

# QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIBEIRÃO DAS ANTAS



1/4/2009

Projeto ARCAL RLA01/10

A qualidade da água do Ribeirão das Antas em 2008 variou entre média e excelente (considerando o IQA-NSF-IGAM) e entre marginal e regular (considerando o IQA-CMMF-ARCAL). Dois locais estão sendo impactados por esgotos domésticos e ações deveriam ser implementadas para minimizar a contaminação. Concentrações aumentadas de manganês foram verificadas no ponto de descarga da mineração de urânio; no entanto, a água no local apresentou ausência de toxicidade.

# Qualidade das águas do Ribeirão das Antas

Projeto ARCAL RLA 010/10

A qualidade das águas do Ribeirão das Antas, Poços de Caldas, foi avaliada pela determinação de 21 parâmetros em águas de sete pontos de amostragem, cálculo de índices de qualidade e bioensaio de toxicidade. Duas metodologias distintas para cálculo de índice de qualidade (IQA-NSF-IGAM e IQA-CMME-ARCAL) foram aplicadas e comparadas. Os resultados mostraram que a qualidade das águas do ribeirão varia entre marginal e regular, e, entre médio e excelente, dependendo do índice utilizado. O índice IQA-CMME-ARCAL parece ser mais realista, uma vez que classificou como marginal água de local que apresentou 75% de valores de coliformes fecais superiores ao padrão preconizado pelo CONAMA. As águas do ribeirão podem ser classificadas como classe III (águas que podem ser utilizadas para consumo após tratamento convencional ou avançado), visto que as concentrações naturais de manganês (0,20 mg/L) e alumínio (0,11 mg/L) na região são mais elevadas do que o padrão preconizado pelo CONAMA para águas de classe I e II (0,1 mg/L para Al e para Mn).

Considerando as substâncias tóxicas recomendadas pelo IGAM, a contaminação por tóxicos é baixa no Ribeirão das Antas, uma vez que as concentrações dos parâmetros tóxicos foram inferiores aos padrões estabelecidos para vida aquática.

A mineradora de urânio libera concentrações relevantes de manganês (cerca de 1,5 mg/l) no seu efluente líquido. No entanto, ensaios de toxicidade, crônico e agudo, no efluente liberado e na água que recebe o efluente não resultaram em efeitos tóxicos em *Ceriodaphnia dubia* e em *Daphnia similis*, indicando ausência de toxicidade, apesar das concentrações aumentadas de Mn nas águas. As concentrações de urânio e dos radioisótopos Ra-228, Ra-226 e Pb-210 são inferiores aos limites estabelecidos pela CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear).

Dois locais do ribeirão têm as suas águas ocasionalmente deterioradas pelo lançamento de esgotos oriundos de comunidades próximas e devem ser mais bem acompanhadas.

Este trabalho é parte do projeto ARCAL RLA01/10, apoiado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). Os parâmetros utilizados para a determinação dos índices de qualidade das águas foram determinados por uma rede de laboratórios formada pelas seguintes instituições,

que participam do projeto ARCAL RLA01/10: Instituto de Radioproteção e Dosimetria (IRD/CNEN) (coordenação do projeto), Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Poços de Caldas, as Indústrias Nucleares Brasileiras (INB), o Laboratório Teixeira de Andradas e o Laboratório de Poços de Caldas (LAPOC/CNEN).

Este relatório está dividido em três capítulos: o capítulo 1 descreve sumariamente o índice de qualidade utilizado pelo IGAM (IQA-NSF) para verificação da qualidade das águas superficiais no estado de Minas Gerais e o índice escolhido pelo projeto ARCAL (IQA-CMME) para ser aplicado na América Latina e Caribe. Estão, ainda, descritas as metodologias utilizadas pelo IGAM para avaliar a contaminação por tóxico e a toxicidade. No capítulo 2 estão listados os pontos de amostragem e, é apresentado um sumário dos procedimentos adotados para coleta e dos métodos analíticos utilizados na determinação dos 21 parâmetros analisados; finalmente, no capítulo 3 são apresentados os resultados obtidos, a avaliação dos resultados e os índices de qualidade, calculados pelos dois métodos, são comparados e avaliados. No capítulo 4 é apresentada a conclusão do trabalho.

## 1. ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA.

As previsões de escassez de água de boa qualidade, num futuro não muito distante, ressaltam a necessidade e a urgência de políticas de proteção e recuperação de recursos hídricos, a fim de garantir condições de usos atuais e futuros das águas. Essas políticas requerem uma estratégia de levantamento de dados que indique o estado do ambiente aquático. Para esse fim, são estabelecidos os programas de monitoramento da qualidade da água, que consistem em coleta, análises de amostras e determinação de parâmetros, com periodicidade estabelecida. Como parte do programa de monitoração, os dados obtidos são confrontados com padrões estabelecidos, avaliados e interpretados espacialmente e temporalmente.

Uma das ferramentas utilizadas para interpretar os dados obtidos é o índice de qualidade de água (IQA). O IQA é uma ferramenta importante por fornecer um diagnóstico geral sobre o estado do corpo d'água e facilitar a tomada de decisão para atuar preventiva ou corretivamente sobre o recurso hídrico. Agrega, em um único número, de forma clara e concisa, as informações contidas em listas de parâmetros físicos, químicos e biológicos de água. Sintetiza informações necessárias para avaliar problemas específicos, ou verificar o atendimento aos padrões legais. O índice pode ser utilizado para informação ao público, possibilita a comparação de diferentes corpos hídricos e rapidamente permite a visualização temporal e espacial da qualidade da água de um corpo hídrico. No entanto, a avaliação dos valores de parâmetros individuais não deve ser desprezada,

pois o índice pode escamotear problemas relacionados a determinados parâmetros. As desvantagens do uso do IQA sem uma avaliação criteriosa, parâmetro por parâmetro, incluem a perda de informação de um único parâmetro, a perda de informação das interações entre parâmetros e a falta de portabilidade do índice para diferentes ecossistemas.

### 1.1. Índice de qualidade de água da *National Sanitation Foundation* (IQA-NSF-IGAM).

A Fundação Estadual de Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM), juntamente com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), realizam o monitoramento da qualidade das águas superficiais do estado de Minas Gerais e utilizam o IQA-NSF para avaliação da qualidade da água ([http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/downloads/SCQA\\_final.pdf](http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/downloads/SCQA_final.pdf); PNMA II, 2007).

O índice NSF foi desenvolvido tomando como base a compilação de opiniões de 142 especialistas sobre a importância de diferentes parâmetros para a qualidade da água, para fins de abastecimento, utilizando a técnica de *Delphi*. Os especialistas responderam a vários questionários, as respostas foram tabuladas e retornadas a cada participante, para comparação de sua resposta com a dos demais participantes, em busca de um consenso. O resultado desta pesquisa subsidiou a escolha das variáveis de qualidade de água que deveriam entrar no cálculo, o peso relativo das mesmas e a condição em que cada uma delas se apresentava, de acordo com uma escala de valores. Inicialmente, foram selecionadas 35 variáveis indicadoras de qualidade da água e, destas, nove foram selecionadas para compor o IQA-NSF. Os parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas, juntamente com os pesos (**w**) atribuídos de acordo com a sua importância relativa no cálculo do IQA, são apresentados a seguir: **oxigênio dissolvido** (0,17), **coliformes termotolerantes** (0,15), **pH** (0,12), **demanda bioquímica de oxigênio** (0,10), **nitrato** (0,10), **fosfato total** (0,10), **temperatura da água** (0,10), **turbidez** (0,08) e **sólidos totais** (0,08).

Para cada variável foi estabelecida uma curva de variação da qualidade da água em função da concentração da mesma. Um exemplo de curva de qualidade da água é apresentada a seguir na figura 1. As demais curvas podem ser visualizadas em : [http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice\\_iap\\_iqa.asp](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp). Funções matemáticas descrevem estas curvas e são utilizadas para o cálculo dos subíndices **q**, relacionados a cada parâmetro.

O IQA é calculado pela seguinte equação:

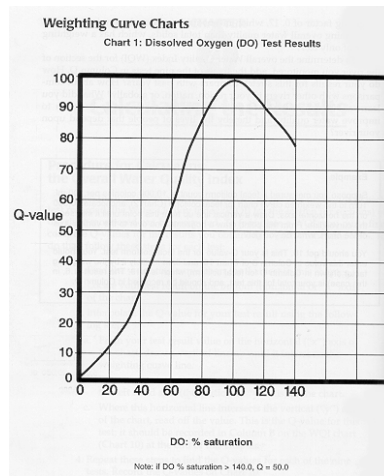
$$IQA = \prod_i^9 q_i^{w_i}$$

onde:

IQA – Índice de Qualidade de Águas, um número entre 0 e 100;

$q_i$  – qualidade do  $i$ -ésimo parâmetro obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida;

$w_i$  – peso correspondente ao  $i$ -ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade.



**Figura 1.** Curva do oxigênio dissolvido (IQA-NSF-IGAM).

É importante ressaltar que os parâmetros de qualidade que fazem parte do cálculo do IQA-NSF refletem, principalmente, a contaminação dos corpos hídricos ocasionada pelo lançamento de esgotos domésticos. Adicionalmente, os padrões utilizados no desenvolvimento das equações são relacionados às águas para fins de abastecimento público.

Para suprir as deficiências do IQA-NSF referentes aos parâmetros avaliados, os órgãos ambientais adicionam outros indicadores para refletir contaminações advindas de outras atividades antropogênicas como, por exemplo, as industriais.

## 1.2. Contaminação por tóxico (CT)

O IGAM utiliza um índice adicional ao IQA-NSF para avaliar suas águas: a contaminação por tóxicos (CT). O CT considera as concentrações dos parâmetros tóxicos: **Amônia, Arsênio total, Bário total, Cádmio total, Chumbo total, Cianeto livres, Cobre total e Cobre dissolvido, Cromo hexavalente e Cromo total, Fenóis totais, Mercúrio total, Nitritos, Nitratos e Zinco total**. Comparando diretamente os valores analisados com os limites definidos nas classes de enquadramento dos corpos de água pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, na Resolução N° 357/05, a contaminação por tóxicos é caracterizada como Baixa, Média ou Alta.

A denominação Baixa refere-se à ocorrência de substâncias tóxicas em concentrações que excedam em até 20% o limite de classe de enquadramento do trecho do corpo de água onde se localiza a estação de amostragem. A contaminação Média refere-se à faixa de concentração que ultrapasse os limites mencionados no intervalo de 20% a 100%, enquanto a contaminação Alta refere-se às concentrações que excedam em mais de 100% os limites.

### 1.3. Índice Canadense-IQA-CCME-ARCAL

Com a finalidade de introduzir um índice de qualidade único que pudesse ser utilizado e compreendido por todos os países da América Latina e Caribe, em reunião ocorrida na cidade do Rio de Janeiro entre 27 e 31 de Agosto de 2007, o grupo de representantes dos países: Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Costa Rica, Cuba, México, Peru, República Dominicana, El Salvador, Uruguai e Venezuela (que fazem parte do projeto ARCAL RLA01/10-IAEA) elegeu o índice adotado pelo Canadá (IQA-CCME) como aquele mais adequado, considerando que: o IQA-CCME não utiliza ponderações, o que diminui a subjetividade presente no índice WFS, sendo, portanto, mais claro. Ademais, os valores dos padrões podem ser modificados para a classe de água que se quer analisar e parâmetros podem ser incluídos e excluídos, conforme o caso em estudo.

Os parâmetros escolhidos para compor o índice foram eleitos dentre aqueles considerados os mais representativos para os diversos países da América Latina e Caribe. Além disto, a mediana dos padrões para a classe I-preservação do ambiente aquático, adotados nos diversos países, foi escolhida como padrão para os parâmetros escolhidos. Foram eles: **Coliforme fecal** (1000 NMP/100 ml), **DBO<sub>5</sub>** (10 mg/L), **NO<sub>3</sub>** (10 mg/L), **N-NH<sub>4</sub>** (0,75 mg/L), **oxigênio dissolvido** (5 mg/L), **pH** (6-9), **sólido total dissolvido** (1000 mg/L), **total de sólidos em suspensão** (75 mg/l) e as **variáveis tóxicas** listadas na Tabela 1.

O IQA-CCME (*Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*) está baseado na fórmula desenvolvida pelo *British Columbia Ministry of Environment, Lands and Parks* (1995). Em janeiro de 1997 foi formado um subcomitê técnico para criar um índice que poderia ser adotado por todas as províncias do território canadense. O índice foi aprovado em 2001, sendo uma ferramenta útil para os especialistas em qualidade de água para gerar informação ao público em geral (Fraire, 2005).

Considerando que o objetivo é atender aos padrões (valores limites estabelecidos para os parâmetros), o índice está baseado na combinação de três fatores:

1. O número de parâmetros não conformes com os padrões (parâmetros falhos), alcance-F1.
2. O número de determinações individuais (considerando todos os parâmetros) não conformes com os padrões (testes falhos), frequência-F2.
3. A distância entre o valor medido e o valor do padrão de cada teste falho, amplitude-F3.

Estes fatores são combinados para produzir um único valor (entre 0 e 100) que descreve a qualidade da água (F1, F2 e F3).

- i) F1 representa a percentagem de parâmetros que falharam em seus objetivos por, pelo menos uma vez, em relação ao número total de parâmetros medidos.

$$F1 = \left( \frac{\text{Número de Parâmetros Falhos}}{\text{Número Total de Parâmetros}} \right) * 100$$

- ii) F2 representa a percentagem de testes individuais que falharam.

$$F2 = \left( \frac{\text{Número de Testes Falhos}}{\text{Número Total de Testes}} \right) * 100$$

- iii) F3 representa o quanto o total dos testes que falhou em atingir os valores de referência de qualidade de água para a classe considerada, se distanciou dos padrões estabelecidos. F3 é calculado em três etapas.

- a) O quanto o teste individual tem o valor medido maior (ou menor, quando o objetivo é ser mínimo) que o valor padrão (objetivo): *excursion*, expressa como:

$$excursion_i = \left( \frac{ValorMedidodoTesteFalho}{ValordoPadrão} \right) - 1$$

Para os casos em que o valor medido individual deve ser maior que o padrão (por exemplo, oxigênio dissolvido):

$$excursion_i = \left( \frac{ValordoPadrão}{ValorMedidodoTesteFalho} \right) - 1$$

- b) O quanto o total dos testes individuais se distanciou da conformidade é calculado somando as *excursion* dos testes individuais e dividindo pelo número total de testes realizados (conformes e não conformes). Esta variável se refere à soma normalizada das *excursion*, o *nse*, é calculado:

$$nse = \sum_{i=1}^n \frac{excursion_i}{NúmeroTotaldeTestes}$$

- c) F3 se calcula com uma função assintótica que utiliza o *nse* para conseguir um resultado entre 0 e 100:

$$F3 = \left( \frac{nse}{0,01 * nse + 0,01} \right)$$

Uma vez que os fatores tenham sido obtidos, o índice é calculado pela soma os três fatores. A soma dos quadrados de cada fator é igual ao quadrado do índice (Fraire, 2005).



$$IQA - CCME = 100 - \left( \frac{F1^2 + F2^2 + F3^2}{1,732} \right)$$

O divisor 1,732 normaliza o valor resultante em um limite entre 0 e 100, onde 0 representa a pior qualidade de água e 100 representa a melhor qualidade de água (CCME WATER QUALITY INDEX 1.0 Technical Report, [http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi\\_techrprtftsht\\_e.pdf](http://www.ccme.ca/assets/pdf/wqi_techrprtftsht_e.pdf))

Determinado o valor do IQA-CCME, ao resultado é atribuída uma categoria descritiva. O grupo de trabalho que desenvolveu o índice sugere as seguintes categorias como ponto de partida. Os limites das mesmas podem ser modificados dependendo da variável e objetivos escolhidos, que por sua vez, variam de acordo com o corpo d'água, seu estado e das jurisdições aplicadas (Fraire, 2005).

A caracterização sugerida é a seguinte (Fraire,2005):

Excelente (WQI=95-100): a qualidade da água está protegida, sem aparentes ameaças de contaminação. Condições próximas das naturais. Esta condição só pode ser obtida se todas as medidas estiverem em conformidade com os padrões, por todo o tempo.

Bom (WQI=80-94): a qualidade da água está protegida, porém existe uma mínima ameaça de contaminação; sua condição raramente se afasta da natural ou dos níveis desejados.

Regular (WQI=60-79): a qualidade da água está usualmente protegida, porém é ocasionalmente ameaçada; sua condição, algumas vezes, se afasta do natural ou dos níveis desejados.

Marginal (WQI=45-59): a qualidade da água é freqüentemente ameaçada; sua condição se afasta freqüentemente da natural e dos níveis desejados.

Pobre (WQI=0-44): a qualidade da água se encontra quase sempre ameaçada; sua condição usualmente se afasta da natural e dos níveis desejados.

O IQA-CMME se diferencia de todos os outros índices de qualidade, dado que não toma parâmetros específicos, apenas deixa aberta a escolha dos mesmos ao bom juízo do profissional, o qual deve ter em conta as características do corpo hídrico. Identifica os parâmetros com valor de concentração elevado e leva em consideração a periodicidade em que se afastam do desejável. Não tem função de transformação, nem atribuição de peso a parâmetros participantes, o que o faz o mais universal e objetivo (Fraire, 2005).

**Tabela 1** Padrões adotados para metais para o índice de Toxidez (mg/L) segundo resolução CONAMA, na Resolução N° 357/05 e para o índice normalizado para América Latina e Caribe

<i>Parâmetros Tóxicos</i>	<i>Padrões classe 1-Preservação da Vida Aquática (mg/L)</i>	<i>Padrão América Latina e Caribe (mg/L)</i>
Cádmio	0,001	0,005
Chumbo	0,01	0,03
Cobre	0,009	0,50
Cromo Total	0,05	0,05
Mercúrio	0,002	0,001
Arsênio	0,001	0,05
Ferro	0,3	
Manganês	0,1	
Alumínio	0,1	
Zinco total	0,18	
Flúor	1,4	
Urânio	0,02	
Bário total	0,7	

#### 1.4 Bioensaios Ecotoxicológicos

Os ensaios de toxicidade visam determinar o potencial tóxico de uma substância ou de uma mistura complexa, através da resposta de organismos vivos. São utilizados para complementar os métodos tradicionalmente adotados para verificação da qualidade da água. Dentre os organismos aquáticos mais utilizados para testes de toxicidade encontram-se os microcrustáceo *Ceriodaphnia dubia* e *Daphnia magna*. Com relação ao tempo de exposição, os bioensaios podem ser classificados como Agudo, Crônico e Não Tóxico, para descrever os eventuais efeitos deletérios sobre os organismos aquáticos.

O efeito agudo é caracterizado por uma resposta severa e rápida a um estímulo, a qual se manifesta nos organismos aquáticos em tempos relativamente curtos (0 a 96 horas), sendo o efeito morte o mais observado. O efeito crônico caracteriza-se pela resposta a um estímulo que continua por longos períodos (1/10 do ciclo vital até a totalidade da vida do organismo) de exposição do organismo ao poluente, que pode ser expressa através de mudanças comportamentais, alterações

fisiológicas, genéticas e de reprodução, etc. O IGAM atribui uma classificação de toxicidade de acordo com a frequência de resultados positivos dos ensaios. Se a estação apresenta até 25% de efeitos tóxicos (baixa toxicidade), se apresenta entre 25-50% (média toxicidade) e se apresenta entre 51 e 100% de efeitos tóxicos (alta toxicidade).

Se como resposta de ensaios forem observados efeitos tóxicos (agudo ou crônico), nas amostras de água sob investigação, considera-se que os corpos de água que estão sendo avaliados não apresentam condições adequadas para a manutenção da vida aquática.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Pontos de amostragem

Foram os seguintes os pontos de amostragem escolhidos ao longo do Ribeirão das Antas (Coordenadas UTM, referência Córrego Alegre):

Ponto 001: Saída da Bacia de Captação das Águas Claras - Ponto de Interface com o meio ambiente (INB-Ponto 014) ( 7570681 S; 23K0341823L).

Ponto 002: Ribeirão das Antas entre os pontos 014 e 003. Utilizado para pescaria; altitude: 1280 m (IRD- 005A)( 7572168S; 23K0339214L).

Ponto 003: Ribeirão das Antas após receber as Águas do Rio Tamanduá. Ponte da BR-146. Local de coleta do PMA da DMAE e INB; altitude:1273 m (IRD-003) (Coordenadas UTM, referência Córrego Alegre: 7574178S; 23K0336275L).

Ponto: 004 Ribeirão das Antas após receber as Águas do Córrego Pião e C. do Moinho. Recebe os efluentes da Cerâmica Togni - Unidade II e da COLAB - sobre uma ponte localizada na Fazenda Do Moinho; altitude: 1258 m (IRD-004) (7578301S; 23K0337046L).

Ponto 005: Ribeirão das Antas após receber os efluentes da ALCOA, antes do C. Cipó; (aproximadamente 100 metros à jusante do ponto de captação da ETA05); altitude; 1248 m (IRD-002A) (7584537S; 23K0334602L).

Ponto 006: Córrego das Amoras que recebe os efluentes de diversas indústrias - Afluente da Represa Bortolan. Local de coleta do PMA da DMAE; altitude: 1250 m (IRD-006A)( 7586182S; 23K0330933L).

Ponto 007: Ribeirão das Antas, saída da Represa Bortolan (IEF)-coleta na prancha-Local de coleta do PMA da DMAE; altitude: 1183 m (IRD-007) (7591220 S; 23K0333906L).

Além destes pontos, foram escolhidos 4 pontos situados dentro da área pertencente a mineradora de urânio, como pontos de “background”:

BG 01: Na linha de desvio do C. Cercado, que beira o BF8, a montante do recebimento do Canal da Mina. Ponto Controle (“background”) altitude 1331m (INB-159) (7571490S; 23K0343828L)

BG 02: C. Pitangueiras - Tributário do R. Antas, suas águas entram na Bacia de Captação de Águas Claras. Ponto Controle (background”); altitude: 1258 m (INB-084) (7568724S; 23K0344402L).

BG 03: Lagoa do ribeirão do Consulta a montante da nascente (bica) que abastece a construtora Andrade Gutierrez.(INB-073), (7573362S; 23K344352L).

BG 04: Lagoa do Carlyle do ribeirão das Antas no início do canal de desvio do Bota fora 8. (INB- 506) (7573330S;23K343299L).

Na figura 1 pode ser visualizada a localização geográfica dos pontos ao longo do Ribeirão das Antas (pontos em azul BG, pontos em vermelho ao longo do ribeirão).



**Figura 1.** Localização dos pontos de amostragem no Ribeirão das Antas.

## **2.2. Coleta, armazenagem e medidas de parâmetros.**

Foram realizadas quatro (04) campanhas de coleta ao longo do ano de 2008 (março, junho, setembro e dezembro). Estas campanhas foram realizadas com a presença dos componentes do projeto: IRD/CNEN, INB, DMAE e Laboratório Teixeira. As medições no local eram realizadas pelo IRD e pelo DMAE. As amostras, após a coleta, eram compartilhadas pelos laboratórios ainda no local, exceto as amostras para determinação de metais dissolvidos, que eram compartilhados após a filtração e acidificação. No total foram determinados 21 parâmetros para a determinação dos diferentes IQAs.

Os pontos de coleta foram escolhidos considerando a posição de fontes poluidoras potenciais, pontos usualmente monitorados pela INB e/ou DMAE, localização de efluentes e acessibilidade do local para realizar a coleta. Os locais foram localizados com auxílio de um GPS (GARMIN RAP 60 C). Para a coleta da água foi lançado o frasco coletor no corpo d'água em direção oposta à corrente, evitando a suspensão do sedimento. Todos os frascos foram ambientados com a água dos diferentes pontos. Os seguintes parâmetros foram medidos introduzindo a sonda diretamente no corpo d'água: pH, temperatura, condutividade e oxigênio dissolvido.

Metais para medidas por ICP-OES (Al, Mn, Fe, Cu, Cr, Pb), absorção atômica (Cd, As e Hg):

- a) Metal total: à amostra armazenada em um frasco de 100 mL, foi adicionado 0,1 mL de ácido nítrico supra puro.
- b) Metal dissolvido: aproximadamente 50 ml das amostras eram filtradas, utilizando filtros Millipore 0,45 µm. A amostra era, então, acidificada com 0,1 mL de ácido nítrico supra puro e armazenada em refrigeração.

Urânio, isótopos de rádio e Pb-210: dois litros de amostras foram coletados, as amostras eram filtradas o mais rapidamente possível no laboratório e acidificadas com 1 ml por litro de amostra com HNO<sub>3</sub> conc.

Alcalinidade: O frasco com capacidade 250 ml era inserido diretamente no corpo de água, evitando desta maneira o contato com o ar durante a transferência entre frascos e a presença de bolhas no interior do frasco; a amostra era armazenada sob refrigeração.

Ânions para medida por espectrofotometria (sulfato, fosfato, nitrato e nitrito), cloreto e fluoreto: as amostras foram armazenadas em frascos de 500 ml e sob refrigeração.

Carbono orgânico dissolvido: As amostras foram armazenadas em frasco de vidro âmbar e refrigeradas imediatamente em gelo.

Coliforme e DBO<sub>5</sub> as amostras eram coletadas, refrigeradas e encaminhadas para o laboratório o mais rapidamente possível.

Alíquotas de 5 litros da amostra de efluentes e do ponto 001 foram coletadas e imediatamente congeladas para os ensaios de toxicidade.

### **2.3. Análise das amostras**

Para a determinação do Al, Fe, Mn, Cr, Cu e Pb nas frações total e dissolvida foi utilizado a técnica de Espectrometria de Emissão Óptica em Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). As amostras foram analisadas no laboratório de processos da INB, no laboratório de matrizes do IRD/CNEN e no LAPOC/CNEN. O DMAE analisou Al, Fe e Mn por espectrofotometria. Para a determinação de Cd, Hg e As a técnica utilizada pelo LAPOC/CNEN foi a de absorção atômica convencional (Cd), com geração de hidreto (As) e com vapor frio (Hg).

Para a determinação do cloreto foi utilizado o método de argentometria, utilizando o cromato de potássio como indicador para a titulação com nitrato de prata. Os sulfato, fosfato, nitrato e nitrito foram determinados espectrofotometricamente, por turbidimetria, método do molibdato de amônio/ácido ascorbico, método da redução para nitrito em coluna de cádmio, respectivamente. Fluoreto foi determinado por eletrodo íon seletivo.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO5) foi determinada pelo método respirométrico-DBO Track: incubado a 20 °C, leitura em 5 dias.

Coliformes fecais foram determinados pelo método dos tubos múltiplos-semeadura de volumes determinados da amostra em caldo lactosado, incubação a 35 °C, 24-48 horas, ocorrendo um enriquecimento de organismos fermentadores da lactose. Confirmação em meio verde brilhante e E.C.

Os ensaios de toxicidade foram realizados pelo Labtox, segundo a metodologia descrita em NBR 12713 (ABNT, 2004). A *Daphnia similis* foi exposta por 48 horas, em um sistema estático. A toxicidade foi medida em termos de efeitos sobre a mobilidade. A determinação de toxicidade crônica em relação a *Ceriodaphnia dubia* seguiu a metodologia descrita em NBR 13373 (ABNT, 2005). O organismo foi exposto por 7 dias num sistema semi-estático e o nível de reprodução do organismo foi avaliada.

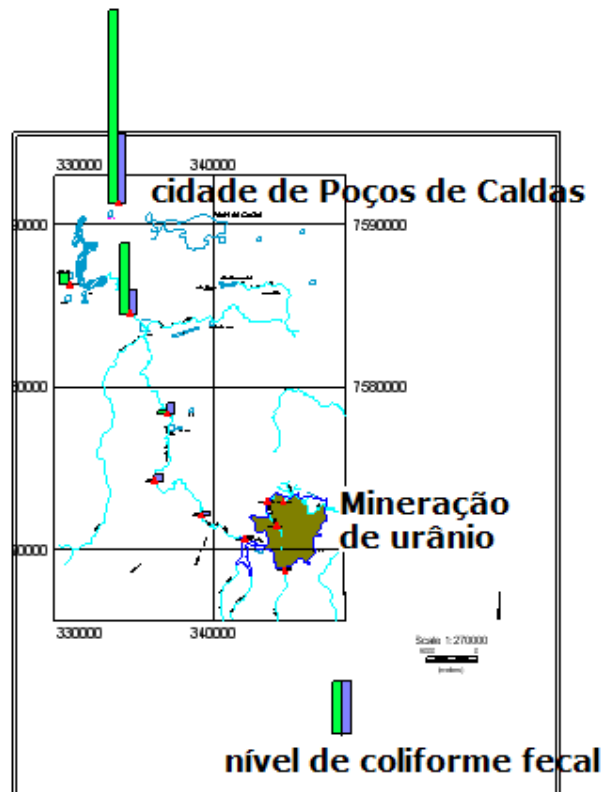
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de concentração e pH determinados para os parâmetros utilizados para cálculo dos IQAs são listados na Tabela 2. Na Tabela I.1, anexo, encontram-se listados os valores individuais.

Os valores de coliforme fecal variaram amplamente ao longo do Ribeirão. Dois pontos (Ponto 005 e o Ponto 007) extrapolaram o limite de 1000 (NPM/100 ml) em 75% das amostras analisadas (3 em 4). As variações dos índices de coliforme entre os pontos de amostragem nos meses de março e junho podem ser visualizadas na Figura 2. O ponto 005 sofre a influência de uma comunidade e recebe os efluentes da ALCOA a montante. O ponto 007 é o local mais próximo à cidade de Poços de Caldas e os dados devem refletir a liberação de esgotos domésticos na área.

**Tabela 2.** Valores máximos e mínimos dos valores de concentração e pH determinados ao longo do Ribeirão das Antas.

<b>Parâmetro</b>	<b>Variação</b>
Coliformes fecais (NPM/100 ml)	<0,15 e >160000
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	<1 e 14,5
NO <sub>3</sub> (mg/l)	<0,05 e 0,61
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	<0,01 e 0,64
Oxigênio Dissolvido (mg/l)	2,5 e 10
pH	5,4 e 6,9
Sólidos dissolvidos totais (mg/l)	4 e 275
Sólidos em Suspensão (mg/l)	<2 e 83
Resíduo Total (mg/l)	22 e 401



**Figura 2.** Variação dos índices de coliforme fecal ao longo do Ribeirão das Antas.

Em relação à demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, nitrato, nenhuma tendência pode ser observada. Diferentes pontos apresentaram por somente uma vez o valor de DBO<sub>5</sub> superior ao limite. Três pontos extrapolaram o valor de OD por apenas uma vez, e um ponto extrapolou o limite de pH uma vez (BG01) e um ponto extrapolou o limite de sólidos totais em



suspensão (Ponto 7). As variáveis nitrato, nitrito, sólidos dissolvidos e resíduo total (utilizado no cálculo IQA-NSF-IGAM) não ultrapassaram os limites em nenhuma das amostras. Três dos valores mais elevados de amônia foram encontrados no Ponto 006.

Os resultados dos parâmetros tóxicos são apresentados na Tabela 8. As variáveis cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio e arsênio, que foram escolhidas para a determinação de um índice de qualidade de água para América Latina e Caribe-ARCAL, não apresentaram concentrações superiores aos limites estipulados em nenhuma das 38 amostras, provenientes das quatro campanhas de amostragem realizadas. Os valores das concentrações destes metais nas águas foram inferiores aos limites estabelecidos para a vida aquática (Classe I, CONAMA, tabela 1). Em relação aos parâmetros tóxicos considerados pelo IGAM, apenas para o zinco foi encontrada 01 (uma) amostra com concentração superior ao limite de 0,18 mg/l Zn, correspondendo a 3% das amostras analisadas. Como no local de onde a amostra foi coletada, nenhuma tendência de valores aumentados de Zn nas águas foi observada, não se pode descartar de que o dado seja um dado espúrio. Segundo a classificação adotada pelo IGAM, e considerando que não foram analisados nem cianetos nem fenóis, a **contaminação por tóxicos é considerada como baixa no Ribeirão das Antas.**

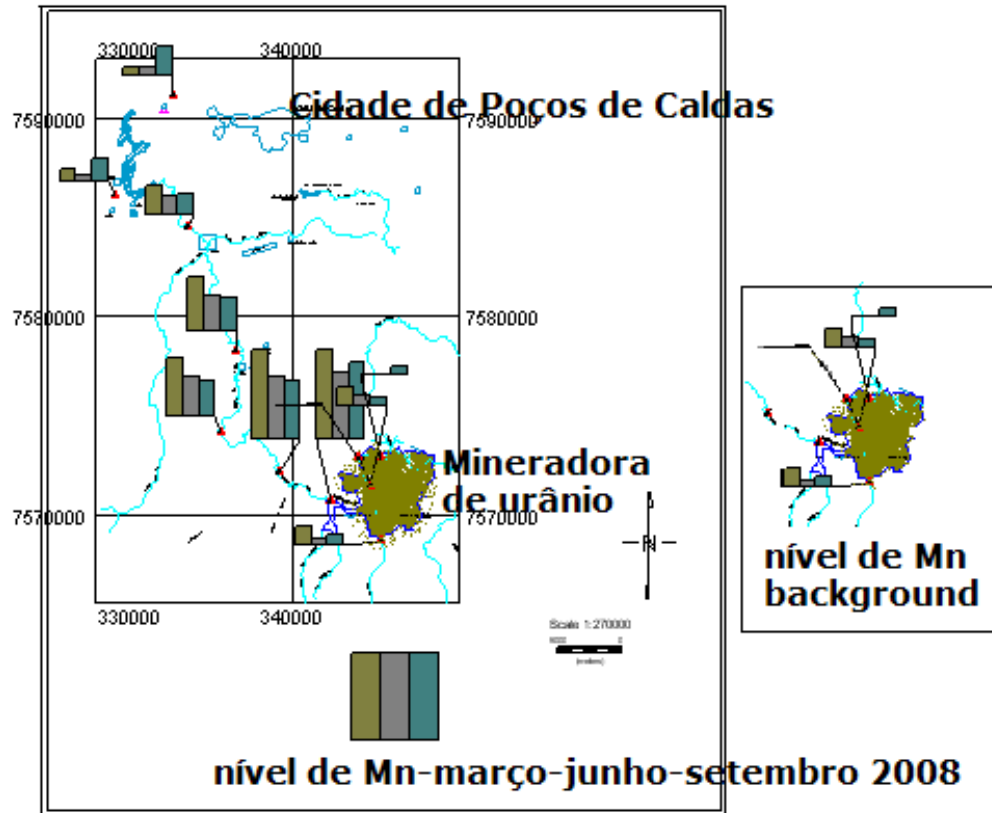
**Tabela 3.** Resultados analíticos dos parâmetros nas amostras de água do Ribeirão das Antas

<i>Parâmetros</i>	<i>Variação da Concentração</i>
As total	<0,003
Cd total	<0,002-0,003
Cr total	<0,001-0,002
Cu total	<0,008-0,010
Pb total	<0,004-0,020
Hg total	<0,0005
Ba total	<0,05-0,11
Zn total	<0,01-0,29
Al-dissolvido	<0,05-0,36
Fe-dissolvido	<0,01-0,35
Mn-dissolvido	0,03-1,65
Fluoreto	<0,1-1,8
Amônia	<0,01-0,68
Nitrito	<0,02-0,30
Nitrato	<0,05-0,61

O IQA-CCME permite a inclusão dos parâmetros específicos e considerados críticos para o corpo hídrico avaliado, o que é uma das vantagens da metodologia. Portanto, além dos parâmetros do IQA-NSF-IGAM, considerando as peculiaridades da região de Poços de Caldas e as potenciais fontes poluidoras, foram consideradas as seguintes variáveis para o cálculo do IQA-CCME do Ribeirão: **Mn, Fe, Al, U e fluoreto**.

Embora considerado de baixa toxidez, o manganês tem um limite fixado para vida aquática (0,1 mg/l) que é ultrapassado em quase todas as águas amostradas, inclusive as amostras de nascentes a montante da mineradora de urânio (BG). Apenas nas águas de um dos pontos de nascente, foram encontradas concentrações inferiores ao limite (BG3). Assim, utilizando o limite CONAMA (0,1 mg/l), o manganês está acima do limite em quase todos os pontos e em todos os meses. As mais elevadas concentrações são encontradas no Ponto 001, indicando o impacto da mineradora sobre o corpo d'água. A Figura 3 mostra a distribuição do teor de manganês ao longo do Ribeirão das Antas nos meses de março, junho e setembro de 2008.

As concentrações de ferro foram ultrapassadas em três amostras de pontos de coleta distintos, enquanto as concentrações de Al ultrapassaram o limite em dez das amostras, sendo que oito amostras ultrapassaram o limite no mês de março, o que mostra a influência do carreamento de material pelas águas de chuva. Apenas uma amostra ultrapassou o limite de fluoreto (Ponto 001) e nenhuma amostra ultrapassou o limite para urânio.

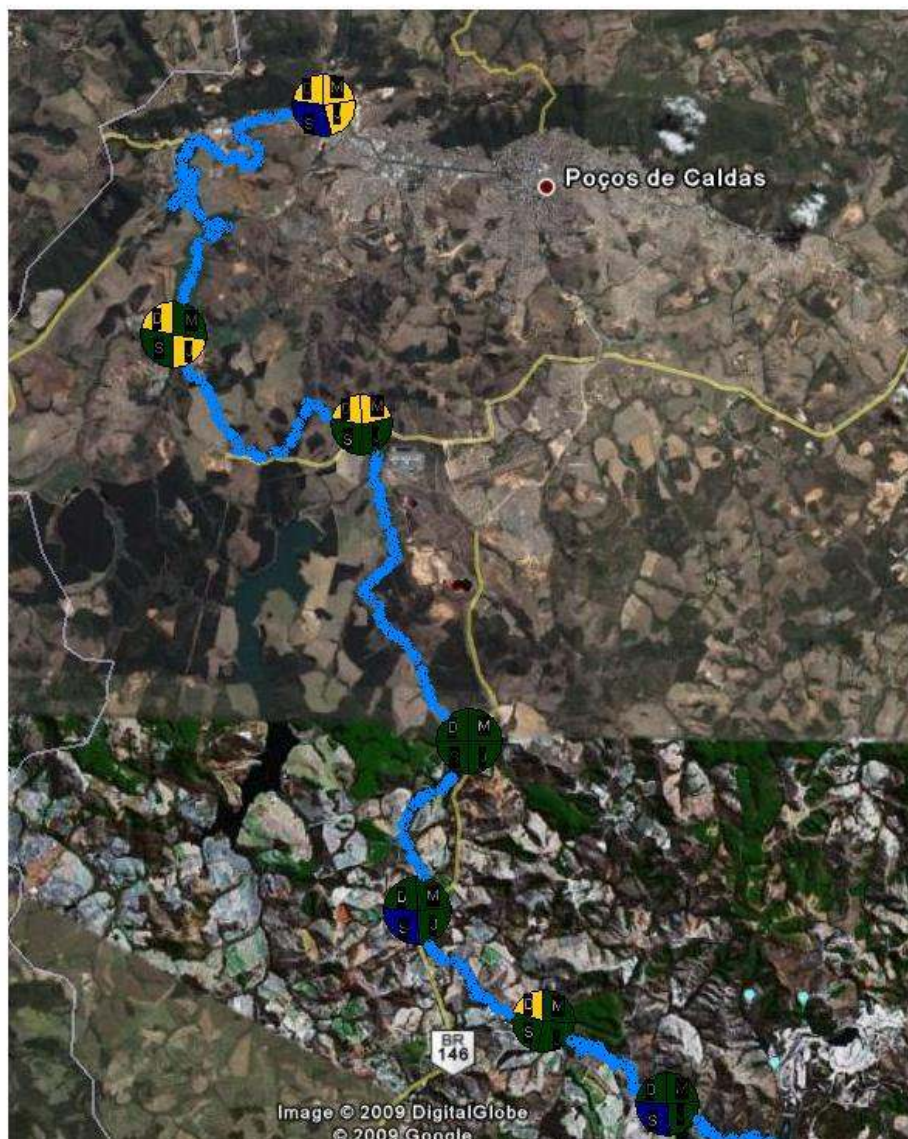


**Figura 3.** Distribuição do Manganês ao longo do Ribeirão nos meses de março, junho e setembro de 2008.

Na Tabela 4 são apresentados os resultados dos dois métodos utilizados para a determinação do índice de qualidade da água do Ribeirão. Comparando com a escala de cores utilizada pelo IGAM, Tabela 5, pode-se observar que a qualidade das águas do Ribeirão, considerando os 09 parâmetros do IQA-NSF, varia de excelente a médio (Figura 4). Sendo que a qualidade é deteriorada à medida que o Ribeirão se aproxima da cidade.






**Tabela 4.** Índices de Qualidade no Ribeirão das Antas.

<b>Ponto</b>	<b>mês</b>	<b>IQA-NSF-IGAM</b>	<b>IQA-CMME</b>
PT 001	Março	88	67
	Junho	83	
	Setembro	100	
	Dezembro	84	
BG 01	Março	92	87
	Junho	87	
	Setembro	92	
	Dezembro	84	
BG 02	Março	89	75
	Junho	81	
	Setembro	59	
	Dezembro	94	
Pt 002	Março	81	75
	Junho	80	
	Setembro	87	
	Dezembro	70	
PT 003	Março	82	76
	Junho	76	
	Setembro	91	
	Dezembro	78	
PT 004	Março	72	73
	Junho	84	
	Setembro	86	
	Dezembro	79	
PT 005	Março	61	65
	Junho	75	
	Setembro	79	
	Dezembro	67	
PT 006	Março	84	79
	Junho	67	
	Setembro	88	
	Dezembro	65	
PT 007	Março	63	46
	Junho	68	
	Setembro	92	
	Dezembro	57	



**Figura 4.** Índice de qualidade calculado por IQA-NSF-FEAM em cada ponto de amostragem.

**Tabela 5.** Classificação da Qualidade da água (IQA-FEAM-MG)

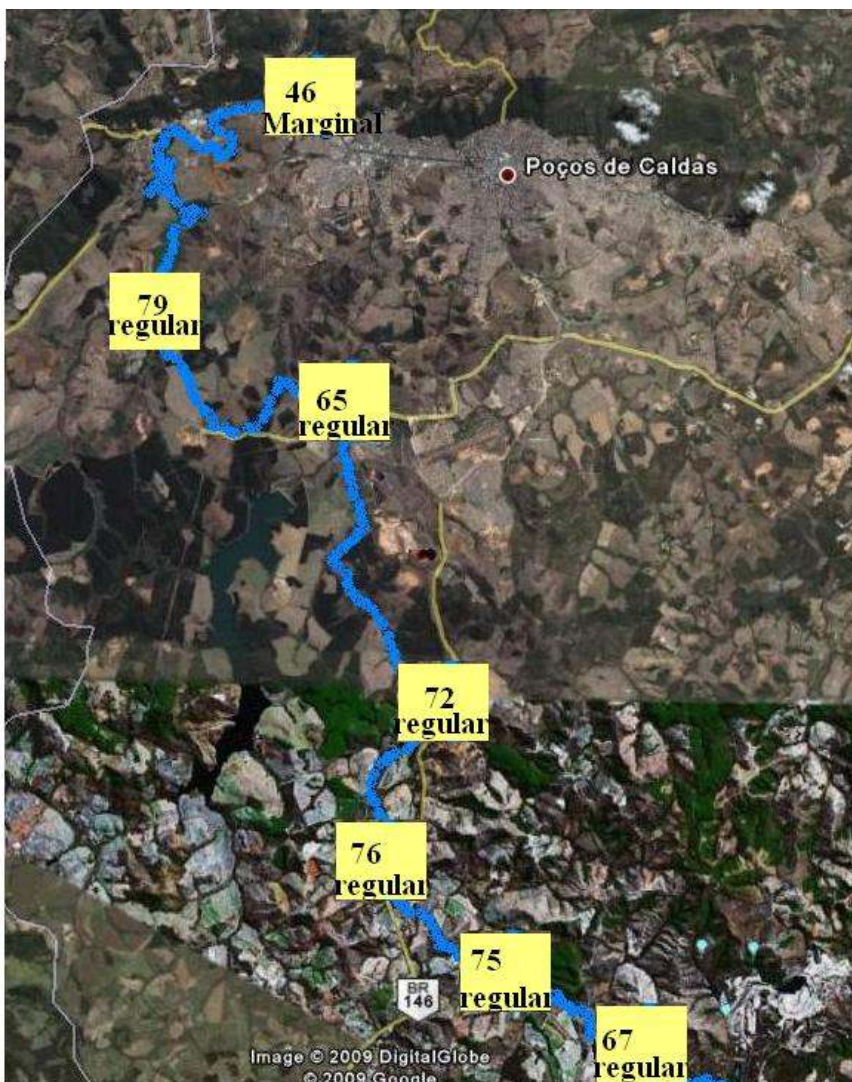
Nível de Qualidade	Faixa	Cor de Referência
Excelente	$90 < IQA \leq 100$	
Bom	$70 < IQA \leq 90$	
Médio	$50 < IQA \leq 70$	
Ruim	$25 < IQA \leq 50$	
Muito Ruim	$0 < IQA \leq 25$	

Os valores do IQA-CMME variaram entre (46 e 87). A qualidade da água varia de marginal a boa. Considerando que os valores de coliforme fecal no ponto 007 excederam 3 em 4 análises o valor padrão, o IQA-CMME parece ser mais restritivo e refletir com mais propriedade a degradação da água no ponto 7, que varia de média a excelente pelo critério IQA-NSF. As concentrações de manganês, altas na região (mediana dos valores de concentração nos pontos de background de 0,20 mg/l), são em grande parte responsável pela classificação de, apenas, “boa” de algumas das águas. O que faz algum sentido, visto que considerar “excelente” estas águas seria escamotear um problema natural com manganês. O mesmo com respeito às concentrações de Al, cujo valor da mediana nos pontos background foi de 0,11 mg/l.

### 3.1 Bioensaios Ecotoxicológicos

Os resultados de imobilidade de *D.similis* nos ensaios com a amostra do Ponto 01 resultou em imobilidade de 0% (zero %) para as amostras analisadas, portanto o teste de toxicidade aguda deu negativo, não foi observado efeito diferente da solução controle. Adicionando na água do Ponto 01 Mn (para atingir uma concentração de 20 mg/l) e U (para atingir uma concentração de 0,5 mg/l) e realizando os bioensaios para efeito agudo com *D.similis* e para efeito crônico com *Ceriodaphnia dubia*, observou-se que: o valor de LC50 (concentração tóxica para 50% dos organismos testados) era entre 0,05-0,06 mg/L, que foi um valor muito próximo ao valor encontrado para efeitos na reprodução; e, um LOEC para 7 dias (concentração onde foi observado

o menor efeito) de 0,062 mg/L para *Ceriodaphnia dubia*. O valor de concentração onde nenhum efeito crônico foi observado (NOEC) para urânio foi 0,03 mg U/L. Este valor é superior ao limite autorizado pela CNEN para descargas no Ribeirão das Antas para U-238 (0,1 Bq/L=0.008 mg/L), bem como é superior ao limite para urânio estabelecido pelo CONAMA para qualidade de água (0,02 mg U/L). A concentração de mangânes tóxica para 50% dos organismos foi de LC50 (11,5 mg/L), o valor de LOEC (10 mg/L) e o valor NOEC (5 mg Mn/L). Estes resultados indicam a ausência de toxicidade no ponto de descarga do efluente da mineradora de urânio para organismos aquáticos.



**Figura 5.** Índice de qualidade calculado por IQA-CMME por ponto de amostragem.

#### 4. CONCLUSÃO

As águas do Ribeirão das Antas têm a qualidade deteriorada devido ao lançamento de esgotos domésticos nos pontos mais próximos à cidade (Pontos: 5, 6 e 7). A mineradora de urânio adiciona manganês às águas do rio, no entanto, não foi observada toxicidade aos organismos aquáticos devido a este lançamento. Dentre os índices de qualidades calculados e comparados, o índice adotado pelo projeto ARCAL reflete com maior propriedade a qualidade do rio, do que o índice de qualidade adotado pelo IGAM. Uma discussão deveria ser promovida entre os órgãos responsáveis pelo monitoramento da qualidade das águas sobre as vantagens e desvantagens dos índices avaliados. O índice adotado pelo ARCAL permite inserir parâmetros importantes para a região, neste caso, U, Mn, Al, Fe e fluoreto, além de permitir a comparação com padrões para a classe de água escolhida, neste caso classe I, e é mais claro com respeito às fórmulas usadas no seu cálculo.

#### **PARTICIPANTES DESTE PROJETO:**

- Instituto de Radioproteção e Dosimetria/ Comissão Nacional de Energia Nuclear (coordenação)
- Comissão Municipal de Sub-bacias Hidrográficas de Poços de Caldas
- Departamento Municipal de Água e Esgoto da cidade de Poços de Caldas, DMAE
- Indústrias Nucleares Brasileiras, INB
- Laboratório de Poços de Caldas, LAPOC/CNEN
- Laboratório Teixeira

#### **REFERÊNCIAS**

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M.R.V.B; BUBA, H.; KISHI, R. T.; LAUTERT, L. F.,2001. Hidrometria Aplicada. LACTEC- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Curitiba, PR. 372p.

ÍNDICE E INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA, PNMA II, junho 2007.

FRAIRE, BIBIANA, 2005. Aplicación de los Índices de Calidad de Agua para la Gestión de la Contaminación de la Franja Costera Sur Caso de estudio: Desembocadura de la Cuenca Matanza Riachuelo en el Río de la Plata

Disponível em: <http://www.water-research.net/Watershed/temperature.htm>

Disponível em: <http://www.corsan.com.br/ambientais/distribuicao.htm>



Tabela 6. Dados individuais dos pontos de amostragem nos quatro meses amostrados (Al, Fe, Mn e U na fração dissolvida).

<b>Data Coleta</b>	<b>LOCAL</b>	<b>Al</b>	<b>Mn</b>	<b>Fe</b>	<b>Fluoreto</b>	<b>NO3</b>	<b>P</b>	<b>U</b>
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/l	mg/L	mg/l
mar/08	BG01	0,08	0,351	0,041	0,19	<0,05	<0,025	0,0044
jun/08	BG01	<0,05	0,1920	0,2220	0,25	0,08	0,078	0,00211
set/08	BG01	<0,05	0,1820	0,0150	0,2	<0,05	<0,025	0,00081
dez/08	BG01	0,11	0,4054	<0,05	0,14	0,09	<0,025	0,00385
mar/08	BG02	0,12	0,336	0,344	0,12	0,12	<0,025	0,0020
jun/08	BG02	<0,05	0,1260	0,0600	0,11	<0,05	0,032	0,00287
set/08	BG02	<0,05	0,2160	0,2150	<0,1	<0,05	0,069	0,00056
dez/08	BG02	<0,05	0,2384	0,10	<0,1	0,06	0,025	0,00006
set/08	BG03	<0,05	0,0310	0,1680	0,22	<0,05	<0,025	0,00038
dez/08	BG03	<0,05	0,0574	0,08	<0,1	0,01	<0,025	
dez/08	BG04	0,14	0,3724	0,05	0,22	0,06	<0,025	0,01558
set/08	BG04	<0,05	0,1390	0,3160	<0,1	<0,05	<0,025	0,00013
mar/08	Ponto 001	0,11	1,650	0,018	1,27	<0,05	<0,025	0,0039
jun/08	Ponto 001	0,10	1,2200	0,0070	0,69	0,12	0,028	0,00271
set/08	Ponto 001	<0,05	1,4100	<0,0018	1,82	<0,05	<0,025	0,00619
dez/08	Ponto 001	<0,05	0,5964	0,06	1,55	0,08	<0,025	0,00086
mar/08	Ponto 002	0,11	1,640	0,100	1,15	0,08	<0,025	0,0020
jun/08	Ponto 002	<0,05	1,1400	0,0430	0,49	0,14	0,028	0,00235
set/08	Ponto 002	0,15	1,0700	0,0990	1,16	0,11	<0,025	0,00281
dez/08	Ponto 002	<0,05	0,4534	0,06	1,18	0,10	<0,025	0,00069
mar/08	Ponto 003	0,13	1,100	0,119	0,86	0,15	<0,025	0,0011
jun/08	Ponto 003	<0,05	0,7680	0,0210	0,49	0,17	0,035	0,00177
set/08	Ponto 003	<0,05	0,6760	0,0630	0,99	0,16	0,055	0,00056
dez/08	Ponto 003	<0,05	0,3714	<0,05	0,62	0,20	0,025	0,00006
mar/08	Ponto 004	0,16	1,020	0,043	0,81	0,15	<0,025	0,0012
jun/08	Ponto 004	<0,05	0,6740	0,0200	0,52	0,18	0,042	0,00165
set/08	Ponto 004	<0,05	0,6430	0,0300	1	0,14	<0,025	0,00019

dez/08	Ponto 004	<0,05	0,3684	0,20	0,59	0,20	<0,025	0,00006
mar/08	Ponto 005	0,19	0,532	0,123	0,50	0,49	<0,025	0,0018
jun/08	Ponto 005	<0,05	0,3330	0,0690	0,14	0,15	0,035	0,00102
set/08	Ponto 005	<0,05	0,3770	0,0730	0,12	0,10	<0,025	0,00044
dez/08	Ponto 005	<0,05	0,2994	0,07	0,46	0,37	<0,025	0,00006
mar/08	Ponto 006	0,09	0,247	0,280	0,61	0,56	0,096	0,0007
jun/08	Ponto 006	<0,05	0,1170	0,0320	0,28	0,27	0,098	0,0003
set/08	Ponto 006	<0,05	0,4500	0,1540	0,93	0,34	0,220	0,00069
dez/08	Ponto 006	<0,05	0,2364	<0,05	0,52	0,43	0,179	0,00017
mar/08	Ponto 007	0,36	0,160	0,346	nd	0,61	0,029	0,0018
jun/08	Ponto 007	<0,05	0,1250	0,0180	0,19	0,29	0,054	0,00108
set/08	Ponto 007	<0,05	0,5400	0,0380	0,3	0,47	<0,025	0,00075
dez/08	Ponto 007	<0,05	0,4864	0,07	0,18	0,37	<0,025	0,00006

Tabela 7. Dados individuais dos parâmetros físico-químicos e biológicos determinados nos diversos pontos amostrados.

<b>Data Coleta</b>	<b>LOCAL</b>	<b>Sol. Dis.</b>	<b>DBO5</b>	<b>Colif Fecais</b>	<b>pH</b>	<b>OD</b>	<b>COND.</b>	<b>Sol. Em Susp</b>	<b>NH<sub>4</sub></b>
		mg/L	mg/L	NMP/100ml		(mg/l)	(uS/cm)	mg/L	mg/L
mar/08	BG01	6	2,4	23	6,2	7,4	11	6	<0,005
jun/08	BG01	29,0	<1	4	6,1	9,6	7	12	0,015
set/08	BG01	4,0	1,9	<0,15	6,73	8,1	12	6,5	0,01
dez/08	BG01	10	3,8	<0,15	5,4	7,3	12	<3	0,02
mar/08	BG02	9	3,6	300	6,9	5,9	13	9	0,06
jun/08	BG02	47,0	<1	50	6,34	7,1	14	13,6	<0,005
set/08	BG02	15,0	<1	860	6,6	4,7	23	12,0	0,01
dez/08	BG02	13	5,3	70	6,95	7,2	18	25,66	0,00
set/08	BG03	7	1,5	32	6,35	8,3	3	5	0,02
dez/08	BG03	5	2,8	23	8,1	6,1	5	<3	<0,005
dez/08	BG04	11	2,3	<0,15	7,66	8,3	13	7,33	0,02
set/08	BG04	5,5	4,1	0,15	6,12	6,18*	11	5,5	<0,005
mar/08	Ponto 001	62	2	30	6,8	10	148	<3	<0,005
jun/08	Ponto 001	146,0	<1	13	5,93	9,4	181	10	0,01
set/08	Ponto 001	275,5	1,1	0,15	6,72	6,3	519	4,0	0,015
dez/08	Ponto 001	109	5,1	<0,15	6,2	7,7	168	7	0,00
mar/08	Ponto 002	61	2	300	6,7	9,2	143	8	0,02
jun/08	Ponto 002	108,0	<1	80	6,24	8,6	144	28,3	0,03
set/08	Ponto 002	193,5	2,8	97	6,6	6,8	364	<30	<0,005
dez/08	Ponto 002	89		300	6,45	6,8	152	8,66	<0,005
mar/08	Ponto 003	45	2,6	700	6,8	8	91	10	<0,005
jun/08	Ponto 003	103,0	11	220	6,55	9,1	94	19,3	0,02
set/08	Ponto 003	119,5	3,2	48	6,45	7,7	214	<3	<0,005
dez/08	Ponto 003	62	1,4	220	6,55	7	104	15,33	0,07
mar/08	Ponto 004	43	1,2	1400	6,9	9,5	87	13	<0,005
jun/08	Ponto 004	74,0	3	500	6,49	9,3	85	15,3	0,015
set/08	Ponto 004	98,0	4,4	560	6,48	7,9	188	<3	<0,005
dez/08	Ponto 004	56		170	6,77	6,5	92	16	0,05

mar/08	Ponto 005	28	3	2400	6,9	2,6	45	23	0,25
jun/08	Ponto 005	39,0	5	8000	6,57	7,6	54	26,0	0,27
set/08	Ponto 005	35,0	6,3	102	6,68	7,1	63	<3	0,205
dez/08	Ponto 005	44		5000	6,65	5,8	73	28	0,64
mar/08	Ponto 006	20	4	80	6,6	5,9	37	11	0,14
jun/08	Ponto 006	70,0	<1	1300	6,58	5,7	31	22,6	0,33
set/08	Ponto 006	39,0	8,6	<0,15	7,06	7,1	58	4,0	0,585
dez/08	Ponto 006	28		2400	6,51	4,4	54	28	0,63
mar/08	Ponto 007	26	2,8	8000	6,6	5,9	37	83	0,26
jun/08	Ponto 007	87,0	3	22000	6,48	8,2	55,4	36,6	0,065
set/08	Ponto 007	46,0	14,3	0,15	7,02	6,3	71	<3	0,065
dez/08	Ponto 007	44		>160000	6,79	6	75	25,33	0,15