i>Valores Normalizados (qi)</i>					
	<i>1ª Campanha</i>		<i>2ª Campanha</i>		<i>3ª Campanha</i>	
	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>	<i>Ponto 1</i>	<i>Ponto 2</i>
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	54,05	81,18	77,84	56,33	75,05	90,57
Coliformes (UNT/100mL)	100,00	25,88	100,00	45,26	52,92	52,92
DBO (mg/L)	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96	69,06
Nitrogênio (mg/L)	75,72	59,53	94,95	80,11	77,48	46,83
Fósforo (mg/L)	89,92	81,52	90,41	93,88	91,08	94,83
Turbidez (UFC)	82,90	85,07	69,08	67,56	77,25	68,61
<i>Parâmetros</i>	<i>Concentrações Monitoradas</i>					
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	4,3	6,1	5,1	4,4	5,7	7,3
Coliformes (UNT/100mL)	Ausente	500	Ausente	60	30	30
DBO (mg/L)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	3
Nitrogênio (mg/L)	13,59	6,57	2	2,71	11,4	15,47
Fósforo (mg/L)	0,105	0,212	0,099	0,058	0,091	0,047
Turbidez (UFC)	7,2	6,2	14,7	15,7	10	15

Através do quadro pode-se observar que os valores de oxigênio dissolvido abaixo de 70 pontos obtidos para a 1ª e 2ª Campanha correlacionam-se diretamente com as concentrações monitoradas em desconformidade com a legislação, indicando que, para este parâmetro, a curva de normalização utilizada para o cálculo dos índices possui boa correlação com o atendimento aos limites previstos na Resolução CONAMA 357/05.

Para o parâmetro Coliformes, é possível verificar que, apesar de apresentar três resultados inferiores ao valor de 70 pontos, em nenhuma das amostragens foi evidenciado valor em

desconformidade com o permitido pela legislação. O mesmo ocorre para os parâmetros Turbidez e DBO, que apresentaram apenas um valor abaixo dos 70 pontos cada, e em nenhum dos casos os valores monitorados se encontraram em desconformidade com a legislação. Portanto, para estes casos, observa-se que a curva de normalização utilizada para o cálculo dos índices não possui boa correlação com o atendimento aos limites previstos na Resolução CONAMA 357/05.

O parâmetro nitrogênio total apresentou um valor abaixo dos 70 pontos, porém não possui comparativo legal e, portanto não foi possível realizar este comparativo.

Já o parâmetro fósforo apresentou dois valores acima da legislação e verifica-se que nenhum valor abaixo dos 70 pontos foi observado para este parâmetro. Dessa forma, assim como para os parâmetros Coliformes, Turbidez e DBO, observa-se que a curva de normalização utilizada para o cálculo dos índices não possui boa correlação com o atendimento aos limites previstos na Resolução CONAMA 357/05.

Portanto, considerando-se que os parâmetros Coliformes, Turbidez, DBO e Fósforo não apresentaram boa correlação entre os valores normalizados inferiores a 70 pontos e o atendimento a legislação ambiental, demonstra-se que os índices de qualidade de água aplicados ao caso específico do córrego em estudo não podem ser considerados como um instrumento de atendimento legal.

Outro ponto de destaque, conforme apresentado na seção 5.1.1, é o parâmetro Ferro. Este parâmetro apresentou-se em desconformidade com os valores limites da CONAMA 357/05 durante todas as campanhas e pontos amostrados e, devido à metodologia utilizada para cálculo dos índices, este parâmetro não foi considerado para formação dos IQAs aplicados ao presente trabalho. Dessa forma, seria de grande importância utilizar-se do parâmetro Ferro para o cálculo dos IQAs. A utilização do parâmetro Ferro pode-se dar com a utilização de novos índices disponíveis na literatura, como por exemplo, o índice de Prati, o qual foi apresentado no presente trabalho. Para utilização do índice de Prati seria necessária a inclusão, durante a execução das amostragens, do monitoramento dos parâmetros Condutividade, Amônia, Permanganato e Surfactantes.

## 5.5 Definição dos Limites para Lançamento de Efluentes

Para o cálculo das concentrações limites –  $C_e$  - a serem observados pelo empreendimento de forma que seja mantida a qualidade de água existente no curso de água, foi considerada como Concentração inicial -  $C_i$  - no curso de água a média aritmética das concentrações monitoradas em ambos os pontos nas três campanhas executadas. Para as Concentrações finais –  $C_f$  - no curso de água foram utilizados os valores limites propostos na Resolução CONAMA 357 de 2005. Para a vazão do curso de água –  $Q_i$  - foi utilizado o valor de 7.300 m<sup>3</sup>/dia e como vazão do efluente –  $Q_e$  - o valor de 41,6 m<sup>3</sup>/dia, valores estes fornecidos pelo empreendedor.

A equação utilizada para o cálculo da concentração final do efluente pode ser representada por:

Sendo:

- $Q_f = \text{Vazão final} = Q_i + Q_e = 7.300 + 41,6 = 7.341,6 \text{ m}^3/\text{dia}$
- $C_f = \text{Concentração final} = \text{Limite proposta na Resolução CONAMA 357/05}$
- $Q_i = \text{Vazão inicial do curso de água} = 7.300 \text{ m}^3/\text{dia}$
- $C_i = \text{Concentração inicial} = \text{Média aritmética das concentrações monitoradas em ambos os pontos nas três campanhas executadas}$
- $Q_e = \text{Vazão do efluente} = 41,6 \text{ m}^3/\text{dia}$
- $C_e = \text{Concentração máxima a ser lançada pelo empreendimento}$

Ressalta-se que este cálculo utilizou-se apenas parâmetros que possuem limites de lançamento determinados na Resolução CONAMA 430/11. O Quadro 17 apresenta o cálculo das Concentrações do Efluente –  $C_e$ , a ser lançado pelo empreendimento de forma que seja mantida a qualidade de água existente no curso de água.

**Quadro 17:** Limites para Lançamento de Efluentes

<i>Parâmetro</i>	<i>Vazão (Qf) m³/dia</i>	<i>Concentração (Cf)</i>	<i>Vazão (Qi) m³/dia</i>	<i>Concentração (Ci)</i>	<i>Vazão (Qe) m³/dia</i>	<i>Concentração (Ce)</i>	<i>Resolução CONAMA 430/2011</i>
DBO (mg/L)	7341,60	5,00	7300,00	1,330	41,60	649,01	120,00
Ferro Dissolvido (mg/L)	7341,60	0,30	7300,00	0,834	41,60	*	15,00
Manganês (mg/L)	7341,60	0,10	7300,00	0,086	41,60	2,50	1,00
pH	7341,60	9,00	7300,00	6,483	41,60	11,25	9,00
	7341,60	6,00	7300,00	6,483	41,60	3,93	5,00
* Como a concentração inicial já apresenta-se superior à Concentração final desejada, o cálculo não pode ser efetuado							

Com relação aos parâmetros DBO<sub>5,20</sub>, Manganês e pH, verifica-se que, mesmo com concentrações elevadas no lançamento de efluentes, a qualidade de água do curso de água é mantida. Sendo assim, julgou-se importante comparar os valores obtidos com os valores previstos para lançamento de efluentes na Resolução CONAMA 430 de 2011. Através deste comparativo verifica-se que os valores previstos na legislação são inferiores aos valores calculados para manutenção da classe do curso de água e, portanto, os valores mais restritivos devem ser observados.

Avaliando-se o resultado para o parâmetro Ferro Dissolvido, observa-se que a concentração inicial no corpo de água –  $C_i$  – apresenta valores superiores a concentração final desejada –  $C_f$  – e, portanto, para o atendimento da Concentração Final seria necessário que primeiramente a Concentração inicial de Ferro no corpo de água fosse reduzida, o que, conforme explanado na seção 5.1.1, está associado às características naturais da região. Assim, de forma a não comprometer ainda mais as concentração de ferro já presentes no corpo de água, entende-se que o empreendimento deve considerar especial atenção para o parâmetro Ferro, considerando em seus sistemas de tratamento a melhor tecnologia disponível para remoção desse parâmetro.

## **6. CONCLUSÕES**

### **6.1 Comparativo com a Legislação – Águas Subterrâneas**

Verifica-se que todos os poços amostrados, com exceção do Poço 08, apresentaram pelo menos um parâmetro monitorado em desconformidade com os valores preconizados na Resolução CONAMA 420 de 2009. Especial destaque pode ser conferido aos parâmetros Alumínio, Chumbo e Ferro, que apresentaram violações em 50% ou mais dos pontos monitorados.

Dessa forma, considerando-se as características naturais da região, a realização das análises anteriormente a qualquer intervenção na área do empreendimento e que os parâmetros que excederam os limites apresentaram-se de forma regular por toda área em estudo, conclui-se que os valores encontrados não estão associados a um evento isolado de contaminação, mas sim às características naturais do terreno.

## **6.2 Comparativo com a Legislação – Águas Superficiais**

Conclui-se que em nenhuma das amostragens foram atendidos por completo os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357 de 2005. Destaca-se ainda que o parâmetro Ferro Dissolvido manteve-se acima dos limites em todas as amostragens realizadas.

Vale observar que os valores monitorados acima dos limites propostos pela legislação para o parâmetro Ferro Dissolvido ocorreram de forma regular durante as três campanhas e, segundo características apresentadas para a área em estudo, demonstrou-se que esta irregularidade está associada a fatores naturais, em especial devido ao tipo de solo presente no terreno. Ressalta-se ainda que este mesmo parâmetro também foi encontrado de forma regular durante a avaliação da qualidade de água subterrânea, o que torna ainda mais conclusivo a associação deste parâmetro em valores superiores aos limites permitidos à ocorrência natural.

Tendo em vista as elevadas concentrações de ferro da água superficial, no caso do empreendimento considerar seu uso futuro para fins industriais, deve-se levar em consideração a aplicação de tecnologias para a remoção de ferro e o controle período de suas concentrações a fim de evitar problemas comuns a redes de efluentes industriais, como por exemplo, incrustações, corrosões, deposição de sólidos, entupimentos e outros.

### **6.3 Aplicação Individual dos Índices de Qualidade de Água**

Através do uso do IQA CETESB, concluiu-se que todos os valores obtidos apresentaram resultados dentro da faixa de 70 a 90, podendo, portanto, a qualidade da água ser considerada como BOA em todas as campanhas e pontos monitorados. A mesma conclusão pode ser obtida através da aplicação do IQA Objetivo.

Já para o IQA subjetivo conclui-se que apesar do Ponto 01 apresentar a mesma classificação obtida pelo cálculo do IQA CETESB e IQA Objetivo, o Ponto 2 apresentou valores na faixa de 50 a 70, podendo portanto a água ser considerada de qualidade MÉDIA. Esta alteração justifica-se pela aplicação da constante subjetiva  $k$  e visto que para o Ponto 1 foi utilizado o valor de  $k$  igual a 1 e para o Ponto 2 o valor de  $k$  igual a 0,75. Portanto pode-se afirmar que a subjetividade do índice foi determinante para a alteração dos resultados.

Para o índice BMWP a qualidade da água pode ser classificada como BOA com exceção do Ponto 1 – 2ª Campanha, onde a classificação passou para a faixa de 36 a 60, passando a ser considerado REGULAR. Esta pequena variação verificada no comparativo entre as duas campanhas pode estar aliada às condições climáticas e não diretamente aliada a algum impacto negativo na qualidade da água no período.



#### **6.4 Análise Comparativa entre Índices**

Na análise comparativa entre índices, desconsiderando-se a individualização dos pontos amostrados, foi possível concluir que a qualidade da água do córrego em estudo pode ser considerada BOA. Considerando-se que uma das principais finalidades dos índices de qualidade de águas é a comunicação com o público em geral e que todos os índices resultaram na mesma informação pode-se concluir que todas as ferramentas cumpriram seu papel ao transmitir informações sobre a qualidade de água de forma simples e direta.

Individualizando-se por ponto amostrado a análise comparativa entre índices, foi possível observar que todos os índices classificaram a qualidade da água dos pontos amostrados como BOA, com exceção do IQA Subjetivo para o Ponto 2, com qualidade MÉDIA, o que pode ser atribuído ao uso da constante subjetiva  $k$  para seu cálculo.

Corroborando com as conclusões descritas acima, a aplicação da função ONE-WAY ANOVA demonstrou que não é possível aceitar que haja diferença significativa dos resultados obtidos entre índice com exceção da análise individualizada do IQA Subjetivo para o Ponto 2, o que pode ser atribuído ao uso da constante subjetiva  $k$  para seu cálculo.

## 6.5 Comparativo entre a CONAMA 357 e os IQAs

Comparando-se o atendimento à Resolução CONAMA 357/05 com a influência de cada parâmetro normalizado ( $q_i$ ) no cálculo dos índices de qualidade de águas superficiais, concluiu-se que os parâmetros Coliformes, Turbidez, DBO e Fósforo não apresentaram boa correlação entre os valores normalizados inferiores a 70 pontos e o atendimento a legislação ambiental, demonstrando que os índices de qualidade de água aplicados ao caso específico do córrego em estudo não podem ser considerados como um instrumento de atendimento legal.

Já o parâmetro o parâmetro oxigênio dissolvido apresentou resultados que, quando em desconformidade com os limites legais, influenciaram no cálculo dos índices, apresentando, portanto boa correlação entre os valores normalizados e o atendimento a legislação.

Conclui-se ainda que o parâmetro Ferro apresentou-se em desconformidade com os valores limites da CONAMA 357/05 durante todas as campanhas e pontos amostrados e, devido à metodologia utilizada para cálculo dos índices, este parâmetro não foi considerado para formação dos IQAs aplicados ao presente trabalho. Dessa forma, seria de grande importância utilizar-se do parâmetro Ferro para o cálculo dos IQAs. A utilização do parâmetro Ferro pode-se dar com a utilização de novos índices disponíveis na literatura, como por exemplo, o índice de Prati, o qual foi apresentado no presente trabalho. Para utilização do índice de Prati seria necessária a inclusão, durante a execução das amostragens, do monitoramento dos parâmetros Condutividade, Amônia, Permanganato e Surfactantes.

## **6.6 Limites para Lançamento de Efluentes**

Com relação aos parâmetros DBO, Manganês e pH conclui-se que o empreendimento deve simplesmente observar os limites legais, atendendo assim aos valores pré determinados na Resolução CONAMA 430 de 2011.

Devido à elevada concentração de ferro na água superficial devido às características naturais da região, especial atenção deve ser dada à concentração do parâmetro Ferro no lançamento de efluentes do empreendimento de forma a não comprometer ainda mais as concentração de ferro já existentes. Entende-se ainda que o empreendimento deve considerar em seus sistemas de tratamento a melhor tecnologia disponível para remoção desse parâmetro, utilizando-se, por exemplo, da técnica de precipitação química.

## 7. RECOMENDAÇÕES

A realização dos monitoramentos, tanto para águas superficiais como para águas subterrâneas, e seu comparativo com as legislações aplicáveis deve ser continuada.

Conforme descreveu LERMONTOV (2009) o simples comparativo dos valores monitorados com os limites propostos pela legislação apresenta falhas ao tratar e considerar resultados isolados de variáveis analíticas de monitoramento para o enquadramento das águas dentro de classes pré-determinadas.

Dessa forma, recomenda-se que o empreendimento, ao iniciar sua implantação, informe, não somente as autoridades competentes, mas também ao público em geral, os resultados de monitoramento obtidos ao longo do tempo, com frequência mínima trimestral, obedecendo assim a frequência de ao menos uma amostragem por estação do ano. Essa ação pode ser realizada por meio de atividades de educação ambiental e sugere-se a utilização dos índices de qualidade de águas para a divulgação dos resultados. Por motivos de simplificação da informação para o público, recomenda-se que a divulgação seja realizada através de um único índice, neste caso o IQA CETESB. A utilização deste índice justifica-se, pois é um dos mais utilizados no cenário nacional e através da análise comparativa entre índices pode-se verificar que não foi possível observar diferenças entre os resultados obtidos, com exceção do IQA Subjetivo.

Em função do elevado teor de Ferro nas águas superficiais da região, recomenda-se que, ao considerar-se o uso da água superficial para fins industriais, metodologias de tratamento para este parâmetro sejam instaladas e a qualidade da água industrial periodicamente monitorada de forma que sejam evitados problemas comuns a redes de abastecimento industriais, como incrustações, corrosão, entupimentos e outros.

Devido à divergência observada entre o atendimento aos limites propostos pela legislação e a influência no cálculo dos índices para o estudo de caso em específico, em especial para os parâmetros Coliformes, Turbidez, DBO e Fósforo, sugere-se a inclusão de novos parâmetros de monitoramento para o cálculo de outros índices que considerem o parâmetro Ferro em sua

formulação. O índice de Prati poderia ser calculado com a simples adição dos parâmetros Condutividade, Amônia, Permanganato e Surfactantes durante os monitoramentos.

Por fim, recomenda-se que seja utilizada a melhor tecnologia disponível para a remoção do parâmetro Ferro no lançamento de efluentes do empreendimento, como por exemplo, a precipitação química. Os demais parâmetros devem observar os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 430 de 2011.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, S. A. *Water Quality Indices, State of the art report*. National Institute of Hydrology, Roorkee, 2002.

AGENCIA CATALANA DE L'AIGUA – ACA. *Simplified Water Quality Index*. Disponível em <http://aca-web.gencat.cat>, acesso em 20 de agosto de 2011. 2011

AGENCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. *Resolução n.º 317 de 26 Agosto de 2003 – Institui o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH*. 2003

ALBA-TERCEDOR, J. BMWP', *Um adattamento spagnolo del British Biological Monitoring Working Party (BMWP) Score Systems*. *Biol. Amb.*, v.14, n.2, p.65-67, 1996.

ALMEIDA, R. A. S. *Índice de qualidade de águas subterrâneas destinadas ao uso na produção de água potável (IQUAS)*. Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2007.

ARMITAGE, P. D.; MOSS, D.; Wright, J. F.; FUSRSE, M. T. *Performance of a new biological water quality score system based on macroinvertebrates over a wide range of unpolluted running water sites*. *Water Research.*, v.17, n.3, p.333-347, 1983.

BILICH, M. R.; LACERDA, M. P. C. *Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal por meio de geoprocessamento*. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 2059-2065, 2005.

BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. *Avaliação da qualidade das águas do rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de índices quantitativos e perceptivos*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 13, n. 4, p. 443-452, 2008.

BOYACIOGLU, H. *Development of a water quality index based on European classification scheme*. Universidade de Dokuz Eylul, Faculdade de Engenharia, Turquia, 2006.

CARVALHO, A. R.; SCHLITTLER, F. H. M.; TORNISIELO, W. L. *Relações da atividade agropecuária com os parâmetros físicos e químicos da água*. Química Nova, São Paulo, v. 23, n.º 5, p. 618-622, 2000.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL - CETESB. *Relatório de Qualidade de Águas Interiores do Estado de São Paulo*. São Paulo, CETESB, 2006.

CONESA FERNANDES-VITORA. *Methodological Guide for Environmental Impact Evaluation*, 3rd Ed. Mundi-Prensa, Madrid, Espanha, 1997.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. *Resolução n.º 274, de 29 de Novembro de 2000 - Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras*. 2000.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. *Resolução n.º 357, de 17 de Março de 2005 - Estabelece os padrões para o lançamento de efluentes líquidos*. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. *Resolução n.º 420, de 28 de dezembro de 2009 - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas*. 2009.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. *Resolução n.º 430, de 13 de Maio de 2011 - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes*. 2011.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS – CNRH. *Resolução CNRH n.º 32, de 15 de Outubro de 2003 – Institui a Divisão Hidrográfica Nacional*. 2003.

CÓRDOBA, E. B.; MARTÍNEZ, A. C.; FERRER, E. V. *Water quality indicators: Comparison of a probabilistic index and a general quality index. The case of the Confederación Hidrográfica del Júcar (Spain)*. Ecological Indicators 10, 1049-1054, Elsevier, 2010.

CZERNIAWSKA-KUZCA, I. *Comparing modified biological monitoring working party score system and several biological indices based on macroinvertebrates for water-quality assessment*. Elsevier, Limnologica 35, p. 169-176, 2005.

FERREIRA, A. L.; CARVALHO, C. F.; STAPELFELDT, F. *Qualidade das águas do ribeirão Ubá – MG*. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 57(3), p. 165-172, 2004.

FLORES, J. C. *Comments to the use of water quality indices to verify the impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía river*. Universidad de Salamanca. Water Research 36, 2002.

GONÇALVES, E. M. *Avaliação da qualidade da água do rio Uberabinha – Uberlândia – MG*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

IDE, C. N.; FERREIRA, L. M. *Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-SMITH e IQA-HORTON, aplicados ao rio Miranda, MS*. Anais do 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Projeção da população do Brasil por sexo e idade 1980-2050*. Rio de Janeiro, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Histórico de Três Lagoas*. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acesso em 10 de agosto de 2011. 2011

JACINTHO, A. C. B. *Utilização do índice de qualidade da água do monitoramento do ribeirão Correias, município de Franca, Estado de São Paulo*. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

JORDÃO, E. P; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª Edição, Rio de Janeiro, 2005.

LERMONTOV, A. *Novo índice de qualidade das águas com uso da lógica e inferência nebulosa*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009

LIMA, A. N. L. *Princípio do Poluidor Pagador*. Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.



MACEDO, J. C.; BLUME, K. K.; MENEGUZZI, A.; QUEVEDO, D. M.; RODRIGUEZ, M. A. S. *Water quality assessment of the Sinos River, Southern Brazil*. Brazilian Journal of Biology, vol. 70, n.º 4, p.1185-1193, 2010.

MANCUSO, P. C. S; SANTOS, H. F. *Reúso de Água*. Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 1ª edição, 2003.

MATO GROSSO DO SUL, SECRETARIA DE PLANEJAMENTO. *Atlas Multirreferencial*. Campo Grande, 1990.

MELGES, L. H. *ABC da Ecologia*. 2005

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Comentários sobre a Portaria MS n.º 518/2004: subsídios para implementação*. Editora do Ministério da Saúde, Brasília, 2005.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria n.º 518 de 25 de Março de 2004 - Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências*. 2004.

OTT, W. R. *Environmental indices: theory and practice*. Ann Arbor Science Pub. Inc., Ann Arbor/ MICH, Estados Unidos, 1978.

PESCE, S. F.; WUNDERLIN, D. A. *Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia river*. Water Research 34, 2000.

PIMENTA, S. M.; PEÑA, A.P.; GOMES, P. S. *Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde – Goiás*. Sociedade & Natureza, Uberlândia, n. 21, p. 393-412, 2009.

PINTO, D. B. F.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; COELHO, G. *Qualidade da água do ribeirão Lavrinha na região Alto Rio Grande – MG, Brasil*. Ciênc. Agrotec., Lavras, v. 33, n. 4, p. 1145-1152, 2009.

PRATI, L; PAVANELLO, R; PESARNI, F. *Assesment of surface water quality by a single index of pollution*. Water Research, v. 5, n. 9, p. 741-751, 1971.

PROVENCHER, M.; LAMONTAGNE, M. P. *Méthode de détermination d'un indice d'appréciation de la qualité des eaux selon différentes utilisations*. Ministère de Richesses Naturelles, Québec, 1997

REBOUÇAS, A. C. *Águas Doces no Brasil*. Capital Ecológico, Uso e Conservação, São Paulo – SP, Editora Escrituras. 1999.

RICHTER, C. A; NETTO, J. M. A. *Tratamento de Água – Tecnologia atualizada*. Editora Edgard Blucher Ltda. 1ª Edição, 1991.

ROCHA, J. S. M. *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. Santa Maria: Edições UFSM, 1997.

ROQUE, P. C.; BARREIROS, M. A.; KUROSHIMA, K. N. *Aplicação dos índices de qualidade de água (IQA) em diferentes praias da região centro norte catarinense*. Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, Santa Catarina, 2002.

ROSENBERG, D. M.; RESH, V. H. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. Chapman & Hall, Londres, 486 p, 1993.

SALLUN, A. E. M.; SUGUIO, K.; STEVAUX, J. C. *Proposição Formal do Alogruppo Alto Rio Paraná*. Revista do Instituto Geociências - USP, São Paulo, v. 7, n.º 2, p. 49-70, 2007.

SANTOS, K. P.; FLORENCIO, L. *Aplicação de modelo simplificado para avaliação do estado trófico no reservatório de Duas Unas, Pernambuco*. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

SARGAONKAR, A.; DESHPANDE, V. *Development of na overall index of pollution for surface water basead on a general classification scheme in Indian context*. Environ. Monit. Assess., n.º 89, p.43-67, 2003

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO, DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA E INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL. *Plano estadual de recursos hídricos de Mato Grosso do Sul*. Campo Grande, MS: Editora UEMS, 2010.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. *Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao Rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP*. Química Nova, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 689-694, 2006.

STRIEDER, M. N.; RONCHI, L. H.; STENERT, C.; SCHERER, R. T.; NEISS, U. G. *Medidas biológicas e índices de qualidade da água de uma microbacia com poluição urbana e de curtumes no Sul do Brasil*. Acta Biológica Leopoldensia, Porto Alegre, volume 28, nº 01, p.17-24, 2006

TERRADO, M.; BORRELL, E.; CAMPOS, S.; BARCELÓ, D.; TAULER, R. *Surface-water quality indices for analysis of data generated by automated sampling networks*. Trends in Analytical Chemistry, Vol. 29, nº 1, 2010.

TIBURTIUS, LOPES E. R.; PERALTA-ZAMORA, P. *Contaminação de águas por BTXS e processos utilizados na remediação de sítios contaminados*. Química Nova, volume 27, nº 03, p. 441-446, 2004

ZANINI, H. L. H. T.; AMARAL, L. A.; ZANINI, J. R.; TAVARES, L. H. S. *Caracterização da água da microbacia do córrego Rico avaliada pelo índice de qualidade de água e de estado trófico*. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, nº 04, p. 732-741, 2010.