

Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Ciências Biológicas  
Departamento de Biologia Geral

RAUL FERNANDO POLISSENI GRAÇA

**Avaliação do monitoramento da água do aquífero livre adjacente à Estação de  
Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas**

Belo Horizonte  
2014

RAUL FERNANDO POLISSENI GRAÇA

**Avaliação do monitoramento da água do aquífero livre adjacente à Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas**

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos do Departamento de Biologia Geral do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Recursos Hídricos.

Área de concentração: Gerenciamento de Recursos Hídricos

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Márcia Maria Guimarães

Belo Horizonte  
2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS**

Curso de Especialização em Gerenciamento de Recursos Hídricos  
Instituto de Ciências Biológicas - Caixa Postal 486  
Cep 31210-970 - Belo Horizonte - MG  
Telefax: 0xx (31) 3409 2565  
e-mail: pgrh@icb.ufmg.br

**Ata da Apresentação de Monografias**

nº 002/2014  
Entrada  
1º/2013

Aos dezanove dias do mês de Julho do ano de dois mil e quatorze, nos horários conforme relação anexa, na Sala 236 Bloco I3 no Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (ICB/UFMG), teve lugar as apresentações das monografias do curso de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Trabalho Final.

Estiveram presentes às Bancas Orientadores e Examinadores, conforme horários da relação anexa, e demais convidados. Seguiu-se a apresentação dos alunos e arguição pelos examinadores.

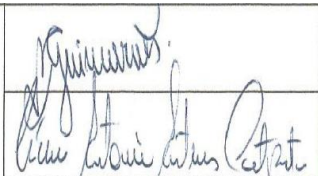
O resultado do trabalho final de cada aluno encontra-se anexo.

Nada mais havendo a tratar, encerrou-se as apresentações e assinaram esta ata orientadores e examinadores que participaram.

Belo Horizonte, 19 de Julho de 2014.

  
Francisco Antônio Rodrigues Barbosa  
Coordenador do Curso PGRH

**Monografia aprovada por:**

| Aluno                            | Orientador             | Examinador                          | Assinaturas Orientador / Examinador   |
|----------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---|
| Raul Fernando Polisseni<br>Graça | Marcia Maria Guimarães | Cécero Antônio Antunes<br>Catapreta |  |

Dedico este trabalho a minha  
Esposa Juliana Müller Campos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço as orientações e ensinamentos da Professora Doutora Márcia Maria Guimarães que permitiram a conclusão desta monografia.

A toda a equipe da Pós Graduação em Gerenciamento em Recursos Hídricos – Instituto de Ciências Biológica – Universidade Federal de Minas Gerais – 2013/2014, entre professores, alunos e funcionários do setor administrativo.

Aos colegas da Companhia de Saneamento de Minas Gerais pelo apoio e disponibilidade quando solicitados, em especial os funcionários da Estação de Tratamento de Esgoto Arrudas e da Divisão de Águas Subterrâneas.

Aos meus pais pela criação e irmãos pelo convívio.

Em especial a minha esposa pela compreensão, dedicação e paciência.

*“...Lá em casa tem um poço  
Mas a água é muito limpa.”  
(Legião Urbana).*

## RESUMO

O conhecimento prévio e posterior de um aquífero retirado de seu estado natural são alicerces para um efetivo monitoramento, o qual influi em tomadas de decisão. A Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas possui duas áreas destinadas, inicialmente, à disposição de resíduos sólidos gerados no tratamento de efluente doméstico, com pequena contribuição de efluentes industriais. Todavia, essas áreas tiveram seus destinos alterados, sendo que uma foi descartada e a outra está servindo de transbordo para os resíduos sólidos gerados nas unidades de operação de esgotamento sanitário da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH. Quando necessário, recebe temporariamente o lodo desidratado gerado na própria estação, sendo que até o ano de 2013 recebeu para tratamento, líquido lixiviado oriundo de aterros sanitários. O monitoramento do aquífero livre, contido nesses espaços, teve seu início em 2001, com a perfuração de poços de monitoramento. Ao longo do tempo a periodicidade e os parâmetros analisados foram alterados atendendo somente a algumas questões legais, impostas por órgão regulador. A avaliação do monitoramento do aquífero livre efetuado neste trabalho sugere aprimoramentos e necessidade de se viabilizar uma gestão assertiva e ambientalmente eficiente.

**Palavras-chave:** Água subterrânea, Aquífero, gestão, hidrogeologia, monitoramento, poço.

## ABSTRACT

The posterior and prior knowledge of a aquifer taken from their natural state are foundations for effective monitoring, which has influence on decision making. Station Sewage Treatment Ribeirão Arrudas has two areas dedicated initially to the disposal of solid waste generated in the treatment of domestic effluents, with small contributions from industrial effluents. However, these areas had changed their destinations, and one was discarded and the other is serving transshipment for solid waste generated in the operation units of sewage from Metropolitan Region of Belo Horizonte – MRBH. When necessary, temporarily receives the dewatered sludge generated at the station, and until this the year 2013 received, for treatment slurry originating from landfills. The monitoring of the unconfined aquifer, contained in these spaces, began in 2001 with the drilling of monitoring wells. Over time, periodicity and analyzed parameters were changed only given to some legal issues, imposed by the regulator. The evaluation of the unconfined aquifer monitoring performed in this work and suggests improvements need to allow an assertive and environmentally efficient management.

**Keywords:** Groundwater, Aquifer, management, hydrogeology, monitoring and well.

## LISTA DE FIGURAS

|           |   |    |
|-----------|---|----|
| Figura 1  | Ciclos hidrológico e geológico.....   | 21 |
| Figura 2  | Disponibilidade mundial de água doce no ano 2000 e a média de fluxos fluviais e de recargas subterrâneas..... | 23 |
| Figura 3  | Domínio sedimentar (verde) e cristalino (amarelo).....  | 23 |
| Figura 4  | Principais aquíferos no Brasil.....   | 24 |
| Figura 5  | Funcionamento do monitoramento das águas subterrâneas.....  | 27 |
| Figura 6  | Sistematização do monitoramento das águas subterrâneas.....   | 28 |
| Figura 7  | Estruturação do monitoramento.....  | 29 |
| Figura 8  | Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000.....  | 32 |
| Figura 9  | Exemplo da progressividade em metas para qualidade de água.....   | 38 |
| Figura 10 | Enquadramento dos corpos de água no estado de Minas Gerais.....   | 39 |
| Figura 11 | Esboço do enquadramento dos corpos de água para a Bacia do Rio das Velhas.....                                | 40 |
| Figura 12 | Diagrama trilinear para água.....   | 43 |
| Figura 13 | Fluxograma do monitoramento.....  | 43 |
| Figura 14 | Bacias mineira com monitoramento subterrâneo.....   | 45 |
| Figura 15 | Alguns parâmetros físicos e químicos monitorados nas águas subterrâneas.....                                  | 46 |
| Figura 16 | Evolução da população atendida por sistemas de tratamento de esgoto licenciado.....                           | 49 |
| Figura 17 | Municípios atendidos por sistemas de tratamento de esgoto licenciado.....                                     | 50 |
| Figura 18 | Diagnóstico do esgotamento sanitário para a sub-bacia do Rio das Velhas na Bacia do São Francisco.....        | 51 |
| Figura 19 | Sub-bacia do Rio das Velhas – Bacia do São Francisco.....   | 52 |
| Figura 20 | Delimitações das bacias e sub-bacias das regiões metropolitanas e disposição das principais ETES.....         | 53 |
| Figura 21 | Fluxograma do funcionamento da ETE Arrudas.....   | 56 |
| Figura 22 | Evolução da vazão afluente média da ETE Arrudas, período janeiro de 2000 a dezembro de 2013.....              | 59 |
| Figura 23 | Acesso da região central de Belo Horizonte à ETE Arrudas.....   | 60 |
| Figura 24 | Esboço do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais.....  | 62 |
| Figura 25 | Esboço geológico do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais.....   | 63 |
| Figura 26 | Poços de monitoramento marginais as áreas de estudo.....  | 67 |
| Figura 27 | Área I limitada pelos poços C01 e C02; Área II limitada pelos poços C03 e C04.....                            | 68 |
| Figura 28 | Fluxos subterrâneos inferidos para as Áreas I e II.....   | 70 |

## LISTA DE FOTOS

|               |  |    |
|---------------|--|----|
| Foto 1        | Vista Superior da ETE Arrudas.....   | 55 |
| Foto 2        | Unidade de apoio operacional da ETE Arrudas.....   | 57 |
| Foto 3        | Aquário de biomonitoramento do Centro De Educação Ambiental – CEAM, que utiliza efluente pós-tratamento na ETE Arrudas.....  | 57 |
| Foto 4        | Projeto de Lagoa de Maturação teste no centro de pesquisa em campo.....  | 58 |
| Fotos 5 e 6   | Área inicialmente destinada a aterro, entre os poços C01 e C02, na foto a elevatória de líquido lixiviado.....   | 67 |
| Fotos 7 e 8   | Área inicialmente destinada a aterro com caminhão despejando resíduos coletados na limpeza das elevatórias de esgoto da região metropolitana de Belo Horizonte, entre os poços C03 e C04, na foto 8 a elevatória de líquido lixiviado..... | 67 |
| Fotos 9       | Solo argilo-arenoso avermelhado com fragmentos de rocha alterada.  | 72 |
| Fotos 10 e 11 | Vista do poço C01.....   | 78 |
| Fotos 12 e 13 | Vista do poço C02.....   | 78 |
| Fotos 14      | Vista do poço C03.....   | 79 |
| Fotos 15 e 16 | Vista do poço C04.....   | 79 |

## LISTA DE QUADROS

|           |  |    |
|-----------|--|----|
| Quadro 1  | Sistemas aquíferos brasileiros.....  | 25 |
| Quadro 2  | Enquadramento das águas superficiais segundo CONAMA nº 357, de 2005.....                                 | 37 |
| Quadro 3  | Programa de monitoramento de águas subterrâneas.....   | 54 |
| Quadro 4  | Estratigrafia do quadrilátero ferrífero.....   | 64 |
| Quadro 5  | Resultados da amostragem a montante e jusante no corpo receptor da ETE Arrudas.....                      | 71 |
| Quadro 6  | Em detalhe parâmetros analisados entre outubro de 2002 e maio de 2007.....                               | 73 |
| Quadro 7  | Em detalhe parâmetros analisados entre outubro de 2002 e maio de 2007, continuação.....                  | 74 |
| Quadro 8  | Amostragem de 2011 conforme os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM..... | 75 |
| Quadro 9  | Amostragem de 2012 conforme os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM..... | 76 |
| Quadro 10 | Amostragem de 2013 conforme os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM..... | 77 |

## LISTA DE TABELAS

|                 |   |           |
|-----------------|---|-----------|
| <b>Tabela 1</b> | <b>Principais características do monitoramento – Região Norte (onde predomina o aquífero Bambuí) e aquífero Guarani, no Estado de Minas Gerais.....</b> | <b>45</b> |
| <b>Tabela 2</b> | <b>Característica espacial/populacional do Estado de Minas Gerais.....</b>  | <b>52</b> |
| <b>Tabela 3</b> | <b>Parâmetros médios mensais do lodo desidratado, em outubro/2013...</b>  | <b>66</b> |
| <b>Tabela 4</b> | <b>Média mensal da massa de resíduos coletados em algumas unidades do esgotamento sanitário da RMBH.....</b>  | <b>69</b> |

## LISTA DE SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABNT   | Associação Brasileira de Normas Técnicas        |
| ANA    | Agência Nacional das Águas                      |
| BH     | Belo Horizonte                                  |
| BHRV   | Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas            |
| BP     | Bacia do Rio Pardo                              |
| CD     | Chapada Diamantina                              |
| CEAM   | Centro de Educação Ambiental                    |
| CERH   | Conselho Estadual de Recursos Hídricos          |
| CNRH   | Conselho Nacional dos Recursos Hídricos         |
| COPAM  | Conselho Estadual de Política Ambiental         |
| COPASA | Companhia de Saneamento de Minas Gerais         |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente              |
| CPRM   | Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais      |
| DBO    | Demanda Biológica de Oxigênio                   |
| DIMOG  | Divisão de Monitoramento e Geoprocessamento     |
| DISAN  | Divisão de Saneamento                           |
| E      | Leste   |
| ES     | Espinhaço Setentrional                          |
| EPA    | <i>Environmental Protection Agency</i>          |
| ETE    | Estação de Tratamento de Esgoto                 |
| FEAM   | Fundação Estadual do Meio Ambiente              |
| I      | Irecê   |
| IBGE   | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IGAM   | Instituto Mineiro de Gestão das Águas           |
| IQA    | Índice de Qualidade da Água                     |
| Ga     | Giga Anos                                       |
| L      | Lençóis   |
| Ma     | Milhões de Anos                                 |
| MG     | Minas Gerais                                    |
| NA     | Nível de Água                                   |
| NBR    | Normas Brasileiras                              |
| NT     | Nota Técnica                                    |

|          |  |
|----------|--|
| PA       | Perímetro de Alerta  |
| PIPS     | Perímetro Imediato de Proteção Sanitária                                   |
| RMBH     | Região Metropolitana de Belo Horizonte                                     |
| S        | Sul  |
| <b>S</b> | Salvador   |
| SB       | Serra do Boqueirão   |
| SC       | Serra do Cabral  |
| SCP      | Serras Central e de Palmas de Monte Alto                                   |
| SE       | Serra do Estreito  |
| SF6      | Sub-bacia dos Rios Riachão e Jequitaí                                      |
| SF9      | Sub-bacia do Rio Pandeiros   |
| SF9      | Sub-bacia do Rio Verde Grande  |
| SINGREH  | Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos                     |
| SICQA    | Sistema de Controle de Qualidade de Água                                   |
| SIRHESC  | Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina |
| SISEMA   | Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos                      |
| UFMG     | Universidade Federal de Minas Gerais                                       |
| UNESCO   | Organização das Nações Unidas para Educação                                |
| UNESP    | Universidade Estadual Paulista   |
| UPGRH    | Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos                      |
| UTM      | <i>Universal Transversa de Mercator</i>                                    |
| WGS      | <i>World Geodetic System</i>   |
| ZDRC     | Zona Distal de Restrição e Controle  |
| ZPRC     | Zona Proximal de Restrição e Controle                                      |

## LISTA DE SIMBOLOS

|     |  |
|-----|--|
| Aw  | Clima tropical de savana com estação seca de inverno   |
| Cwa | Clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido e temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C |
| °C  | Graus Celsius  |

## SUMÁRIO

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>16</b> |
| <b>2</b>       | <b>OBJETIVOS.....</b>  | <b>19</b> |
| 2.1            | Objetivo Geral.....  | 19        |
| 2.2            | Objetivos Específicos.....   | 19        |
| <b>3</b>       | <b>ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....</b>   | <b>20</b> |
| 3.1            | As Águas Subterrâneas no Mundo.....  | 22        |
| 3.2            | Águas Subterrâneas no Brasil.....  | 22        |
| <b>4</b>       | <b>METODOLOGIA.....</b>  | <b>26</b> |
| 4.1            | Metodologia de Monitoramento de Águas Subterrâneas.....  | 26        |
| 4.1.1          | Forma e motivo para monitorar.....   | 28        |
| 4.1.2          | Seleção de zonas prioritárias.....   | 30        |
| 4.1.3          | Tecnologias para monitoramento.....  | 30        |
| 4.1.4          | Os sensores e a qualidade das águas subterrâneas.....  | 31        |
| 4.1.5          | A norma técnica para poços de monitoramento de aquíferos Porosos.....  | 32        |
| 4.2            | Metodologia de Enquadramento de Águas Subterrâneas.....  | 36        |
| 4.2.1          | Enquadramento de Corpos de Água – Breve Histórico.....   | 36        |
| 4.2.2          | Enquadramento das Águas Subterrâneas.....  | 41        |
| 4.2.3          | Monitoramento de Aquíferos em Minas Gerais.....  | 42        |
| 4.2.4          | Alguns Parâmetros Utilizados em Análise das Águas Subterrâneas.....  | 46        |
| 4.2.5          | Fontes de Contaminação do Manancial Subterrâneo.....   | 47        |
| 4.2.6          | Proteção de Aquífero.....  | 48        |
| <b>5</b>       | <b>ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM MINAS GERAIS.....</b>  | <b>49</b> |
| 5.1            | Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e o Esgoto Doméstico.....   | 50        |
| 5.2            | Monitoramento Ambiental de ETEs Municipais em Minas Gerais.....  | 53        |
| <b>6</b>       | <b>ETE ARRUDAS.....</b>  | <b>55</b> |
| 6.1            | ETE Arrudas um Breve Histórico.....  | 58        |
| 6.2            | Localização da Área em Estudo.....   | 59        |
| 6.3            | Aspectos Climáticos.....   | 60        |
| 6.4            | Geologia Regional.....   | 61        |
| 6.5            | Composição dos Resíduos Sólidos Gerados.....   | 66        |
| 6.6            | Áreas Destinadas Inicialmente a Aterros da ETE Arrudas.....  | 66        |
| 6.7            | Fluxo Subterrâneo Inferido.....  | 70        |
| 6.8            | Análise do Corpo Receptor a Montante e a Jusante da ETE Arrudas.....   | 70        |
| <b>7</b>       | <b>MONITORAMENTO DO AQUÍFERO LIVRE EM ESTUDO.....</b>  | <b>72</b> |
| 7.1            | Poços de Monitoramento.....  | 78        |
| <b>8</b>       | <b>SUGESTÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>   | <b>81</b> |
|                | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>   | <b>84</b> |
| <b>ANEXO A</b> | <b>Primeiras Análises, Históricos, Perfis e Relatórios Finais dos Poços de Monitoramento das Áreas Destinadas a Disposição de Resíduos Sólidos na ETE Arrudas.....</b> | <b>89</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

*"A utilização dos meios fluvial e marinho como locais de lançamento de rejeitos de origem industrial, agrícola, doméstica ou nuclear teve um crescimento considerável a partir do término da II Guerra Mundial. Isso resultou numa ameaça de escassez de água devido à demandas crescentes, associadas à degradação das bacias hidrográficas e à poluição dos escoamentos naturais, levando a sociedade a questionar e discutir seus modelos de desenvolvimento. Desde então, tem sido também crescente a conscientização da comunidade técnica, dos órgãos ambientais e governamentais de vários países, da necessidade de se estabelecerem critérios que minimizem os impactos negativos sobre os recursos hídricos, provocados pela introdução de nutrientes, metais pesados, óleos e graxas, pesticidas e herbicidas, dentre outros compostos químicos, nos corpos d'água; evitando que estes se tornem nocivos ao Homem e ao Ecossistema. O conhecimento dos processos que controlam esses elementos no ambiente aquático é fundamental para a compreensão da dimensão dos impactos devidos às atividades antrópicas" (GUIMARÃES, 2006).*

Frente à necessidade de água potável para a espécie humana surge um grande desafio, potencializado pelo *boom* demográfico: o uso dos recursos hídricos consciente e o menos agressivo possível ao equilíbrio hidrodinâmico e ambiental. As captações de águas superficiais, pluviais e explorações subterrâneas ainda ocorrem de forma aleatória e pouco embasada, na maioria das localidades habitadas ou exploradas (extrativismos) ao longo do globo.

O uso e a contaminação da água pelo homem, de forma direta ou através da agricultura, do setor industrial, do mineral, dentre outros, geram resíduos sólidos, líquidos e vapores que devem ser devidamente tratados, para serem devolvidos ao meio ambiente de forma adequada e preocupada com a biodiversidade atual e vindoura.

Neste trabalho, a partir do monitoramento do aquífero freático adjacente a duas áreas destinadas à disposição de resíduos sólidos em uma estação de tratamento de esgoto - ETE, pretende-se analisar a eficiência e a eficácia do método empregado. Muitos fatores, conhecidos ou não, influenciam na dinâmica de contaminantes e na conseqüente qualidade hídrica. Portanto, o monitoramento precisa ser sistemático e bem elaborado com intuito de fornecer o máximo possível de dados fidedignos.

*"Todo curso de água possui um comportamento hidrológico e sedimentológico próprio, ou seja, os processos de produção e de deposição de sedimentos e poluentes fixados por esses sedimentos ao longo do tempo são fenômenos naturais. Os sedimentos finos fixam (por absorção e adsorção) poluentes orgânicos, metálicos e nucleares, que passam a se comportar como os sedimentos, concentrando-se em locais indesejáveis. Mesmo que lançamentos líquidos estejam sendo realizados legalmente, abaixo de rigorosos teores permissíveis, eles poderão conter elementos químicos (principalmente metálicos) que poderão ser fixados pelos sedimentos, serem depositados, se concentrarem e ultrapassarem, em várias ordens de grandeza, as concentrações permitidas pelas legislações ambientais. Focos de poluição podem ser assim formados, pelo desconhecimento do comportamento da fase sólida do curso de água" (GUIMARÃES, 2006; GUIMARÃES & CHAVES, 2012).*

Então ficam as perguntas: Estamos ou estaremos seguros quanto à preservação dos recursos hídricos? A água armazenada e transmitida pelo aquífero livre possui qualidade suficiente para o uso humano?

Daí surge a necessidade de esforços e investimento no sentido de se conhecer e cuidar do local onde habita o ser vivo, incluindo todos seus componentes essenciais.

Partindo do pressuposto da característica filtrante e purificadora do aquífero livre espera-se que, caso ocorra qualquer contaminação, o mesmo seja depurado em espaço e tempo hábeis, não comprometendo o aquífero livre como um todo e, conseqüentemente, os recursos hídricos da região, visto que a importância de programas de monitoramento é propiciar um melhor planejamento para o desenvolvimento, a proteção e o manejo adequado das águas subterrâneas (LÓPEZ-VERA, 2006).

Para a análise de águas subterrâneas, o monitoramento é eficaz para a delimitação da dinâmica dos sistemas aquíferos, podendo ser qualitativo e/ou quantitativo. Como exemplo de monitoramento tem-se um conjunto de poços, onde se realizam medições periódicas (FEITOSA, 2008).

Para esse monitoramento, de acordo com a Portaria Nº 2.914/GM/MS de 12 de dezembro de 2011 (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2011) e com o enquadramento das águas subterrâneas, conforme a Resolução CONAMA Nº 396/MMA de 03 de Abril de 2008 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2008), utilizam-se alguns índices de qualidade para se avaliar as águas para consumo humano e para seus usos preponderantes. São necessárias as observações de alguns parâmetros físicos do aquífero, obtidos a partir de teste de aquífero e análise granulométrica (FRIEDMAN;

SANDERS, 1978), e teste de permeabilidade, a escolher de acordo com a observação feita em campo e em consonância com a Lei de Henry Darcy (DARCY, 1856) para regime de escoamento em fluxo laminar.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar o monitoramento da água do aquífero livre de duas áreas destinadas à disposição de resíduos sólidos, inseridas em Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, situada na bacia do Ribeirão Arrudas.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Verificar a disposição dos poços de monitoramento, em relação ao objeto a ser monitorado;
- Analisar a real necessidade do monitoramento da zona de estudo.

### 3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Diante da demanda crescente e de escassa disponibilidade de água doce de boa qualidade, as civilizações vêm explorando cada vez mais o seu manancial subterrâneo. Embora sejam geralmente associados à água potável, nem sempre é o que se verifica, seja devido a origens naturais ou por intervenções antrópicas. Nos últimos tempos muitos governos e as sociedades civis têm procurado minimizar os impactos negativos sobre os recursos hídricos, partindo para o estabelecimento de critérios de qualidade, com um monitoramento mais amplo das bacias hidrográficas, abrangendo não só as águas superficiais como também os recursos hídricos subterrâneos, que no final se mesclam, respeitando assim proporções e tempo, perante o conhecido ciclo hidrológico. A abordagem dos órgãos institucionalizados nacional e internacionalmente ainda é tendenciosa na priorização do monitoramento físico e químico em detrimento de um acompanhamento mais ecológico envolvendo uma visão mais ampla de governança ambiental.

A hidrogeoquímica surge como uma tentativa para o entendimento da origem e da evolução química dos constituintes presentes nas águas do manancial subterrâneo. Destaca-se que a ocorrência de água pura somente é verificada quando a mesma está no estado físico de vapor. Devido às suas propriedades químicas, em especial a que atribui o título de solvente ambiental, a água vai agregando novos constituintes ao longo de caminhos percorridos ou estagnados.

O ciclo hidrológico, de forma simplista, relaciona as águas subterrâneas unicamente com as águas meteóricas. Porém no ciclo geológico outros tipos de águas são vinculados, dentre elas a água conata e a água juvenil (**Figura 1**).

As águas meteóricas contribuem para o maior volume de águas subterrâneas, vêm de superfície e podem vir a infiltrar em aquíferos.

As águas juvenis são volumetricamente menos expressivas que as águas meteóricas e se associam a eventos plutônicos e ou vulcânicos. Geralmente são águas minerais de temperaturas superiores às das águas superficiais, com maior concentração de CO<sub>2</sub> e com elementos distintos. Subdividem-se em águas juvenis vulcânicas e magmáticas.

Figura 1- Ciclos hidrológico e geológico



Fonte: Mestrinho, 2006.

As águas juvenis vulcânicas são oriundas de exalações de vapor d'água no estágio tardio de vulcanismo e se associam a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$  e  $\text{SO}_2$ . As águas juvenis magmáticas são procedentes da cristalização do magma e se associam ao  $\text{F}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{S}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{P}$ ,  $\text{B}$ , entre outros elementos. Já as águas conatas são as armazenadas nos interstícios de rochas sedimentares ou ígnea extrusiva, provavelmente de composição distinta da original por aumento nas concentrações de sais. Quando ocorre a mescla das águas, geralmente a composição é mais próxima à água predominante, não obstante à ocorrência de reações químicas. A recarga de aquíferos está intimamente ligada a ao regime de precipitações, fluxo da água superficial e permeabilidade da zona não saturada do solo.

Este capítulo é embasado em publicações da Organização das Nações Unidas para a Educação – UNESCO (2004), da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (2008), da Agência Nacional de Águas – ANA (2007), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (2013), Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, portarias do Ministério da Saúde e, por fim, consultas a banco de dados da Universidade Estadual Paulista – UNESP (2013).

### 3.1 As Águas Subterrâneas no Mundo

Em muitos países do globo as águas subterrâneas são uns dos principais recursos naturais, servindo como fonte de abastecimento. Na maioria das vezes, quando comparadas ao manancial superficial, são de melhor qualidade, bem protegidas de contaminação/poluição, menos sujeitas a flutuações perenes ou sazonais, distribuídas uniformemente em grandes regiões. Em muitas ocasiões é a única fonte hídrica local e, geralmente, sua disponibilização é menos onerosa quando comparada às grandes obras hídricas superficiais.

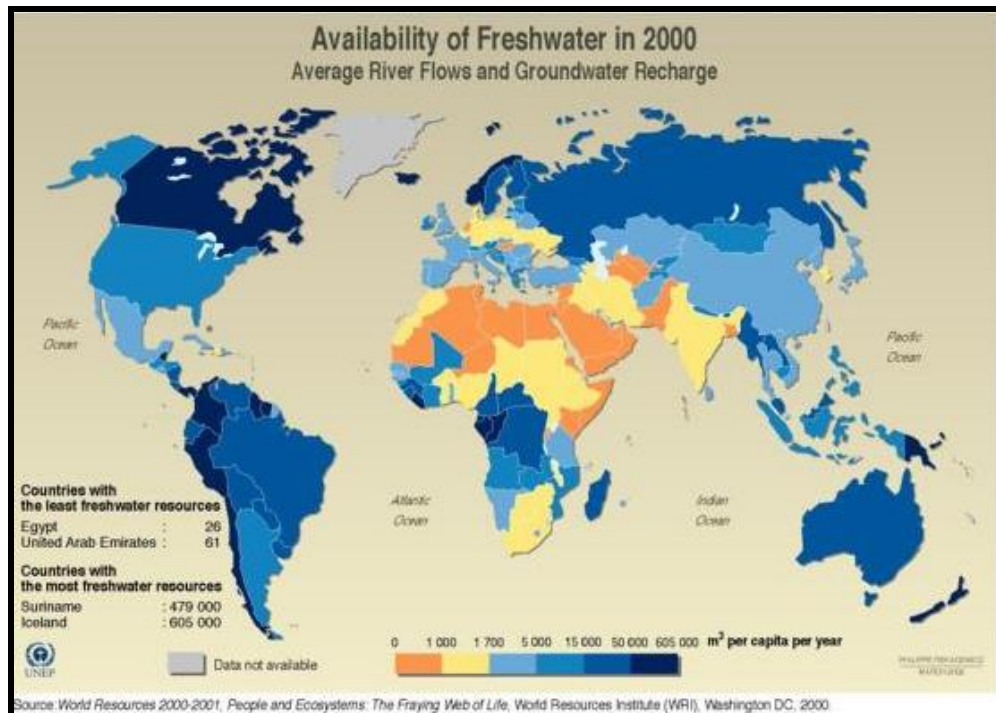
O planeta Terra possui uma média de recarga perene da ordem de 14.000 km<sup>3</sup>/ano, sendo que 36% do escoamento superficial em rios devem-se à contribuição subterrânea (ALBUQUERQUE, 2007). Qualquer alteração no regime pluviométrico causará mudanças no regime subterrâneo, em quantidade e qualidade, pois o aquífero faz parte do meio ambiente e qualquer alteração nele ou em seu entorno tem repercussões globais. A **Figura 2** representa a disponibilidade mundial de água doce no ano 2000 e a média de fluxos fluviais e de recargas subterrâneas.

### 3.2 Águas Subterrâneas no Brasil

Segundo estimativas, desde 1958 até 2020 o país acumulará mais de 540.000 poços tubulares profundos construídos (CARDOSO *et al.* 2008). O uso da água subterrânea é diverso, sendo usada, por exemplo, em abastecimento humano, irrigação, dessedentação de animais, paisagismo e recreação, entre outros. Por vezes é complementar ao manancial superficial; porém por muitas vezes é a única fonte de água da região, sendo comuns casos de exploração intensa de aquíferos.

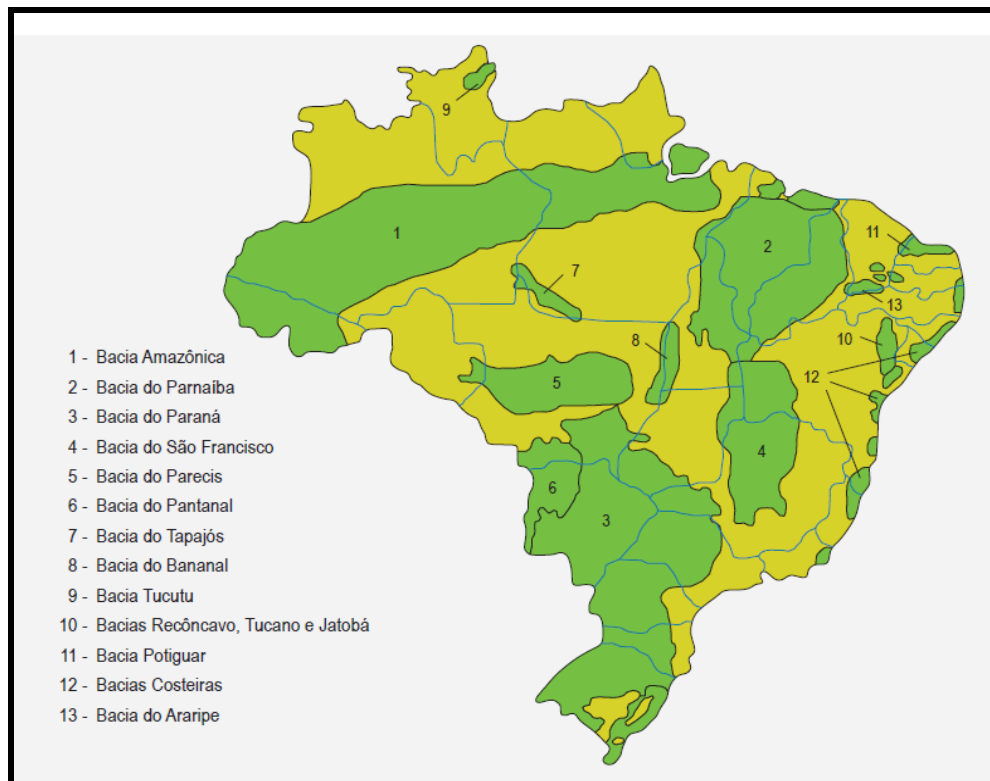
No Brasil os principais sistemas aquíferos estão nas bacias sedimentares brasileiras (**Figuras 3 e 4**). Devido à disposição fronteiriça da nação ocorrem sistemas aquíferos comuns a um ou mais países.

**Figura 2 – Disponibilidade mundial de água doce no ano 2000 e a média de fluxos fluviais e de recargas subterrâneas**



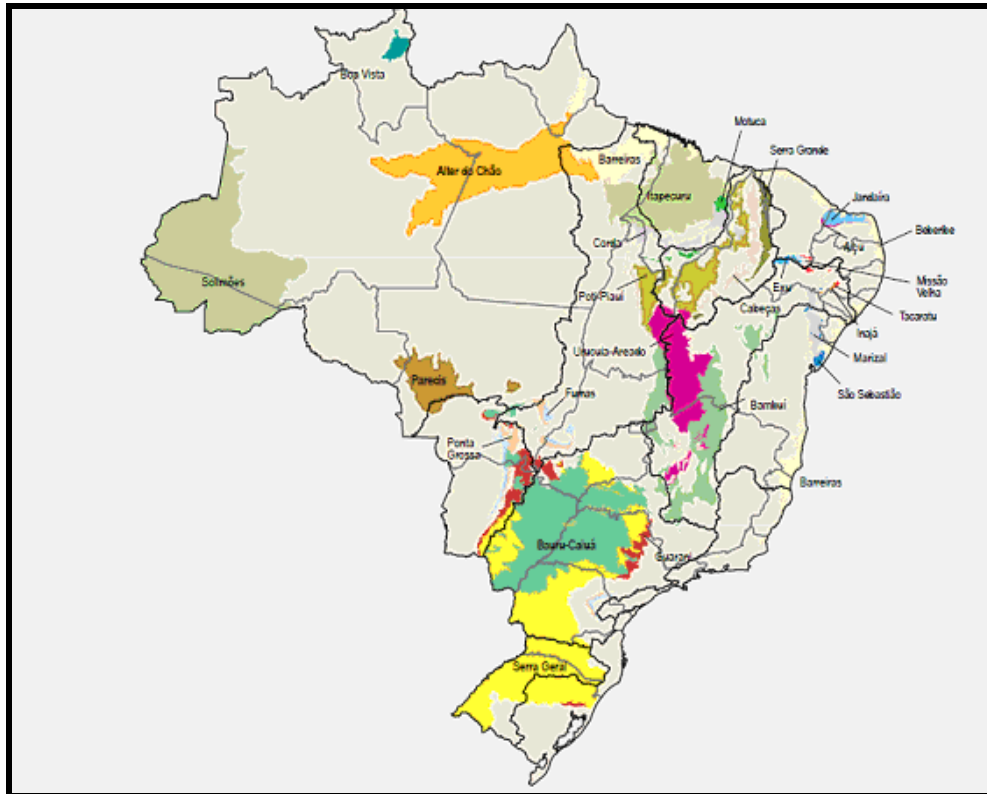
Fonte: World Resources, 2000-2001

**Figura 3 – Domínio sedimentar (verde) e cristalino (amarelo)**



Fonte: ANA, 2007.

**Figura 4 – Principais aquíferos no Brasil**



Fonte: ANA, 2007.

Entende-se por aquíferos como reservatórios de água subterrâneos em unidades geológicas que armazenam e circulam água. Diferente de aquitarde, aquicluda e aquífugo onde o primeiro armazena e circula muito lentamente a água, o segundo armazena, porém não circula e o terceiro não armazena e não circula. No **Quadro 1** nomeiam-se os principais sistemas aquíferos brasileiros e suas respectivas áreas de recarga.

Quadro 1 – Sistemas aquíferos brasileiros

| SISTEMA AQUIFERO | REGIÃO HIDROGRÁFICA DOMINANTE   | ÁREA DE RECARGA (km <sup>2</sup> ) |
|------------------|---|------------------------------------|
| SOLIMÕES         | Amazônica   | 457.664                            |
| ALTER DO CHÃO    |   | 312.574                            |
| BOA VISTA        |   | 14.888                             |
| PARECIS          |   | 88.157                             |
| JANDAÍRA         | Atlântico NE Oriental   | 11.589                             |
| AÇU              |   | 3.674                              |
| ITAPECURU        | Tocantins-Araguaia<br>Parnaíba  | 204.979                            |
| CORDA            |   | 35.266                             |
| MOTUCA           |   | 10.717                             |
| POTI-PIAUI       |   | 117.012                            |
| CABEÇAS          |   | 34.318                             |
| SERRA GRANDE     |   | 30.450                             |
| BARREIRAS        | Atlântico Leste<br>Atlântico Sudeste<br>Atlântico NE Oriental<br>Atlântico NE Ocidental<br>Tocantins-Araguaia | 176.532                            |
| BEBERIBE         | Atlântico NE Oriental   | 318                                |
| MARIZAL          | Atlântico Leste<br>São Francisco  | 18.797                             |
| SÃO SEBASTIÃO    | Atlântico Leste   | 6.783                              |
| INAJÁ            | São Francisco   | 956                                |
| TACARATU         | São Francisco   | 3.890                              |
| EXU              | Atlântico NE Oriental   | 6.397                              |
| MISSÃO VELHA     | Atlântico NE Oriental   | 1.324                              |
| URUCUIA-AREADO   | São Francisco<br>Parnaíba   | 144.08                             |
| BAMBUÍ           | Tocantins-Araguaia  | 181.868                            |
| BAURU-CAIUÁ      | Paraná  | 353.420                            |
| SERRA GERAL      | Paraná<br>Atlântico Sul   | 411.855                            |
| GUARANI          | Uruguai<br>Paraguai   | 89.936                             |
| PONTA GROSSA     | Tocantins-Araguaia  | 24.807                             |
| FURNAS           | Paraguai  | 24.894                             |
| <b>TOTAL</b>     |   | <b>2.761.086</b>                   |

Fonte: ANA, 2007.

## 4 METODOLOGIA

Inicia-se o processo de pesquisa realizando reuniões com os responsáveis pela Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas – ETE Arrudas, obtendo os estudos preliminares por meio de levantamentos bibliográficos, aquisição de bancos de dados, utilização de mapas e imagens, ida ao campo obtendo levantamento geológico e hidrogeológico, bem como aquisição de informes com populares e profissionais.

Na etapa final confeccionou-se o presente relatório, criando acervo fotográfico digital, apresentação de mapas, tabelas, fluxogramas, discussões, considerações e sugestões para ações e trabalhos futuros.

### 4.1 Metodologia de Monitoramento de Águas Subterrâneas

Entende-se por monitoramento o acompanhamento sazonal e sistematicamente mensurado do meio natural, buscando coligar processos que alterem o mesmo. A análise dos dados monitorados contribui para otimização do gerenciamento (LÓPEZ-VERA, 2006).

Alguns tópicos são de suma importância para a implantação de uma rede de monitoramento concisa para águas subterrâneas (VRBA, 2006), sendo necessário:

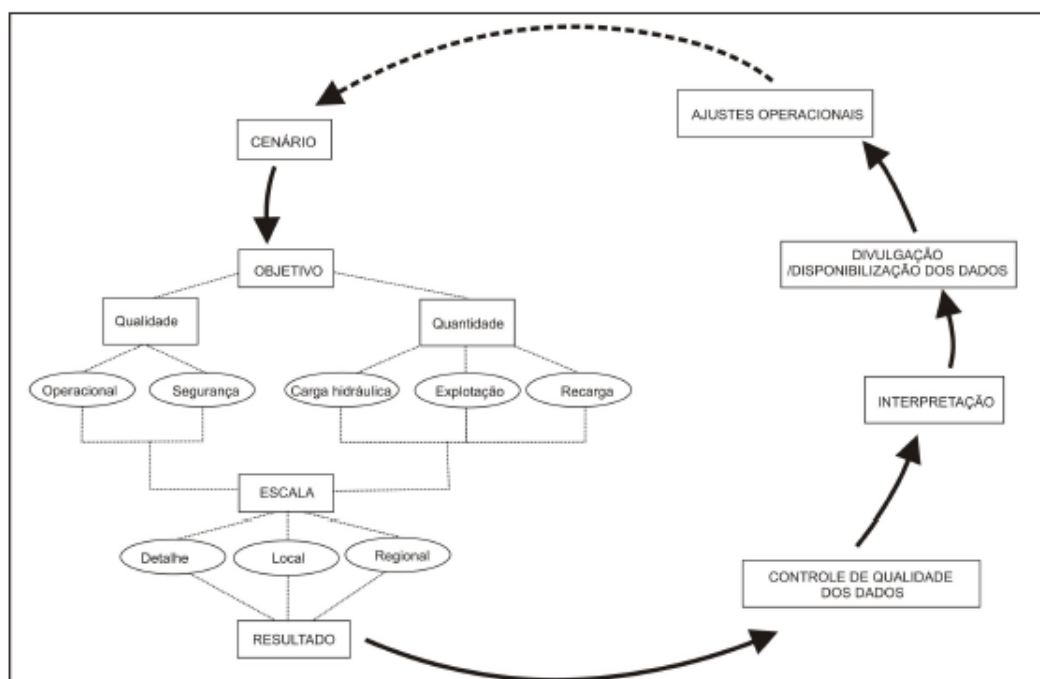
- Definir escala de trabalho e geometria da rede de monitoramento em função das características do corpo a ser monitorado;
- Localizar fontes potenciais de contaminação;
- Compreensão do sistema hidrogeológico em questão;
- Escolher Programa de qualidade;
- Criar e gerir banco de dados;
- Análise dos dados intencionando aprimoramento da rede de monitoramento.

Certas etapas devem ser cumpridas para consolidação de uma rede de monitoramento eficiente, conforme o fluxograma da **Figura 5**, sugerido por Uil *et al.* (1999 *apud* AUGÉ, 2006), e descrito a seguir.

- **Cenário:** inclui os fatores geoambientais, precede as demais etapas e pode ser alterado de acordo com o detalhamento das atividades.

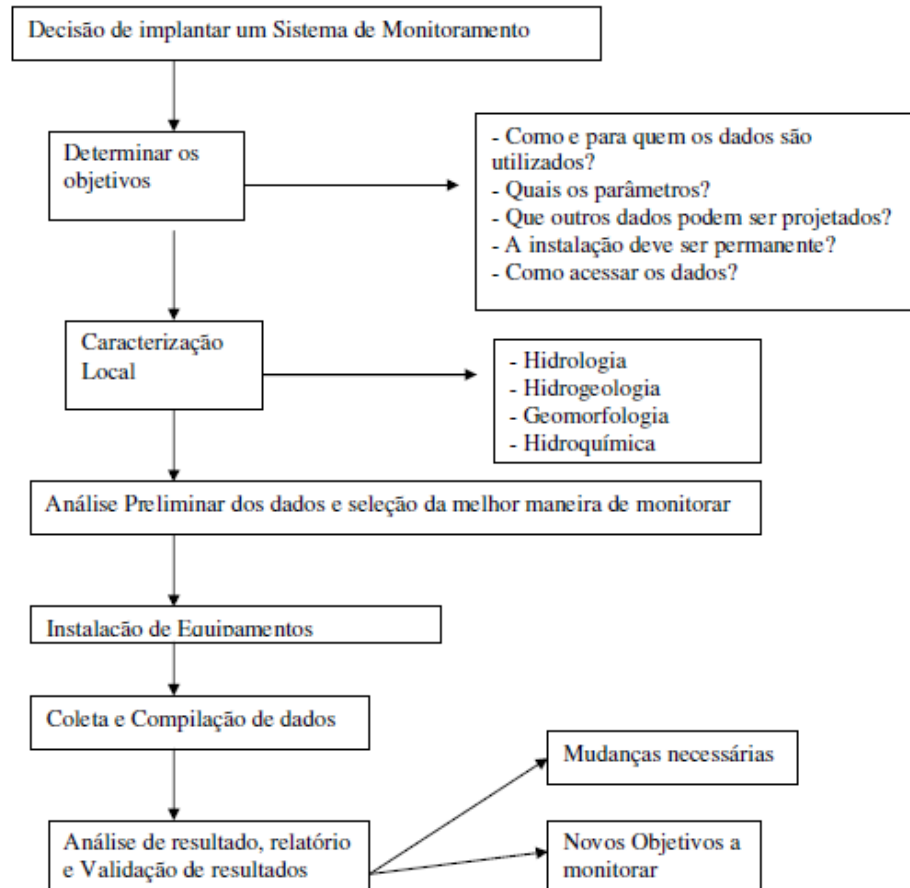
- **Objetivo:** Qualidade e quantidade.
  - Qualitativo operacional: avaliação das análises químicas rotineiras do manancial.
  - Qualitativo segurança: fontes de contaminação.
  - Quantitativo: carga hidráulica.
  - Quantitativo: exploração.
  - Quantitativo: recarga.
  
- **Escala:** Detalhe, local e regional.
  - Detalhe – Áreas menores que 10 km<sup>2</sup>.
  - Local – Entre 10 e 300 km<sup>2</sup>.
  - Regional – Superior a 300 km<sup>2</sup>.
  
- **Resultados:** Organização dos dados para análise.
- **Controle de Qualidade dos Dados:** verificação do resultado.
- **Interpretação de dados.**
- **Divulgação e disponibilização dos dados.**
- **Ajustes operacionais:** buscando melhoria consultando as partes envolvidas no processo.

Figura 5 – Funcionamento do monitoramento das águas subterrâneas



Já Lemons; Vorwerk (1998) sugeriram o monitoramento para qualidade de águas subterrâneas conforme diagrama da **Figura 6**, que segue.

**Figura 6 – Sistematização do monitoramento das águas subterrâneas**



Fonte: Lemons; Vorwerk (1998).

#### 4.1.1 Forma e Motivo para Monitorar

Manancial hídrico subterrâneo é frágil e seu grande algoz geralmente é o homem; este é majoritariamente o responsável pela poluição e elevada exploração de aquíferos. Visando a proteção desse bem, faz-se o seu monitoramento, com intuito de coletar dados quantitativos e qualitativos que forneçam embasamento para um gerenciamento hídrico subterrâneo adequado, nunca devendo esquecer sua interface com as águas superficiais, clima, uso e ocupação do solo e o ciclo hidrológico como um todo. O monitoramento de aquíferos ainda é muito incipiente em quase todos os países da Terra.

Algumas etapas são correntes no monitoramento de águas subterrâneas, dentre elas a coleta, armazenamento, análise e interpretação de dados. Deve-se

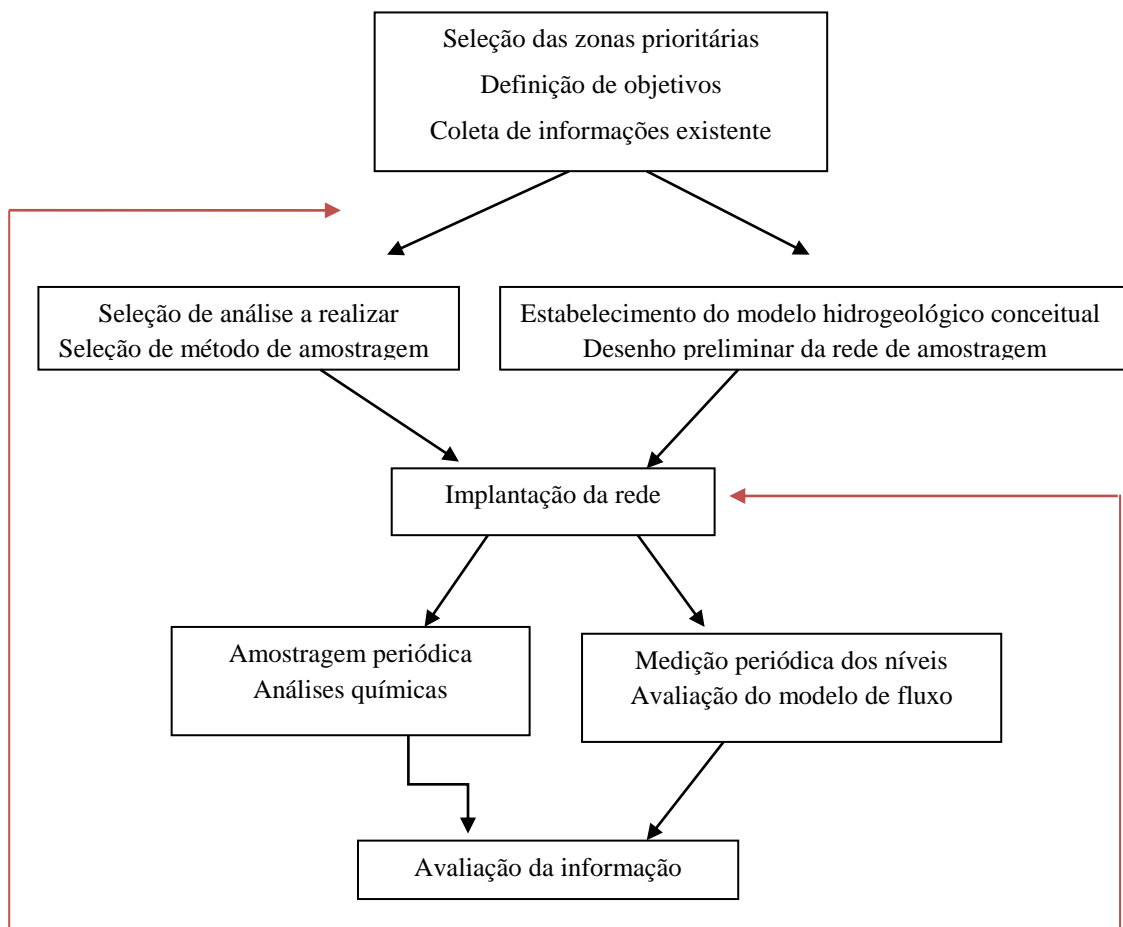
priorizar o conhecimento do comportamento hidrodinâmico quantitativo e qualitativo, em bombeamento ou não, tal como correlações em espaço e tempo que possibilitem maior entendimento do corpo estudado e melhor possibilidades de um gerenciamento primando a excelência.

Podem-se considerar dois tipos de monitoramento, o básico, supracitado e o específico, que se subdivide em:

- Monitoramento de detecção: para identificar a contaminação.
- Monitoramento preventivo: para avaliar o risco e/ou orientar a remediação da contaminação.
- Monitoramento de avaliação: compreender processos específicos.
- Monitoramento de vigilância: para fiscalizar a contaminação.

Ao se monitorar as águas subterrâneas, pretende-se principalmente avaliar o aquífero e os pontos de captação em estudo (SIRHESC, 2013). O fluxograma a seguir fornece a base de como se estrutura um monitoramento (**Figura 7**).

**Figura 7 – Estruturação do monitoramento**



Fonte: adaptado de Hirata; Fernandes (2006).

Quanto mais enriquecida em dados consistentes for a rede, mais eficiente será o monitoramento. Algumas informações não podem ser negligenciadas quando se gerencia competentemente o manancial hídrico subterrâneo, são elas: geometria, hidrodinâmica, área de recarga e descarga e vulnerabilidade do aquífero às fontes de poluição e o uso destinado à água. Os objetivos do monitoramento, tal qual o poder econômico do monitorador, influenciam fortemente na implantação da rede, sendo comum a elaboração de uma rede preliminar que grada para uma rede útil e definitiva.

#### 4.1.2 Seleção de Zonas Prioritárias

Os critérios de seleção das zonas prioritárias deverão considerar:

- Modelo hidrodinâmico e a interface com o ecossistema superficial;
- A vulnerabilidade a poluição do aquífero;
- Fontes de poluição potenciais;
- Distribuição dos poços exploradores;
- Ocupação e uso do solo;
- Anomalias locais.

No monitoramento básico deverá ser dada atenção especial para que se evitem pontos próximos às fontes poluidoras e regiões com intensa captação subterrânea. Nos monitoramentos específicos e regionais é fundamental o levantamento das explorações existentes.

#### 4.1.3 Tecnologias para Monitoramento

A realidade brasileira mostra-se incipiente quanto à atualização de banco de dados referentes a parâmetros de qualidade das águas subterrâneas, assim como pertinentes às explorações em poços tubulares profundos, carecendo de programas de monitoramento, visto que estes devem ser contínuos, direcionados por objetivo específico e possuir dados confiáveis.

*“Para realizar um programa de monitoramento é imprescindível que se estabeleça um planejamento com claros objetivos, procedimentos delineados para respostas efetivas e previsão de custos de investimentos e operacionalização. Uma simples amostra, não constitui um monitoramento, assim como estudos esporádicos, não fornecem subsídios para uma*

*caracterização hidrogeológica de um aquífero, ou mesmo descreve uma situação sistemática do andamento da qualidade do sistema água que está sendo avaliado” (BORGES et al. 2007).*

O procedimento de coleta de amostra representativa de água de um aquífero, apesar de grande evolução nos últimos anos, ainda é um enorme desafio técnico (HIRATA; FERNANDES, 2006).

O uso de sistemas sensores, no monitoramento, surge como grande facilitador para gerenciar bancos de dados (EPA, 2005), da mesma forma que, análises comparativas permitem a garantia ou não do método empregado. Os sensores servem, atualmente e cada vez evoluindo mais, como ferramentas para otimização de métodos analíticos, por vezes até substituindo ou eliminando etapas outrora empregadas (PURSALS, 2003).

O problema da carência no monitoramento de aquífero, muitas vezes só monitorado por exigências legais, não é uma prerrogativa brasileira sendo algo corriqueiro por todo o globo.

#### 4.1.4 Os Sensores e a Qualidade da Água Subterrânea

Atualmente muitos dados físico-químicos podem ser capturados por sensores e complementados ou não por análises laboratoriais físicas, químicas e bacteriológicas. O fornecimento do monitoramento *on line* a partir destes equipamentos já é uma realidade. O sensor é comercialmente mais empregado em sondas, conhecidas como sondas de multiparâmetros, que possuem um ou mais dispositivos capazes de averiguar um ou mais parâmetros de acordo com o interesse do monitoramento (**Figura 8**). Com diâmetro de 77 mm x 450 mm de comprimento, e pesando aproximadamente 1.350 gramas, a sonda ilustrada, é transportada em maleta própria, juntamente com seus acessórios.

As sondas mais comuns medem parâmetros como amônia, cloreto, clorofila, condutividade, nível, nitrato, oxigênio dissolvido, pH, potencial de óxido-redução, salinidade, sólidos totais dissolvidos, resistividade, temperatura, turbidez e velocidade do escoamento.

**Figura 8 – Sonda Multiparâmetro Aquaread AP 7000**



Fonte: <http://www.agsolve.com.br/produtos/sondas-para-qualidade-da-agua/sonda-multiparametro-aquaread-ap-7000>

#### 4.1.5 A Norma Técnica para Poços de Monitoramento de Aquíferos Porosos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio das Normas Brasileiras (NBR) 15495-1 de 2007 e 15495-2 de 2008, abordam respectivamente, Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares e seu projeto e construção; Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares e seu desenvolvimento. Para o sucesso do empreendimento e construção de poço de monitoramento, sugere-se que a zona-alvo seja bem definida, embasada em modelos conceituais hidrogeológicos ou segundo cada etapa de investigação pretendida, e que respeite a especificidade do projeto. A turbidez artificial das águas coletadas nesses poços pode ocorrer caso o aquífero monitorado possua distribuição granulométrica abrangendo partículas de tamanho na faixa de siltes e argilas, sendo necessárias outras providências (ex. purga) não contempladas por essas NBRs. Os pré-filtros devem ser montados em superfície onde é possível criar pré-filtro capaz de reter partículas de grandeza na faixa de siltes. Para a retenção mecânica hábil o pré-filtro deverá possuir de 2 a 3 vezes o diâmetro do grão a ser retido.

O intuito de um projeto e a construção de poços de monitoramento é garantir a coleta de amostras representativas da qualidade da água subterrânea de interesse, a partir de uma obra durável e confiável, que traga a caracterização hidrológica representativa da área de estudo atendendo à demanda de cada projeto. As etapas ocorridas desde o planejamento do projeto até a amostragem e análise precisam ser devidamente registradas.

Como obter um modelo hidrogeológico conceitual que perceba o sentido de fluxo e a(s) zona(s) de interesse para estudo? Primeiramente o reconhecimento da área de interesse deverá ser seguido de investigação em campo. O reconhecimento de área pode englobar algumas etapas tais como: Levantamento histórico de informações, pesquisa bibliográfica, reconhecimento de campo *in situ* e a geração de modelo hidrogeológico conceitual preliminar, que poderá ser aprimorado ou definitivo caso represente com fidelidade o objeto a ser estudado. A investigação em campo pode ser realizada conforme diversos métodos e intenciona o aprimoramento do modelo hidrogeológico conceitual preliminar, e a consequente delimitação da zona-alvo e locação condizente de poço(s) de monitoramento(s). Pode ser feita por sondagens exploratórias, amostragens com ensaios laboratoriais ou de campo, exploração geofísica, instalação de piezômetros em perfurações exploratórias a fim de determinar o sentido do fluxo de água subterrânea.

A água usada na perfuração deve ter uma amostra preservada até pelo menos uma primeira campanha de amostragem, para análise e interpretação da qualidade da água subterrânea, sendo possível verificar a influência dela ou não nos resultados obtidos.

O diâmetro interno do poço deverá ser selecionado observando alguns critérios que envolvam desde o maquinário e materiais disponíveis, até o volume de água a ser amostrada e o objetivo do monitoramento. É comum diâmetro interno superior a 50 mm, o que viabiliza a utilização de equipamentos para a amostragem.

O comprimento do tubo-filtro pode variar de curto a longo. Considera-se filtro curto o que possua comprimento inferior a 2 m, é utilizado em locais de complexa geologia ou onde há restrição ao intervalo a ser monitorado. Filtro longo possui comprimento superior a 2 m e é empregado em aquífero com relativa homogeneidade litológica, ausência de fluxo vertical ou para responder a objetivos específicos.

Para o sucesso na construção de poços de monitoramento alguns detalhes têm que ser observados, o método de perfuração escolhido dependerá da geologia, hidrogeologia e do objetivo específico da amostragem. A utilização de água e fluídos não é indicada durante a perfuração, todavia se seu uso for preponderante a escolha deve ser a que cause menor impacto possível às amostras que serão obtidas. A mesma tendência ocorre quando se usa compressores, se for imperativo seu uso, deve-se preferir o uso sem óleo ou compressores possuidores de filtro de ar.

Qualquer material reativo à amostra deverá ser evitado durante a construção do poço, devendo-se priorizar métodos que garantam um furo estável, retilíneo e desobstruído.

Todo poço deve ser protegido através de medidas que restrinjam acessos de seres não autorizados e entrada de água superficial que se mescle com a água subterrânea a ser monitorada. Para tal se constrói o revestimento protetor, laje sanitária (inclinada com espessura mínima de 50 mm), tampão para o revestimento protetor e qualquer artefato que mantenha sua integridade.

Conforme a ABNT (2008) o desenvolvimento do poço é definido com as medidas carecidas para o restabelecimento das condições iniciais de um aquífero que foi perturbado pelo processo de perfuração. Embora não seja uma prática sempre executada, e quando executada nem sempre com primazia, o desenvolvimento adequado otimiza grande parte de poços de monitoramento gerando dados químicos e hidráulicos mais fidedignos e dilatando a durabilidade da obra e amostragem. Os métodos empregados para o desenvolvimento dos poços variam de acordo com característica geológica da área, projeto, construção do poço, qualidade da água, maquinário disponível, tempo disponível e relação custo/benefício.

Algumas razões pelas quais se desenvolvem poços de monitoramento são destacadas:

- Danos causados pela perfuração que influam na condutividade hidráulica local do aquífero, como entupimentos dos poros da formação, colmatação da parede do furo ou compactação do furo;
- Estabilizar grãos da formação e secção filtrante;
- Retirada de argilas, siltes e fluidos de perfuração da formação e pré-filtro;
- Melhorar a eficiência do poço e sua comunicação com a formação próxima.

O desenvolvimento do poço pode passar por até três etapas, pré-desenvolvimento, desenvolvimento preliminar e desenvolvimento final.

Pré-desenvolvimento são as ações mitigadoras adotadas pela sondagem e efetuadas com fluido de perfuração; qualidade do fluido, prontidão na instalação do tubo-filtro, tubo de revestimento e pré-filtro, ao instalar ocorre no desenvolvimento preliminar, por pistoneamento, amostragem por caçamba, jateamento e bombeamento com injeção de ar. Após esta etapa as instalações do pré-filtro

secundário e do selo anular podem ser efetuadas. O desenvolvimento final será efetuado por bombeamento e exigirá menos tempo quanto melhor forem executadas as etapas anteriores.

Os métodos de desenvolvimento de poços de monitoramento são:

- Pistoneamento;
- Superbombeamento;
- Retrolavagem;
- Jateamento.

Os cuidados para um desenvolvimento seguro engloba preservar a integridade física do poço, e garantir menor modificação possível nas características hidráulicas da formação e na qualidade da água a ser amostrada.

Para a efetividade do monitoramento do aquífero adjacente, áreas destinadas a disposição de resíduos sólidos inseridas na ETE em estudo, se utilizam poços de monitoramento e não piezômetros que, pela ABNT, são poços frequentemente de diâmetros reduzidos, usados para mensurar elevação de nível d'água – NA, quesito cumprido por poços de monitoramento também.

Segundo a NBR 15495-1, o monitoramento contém relatório de projeto, locação e construção dos poços; estes georreferenciados e com leitura de NA padronizada. Para composição do relatório é necessário a localização da área monitorada, relativa ao projeto, em mapas e fotos aéreas, plotando furos exploratórios, piezômetros e poço de monitoramento. Informações e ilustrações sobre hidrogeologia, geomorfologia e geologia da área são pertinentes para complementar o relatório. Todas as informações pretéritas ao monitoramento e de relevância, locações pesquisadas e procedimentos para execução da obra e futuro descomissionamento se agregam ao relatório, tal como os registros de sondagem, perfuração e construção do poço, cópias dos registros de perfuração, sondagens, ensaios granulométricos, medição do NA, ensaios laboratoriais e do perfil construtivo do poço e a água empregada no engenho.

## **4.2 Metodologia de Enquadramento de Águas**

### **4.2.1 Enquadramento de Corpos de Água – Breve Histórico**

A subdivisão em classe a ser alcançada ou mantida de um segmento de corpos d'água, relacionada com o nível de qualidade da água, é a definição de enquadramento, que deve ser pactuado pela sociedade no que tange à priorização de usos. O Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, instituído pela Lei Federal nº 9.433/97 de acordo com ANA (2007), responde pela discussão e estabelecimento do enquadramento. Este serve de instrumento para a gestão ambiental.

Apesar de ocorrer dispositivos legais desde os idos do Brasil colônia, foi só em 1934 que surgiu o Código de Águas, a primeira legislação específica neste setor. Muito vinculado ao setor elétrico, o Código praticamente não abrange a diversidade de usos que a água pode ter, isto é, o fim para qual está determinada nem engloba a preservação da qualidade do recurso.

Na vanguarda nacional, São Paulo institucionalizou a classificação dos corpos d'água em 1955; em âmbito federal isso só ocorreu em 1976, já correlacionando a água e seus usos. Uma década após, uma nova classificação surgiu, para água doce, salobra e salgada, composta por nove classes.

A discussão da política estadual mineira de recursos hídricos se iniciou juntamente com a federal, sendo que a nacional foi promulgada por meio da Lei nº 9.433/97 e a estadual por meio da Lei 13.999/99 conforme ANA (2007) que instituem, respectivamente, as Políticas Nacional e Estadual de Recursos Hídricos e se formou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, que foi atribuído sua criação, pela união, em 1988 segundo a Constituição Federal (ANA, 2007). Depois se formou o Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH (1998) e a Agência Nacional de Águas – ANA (2000). No mesmo ano da fundação da ANA veio a Resolução CNRH nº 12/2000 que normatizou o enquadramento dos cursos d'água em classes de qualidade. Segundo ANA (2007), a Resolução CONAMA nº 357/2005 revogou a de nº 20/1986 com implantação de novos conceitos e a relação tempo presente e futuro foram relevadas.

Atualmente o enquadramento ocorre de acordo com as 13 classes de qualidade as águas doces, salobras e salinas da Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas alterações, válido para todo território nacional, como descrito no **Quadro 2**.

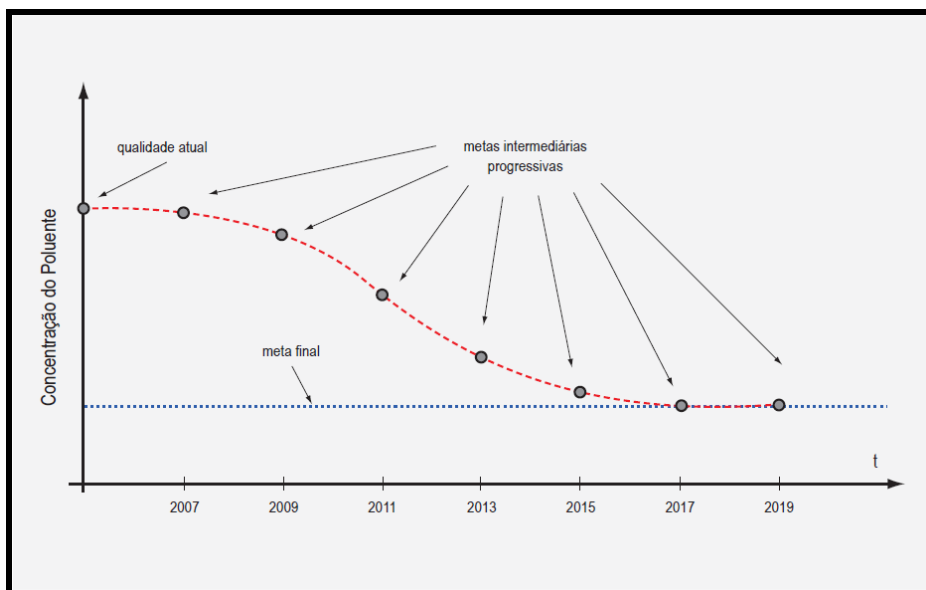
**Quadro 2 - Enquadramento das águas superficiais segundo CONAMA nº 357, de 2005**

| CLASSES           | USOS     |  |
|-------------------|----------|--|
| ÁGUAS<br>DOCES    | ESPECIAL | - abastecimento para consumo humano, com desinfecção;<br>- preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;<br>- preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.  |
|                   | 1        | - abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;<br>- proteção das comunidades aquáticas;<br>- recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000;<br>- 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<br>- proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.   |
|                   | 2        | - abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;<br>- proteção das comunidades aquáticas;<br>- recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000;<br>- 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<br>- aquicultura e à atividade de pesca   |
|                   | 3        | - abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;<br>- irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;<br>- pesca amadora;<br>- recreação de contato secundário; e<br>- dessedentação de animais  |
|                   | 4        | - navegação;<br>- harmonia paisagística.   |
| ÁGUAS<br>SALINAS  | ESPECIAL | - preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e<br>- preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.   |
|                   | 1        | - recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000;<br>- proteção das comunidades aquáticas; e<br>- à aquicultura e à atividade de pesca.  |
|                   | 2        | - pesca amadora;<br>- recreação de contato secundário.   |
|                   | 3        | - navegação;<br>- harmonia paisagística  |
| ÁGUAS<br>SALOBRAS | ESPECIAL | - preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; e,<br>- preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas   |
|                   | 1        | - recreação de contato primário, conforme Resolução CONAMA n. 274, de 2000;<br>- proteção das comunidades aquáticas;<br>- aquicultura e à atividade de pesca;<br>- abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado;<br>- 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 à irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto. |
|                   | 2        | - pesca amadora;<br>- recreação de contato secundário  |
|                   | 3        | - navegação;<br>- harmonia paisagística.   |

Fonte: ANA, 2007.

Os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos (CERHs) e ou o CNRH, dependendo da esfera envolvida, abonam, em última análise, o enquadramento dos cursos d'água. Esse enquadramento não é de maneira alguma imutável, porém deve ser o mais assertivo possível e tido como meta final de todo um processo, como ilustrado na **Figura 9**. Fatores como a vontade da sociedade, o nível de desenvolvimento econômico, técnico e institucional influem no enquadramento proposto (ANA, 2007).

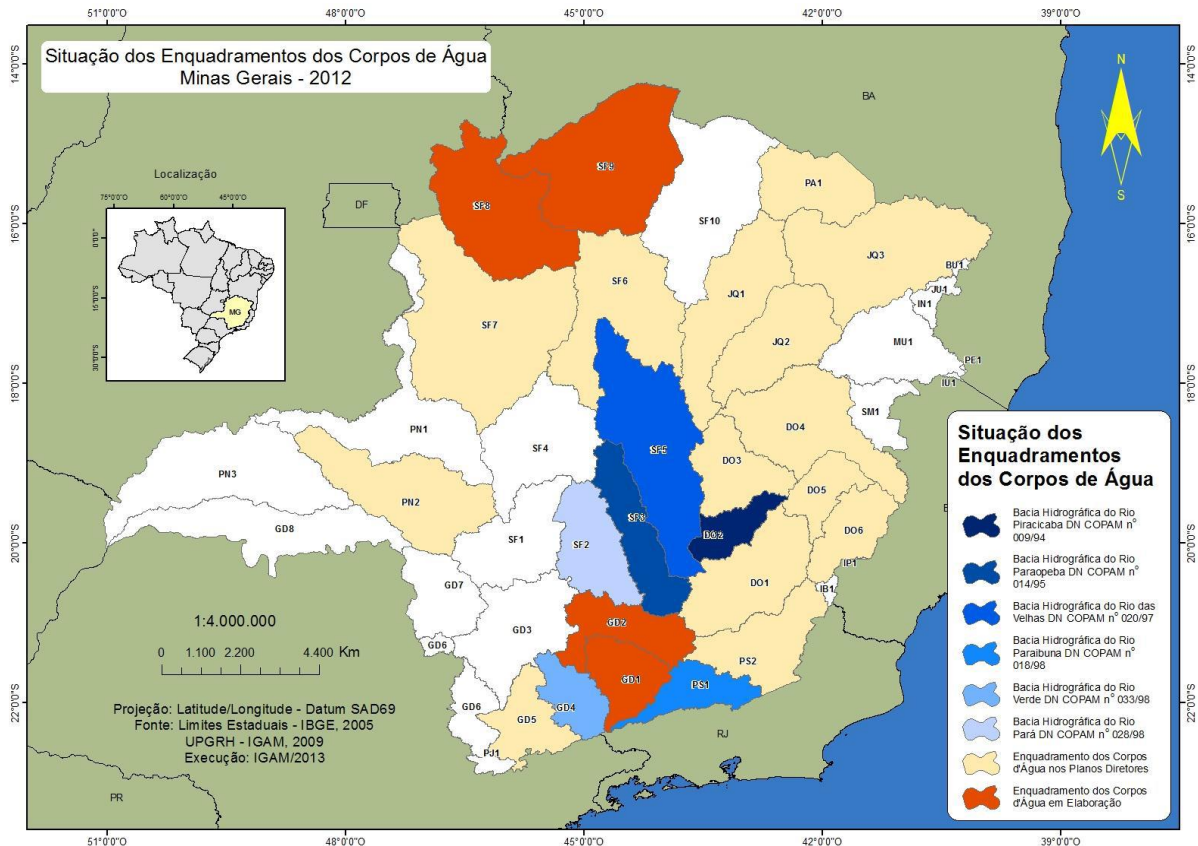
**Figura 9 – Exemplo da progressividade em metas para qualidade de água**



Fonte: ANA, 2007.

Em 2014, o Instituto Mineiro de Gestão das águas – IGAM lança o 1º Relatório de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais, que compilou dados até dezembro de 2012. Neste trabalho é apresentado o cenário do enquadramento dos corpos de água de Minas Gerais, segundo as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos – UPGRHs, onde 6 já possuem suas águas enquadradas, 5 têm as diretrizes para o enquadramento conforme planos de bacia concretizados, e 4 já iniciaram os processos para futuro enquadramento (**Figura 10**).

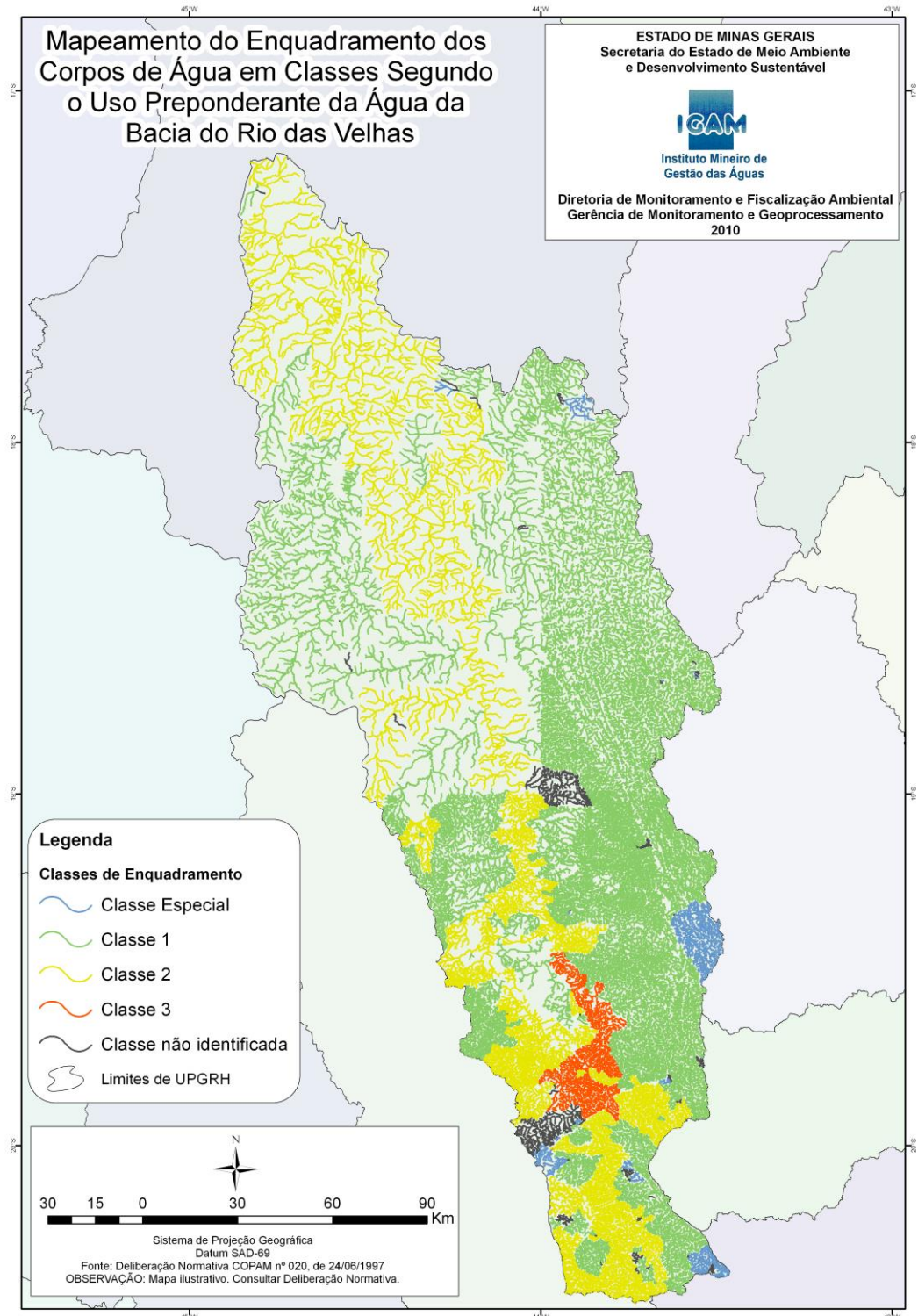
**Figura 10 – Enquadramento dos corpos de água no estado de Minas Gerais**



Fonte: IGAM, 2014.

Quanto à Bacia do Rio das Velhas é apresentado o esboço dos corpos d'água e seus enquadramentos, observando que a região de predomínio do enquadramento para a classe III coincide com a região metropolitana da capital mineira, associada à grande concentração urbana, industrial e de extração mineral. É onde se insere a sub-bacia do Ribeirão Arrudas (**Figura 11**).

**Figura 11 – Esboço do enquadramento dos corpos de água para a Bacia do Rio das Velhas**



Fonte: IGAM, S/D.

<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/mapoteca/mapas/enquadramento/6400-enquadramentobacia-do-rio-das-velhas>

#### 4.2.2 Enquadramento das Águas Subterrâneas

A resolução CONAMA 396/2008 que:

*“Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências”*

e classifica o manancial subterrâneo em:

**I - Classe Especial:** *águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas a 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 antrópica, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido as suas características hidrogeoquímicas naturais;*

**III - Classe 2:** *águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópica, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais;*

**IV - Classe 3:** *águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópica, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido as suas características hidrogeoquímicas naturais;*

**V - Classe 4:** *águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópica, 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 antrópica, destinadas a atividades que não tem requisitos de qualidade para uso.”*

Dentre os parâmetros selecionados para o enquadramento, deverão ser considerados, no mínimo, sólidos totais dissolvidos, nitratos e coliformes termotolerantes acrescidos de pH, turbidez, condutividade elétrica e medição de nível de água para da condição de qualidade do recurso hídrico (Resolução CONAMA 396/2008).

“Art. 13. (...)

§ 4º *A avaliação da qualidade da água subterrânea deveser complementada, quando tecnicamente justificado, por meio de testes de toxicidade com organismos apropriados para cada um dos usos ou por análises toxicológicas adequadas.*

*§ 5º Na hipótese dos estudos referidos no parágrafo anterior tornarem-se necessários em decorrência da atuação de empreendedores identificados, as despesas da investigação correrão as suas expensas.*

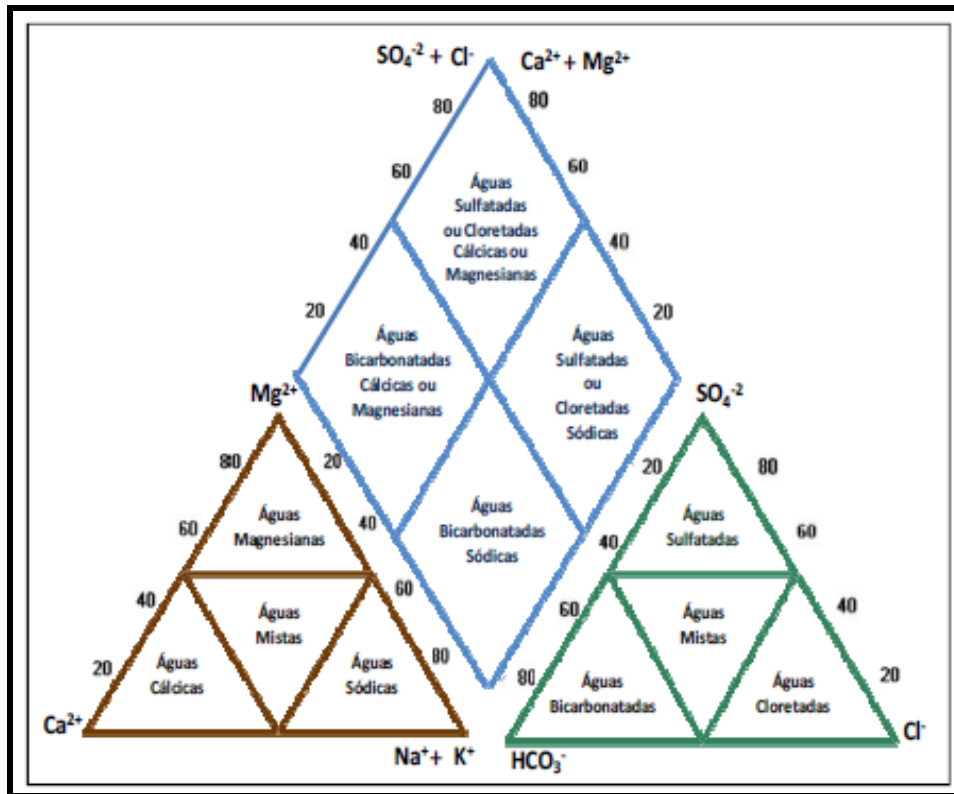
*Art. 31. Os estudos para enquadramento das águas subterrâneas deverão observar a interconexão hidráulica com as águas superficiais, visando compatibilizar as respectivas propostas de enquadramento.”*

Na resolução CONAMA 396/2008, em sua íntegra, são especificados os valores dos parâmetros permitidos por enquadramentos. Pelo diagrama trilinear (piper) as águas naturais se enquadram pelas proporções de cátions e ânions específicos (**Figura 12**).

#### 4.2.3 Monitoramento de Aquíferos em Minas Gerais

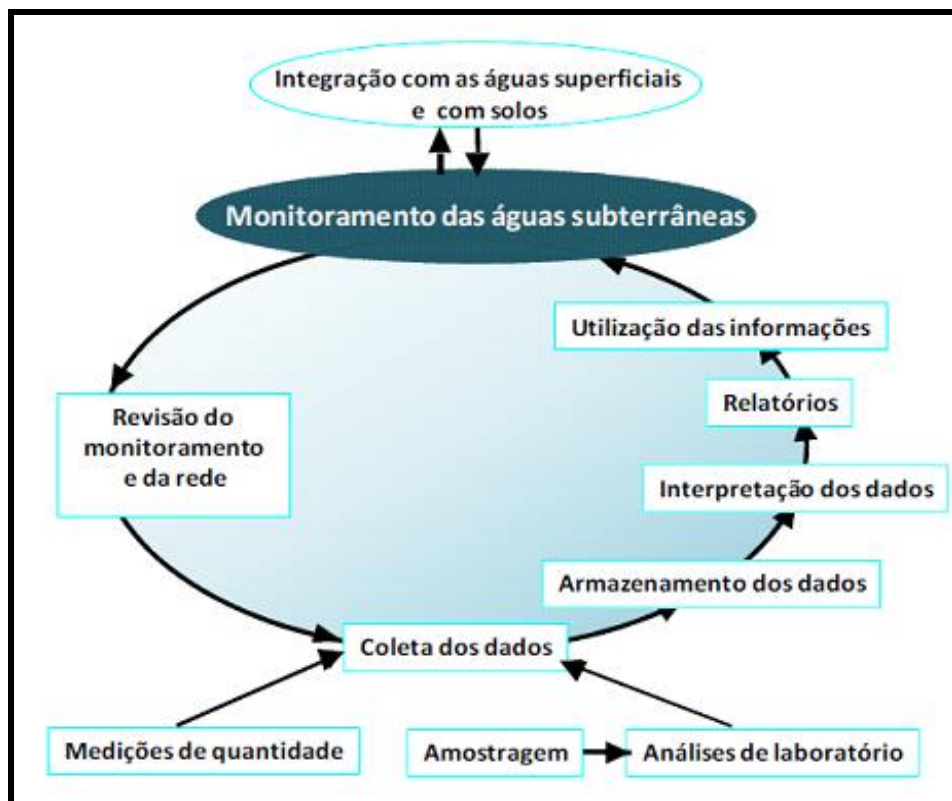
As redes nacionais de monitoramento são precárias, e o manancial hídrico do subsolo é de responsabilidade estadual. Assim, nas Bacias dos Rios Verde Grande, Riachão, Jequitai e Pacuí (MG) foram instaladas redes de monitoramento até 2004. O primordial fim dessa rede de monitoramento das águas subterrâneas no estado de Minas Gerais é sua análise qualitativa; a rede é gerida pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Devido a elevados custo para um controle representativo e confiável, que carece de elevada densidade de poços de monitoramento, é usual a utilização de poços de produção para complementar o monitoramento. As etapas de um monitoramento são ilustradas conforme esquema apresentado na **Figura 13**.

Figura 12 – Diagrama trilinear para água



Fonte: IGAM, 2013.

Figura 13 – Fluxograma do monitoramento



Fonte: IGAM, 2013.

As redes de monitoramentos são classificadas em primária, secundária e terciária, onde:

**Primárias:**

- Escala nacional;
- Objetivam fornecer valores de referência e de *background* para os demais tipos de monitoramento;
- Representam as condições naturais das águas subterrâneas, sem interferência antrópica;
- Planejamento de recursos e para fins de gestão.

**Secundárias:**

- Regional ou para avaliar condições de impactos ambientais;
- Subsídios à gestão e ao controle dos usos do recurso;
- Para abastecimento público faz-se o monitoramento de quantidade e de qualidade.

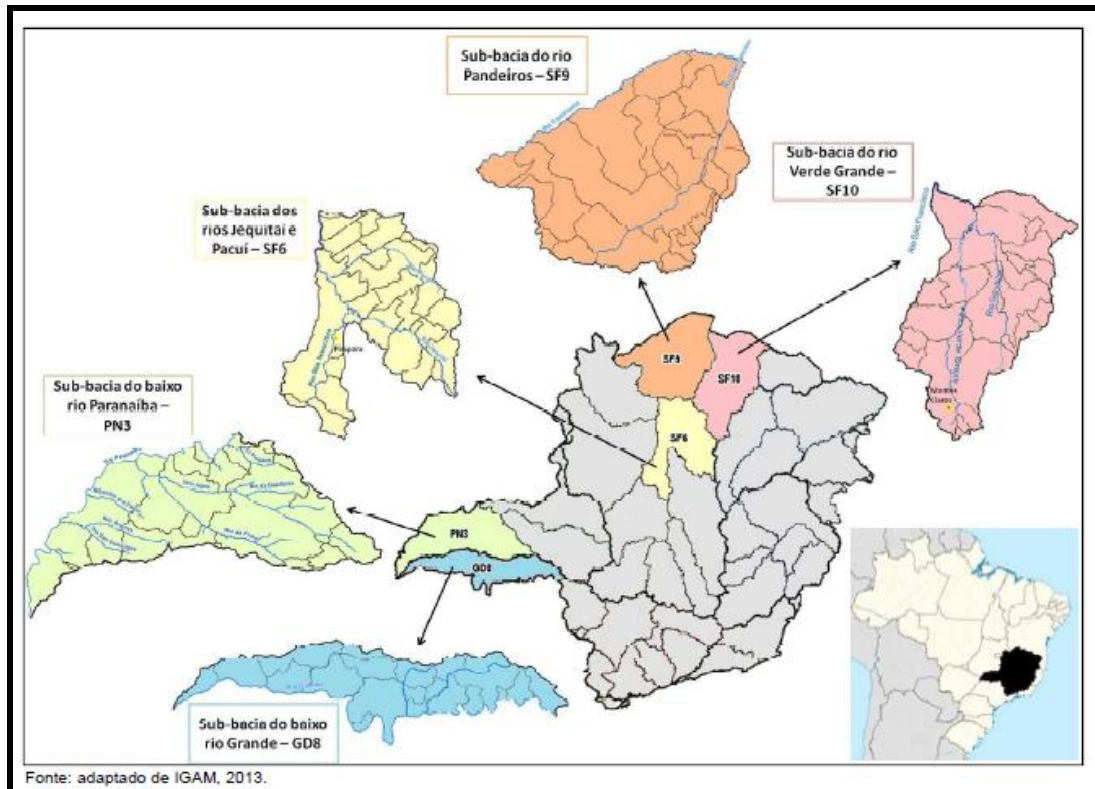
**Terciárias:**

- Local de águas subterrâneas potenciais ou sujeitas a impacto devido fontes de poluição pontuais;
- Para obter conhecimentos específicos.

As redes mineiras abrangem principalmente a classe secundária atendendo alguns pontos das classes primárias e trabalham em duas linhas, o monitoramento das águas subterrâneas no Norte de Minas Gerais, predomínio do Sistema Aquífero Cárstico/Fissural Bambuí e o monitoramento das águas subterrâneas dos aquíferos Bambuí e Guarani no Triângulo Mineiro. Ocorrem também em Minas Gerais, além do aquífero livre oriundos de elúvios e alúvios, outros Sistemas Aquíferos tais como o Uruçuia-Areado, e os Sistemas Aquíferos Fissurados relacionados às rochas cristalinas e vulcânicas carentes de redes oficiais de monitoramento.

A **Figura 14** mostra as bacias hidrográficas monitoradas no estado de Minas Gerais e a **Tabela 1** relata as principais características do monitoramento.

**Figura 14 – Bacias mineiras com monitoramento subterrâneo**



Fonte: IGAM, 2013.

**Tabela 1 – Principais características do monitoramento – Região Norte (onde predomina o aquífero Bambuí) e aquífero Guarani, no Estado de Minas Gerais**

|                                    | <b>SF6, SF9 e SF10</b> | <b>Aquífero Guarani</b> |
|------------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Início do período do monitoramento | 2005                   | 2009                    |
| Nº de pontos                       | 60                     | 4                       |
| Nº de parâmetros analisados        | 74                     | 60                      |
| Nº de resultados válidos           | 33.925                 | 224                     |
| Periodicidade de coleta            | Semestral              | Anual                   |

**Observações:** SF6 (sub-bacia dos Rios Riachão e Jequitai). SF9 (sub-bacia do Rio Pandeiros). SF10(sub-bacia do Rio Verde Grande).

Fonte: IGAM, 2013.

#### 4.2.4 Alguns Parâmetros Utilizados em Análise das Águas Subterrâneas

Para realização do monitoramento dos aquíferos de responsabilidade do IGAM são utilizados vários parâmetros sendo alguns físicos e químicos representados pelo esquema abaixo (**Figura 15**).

**Figura 15 – Alguns parâmetros físicos e químicos monitorados nas águas subterrâneas**



Fonte: IGAM, 2013.

Como parâmetros biológicos foram utilizados coliformes totais e termotolerantes, porém os dados não passaram confiabilidade e representatividade. Os agrotóxicos começaram seu monitoramento após 2010 e constataram-se teores dos diversos agrotóxicos inferiores ao limite máximo permitido, por causa do intenso uso de agrotóxico no estado esse assunto está em estudo pelo órgão estadual responsável.

Para o aquífero Guarani não foi feita análise de parâmetros biológicos nem de agrotóxicos.

#### 4.2.5 Fontes de Contaminação do Manancial Subterrâneo

Quando da avaliação do desempenho de sistemas e seu risco de colapso três conceitos são empregados neste estudo: a fiabilidade, a resiliência e a vulnerabilidade. O primeiro mensura a probabilidade de não falência do sistema. O segundo, depois de perturbado, a facilidade de retorno do sistema próximo ao estágio inicial. E o último mensura a gravidade das implicações da falência do sistema (HASHIMOTO *et al.* 1982 *apud*: LOBO FERREIRA, 1998). Emprega-se o conceito "vulnerabilidade" para o caso específico das águas subterrâneas e relaciona a falência do sistema à carga poluente independente do uso da água (LOBO FERREIRA, 1998).

Definido o termo vulnerabilidade é notório o conhecimento de algumas características do aquífero; dentre elas, condutividade hidráulica, qualidade da água, nível da água, espessura, área de recarga, tipo de aquífero e extensão, para uma avaliação pertinente sobre a vulnerabilidade de determinado aquífero à contaminação.

As causas de contaminações do aquífero podem ser consequentes de várias possibilidades sendo as fontes de contaminações mais comuns citadas a seguir:

- Poços mal construídos e ou mal locados, não desinfetados e sem manutenção;
- Poços abandonados e desativados, quando não tamponados;
- Saneamento e tratamento precário do esgotamento sanitário, podendo causar elevadas concentrações de nitrato e do surgimento de bactérias patogênicas e vírus no manancial hídrico;
- Resíduos sólidos inadequadamente dispostos e ou tratados;
- Uso indiscriminado nem pesquisado de fertilizantes e agrotóxicos;
- Qualidade de água da irrigação;
- Efluentes industriais;
- Produção, transporte e armazenamento de produtos tóxicos contaminantes sem a devida perícia (inclusos combustíveis, alcoóis e hidrocarbonetos);
- Fármacos e hormônios;
- Mineração com seus resíduos, modificações no sistema aquífero local e geração de drenagem ácida;

- Superexplorações (aumento da drenança vertical) e avanço das cunhas salinas;
- Cemitérios tradicionais e ou sem estudos prévios para sua adequada instalação.

#### 4.2.6 Proteção de Aquíferos

Proteger e ou remediar aquíferos, pode ser muito oneroso e exigir técnicas adequadas, esses fatos não garantem o retorno as suas condições naturais.

É obrigação dos estados orientar os municípios no que se refere à gestão, prevenção, proteção, conservação e recuperação dos aquíferos (CNRH, A Resolução no 15/2001 e Resolução nº 22/2002). A vulnerabilidade do aquífero à carga contaminante se influencia por (ANA, 2007): (i) Facilidade da penetração de poluentes na Zona Saturada; (ii) Poder de atenuação devida propriedade físico-química; (iii) Disposição da carga contaminante no solo ou em subsuperfície, sua mobilidade e persistência; (iv) Injeção ou contato direto com aquífero.

O perímetro de proteção do poço (PPP) é legalmente definido e proíbe atividades poluentes em sua inscrição (HIRATA; SUHOGUSOFF, 2004).

Dias *et al.* (2004) sugerem o seguinte zoneamento e medidas para poços tubulares profundos, com finalidade de abastecimento humano: (i) Perímetro Imediato de Proteção Sanitária (PIPS), 10 metros entorno a captação; (ii) Perímetro de Alerta (PA), raio de 50 metros ao redor da captação, para trânsito 50 dias; (iii) A Zona Proximal de Restrição e Controle (ZPRC) trânsito de pelo menos 1 ano, área varia com as características da região; (iv) A Zona Distal de Restrição e Controle (ZDRC) protege a área de recarga da Captação.

Em caráter regional os planos diretores de uso e de ocupação dos solos são a alternativa para proteção do manancial subterrâneo e a outorga surge na tentativa de preservar e manter os aquíferos “saudáveis” permitindo a exploração do mesmo por engenhos bem construídos.

## 5 ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM MINAS GERAIS

Intencionando a melhoria de seus mananciais e conseqüente bem estar populacional o Estado de Minas Gerais por meio da Deliberação normativa COPAM – Conselho de Política Ambiental, de número 96 do ano de 2006 (MINAS GERAIS, 2006), convocou todos os municípios pertencente à Minas Gerais para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências sendo que em 2008 a Deliberação Normativa COPAM de número 128 (MINAS GERAIS, 2008) alterou prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM 96/2006.

O aumento de população atendido por sistemas de tratamento de esgotos sanitários devidamente licenciados pode ser elucidado na **Figura 16** conforme fontes do governo estadual (SISEMA/FEAM, 2013).

**Figura 16 – Evolução da população atendida por sistemas de tratamento de esgoto licenciado**

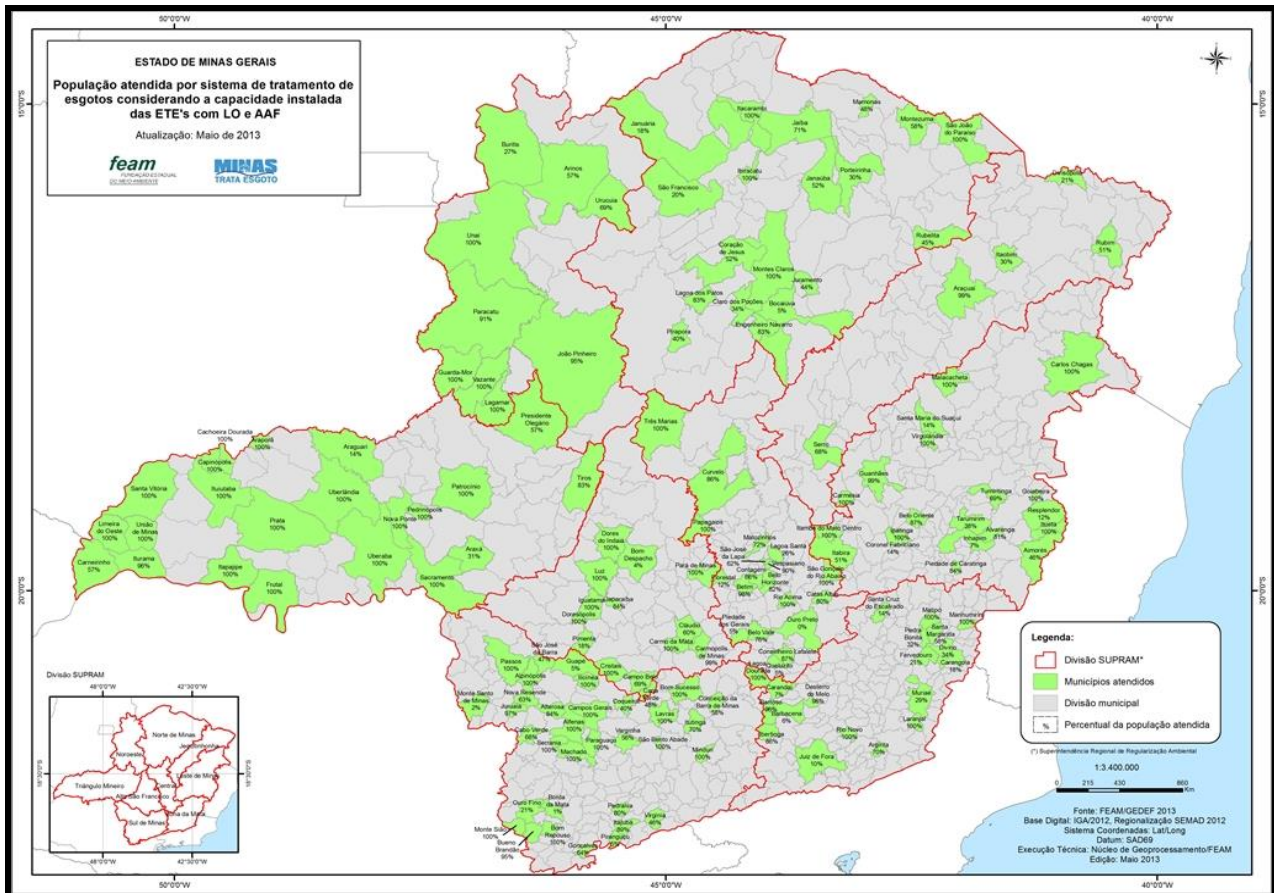


Fonte: SISEMA/FEAM, 2013.

A pequena queda no período de 2011 a 2012 é explicada devido a não renovações de licenças por parte de alguns municípios e à desconsideração de autorizações ambientais concedidas a projetos.

A **Figura 17** esboça a situação do esgotamento sanitário nos municípios mineiros em maio de 2013, pode-se observar que ainda tem muito a melhorar.

**Figura 17 – Municípios atendidos por sistemas de tratamento de esgoto licenciado**



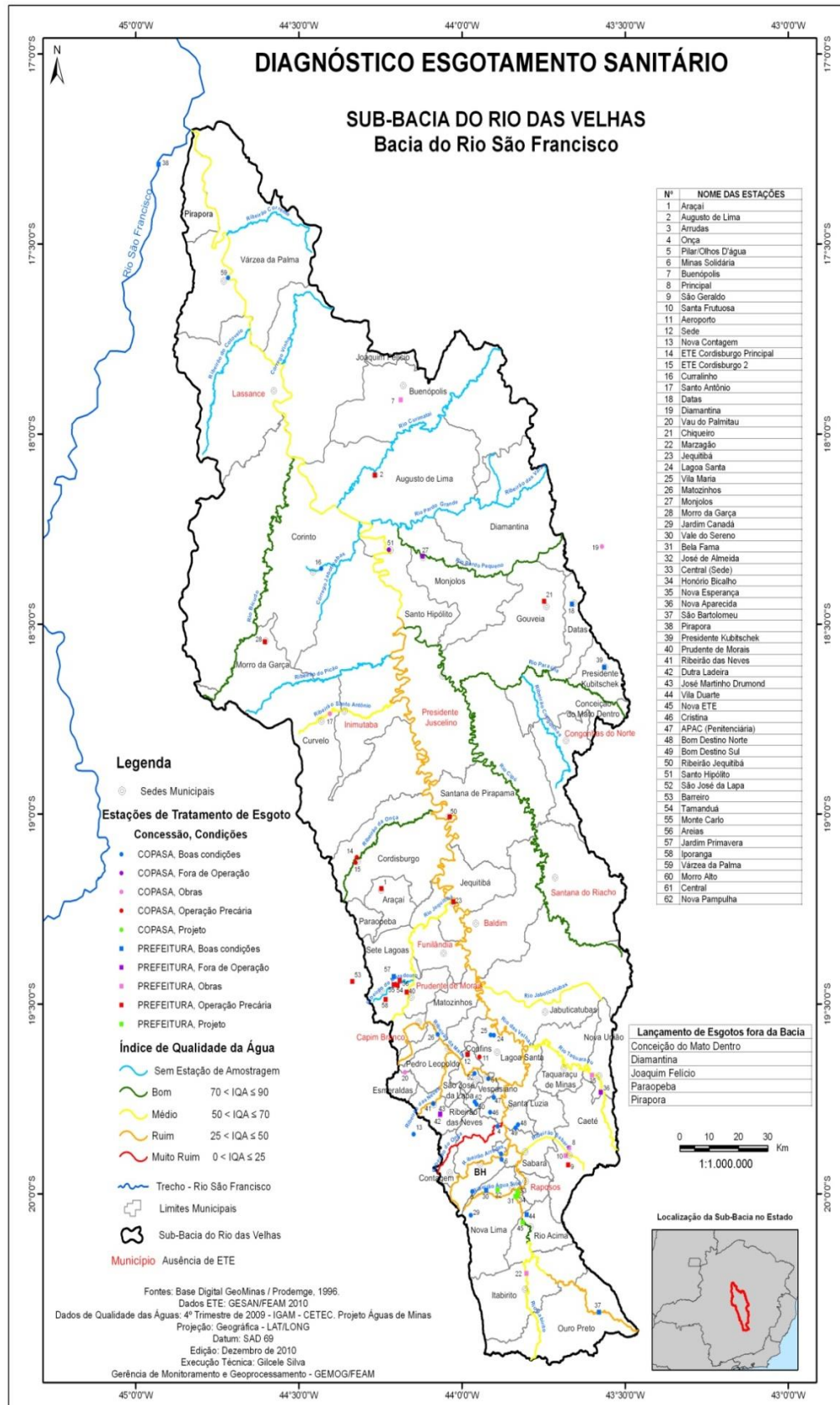
Fonte: SISEMA/FEAM, 2013.

A área de interesse deste trabalho está inserida na Bacia do Rio das Velhas, onde possui estações de tratamento de esgoto, algumas ativas e outras inativas, conforme **Figura 18**, que além dessas informações fornece o IQA (índice de qualidade da água) dos tributários e do próprio Rio das Velhas.

### 5.1 Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e o Esgoto Doméstico

Minas Gerais é a quarta maior unidade federativa do Brasil em termos de área territorial, detentora de vasta população como explicito na **Tabela 2** (IBGE, 2013), os biomas preponderantes são o cerrado, a mata atlântica e a caatinga. Conforme IBGE em 2007 para Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas – BHRV – estima-se a densidade demográfica de 159,35 hab/km<sup>2</sup> bem superior à média estadual além de ser a região que mais produz esgoto doméstico no estado.

**Figura 18 – Diagnóstico do esgotamento sanitário para a sub-bacia do Rio das Velhas na Bacia do São Francisco**



Fonte: SISEMA/FEAM, 2010.

**Tabela 2 – Característica espacial/populacional do Estado de Minas Gerais**

|   |                       |
|---|-----------------------|
| <b>Capital</b>                                    | <b>Belo Horizonte</b> |
| <b>População estimada 2013</b>                    | <b>20.593.356</b>     |
| <b>População 2010</b>                             | <b>19.597.330</b>     |
| <b>Área (km<sup>2</sup>)</b>                      | <b>586.522,122</b>    |
| <b>Densidade demográfica (hab/km<sup>2</sup>)</b> | <b>33,41</b>          |
| <b>Número de Municípios</b>                       | <b>853</b>            |

Fonte: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>

A BHRV é uma sub-bacia do Rio São Francisco (**Figura 19**) sendo o Rio das Velhas o tributário da bacia do São Francisco de maior extensão com comprimento estimado em 801 km.

**Figura 19 – Sub-bacia do Rio das Velhas – Bacia do São Francisco**



Fonte: <http://www.manuelzao.ufmg.br/assets/files/Textos%20educacao/Bacia%20do%20Rio%20das%20Velhas.pdf>

A Região Metropolitana de Belo Horizonte possui ribeirões tributários do Rio das Velhas. Os corpos de água de maior expressão são o Ribeirão Arrudas, Ribeirão do Onça e o Ribeirão do Isidoro.

As principais ETEs – Estações de Tratamento de Esgoto relacionadas a essas sub-bacias são ilustradas na **Figura 20**.

**Figura 20 – Delimitações das bacias e sub-bacias das regiões metropolitanas e disposição das principais ETEs**



Fonte: COPASA–MG, S/D.

## 5.2 Monitoramento Ambiental de ETEs Municipais em Minas Gerais

A Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM – através da Nota Técnica 002/2005, elaborada por integrantes da Divisão de Monitoramento e Geoprocessamento e Divisão de Saneamento – DIMOG/DISAN – (FEAM, 2005), estabelece alguns critérios para o monitoramento dos efluentes líquidos, águas superficiais e águas subterrâneas relacionados às ETEs municipais. Em se tratando do monitoramento das águas subterrâneas, deverão ser monitorados os sistemas que utilizam lagoas e ou que tratam com aplicação do efluente no solo. O planejamento do monitoramento deve preceder a instalação da ETE, já os resultados tal como o plano de amostragem para medições em águas subterrâneas

e cópia de registro de ocorrência são fornecidos à FEAM para anuir a licença de operação.

Já a Deliberação Normativa COPAM nº 167, de 29 de junho de 2011 atribui critérios a Laboratórios que emitem relatórios de ensaios ou certificados de calibração referentes a medições ambientais. Se comprovada, após análise de monitoramento, a eficácia do tratamento e operação, a periodicidade do monitoramento poderá ser revista; contudo qualquer desconformidade em parâmetros monitorados exige laudo técnico que explique e dê solução e encaminhe o mesmo à FEAM, tendo este órgão a autonomia para alteração da frequência de monitoramento e pela reavaliação dos parâmetros a serem monitorados.

Também se define que para avaliar as condições ambientais das águas subterrâneas associadas à ETE fazem-se necessárias análises física, química e bacteriológica através de poços de monitoramento, sendo pelo menos um poço a montante e dois a jusante do local a ser monitorado.

O **Quadro 3** apresenta o Programa de monitoramento das águas subterrâneas para empreendimentos Classe 1, 3 e 5.

**Quadro 3 – Programa de monitoramento de águas subterrâneas**

| Parâmetro                  | Unidade | Frequência |
|----------------------------|---------|------------|
| Cádmio total (')           | mg/l    | Anual      |
| Chumbo total (')           | mg/l    | Anual      |
| Cobre dissolvido (')       | mg/l    | Anual      |
| Condutividade elétrica     | µS/cm   | Anual      |
| Cloreto total              | mg/l    | Anual      |
| E. Coli                    | UFC     | Anual      |
| Nitrato                    | mg/l    | Anual      |
| Nitrogênio amoniacal total | mg/l    | Anual      |
| Nível de água              | m       | Anual      |
| pH                         | -       | Anual      |
| Zinco total (')            | mg/l    | Anual      |

(') para ETEs que recebem efluentes de aterros sanitários.  
Fonte: FEAM, 2005.

## 6 ETE ARRUDAS

Visando o reconhecimento como referência e excelência empresarial, a COPASA tem como missão prover soluções em abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos, contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental de Minas Gerais. A ETE Arrudas (**Foto 1**) é um dos empreendimentos da COPASA, de classe V, devido ao seu porte grande e potencial poluidor médio, que opera para concretização de sua visão e missão. O processo de tratamento executado nesta estação de esgoto é o de lodos ativados convencional e a eficiência estimada (DBO) é próxima à 90,0%.

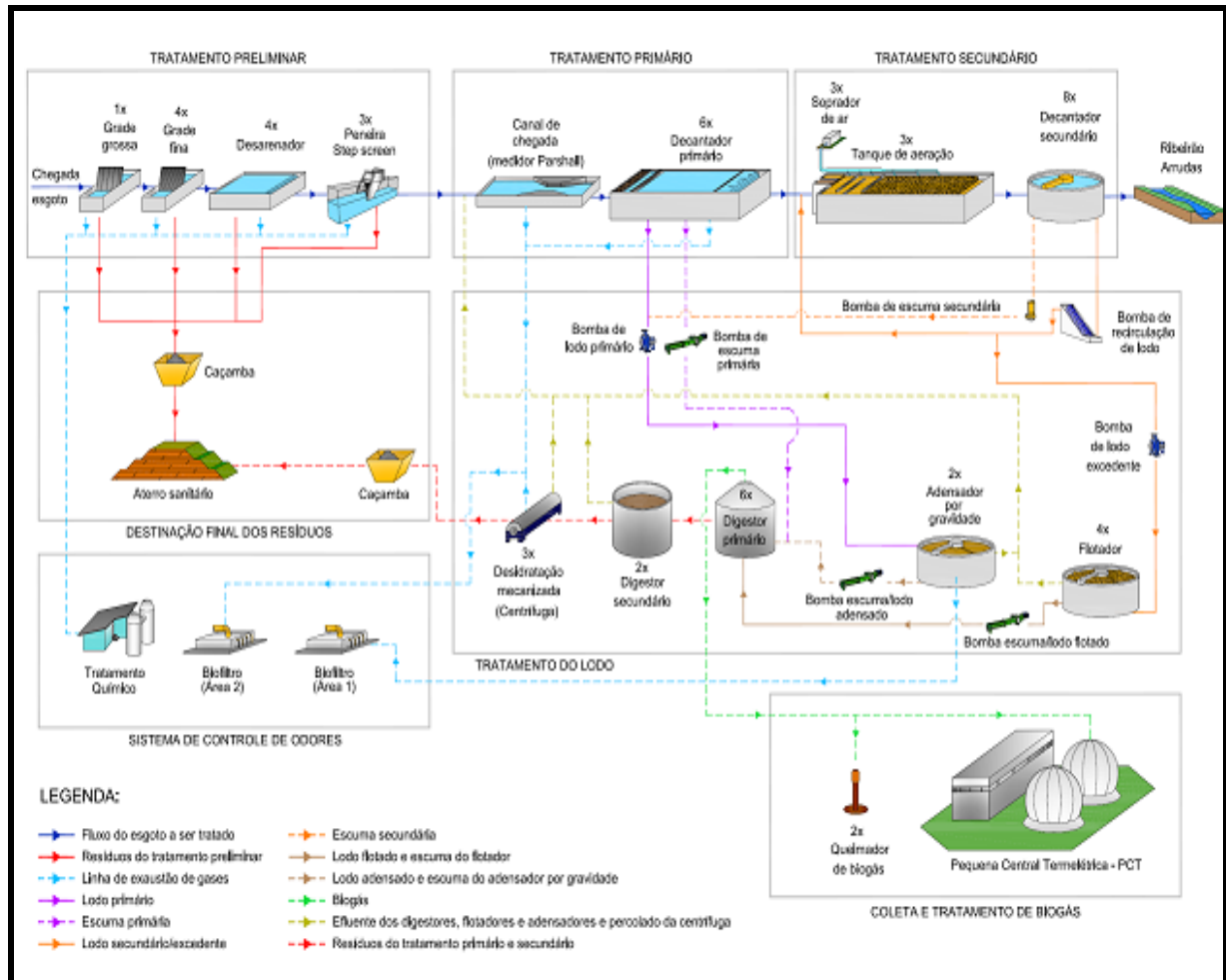
**Foto 1 – Vista Superior da ETE Arrudas**



Fonte: COPASA–MG, S/D.

A **Figura 21** ilustra as etapas do processo de tratamento de esgoto sanitário por lodos ativados convencional, mostrando o tratamento até o nível secundário e a destinação dos resíduos e gases gerados e controles de odor.

Figura 21 – Fluxograma do funcionamento da ETE Arrudas



Fonte: COPASA-MG, S/D.

Além das unidades supra ilustradas existem unidades de apoio operacional que também compõem a ETE em estudo, são elas a portaria, os prédios da administração/laboratório/almojarifado, o refeitório, a oficina de manutenção, guaritas, o Centro de Educação Ambiental – CEAM com seu Biomonitoramento, e o Centro de Pesquisa com projetos piloto (**Fotos 2, 3 e 4**).

Foto 2 – Unidade de apoio operacional da ETE Arrudas



Fonte: COPASA–MG, 2005.

Foto 3 – Aquário de biomonitoramento do Centro De Educação Ambiental – CEAM, que utiliza efluente pós-tratamento na ETE Arrudas



Fonte: COPASA–MG, S/D.

**Foto 4 – Projeto de Lagoa de Maturação teste no centro de pesquisa em campo**



Fonte: Acervo pessoal, 2013.

### **6.1 ETE Arrudas um Breve Histórico (MINAS GERAIS, 2010)**

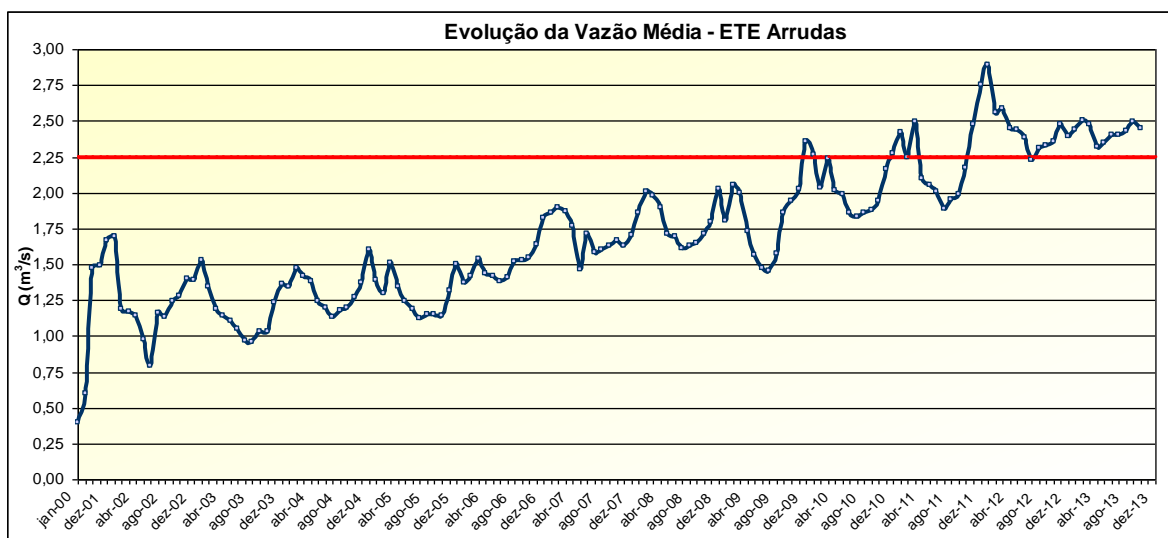
A operação da ETE Arrudas teve seu início com tratamento primário em 17 de outubro de 2001, com capacidade de tratamento aproximada de  $4,50 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que é equivalente à 1.600.000 pessoas atendidas. Já o tratamento secundário iniciou em 17 de dezembro de 2002 com capacidade de tratamento aproximada de  $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$ . Posteriormente foi ampliado e com capacidade de tratamento de  $3,375 \text{ m}^3/\text{s}$  que atende aproximadamente 1.300.000 pessoas. Somado aos esgotos sanitários o sistema também recebe para tratamento efluente industrial e recebeu líquido lixiviado de aterros sanitários, provenientes da Grande Belo Horizonte de setembro de 2003 até 2013, o que acarretou análises de testes de toxicidade aguda e crônica para o efluente.

A toxicidade aguda deu resultado negativo; já toxicidade a crônica deu resultado positivo, o que condicionou legalmente a COPASA à realização anual do teste de toxicidade para seu efluente, caso persistisse o cenário tóxico. A empresa deveria comprovar a não influência no desequilíbrio da biota aquática ou prover soluções

para menor perturbação possível no corpo receptor. Então, como solução, o recebimento de líquido lixiviado dos aterros sanitários foi suspenso.

As vazões afluentes vêm sofrendo aumentos desde o início da operação e possuem valores próximos as vazões liberadas da ETE para o Ribeirão Arrudas. A evolução das vazões médias é representada pela **Figura 22**. A ETE Arrudas juntamente com a ETE Onça atende acima de 50% do público metropolitano.

**Figura 22 – Evolução da vazão afluente média da ETE Arrudas, período janeiro de 2000 a dezembro de 2013**



Fonte: COPASA – MG, 2014.

Segundo Parecer Técnico DISAN Nº 152/03, o projeto inicial previa o atendimento à 720.00 habitantes em 2001 e 1.647.257 habitantes em 2020, o que equivaleria às vazões médias de 1,50 m<sup>3</sup>/s e 4,50 m<sup>3</sup>/s, e atendimento respectivo de 64% e 96% da população. Todavia a COPASA, embasada em novos estudos, estimou vazão média de 4,5 m<sup>3</sup>/s para 2030, coincidente com a saturação da bacia do Ribeirão Arrudas.

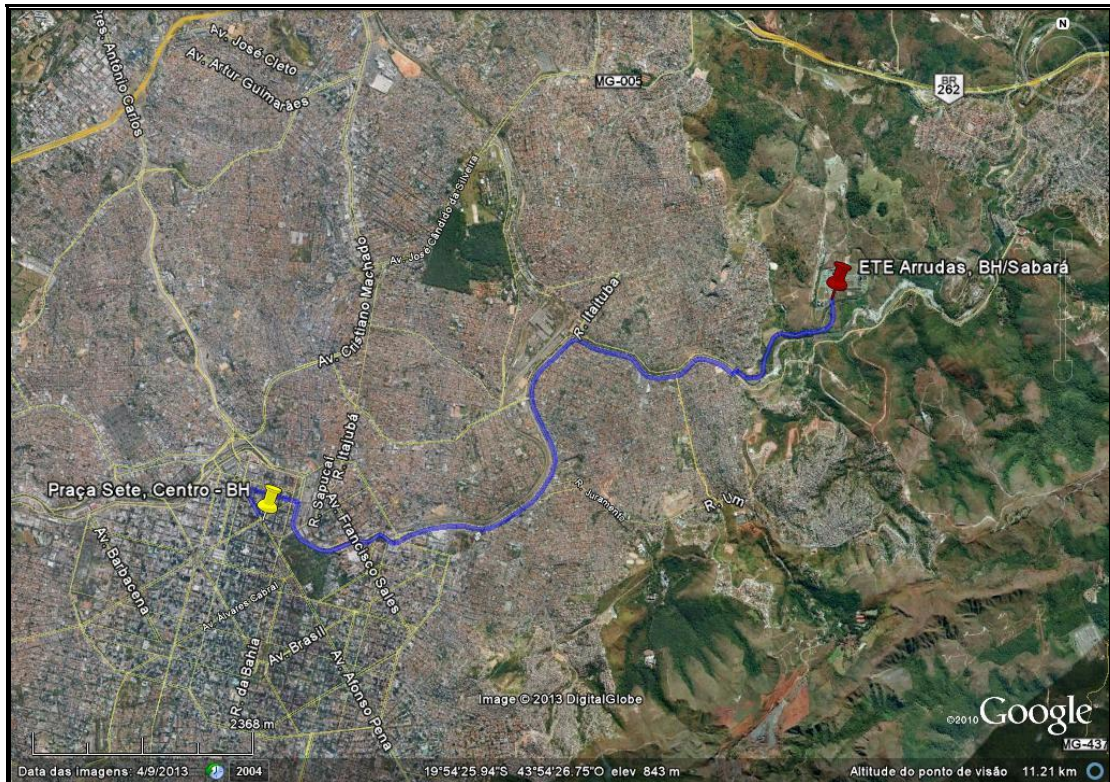
## 6.2 Localização da Área em Estudo

A Estação de Tratamento de Esgoto do Ribeirão Arrudas – ETE Arrudas localiza-se na porção do extremo leste de Belo Horizonte, onde é realizado o tratamento preliminar, e na porção sudoeste do município de Sabará, conhecida como Marzagânia, onde ocorrem os tratamentos primário e secundário. Situa-se na margem esquerda do Ribeirão Arrudas e ocupa 63,84 hectares (COPASA-MG,

2013) Os trilhos da Ferrovia Federal situam a sul do empreendimento e a coordenada em UTM no *Datum* WGS 84 da portaria é 616388 E; 7798612 S, Fuso 23K e elevação 799 metros.

A **Figura 23**, a seguir, ilustra o acesso à ETE Arrudas a partir da “Praça Sete” / Belo Horizonte, seguindo-se em direção à Sabará.

**Figura 23 – Acesso da região central de Belo Horizonte à ETE Arrudas**



Fonte: Google <https://maps.google.com/?mid=1387384605> em 18/12/2013.

### 6.3 Aspectos Climáticos

A Região Metropolitana de Belo Horizonte, segundo Sá Junior (2009), está situada na zona climática Cwa conforme a classificação de Köppen; Geiger (1928), isto é, em clima tropical de altitude com inverno seco e verão úmido e temperatura média do mês mais frio e inferior a 18°C, sendo pontualmente relacionadas a clima tropical de savana com estação seca de inverno, Aw (KÖPPEN; GEIGER, 1928). A precipitação média anual é inferior a 1500 mm e os ventos predominantes possuem direção sudeste oscilante para leste e nordeste ao longo do ano.

## 6.4 Geologia Regional

O município de Belo Horizonte localiza-se na porção sul do Cráton São Francisco. Este foi delimitado com os limites utilizados atualmente, por Almeida (1977), sendo margeados pelas faixas móveis Riacho do Pontal, Sergipana, Araçuaí, Alto Rio Grande, Brasília e Rio Preto, conforme **Figura 24**.

Entende-se por crátons porções do continente, com relativa estabilidade, que foram cercadas por orogêneses Farenozóicas (ALKMIM, 2004).

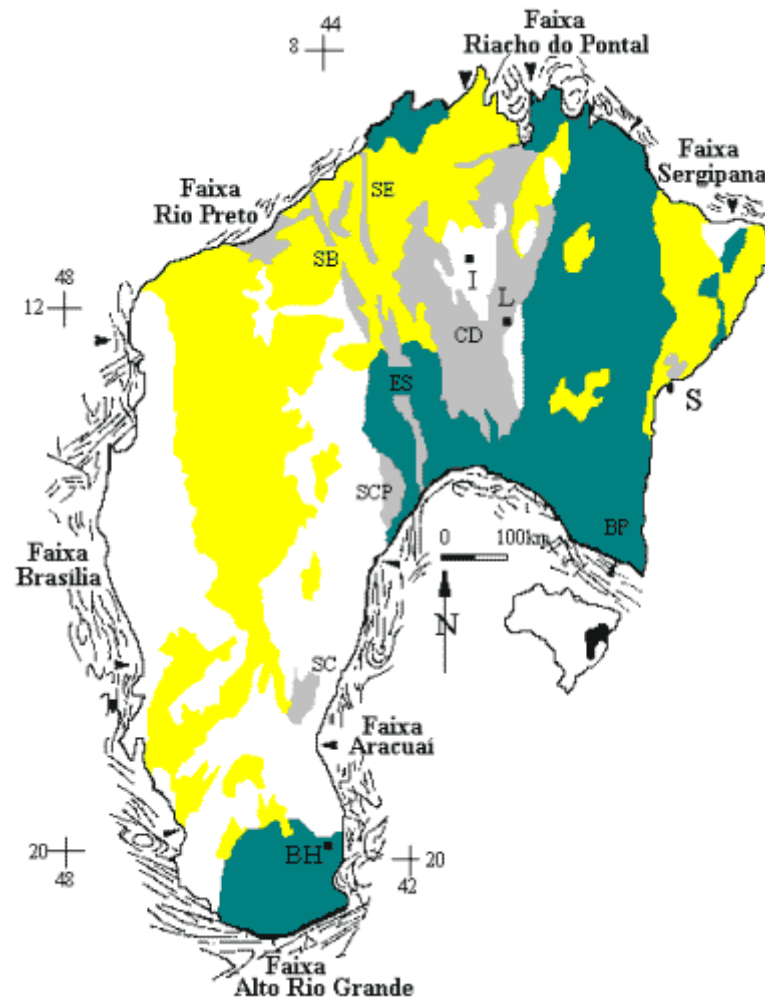
O Cráton do São Francisco, em particular, representa uma porção litosférica remanescente à Orogênese Brasileira (700-500 Ma). É circundado por faixas móveis influenciadas pelo evento Brasileiro. As rochas do embasamento cratônico datam como arqueanas e paleoproterozóicas. (NOCE *et al.* 1988).

Na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH – encontra-se uma grande diversidade geológica representada pelo embasamento, que ocupam maior área do território municipal, tal como, pequena porção do quadrilátero ferrífero.

Em trabalho realizado em parceria com a prefeitura de Belo Horizonte, Silva *et al.*(1995) explanam a diversidade do quadrilátero ferrífero compostos por complexo granito-gnáissico de idade arqueana, sequências metavulcano-sedimentares arqueanas do Supergrupo Rio das Velhas, sequências metassedimentares paleoproterozóicas do Supergrupo Minas e metassedimentos terrígenos do Grupo Itacolomí.

Renger *et al.* (1994) ilustram um esboço do quadrilátero ferrífero e os seus complexos relacionados e sua distribuição estratigráfica (**Figura 25**).

Figura 24 – Esboço do Cráton do São Francisco e suas Faixas Marginais

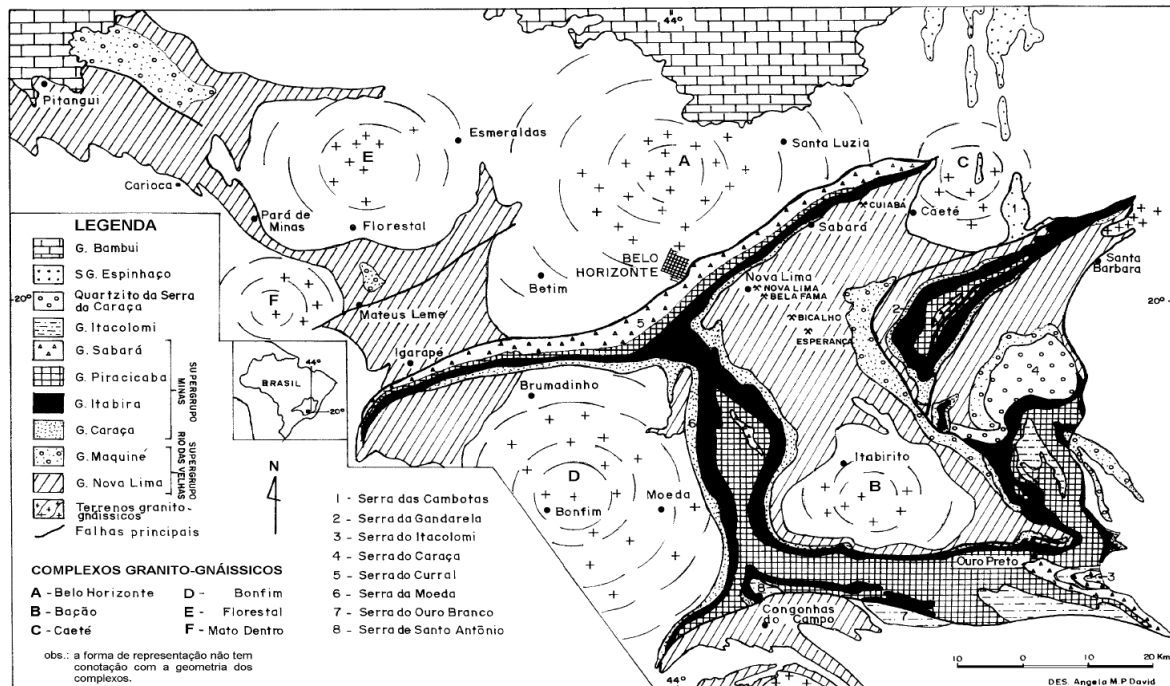


### LEGENDA

1.  Embasamento mais velho que 1,8 Ga, incluindo rochas ígneas mais jovens.
2.  Supergrupo Espinhaço e unidades correlativas.
3.  Supergrupo São Francisco e unidades correlativas.
4.  Coberturas fanerozóicas.
5. **TM** Cidades: BH-Belo Horizonte, L-Lençóis, I-Irecê, **S**-Salvador.
6. CD Feições fisiográficas: SC-Serra do Cabral, SCP-Serras Central (ao sul) e de Palmas de Monte Alto (ao norte), ES-Espinhaço Setentrional, SB-Serra do Boqueirão, SE-Serra do Estreito, CD-Chapada Diamantina, BP-Bacia do Rio Pardo.
7. — Limites do Cráton.
8. Traços estruturais das faixas de dobramento brasileiras.
9. Polaridade tectônica.
10. Vergência.

Fonte: Modificado de Alkmim *et al.* (1996).

Figura 25 – Esboço geológico do quadrilátero ferrífero, Minas Gerais



Fonte: Renger *et al.* (1994).

O **Quadro 4** mostra a estratigrafia proposta e adotada pelo Serviço geológico do Brasil quadrilátero.

De forma simplista e generalista as características litológicas da estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero são apresentadas pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM sendo:

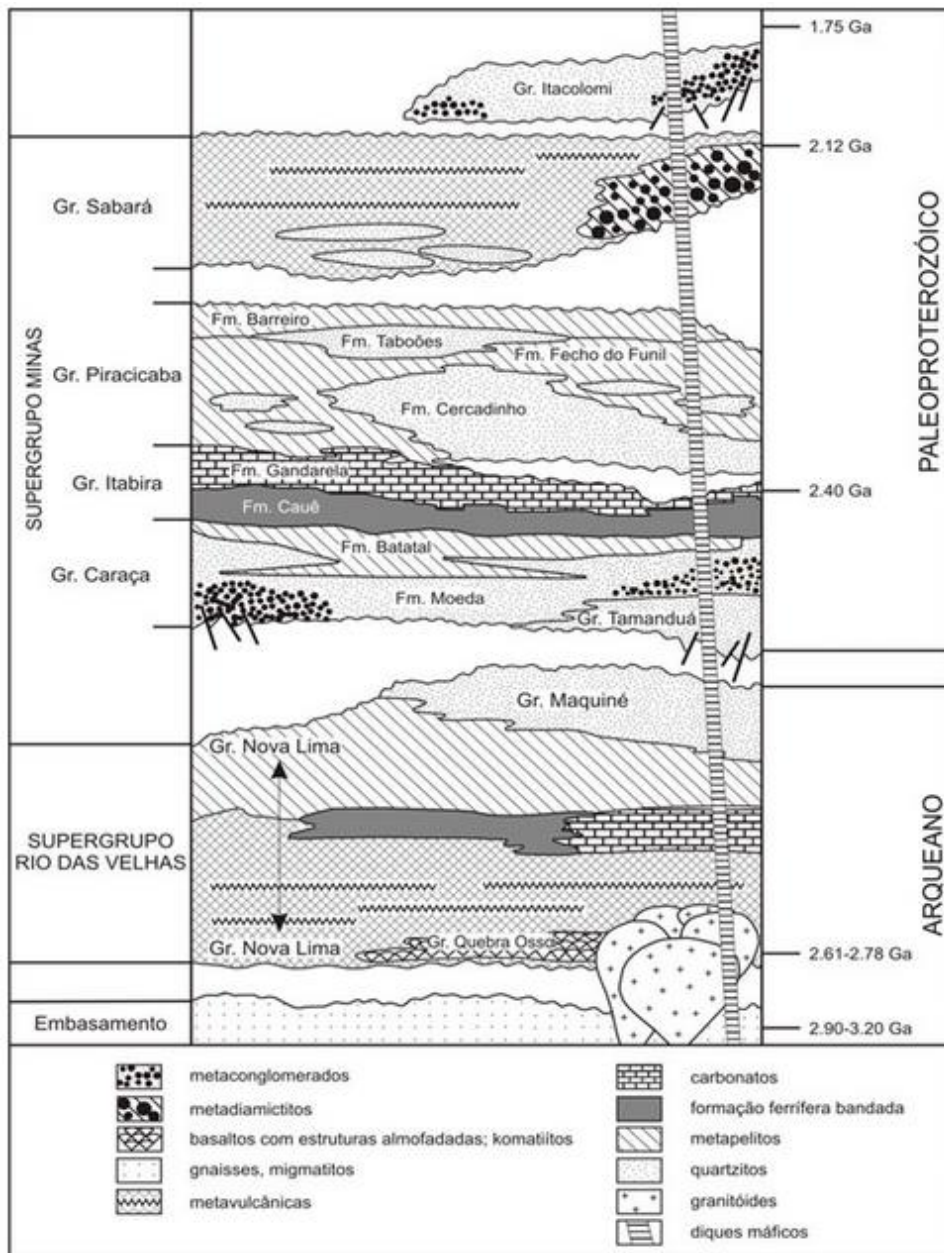
**TERRENOS GRANITO-GNÁISSICOS ARQUEANOS** – Complexos de Rochas cristalinas arqueanas. Compostos por migmatitos, gnaisses de composição granítica, tonalítica e granodiorítica.

### SEQUÊNCIAS METAVULCANOSSEDIMENTARES ARQUEANAS / SUPERGRUPO RIO DAS VELHAS

**Grupo Quebra Osso** – Constituído por metakomatiito peridotítico, metakomatiito, serpentinito, formação ferrífera, metachert, turmalinito e filito carbonoso.

**Grupo Nova Lima (indiviso)** – Principal constituinte litológico é o xisto verde metassedimentar e metavulcânico, tal como filito com intercalações de quartzito, grauvaca, dolomito, talco, xisto e formação ferrífera.

Quadro 4 – Estratigrafia do quadrilátero ferrífero (ALKMIM; MARSHAK, 1998-modificado)



Fonte: [http://www.cprm.gov.br/estrada\\_real/geologia\\_estratigrafia.html](http://www.cprm.gov.br/estrada_real/geologia_estratigrafia.html)

### Grupo Maquiné

Formação Palmital – Quartzito sericítico, quartzo-sericita xisto, subordinadamente xisto carbonoso, matarenito, metagrauvaca e metargilito.

Formação Casa Forte – Quartzito sericítico, clorítico a xistoso e filito.

## SEQUÊNCIAS SEDIMENTARES E VULCANOSSEDIMENTARES PROTEROZÓICAS / SUPERGRUPO MINAS

### **Grupo Caraça**

Formação Moeda – Conglomerados, quartzitos grossos, quartzitos finos e filitos.

Formação Batatal – Filitos sericíticos e grafitosos subordinadamente clorita, sedimentos carbonáticos, chert e hematita.

### **Grupo Itabira**

Formação Cauê – Formação ferrífera. Itabiritos dolomíticos e anfibolíticos ocorrem de forma subordinada apresentando horizontes manganésífero e lentes de filitos e margas.

Formação Gandarela – Predomínio de rochas carbonáticas com maior representatividade por dolomitos. Em menores proporções ocorrem itabiritos, filitos dolomíticos e filitos.

### **Grupo Piracicaba**

Formação Cercadinho – Quartzito e filito ferruginosos e não ferruginosos e pequenas intercalações de dolomito ocorrem.

Formação Fecho do Funil – Filito dolomítico, filitos e dolomitos impuros.

Formação Taboões – Quartzito fino e maciço.

Formação Barreiro – Filito e filito grafitoso.

**Grupo Sabará** – Sequência metavulcanossedimentar com mica xisto e clorita xisto intercalados por metagrauvaca, quartzito, quartzito feldspático, quartzito ferruginoso, formação ferrífera e metaconglomerado.

**Grupo Itacolomi (indiviso)** – Quartzito com microconglomerado, comuns lentes de filito e de conglomerados com clastos de diversas constituições.

Formação Santo Antônio – Quartzito sericítico, comuns lentes de filito e de conglomerados com clastos de diversas constituições.

## COBERTURAS SEDIMENTARES RECENTES

Representam essa categoria, alúvios, colúvios e elúvios sendo grande parte formada durante o cenozóico.

### 6.5 Composição dos Resíduos Sólidos Gerados

A COPASA monitora a operação avaliando várias etapas do seu processo, onde parâmetros de efluentes e resíduos recebidos e gerados são mensurados. Quando ocorre algum problema logístico para destinação final do lodo desidratado gerado o mesmo é disposto em uma das áreas de estudo.

A **Tabela 3** fornece os valores médios mensais, a partir de medidas diárias, dos parâmetros relacionados aos lodos desidratados, gerados ao término do processo e que têm como destino o aterro conveniado. Ela refere-se a apenas um mês porém não difere muito ao longo do ano.

**Tabela 3 – Parâmetros médios mensais do lodo desidratado, em outubro/2013**

| Parâmetros              | Unidades | Lodo desidratado |
|-------------------------|----------|------------------|
| pH                      | -        | 8,13             |
| Sólidos totais          | mg/L     | 213.000          |
| Sólidos totais Fixos    | mg/L     | 92.711           |
| Sólidos totais Voláteis | mg/L     | 120.289          |
| Umidade                 | mg/L     | 76,98            |
| Densidade               | mg/L     | 1,06             |

Fonte: COPASA–MG, 2014.

### 6.6 Áreas Destinadas Inicialmente a Aterros da ETE Arrudas

Originalmente, foram projetados dois aterros na área da própria ETE Arrudas para disposição final dos resíduos sólidos gerados na sua operação – material proveniente de limpeza operacional da ETE e lodo desidratado. A análise do monitoramento desses aterros é o objeto desta pesquisa. Todavia, os mesmos encontram-se desativados e os resíduos sólidos estão sendo encaminhados para o aterro sanitário privado da Vital Engenharia Ltda (Aterro Macaúbas), localizado no município de Sabará/MG. A **Figura 26, Fotos 5, 6, 7 e 8**, que seguem, ilustram as

áreas inicialmente destinadas a esses aterros e os poços de monitoramento do aquífero livre, adjacente aos mesmos.

**Figura 26 – Poços de monitoramento marginais as áreas de estudo**



Fonte: Google Earth, 2009.

**Fotos 5 e 6 – Área inicialmente destinada ao aterro, entre os poços C01 e C02, na foto a elevatória de líquido lixiviado**



Fonte: Acervo pessoal, 2013.

**Fotos 7 e 8 – Área inicialmente destinada a aterro com caminhão despejando resíduos coletados na limpeza das elevatórias de esgoto da região metropolitana de Belo Horizonte, entre os poços C03 e C04, na foto 8 a elevatória de líquido lixiviado**



Fonte: Acervo pessoal, 2013.

Entre os poços de monitoramento C01 e C02 (Área 1) está a área que inicialmente, em projeto, foi concebida para servir de aterro para os resíduos sólidos finais gerados durante o tratamento sanitário do esgoto, esta área nunca foi utilizada para esse fim. Outra área com espaço físico entre C03 e C04 (Área 2) também foi projetada para o acolhimento dos resíduos sólidos finais, gerados durante o tratamento sanitário do esgoto (**Figura 27**). Porém, só desempenha esse papel quando, devido a algum problema, esses resíduos não podem ser transportados para o Aterro Macaúbas. Todavia, todo o resíduo, fruto da limpeza periódica das elevatórias de esgotos e canais de esgoto da região metropolitana, é depositado na área compreendida entre os poços C03 e C04. Quando em quantidade suficiente, caminhões transportam esse material para o aterro conveniado, isto é, serve de área de transbordo.

**Figura 27 – Área I limitada pelos poços C01 e C02; Área II limitada pelos poços C03 e C04**



Fonte: Google Earth, 2009.

Em 2006 a COPASA estimou a produção média anual de resíduos sólidos da ETE Arrudas em 76,91 t/mês provenientes do tratamento preliminar e 1.006,43 t/mês de lodo desidratado (RADA, 2006). Em breve levantamento, obtiveram-se valores médios mensais em massa de resíduos retirados em algumas unidades do sistema de esgotamento sanitário da RMBH; esse material encontra sedimentado e deverá ser removido para a continuidade da operação. Trata-se de materiais mais grossos ou densos que podem prejudicar a fluidez do efluente (**Tabela 4**).

**Tabela 4 – Média mensal da massa de resíduos coletados em algumas unidades do esgotamento sanitário da RMBH**

| MUNICÍPIO      | UNIDADE                     | Kg          |
|----------------|-----------------------------|-------------|
| BH             | Pompéia                     | 62          |
|                | Aeroporto                   | 10          |
|                | Nova Pampulha               | 25          |
|                | Enseada das Garças          | 90          |
|                | Isidoro                     | 40          |
|                | Olhos D'água                | 2           |
|                | Cx. Entrada Sifões Isidoro  | 250         |
|                | Cx. Transição Isidoro       | 200         |
|                | Cx. Transição Onça          | 300         |
| BETIM          | Taquaril                    | 40          |
|                | Piemonte I                  | 25          |
|                | Piemonte II                 | 30          |
|                | Jardim Paulista             | 70          |
|                | Salomé                      | 70          |
|                | Icaivera                    | 50          |
| CONTAGEM       | Três Barras                 | 200         |
|                | Maracanã                    | 150         |
|                | Alvorada                    | 70          |
|                | Praia                       | 30          |
|                | Darcy Ribeiro 2             | 15          |
| IBIRITÉ        | Lago Azul                   | 40          |
| MATOZINHOS     | Carabina                    | 400         |
|                | Vista Alegre                | 20          |
|                | Maranhão                    | 90          |
|                | Tapajós                     | 50          |
|                | Joana D'Arc                 | 30          |
|                | São José                    | 80          |
|                | Liberdade                   | 50          |
| NOVA LIMA      | Bela Fama                   | 70          |
|                | Jardim Canadá               | 180         |
| PARÁ MINAS     | Pio Canedo                  | 180         |
|                | Grão Pará                   | 60          |
|                | São José                    | 40          |
|                | Sete Lagoas                 | 150         |
|                | União                       | 70          |
| PRUD. MORAIS   | Emília                      | 35          |
| RIB. DAS NEVES | Neves I                     | 40          |
|                | Neves II                    | 120         |
|                | Jardim Primavera            | 40          |
|                | Rosaneves                   | 10          |
|                | Jardim Colonial             | 40          |
| SANTA LUZIA    | Palmital                    | 40          |
|                | Portal Padre Miguel         | 50          |
|                | Santa Rita                  | 45          |
|                | Padre Miguel Eugênio        | 50          |
|                | Mega Space                  | 50          |
|                | Ginásio                     | 60          |
|                | Facsal                      | 40          |
|                | Vésper                      | 45          |
|                | Frimisa                     | 40          |
|                | Duquesa II                  | 45          |
|                | Euclides da Cunha           | 30          |
|                | Baronesa                    | 40          |
|                | Travessia / EEE Santa Luzia | 200         |
| SARZEDO        | Vera Cruz                   | 40          |
|                | Masterville 1               | 150         |
|                | Masterville 2               | 40          |
| VESPASIANO     | Fagundes                    | 130         |
| LAGOA SANTA    | Campinho                    | 30          |
| CAPIM BRANCO   | Campim Branco               | 20          |
| <b>TOTAL</b>   |                             | <b>4649</b> |

Fonte: COPASA-MG, 2014.

## 6.7 Fluxo Subterrâneo Inferido

Como não foram instalados piezômetros nem feitas sondagens exploratórias nos entorno das áreas 1 e 2, para efetuar o teste de aquífero e determinar a hidrodinâmica do aquífero, o sentido do fluxo subterrâneo foi inferido a partir de condicionantes como lineamentos geoestruturais, geomorfologia, topografia e considerando o Ribeirão Arrudas recebendo contribuição hídrica do aquífero. A **Figura 28** apresenta a direção e sentido inferido do fluxo hídrico no aquífero freático para cada área em análise.

**Figura 28 – Fluxos subterrâneos inferidos para as Áreas I e II**




Fonte: Google Earth, 2009.

## 6.8 Análise do Corpo Receptor a Montante e a Jusante da ETE Arrudas

Para monitoramento e verificação da efetividade do tratamento realizado na ETE Arrudas, são feitas análises a montante e a jusante da ETE, no corpo receptor, o Ribeirão Arrudas. O **Quadro 5**, a seguir, contém a localização de onde é realizada a coleta das amostras, sua periodicidade e parâmetros mensurados. Em rápida análise verifica-se a melhoria em qualidade do corpo d'água, após a sua passagem pela ETE Arrudas.

**Quadro 5 – Resultados da amostragem a montante e jusante no corpo receptor da ETE Arrudas**

|    |   | <b>CORPOS RECEPTORES DAS ETES CLASSE 5 - NT002/2005<br/>DIMOG-DISAN/FEAM</b> |               |                        |                               |                             |   |
|---|---|--|---------------|------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| <b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b>  |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| <b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>  |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Nome:   | Laboratório da Divisão de Tratamento de Efluentes       |  |               |                        |                               | (31) 3250-2715 ou 3250-2717 |   |
| Endereço:   | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim         |  |               |                        |                               |                             |   |
| Cidade:   | Belo Horizonte - MG - CEP: 31010-410                    |  |               |                        |                               |                             |   |
| <b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>  |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Solicitante:  | <b>ETE ARRUDAS</b>                                      |  |               |                        |                               |                             |   |
| Endereço:   | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim         |  |               |                        |                               | (31) 3250-2715              |   |
| Cidade:   | BH - MG - CEP:31.050-350                                |  |               |                        |                               |                             |   |
| <b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>   |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Corpo Receptor:   | <b>RIBEIRÃO ARRUDAS</b>                                 |  |               |                        |                               |                             |   |
| Endereço:   | Montante: Av Andradas com Itamar                        |  |               |                        |                               |                             |   |
|   | Jusante: Ponte em frente Marcell Phillipe               |  |               |                        |                               |                             |   |
| Data coleta:  | 4/12/2013   |  |               | Roteiro:               | Planilha de roteiro de coleta |                             |   |
| Data da saída:  | 11/12/13  |  |               | Temp.ambiente/°C:      | 28                            |                             |   |
| Tempo:  | ( ) Bom   | ( ) Nublado  | ( ) Chuvoso   | Coletor:               | Leônidas/Marcos               |                             |   |
| <b>AMOSTRAGEM</b>   |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Pontos de Amostragem  |   | Amostra  | Tipo          | Frequência             |                               |                             |   |
| Montante  |   | 1  | Simple        | Mensal                 |                               |                             |   |
| Jusante   |   | 2  | Simple        | Mensal                 |                               |                             |   |
| <b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>  |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Parâmetros  | Unidades  | Método APHA  | Limite Detec. | 1                      | 2                             | 3                           | 4 |
| DBO total   | mg/L  | APHA 5210 B  | 0.912         | 39                     | 21                            |                             |   |
| DQO total   | mg/L  | APHA 5220 B  | 6.412         | 94                     | 95                            |                             |   |
| Oxigênio dissolvido   | mg/L  | APHA 4500D   | 0.500         | 5.1                    | 5.8                           |                             |   |
| pH in loco  | -   | APHA 4500 HB   | -             | 7.2                    | 7.4                           |                             |   |
| pH  | -   | APHA 4500 HB   | -             | 8.01                   | 8.13                          |                             |   |
| Turbidez  | NTU   | APHA - 2130 B  | 0.105         | 42.1                   | 31.4                          |                             |   |
| Condutividade elétrica  | µS/cm   | APHA - 2510 A  | 0.094         | 553.0                  | 397                           |                             |   |
| E. coli   | NMP/100mL   | APHA - 9223 A  | 1.000         | 4.35E+06               | 1.92E+06                      |                             |   |
| <b>Obs.:</b> Análises de Cádmio, Chumbo, Zinco e Cobre dissolvido somente para ETES que recebem efluentes de aterros sanitários   |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| [ A ] = Ausente   |   | [ P ] = Presente   |               | [ ND ] = Não Detectado |                               |                             |   |
| [ MLD ] = Menor Limite de Detecção  |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Nº análises realizadas:   | 16  |  |               |                        |                               |                             |   |
| <b>Abrangência:</b><br>Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.  |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| <b>Referências metodológicas:</b><br>Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 22th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 2012). |   |  |               |                        |                               |                             |   |
| Analista:   | Responsável pelo Laboratório: Sirlei Geraldo de Azevedo |  |               |                        |                               |                             |   |
|   | Aprovação:  |  |               |                        |                               | CRQ nº:<br>02301075         |   |

## 7 MONITORAMENTO DO AQUÍFERO LIVRE EM ESTUDO

As áreas monitoradas se encontram sobrepondo rochas do Complexo Belo Horizonte em zona próxima a contato com rochas do Grupo Sabará, Quadrilátero Ferrífero. Parte dessa cobertura cenozóica é aluvionar, eluvionar e material comum de aterro provenientes da construção da ETE. Há o predomínio de solo latossolo argilosos, franco-argilosos e argilo-arenosos de coloração avermelhada, alaranjada e amarelada (**Foto 9**).

**Fotos 9 – Solo argilo-arenoso avermelhado com fragmentos de rocha alterada**



Acervo pessoal, 2014.

O monitoramento e controle dos efluentes e do corpo receptor já é um processo amadurecido, tanto pelo empreendedor quanto pelo órgão regulador. Contudo, o monitoramento e controle das águas subterrâneas e, no caso particular o aquífero livre, ainda carece de grande evolução técnico-científica.

A COPASA monitorava quinzenalmente o aquífero livre, a partir de seus quatro poços de monitoramento. Porém, após julho de 2007, a empresa foi isenta deste monitoramento, conforme Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM. A obrigatoriedade se aplica a ETEs que utilizam lagoas ou que realizam aplicação do efluente no solo, quesito que a ETE Arrudas não se enquadra.

O monitoramento das águas subterrâneas não cessou e continua sendo realizado anualmente pela empresa e compondo o seu banco de dados que, junto com outros, alimenta o Sistema de Controle de Qualidade de Água – SICQA, que é utilizado pela COPASA e fornece, dentre uma variedade de dados, o Histórico da Qualidade da Água para os poços de monitoramento da ETE Arrudas.

Constam análises, para estes poços de monitoramento, realizadas em períodos aproximados de 30 dias, desde outubro de 2002 a maio de 2007. Os anos de 2008 a 2013 possuem apenas análises anuais. A disponibilização das medidas de NA pela empresa iniciou em 2011.

Os **Quadros 6 e 7**, reportam os parâmetros analisados durante o período de outubro de 2002 a maio de 2007.

**Quadro 6 – Em detalhe parâmetros analisados entre outubro de 2002 e maio de 2007**

| COPASA<br>A água de Minas          |              | SICQA - Sistema de Controle de Qualidade de Água<br>Histórico da Qualidade de Água - Analítico - Tipo Ponto: ETE |              |               |              |                                  |              |              |              |
|------------------------------------|--------------|--|--------------|---------------|--------------|----------------------------------|--------------|--------------|--------------|
| Localidade: 3106-20 BELO HORIZONTE |              | Ponto de Coleta: ETE Arrudas -<br>Local de Coleta: Poço P4 (jusante)   |              |               |              | Período: 01/01/2000 a 26/12/2013 |              |              |              |
| Data da Coleta                     | 03/10/2002   | 31/10/2002   | 28/11/2002   | 26/12/2002    | 23/01/2003   | 12/02/2003                       | 12/03/2003   | 09/04/2003   | 07/05/2003   |
| Ponto de Coleta                    | 3106-20/4/10 | 3106-20/4/10   | 3106-20/4/10 | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10 | 3106-20/4/10                     | 3106-20/4/10 | 3106-20/4/10 | 3106-20/4/10 |
| Amostra                            | 2002/8808/07 | 2002/8828/07   | 2002/9101/07 | 2002/10588/07 | 2003/789/07  | 2003/1491/04                     | 2003/2234/04 | 2003/3145/04 | 2003/4010/04 |
| Ag / mg/L Ag                       | <0,024       | <0,024   | <0,024       | <0,024        | <0,024       | <0,024                           | <0,024       | <0,024       | <0,024       |
| Al / mg/L Al                       | <0,200       | <0,200   | <0,200       | <0,200        | <0,200       | <0,200                           | <0,200       | <0,200       | <0,200       |
| As / mg/L As                       | <0,0030      | <0,0030  | <0,0030      | <0,0030       | <0,0030      | <0,0030                          | <0,0030      | <0,0030      | <0,0030      |
| Ba / mg/L Ba                       | <0,100       | <0,100   | <0,100       | 0,270         | <0,100       | <0,100                           | <0,100       | <0,100       | <0,100       |
| Cd / mg/L Cd                       | <0,0030      | <0,0030  | 0,0030       | <0,0030       | <0,0030      | <0,0030                          | <0,0030      | <0,0030      | 0,0050       |
| ColF / NMP/100mL                   | 0,0          | 0,0  | 0,0          | 0,0           | 0,0          | 0,0                              | 0,0          | 0,0          | 0,0          |
| CrTot / mg/L Cr                    | <0,050       | <0,050   | <0,050       | <0,050        | <0,050       | <0,050                           | <0,050       | <0,050       | <0,050       |
| Cu / mg/L Cu                       | <0,010       | <0,010   | 0,010        | 0,020         | <0,010       | <0,010                           | 0,110        | <0,010       | 0,010        |
| DBO / mg/L O                       | <0,50        | 2,60   | <0,50        | 1,60          | 3,00         | 2,00                             | 0,60         | 2,00         | 1,10         |
| DQO / mg/L O                       | <5,00        | <5,00  | <5,00        | <5,00         | <5,00        | <5,00                            | <5,00        | 7,00         | 11,00        |
| FeTot / mg/L Fe                    | 0,300        | 0,080  | 0,070        | 0,040         | <0,039       | <0,039                           | 0,050        | 0,070        | 0,130        |
| Hg / mg/L Hg                       | <0,00020     | <0,00020   | <0,00020     | <0,00020      | <0,00020     | <0,00020                         | <0,00020     | <0,00020     | <0,00020     |
| MnTot / mg/L Mn                    | 0,020        | <0,020   | <0,020       | 0,030         | <0,020       | <0,020                           | <0,020       | <0,020       | <0,020       |
| Namo / mg/L N                      | <0,050       | <0,050   | <0,050       | <0,050        | 0,180        | 0,100                            | 0,180        | <0,050       | 0,089        |
| Ni / mg/L Ni                       | <0,020       | <0,020   | 0,020        | <0,020        | <0,020       | 0,120                            | 0,024        | 0,057        | 0,020        |
| Nitri / mg/L N                     | <0,002       | <0,002   | <0,002       | <0,002        | <0,002       | <0,002                           | <0,002       | <0,002       | <0,002       |
| Norg / mg/L N                      | <0,20        | <0,20  | <0,20        | <0,20         | <0,20        | <0,20                            | <0,20        | <0,20        | <0,20        |
| OD / mg/L O                        | 7,7          | 6,8  | 5,1          | 4,6           | 5,4          | 5,3                              | 6,5          | 7,7          | 6,8          |
| Ortol / mg/L P                     | <0,020       | <0,020   | <0,020       | <0,020        | <0,020       | <0,020                           | <0,020       | <0,020       | <0,020       |
| Pb / mg/L Pb                       | <0,010       | <0,010   | <0,010       | <0,010        | <0,010       | <0,010                           | <0,010       | <0,010       | <0,010       |

Legenda: [\*] Parâmetro fora dos padrões de potabilidade

SICQA931 Visto por: \_\_\_\_\_ Aprovado por: \_\_\_\_\_ Emissão: 26/12/2013 15:33:10 Página: 1

Fonte: COPASA–MG, 2013.

**Quadro 7 – Em detalhe parâmetros analisados entre outubro de 2002 e maio de 2007, continuação**

| COPASA<br>A água de Minas          |               | SICQA - Sistema de Controle de Qualidade de Água             |               |               |               |               |                                  |               |               |              |         |
|------------------------------------|---------------|--|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------|--------------|---------|
|                                    |               | Histórico da Qualidade de Água - Analítico - Tipo Ponto: ETE |               |               |               |               |                                  |               |               |              |         |
| Localidade: 3106-20 BELO HORIZONTE |               | Ponto de Coleta: ETE Arrudas -                               |               |               |               |               | Período: 01/01/2000 a 26/12/2013 |               |               |              |         |
|                                    |               | Local de Coleta: Poço P4 (jusante)                           |               |               |               |               |                                  |               |               |              |         |
| Se / mg/L Se                       | <0,0003       | <0,0003  | <0,0003       | <0,0003       | <0,0003       | <0,0003       | <0,0003                          | <0,0003       | <0,0003       | <0,0003      | <0,0003 |
| Sn / mg/L Sn                       | <0,035        | <0,035   | <0,035        | <0,035        | <0,035        | <0,035        | <0,035                           | <0,035        | <0,035        | <0,035       | <0,035  |
| Zn / mg/L Zn                       | 0,100         | 0,050  | 0,160         | 0,130         | 0,080         | 0,009         | 0,060                            | 0,050         | 0,090         | 0,090        | 0,090   |
| Nitra / mg/L N                     |               | 0,37   | 0,46          | 0,27          | <0,20         | <0,20         | <0,20                            | <0,20         | <0,20         | <0,20        | 0,21    |
| pH / -                             |               | 8,2  | 7,3           | 7,1           | 7,2           | 7,1           | 7,7                              | 7,7           | 7,7           | 7,8          | 7,8     |
| Nlot / mg/L N                      |               |  | <0,05         | <0,05         |               |               |                                  |               |               |              |         |
| PO4T / mg/L P                      |               |  |               | <0,020        | <0,020        | <0,020        | <0,020                           | <0,020        | <0,020        | <0,020       | <0,020  |
| Ca / mg/L Ca                       |               |  |               |               |               | 9,87          | 9,93                             | 22,00         | 9,30          |              |         |
| Data da Coleta                     | 04/06/2003    | 02/07/2003   | 30/07/2003    | 27/08/2003    | 24/09/2003    | 22/10/2003    | 19/11/2003                       | 17/12/2003    | 14/01/2004    |              |         |
| Ponto de Coleta                    | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10   | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10                     | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10  | 3106-20/4/10 |         |
| Amostra                            | 2003/4167/0/4 | 2003/5781/0/4  | 2003/5797/0/4 | 2003/6160/0/4 | 2003/6979/0/4 | 2003/7536/0/4 | 2003/8926/0/4                    | 2003/9595/0/4 | 2004/1235/0/4 |              |         |
| Ag / mg/L Ag                       | <0,024        | <0,024   | <0,024        | <0,024        | <0,024        | <0,024        | <0,024                           | <0,024        | <0,024        | <0,024       | <0,024  |
| Al / mg/L Al                       | <0,200        | <0,200   | <0,200        | <0,200        | <0,200        | <0,200        | *0,500                           | <0,200        | <0,200        | <0,200       | <0,200  |
| As / mg/L As                       | <0,0030       | <0,0030  | <0,0030       | <0,0030       | <0,0030       | <0,0030       | <0,0030                          | <0,0030       | <0,0030       | <0,0030      | <0,0030 |
| Ba / mg/L Ba                       | <0,100        | <0,100   | <0,100        | <0,100        | <0,100        | <0,100        | <0,100                           | <0,100        | <0,100        | <0,100       | <0,100  |
| Ca / mg/L Ca                       | 1,90          | 20,30  | 11,22         | 4,28          | 17,82         | 42,11         | 16,20                            | 26,00         | 16,20         | 16,20        | 16,20   |
| Cd / mg/L Cd                       | 0,0060        | <0,0030  | <0,0030       | <0,0030       | <0,0030       | 0,0030        | 0,0050                           | 0,0040        | <0,0030       | <0,0030      | <0,0030 |
| CoF / NMP/100mL                    | 7,3           | 0,0  | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0           | 0,0                              | 344,8         | 0,0           | 0,0          | 0,0     |
| CrTot / mg/L Cr                    | <0,050        | <0,050   | <0,050        | <0,050        | <0,050        | <0,050        | <0,050                           | <0,050        | <0,050        | <0,050       | <0,050  |
| Cu / mg/L Cu                       | 0,010         | 0,010  | 0,020         | 0,010         | 0,010         | 0,010         | <0,010                           | <0,010        | <0,010        | <0,010       | <0,010  |
| DBO / mg/L O                       | 0,60          | <0,50  | <0,50         | 0,90          | 1,50          | <0,50         | <0,50                            | 1,60          | 1,00          | 1,00         | 1,00    |
| DQO / mg/L O                       | <5,00         | 12,00  | 9,40          | <5,00         | <5,00         | 5,00          | 10,00                            | <5,00         | <5,00         | <5,00        | <5,00   |
| FeTot / mg/L Fe                    | 0,180         | 0,180  | 0,130         | 0,120         | 0,130         | 0,220         | 0,070                            | 0,170         | 0,080         | 0,080        | 0,080   |

Legenda: [\*] Parâmetro fora dos padrões de potabilidade

SICQA931 Visto por: \_\_\_\_\_ Aprovado por: \_\_\_\_\_ Emissão: 26/12/2013 15:33:10 Página: 2

Fonte: COPASA–MG, 2013.



Após 2007 a COPASA só mensurou os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT–002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM, conforme apresentado nos **Quadros 8, 9 e 10**, a seguir.

Quadro 8 – Amostragem de 2011 conforme os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM

| COPASA<br>A água de Minas  |   | SISTEMA DE CONTROLE DE TRATAMENTO DE EFLUENTES<br>"RELATÓRIO DE ENSAIO" |   |                   |                               |                             |           |   |
|--|---|---|---|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|-----------|---|
| <b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>   |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Nome:  | Laboratório da Divisão de Tratamento de Efluentes |   |   |                   | Telefone:                     | (31) 3250-2715 ou 3250-2717 |           |   |
| Endereço:  | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Cidade:  | Belo Horizonte - MG - CEP: 31010-410              |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>   |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Solicitante:   | <b>ETE ARRUDAS - Poços</b>                        |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Endereço:  |   |   |   |                   |                               |                             | Telefone: |   |
| Cidade:  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Data coleta:   | 24/5/11   |   |   | Roteiro:          | Planilha de roteiro de coleta |                             |           |   |
| Data da saída:   | 29/5/11   |   |   | Temp.ambiente/°C: |                               |                             |           |   |
| Tempo:   | <input type="checkbox"/> Bom                      | <input type="checkbox"/> Nublado  | <input type="checkbox"/> Chuvoso                              | Coletor:          |                               |                             |           |   |
| <b>AMOSTRAGEM</b>  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>PONTO</b>   |   |   |   | <b>TIPO</b>       |                               | <b>FREQUENCIA</b>           |           |   |
| 1- Poço 1- montante  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| 2- Poço 2 - jusante  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| 3- Poço 3 - jusante  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| 4- Poço 4 - jusante  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>   |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Parâmetros   | Unidades  | Método APHA   | 1   | 2                 | 3                             | 4                           | 5         | 6 |
| pH   | -   | APHA 4500 H <sup>+</sup> B  | 5.98  | 7.58              | 5.56                          | 6.74                        |           |   |
| Cloreto  | mg/L  | APHA - 4500 Cl <sup>-</sup> C   | 22  | 8                 | 8                             | 15                          |           |   |
| Nitrogênio amoniacal   | mg/L  | APHA 4500 NH <sub>3</sub> C   | 0.36  | 0.09              | 0.29                          | 1.25                        |           |   |
| Nitrato  | mg/L  | APHA 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> D                                | 0.051   | 0.015             | 0.011                         | 0.009                       |           |   |
| Cádmio total   | mg/L  | DVQA-21/1/11  | <0,00006  | <0,00006          | <0,00006                      | perda amostra               |           |   |
| Chumbo total   | mg/L  | DVQA-21/1/11  | <0,0070   | 0.0083            | <0,0070                       | perda amostra               |           |   |
| Cobre dissolvido   | mg/L  | DVQA-21/1/11  | 0.0039  | 0.01              | 0.0096                        | perda amostra               |           |   |
| Zinco total  | mg/L  | DVQA-21/1/11  | 0.058   | 0.051             | 0.046                         | perda amostra               |           |   |
| Condutividade elétrica   | µS/cm   | APHA - 2510 A   | 60  | 129               | 59                            | 203                         |           |   |
| <i>E. coli</i>   | NMP/100mL   | APHA - 9223 A   | <1  | <2                | <3                            | <4                          |           |   |
| Nível água   | m   | -   | 7.5   | 8.0               | 4.5                           | 14.5                        |           |   |
| <b>Observações:</b>  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Nº análises realizadas:  | 31  | ND: não detectado (<1)  |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>Abrangência:</b>  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>Referências metodológicas:</b>  |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 20th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 1998). |   |   |   |                   |                               |                             |           |   |
| <b>Analista:</b>   |   |   | <b>Responsável pelo Laboratório</b> Sirlei Geraldo de Azevedo |                   |                               |                             |           |   |
|  |   |   | <b>Aprovação:</b>   |                   |                               | <b>CRQ nº:</b> 02301075     |           |   |



Fonte: COPASA-MG, 2014.

**Quadro 9 – Amostragem de 2012 conforme os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM**

|    |  | <b>MONITORAMENTO DOS POÇOS DAS ETES</b><br><b>CLASSE 5 - NT002/2005 DIMOG-DISAN/FEAM</b><br><b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b> |                             |  |            |                            |          |
|---|--|--|-----------------------------|--|------------|----------------------------|----------|
| <b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>  |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Nome:</b>  | Laboratório da Divisão de Tratamento de Efluentes              |  | (31) 3250-2715 ou 3250-2717 |  |            |                            |          |
| <b>Endereço:</b>  | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim                |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Cidade:</b>  | Belo Horizonte - MG - CEP: 31010-410                           |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>  |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Solicitante:</b>   | <b>ETE ARRUDAS</b>   |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Endereço:</b>  | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim                |  |                             |  |            | <b>Telefone:</b>           | 32502715 |
| <b>Cidade:</b>  | BH   |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>   |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>POÇOS</b>  |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Endereço:</b>  | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim                |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Data coleta:</b>   | 19/jun   |  | <b>Roteiro:</b>             | Planilha de roteiro de coleta  |            |                            |          |
| <b>Data da saída:</b>   | 26/6/12  |  | <b>Temp.ambiente/°C:</b>    |  |            |                            |          |
| <b>Tempo:</b>   | ( x ) Bom  | ( ) Nublado  | ( ) Chuvoso                 | <b>Coletor:</b>  | André Luiz |                            |          |
| <b>AMOSTRAGEM</b>   |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Pontos de Amostragem</b>   |  | <b>Amostra</b>   | <b>Tipo</b>                 | <b>Frequência</b>  |            |                            |          |
| Poço 1 - Montante   |  | 1  | Simple                      | Anual  |            |                            |          |
| Poço 2 - Jusante  |  | 2  | Simple                      | Anual  |            |                            |          |
| Poço 3 - Montante   |  | 3  | Simple                      | Anual  |            |                            |          |
| Poço 4 - Jusante  |  | 4  | Simple                      | Anual  |            |                            |          |
| <b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>  |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Parâmetros</b>   | <b>Unidades</b>  | <b>Método APHA</b>   | <b>Limite Detec.</b>        | <b>1</b>   | <b>2</b>   | <b>3</b>                   | <b>4</b> |
| pH  | -  | APHA 4500 H <sup>+</sup> B   | -                           | 6.29   | 6.97       | 5.62                       | 6.35     |
| Cloro total   | mg/L   | APHA - 4500 Cl <sup>-</sup> C  | 0.275                       | 17   | 25         | 27                         | 53       |
| Nitrogênio amoniacal  | mg/L   | APHA 4500 NH <sub>3</sub> C  | 0.390                       | 1.512  | 2.016      | 0.504                      | 0.728    |
| Nitrato   | mg/L   | APHA 4500 NO <sub>3</sub> D  | 0.026                       | 0.222  | 0.074      | 0.01                       | 0.016    |
| Cádmio total  | mg/L   | DVQA   | -                           | <0,00006   | <0,00006   | <0,00006                   | <0,00006 |
| Chumbo total  | mg/L   | DVQA   | -                           | 0.0131   | 0.0261     | <0,007                     | <0,007   |
| Cobre dissolvido  | mg/L   | DVQA   | -                           | <0,0066  | <0,0066    | <0,0066                    | <0,0066  |
| Zinco total   | mg/L   | DVQA   | -                           | 0.04   | 0.047      | 0.049                      | 0.045    |
| Condutividade elétrica  | µS/cm  | APHA - 2510 A  | 0.094                       | 92   | 157        | 73                         | 146.0    |
| <i>E. coli</i>  | NMP/100mL  | APHA - 9223 A  | 1.000                       | <1,000   | <1,000     | <1,000                     | <1,000   |
| Nível água  | m  | -  | -                           | 8.0  | 8.0        | 15.0                       | 7.0      |
| <b>Obs.:</b> 1 - Análises de Cádmio, Chumbo, Zinco e Cobre dissolvido somente para ETES que recebem efluentes de aterros sanitários.<br>2 - Teste de toxicidade aguda realizado por laboratório terceirizado. |  |  |                             |  |            |                            |          |
| [ A ] = Ausente   |  | [ P ] = Presente   |                             | [ ND ] = Não Detectado   |            |                            |          |
| [ MLD ] = Menor Limite de Detecção  |  |  |                             |  |            |                            |          |
| Nº análises realizadas:   | 20   |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Abrangência:</b>   |  |  |                             |  |            |                            |          |
| Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.   |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Referências metodológicas:</b>   |  |  |                             |  |            |                            |          |
| Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 20th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 1998).  |  |  |                             |  |            |                            |          |
| <b>Analista:</b>  | <b>Responsável pelo Laboratório:</b> Cirlei Geraldo de Azevedo |  |                             |  |            |                            |          |
|   | <b>Aprovação:</b>  |  |                             |  |            | <b>CRQ nº:</b><br>02301075 |          |

Fonte: COPASA-MG, 2014.

Quadro 10 – Amostragem de 2013 conforme os parâmetros exigidos pela Nota Técnica NT-002/2005 DIMOG/DISAN – FEAM

|   |  | <b>MONITORAMENTO DOS POÇOS DAS ETES</b><br><b>CLASSE 5 - NT002/2005 DIMOG-DISAN/FEAM</b><br><b>"RELATÓRIO DE ENSAIO"</b> |                             |                               |            |                  |          |
|--|--|--|-----------------------------|-------------------------------|------------|------------------|----------|
| <b>DADOS REFERENTES AO LABORATÓRIO</b>   |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Nome:</b>   | Laboratório da Divisão de Tratamento de Efluentes              |  | (31) 3250-2715 ou 3250-2717 |                               |            |                  |          |
| <b>Endereço:</b>   | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim                |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Cidade:</b>   | Belo Horizonte - MG - CEP: 31010-410                           |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>DADOS REFERENTES AO CLIENTE</b>   |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Solicitante:</b>  | <b>ETE ARRUDAS</b>   |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Endereço:</b>   | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim                |  |                             |                               |            | <b>Telefone:</b> | 32502715 |
| <b>Cidade:</b>   | BH   |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>DADOS REFERENTES A AMOSTRA</b>  |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>POÇOS</b>   |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Endereço:</b>   | Av. dos Andradas, 8805 - Bairro Caetano Furquim                |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Data coleta:</b>  | 17/5/13  |  | <b>Roteiro:</b>             | Planilha de roteiro de coleta |            |                  |          |
| <b>Data da saída:</b>  | 24/5/13  |  | <b>Temp.ambiente/°C:</b>    |                               |            |                  |          |
| <b>Tempo:</b>  | ( ) Bom  | ( ) Nublado  | ( ) Chuvoso                 | <b>Coletor:</b>               | André Luiz |                  |          |
| <b>AMOSTRAGEM</b>  |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Pontos de Amostragem</b>  |  | <b>Amostra</b>   | <b>Tipo</b>                 | <b>Frequência</b>             |            |                  |          |
| Poço 1 - Montante  |  | 1  | Simple                      | Anual                         |            |                  |          |
| Poço 2 - Montante  |  | 2  | Simple                      | Anual                         |            |                  |          |
| Poço 3 - Jusante   |  | 3  | Simple                      | Anual                         |            |                  |          |
| Poço 4 - Jusante   |  | 4  | Simple                      | Anual                         |            |                  |          |
| <b>RESULTADOS ANALÍTICOS</b>   |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Parâmetros</b>  | <b>Unidades</b>  | <b>Método APHA</b>   | <b>Limite Detec.</b>        | <b>1</b>                      | <b>2</b>   | <b>3</b>         | <b>4</b> |
| pH   | -  | APHA 4500 H <sup>+</sup> B   | -                           | 6.89                          | 7.66       | 5.88             | 6.48     |
| Cloreto total  | mg/L   | APHA - 4500 Cl <sup>-</sup> C  | 0.275                       | 3.0                           | 4.0        | 2.0              | 1.0      |
| Nitrogênio amoniacal   | mg/L   | APHA 4500 NH <sub>3</sub> C  | 0.390                       | 0.56                          | 4.8        | 0.84             | 0.280    |
| Nitrato  | mg/L   | APHA 4500 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> D   | 0.026                       | 0.37                          | 0.338      | 0.304            | 0.253    |
| Cádmio total   | mg/L   | DVQA   | 0.00020                     | <0,00020                      | <0,00020   | 0.0027           | 0.0058   |
| Chumbo total   | mg/L   | DVQA   | 0.003                       | 0.0034                        | 0.0111     | <0,003           | 0.088    |
| Cobre dissolvido   | mg/L   | DVQA   | 0.0066                      | <0,0066                       | <0,0066    | 0.086            | <0,0066  |
| Zinco total  | mg/L   | DVQA   | -                           | 0.0173                        | 0.0443     | 0.0302           | 0.0857   |
| Condutividade elétrica   | µS/cm  | APHA - 2510 A  | 0.094                       | 92                            | 214        | 51               | 99.0     |
| <i>E. coli</i>   | NMP/100mL  | APHA - 9223 A  | 1.000                       | 1.35E+02                      | 6.27E+02   | 7.30E+00         | 4.10E+01 |
| <i>Nível água</i>  | m  | -  | -                           | 9.0                           | 8.5        | 15.0             | 5.0      |
| <b>Obs.:</b> 1 - Análises de Cádmio, Chumbo, Zinco e Cobre dissolvido somente para ETES que recebem efluentes de aterros sanitários.                           |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| 2 - Teste de toxicidade aguda realizado por laboratório terceirizado.  |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| [ A ] = Ausente  | [ P ] = Presente   | [ ND ] = Não Detectado   |                             |                               |            |                  |          |
| [ MLD ] = Menor Limite de Detecção   |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| Nº análises realizadas:  | 38   |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Abrangência:</b>  |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| Este boletim de análises só pode ser reproduzido por inteiro e sem nenhuma alteração.  |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Referências metodológicas:</b>  |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| Análises realizadas conforme metodologias descritas no <i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i> - 20th Ed. (APHA, AWWA, WEF, 1998). |  |  |                             |                               |            |                  |          |
| <b>Analista:</b>   | <b>Responsável pelo Laboratório:</b> Sirlei Geraldo de Azevedo |  |                             |                               |            |                  |          |
|  | <b>Aprovação:</b>  |                                      |                             |                               |            | <b>CRQ nº:</b>   | 02301075 |

## 7.1 Poços de Monitoramento

O monitoramento do aquífero livre adjacente às áreas inicialmente destinadas à disposição de resíduos sólidos gerados na ETE Arrudas é realizado a partir de 4 poços perfurados, 2 a montante e 2 a jusante, posição realtiva ao fluxo subterrâneo inferido nesta pesquisa. Sendo assim, C01 e C03 são poços a montante e CO2 e C04 são poços a jusante (**Fotos 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16**). O histórico da perfuração, análises físico-químico-bacteriológicas realizadas logo após a perfuração e o perfil litológico são detalhados no **ANEXO A**.

**Fotos 10 e 11 – Vista do poço C01**



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

**Fotos 12 e 13 – Vista do poço C02**



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

**Fotos 14 – Vista do poço C03**



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

**Fotos 15 e 16 – Vista do poço C04**



Fonte: Acervo pessoal, 2014.

O aquífero livre monitorado se situa em uma estação de tratamento de esgoto; a própria atividade fim, tratar esgotos domésticos, já requer um monitoramento sistemático no processo, no efluente e no meio. No caso da estação em estudo é comum o recebimento, além do esgotamento doméstico, de efluentes industriais e, até 2013, recebia também líquido lixiviado de aterros da região metropolitana de Belo Horizonte. Com prévio conhecimento do projeto inicial atentou-se para criação de uma rede terciária de monitoramento para aquífero livre adjacente às fontes específicas e pontuais poluidoras, ou seja, às áreas destinadas ao depósito dos resíduos sólidos.

O objetivo inicial foi monitorar qualitativamente a água do aquífero livre a montante das áreas de estudo, cuja influência por resíduos dispostos é nula, e a jusante, onde se verifica a ocorrência de algum tipo de alteração na água, em consequência dos resíduos sólidos depositado, e o poder de depuração do aquífero.

Para tal, designou-se um hidrogeólogo que fez o levantamento em escritório e em campo e determinou a melhor localização possível para poços de monitoramento permanentes, que após perfuração forneceram amostras que tiveram vários parâmetros observados sistematicamente, encaminhados ao órgão controlador e armazenados no Sistema de Controle de Qualidade de Água – SICQA da própria empresa, o qual possui acesso restrito. A caracterização local foi efetuada pelo hidrogeólogo responsável e a caracterização química, física e biológica da água foi fornecida após a perfuração e desenvolvimento do poço conforme análises expostas neste capítulo. Optou-se por poços revestidos em 150 mm o que viabilizou a coleta manual da amostra, coleta esta efetuada por profissional especializado ao empenho da função. Os filtros utilizados variam de 2,0 m a 5,80 m; eles visam permitir a passagem do fluxo subterrâneo mais verossímil. O método de perfuração empregado foi o rotopneumático e almejou exclusivamente a perfuração do aquífero livre. Na perfuração amostrou-se de dois em dois metros o material perfurado, gerando o perfil litológico, o qual foi descrito por profissional credenciado. O desenvolvimento do poço ocorreu após a perfuração com intuito de limpá-lo e tentar restaurar as características físico-químicas iniciais do aquífero. O estudo hidrogeológico sempre se completa com a execução e testes da obra, o poço.

Após 2005, a FEAM instituiu sobre o monitoramento em ETEs com um poço a montante e dois a jusante de fontes poluidoras que dispunham efluente em contato direto com o solo. A COPASA não ampliou sua rede de monitoramento subterrânea e foi anuída a extinguir o monitoramento das áreas 1 e 2 por este órgão. Porém, a empresa reduziu a frequência de monitoramento desse aquífero, tal como na nota técnica 002/2005 da Divisão de Monitoramento e Geoprocessamento e Divisão de Saneamento – DIMOG/DISAN da FEAM.

## 8 SUGESTÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conhecimento dos parâmetros físicos de aquíferos monitorados contribui de forma significativa na caracterização hidrogeológica dos mesmos. Para o aquífero em questão, testes de aquífero, análises granulométricas e teste de permeabilidade respaldariam substancialmente o modelamento hidrogeológico local. É notória a importância da continuidade do monitoramento que a COPASA optou por fazer, o que vem contribuindo para um banco de dados amplo, culminando com uma série histórica; porém há ressalvas e aprimoramentos cabíveis.

Nesse sentido, poder-se-ia observar:

- ✓ o estado inicial do aquífero,
- ✓ a evolução ao longo do tempo,
- ✓ a necessidade ou não da maior frequência no monitoramento,
- ✓ os parâmetros realmente pertinentes a serem monitorados,
- ✓ a viabilidade de aumento da rede de monitoramento subterrâneo com perfurações de poços a jusante e a montante, realmente adequados a fluxos subterrâneos, determinados por testes de aquíferos a partir de instalações de piezômetros estrategicamente locados e sondagens exploratórias,
- ✓ a resposta à contaminação ou não do aquífero e sua pluma, caso ocorra, e
- ✓ uma análise mais refinada dos dados capturados.

Assim sua conjectura com a geologia e influências antrópicas seriam possíveis. A empresa (COPASA) optou pela continuidade do monitoramento do aquífero poroso adjacente à área situada entre os poços C01 e C02, que apesar de não receber atualmente resíduos sólidos é uma área disponível e se necessário for pode vir a cumprir essa função.

Primando por uma gestão descentralizada e participativa, os dados monitorados deveriam, após pareceres, ser disponibilizados pelos órgãos gestores competentes e servirem como um dos possíveis subsídios a uma governança assertiva local ou da unidade de gestão.

Primeiramente e corretamente a escala de trabalho e geometria da rede de monitoramento foi definida em função do corpo monitorado, identificaram-se as fontes potenciais de contaminação e tentou compreender a hidrogeologia local com

os poços perfurados. A empresa já possuía a *expertise* na amostragem e sua análise, sendo criado e gerido um banco de dados para cada poço.

O que carece é a análise dos dados, a revisão do monitoramento e verificar a real necessidade de aprimoramentos. Propõe-se, também, a interação entre água subterrânea, superficial e solo por meio de um estudo mais detalhado.

Os poços de monitoramento como obra civil foram devidamente construídos, necessitando de maior zelo, isso é, isolá-lo do contato com homens e outros animais a partir de confecções de cerca, manter sua área capinada e limpa, saliência sempre tampada, identificação por placa e restringir acesso apenas a profissionais devidamente orientados. As nomenclaturas, montante e jusante, foram definidas em relação ao fluxo hídrico subterrâneo dos corpos monitorados, contudo, certa confusão foi criada por funcionários na identificação das amostras para análise, criando dessa forma seus próprios critérios para terminologia empregada. No **ANEXO A** observa-se um equívoco nas datas de coleta, análise e saída da amostragem para análise físico-química do poço C01, pois, conforme o anexo, a análise data do ano 2000, fato improvável visto que o poço foi perfurado em 2001.

O conhecimento do meio sempre é importante para a tomada de qualquer decisão que o envolva. O processo de aquisição, e formação de banco de dados é muito importante e competentemente realizado por diversas empresas. O que muitas vezes falta é a disponibilização desses dados para a sociedade em geral, do emprego de outras ferramentas como a geofísica e a geoestatística e das interpretações coerentes e seguidas de sugestões de melhoria no método empregado. Por vezes é interessante extrapolar para além da imposição legal e fazer do monitoramento um assunto mais investigativo e científico e reverter, se possível, o conhecimento para uma gestão mais ampla, compatibilizando projetos socioambientais concisos com viabilidade financeira. O monitoramento pode evoluir para uma rede útil e perene.

Atenta-se que a NBR 15495-1, mais recente que o início do monitoramento em avaliação, cita o relatório de projeto, locação e construção de poços de monitoramento. Apesar da COPASA não possuir tal documento existem arquivos digitais de análises laboratoriais, históricos de construção dos poços relatórios finais de perfuração e perfis litológicos dos poços. O georreferenciamento do monitoramento foi efetuado; contudo, informações de pré-campo e campo com levantamento hidrogeológico, geomorfológico e geológico são escassas e com

pouca documentação disponível. Um aprimoramento da rede com instalação de piezômetros e poços exploratórios indicaria o comportamento do escoamento do aquífero e permitiria locações de novos poços, com a aquisição de novos dados que agregariam confiabilidade ao monitoramento empregado. Sondas multiparâmetros teste podem ser empregadas se for pertinente à realização de uma frequência maior de monitoramento desses poços.

Além daqueles instalados nas áreas de estudo, outros poços de monitoramento poderiam ser planejados para monitorar o aquífero livre próximo ao espaço e em outras áreas com maior probabilidade a contaminação; esses seriam utilizados para pesquisas práticas em projetos piloto.

A vulnerabilidade à contaminação de um aquífero só se faz compreensível quando o objeto for devidamente caracterizado, e isto, muitas vezes, depende do poder econômico do empreendedor. O programa de monitoramento dependerá da qualidade do planejamento e procedimentos adotados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Poços de Monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares, Parte 1: Projeto e construção.** NBR 15495-1, 25p. de 2007; Versão corrigida de 2009.

\_\_\_\_\_. **Poços de Monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares, Parte 2: Desenvolvimento.** NBR 15495-2, 24p. de 2008.

ANA – AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil, e, Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil.** Coordenação geral: CONEJO, J. G. L.; Coordenação executiva: COSTA, M. P.; ZOBY J. L. G. Brasília, 124 p.: il. (Caderno de Recursos Hídricos, 5), 2007.

ALBUQUERQUE J. P. T. **Água subterrânea no planeta água.** Estudos Geológicos v. 17 (1), 2007.

Disponível em:

<http://www.ufpe.br/estudosgeologicos/paginas/edicoes/2007171/2007171t02.pdf>

Acesso: 23/12/2013.

ALKMIM, F.F. **O que faz de um cráton? O Cráton do São Francisco e as revelações almeidianas ao delimitá-lo.** In: MANTESSO-NETO V.; BARTORELLI A.; CARNEIRO C.D.R.; BRITO-NEVES B.B. (eds.). **Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo, Beca, p.17-35. 2004.

ALKMIM F.F.; CHEMALE Jr F.; ENDO, I. **A deformação das coberturas proterozóicas do Cráton do São Francisco e seu significado tectônico.** Revista da Escola de Minas 49(1): 22-38, 1996.

ALKMIM F.F.; MARSHAK, S. **Transamazonian orogeny in the southern São Francisco cráton region, Minas Gerais: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero.** Precambrian Research 90: 29-58. 1998.

ALMEIDA, F.F.M. **O Cráton do São Francisco.** Revista Brasileira de Geociências, 7: 349-364, 1977.

AUGE, Miguel. **Métodos y Técnicas para el Monitoreo-Estado del Arte en América Latina.** I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas, 2006.

BORGES, G. B. C.; BORTONI, E. C.; ALMEIDA, R. A. **Avaliação de tecnologias para o monitoramento de águas subterrâneas.** In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – São Paulo, 2007. 20p.

CARDOSO, F. B. F.; OLIVEIRA, F. R.; NASCIMENTO, F. S.; NETO, P. L. V.; FLORES, P. M. **Poços tubulares construídos no Brasil.** In: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas – Natal, 2008.

COPASA-MG – COMPANHIA DE SANEAMENTO DE MINAS GERAIS. **Apresentações.** S/D.

\_\_\_\_\_. **Apresentações, acervo e banco de dados.** 2013.

\_\_\_\_\_. **Apresentações, acervo e banco de dados.** 2014.

\_\_\_\_\_. **ETE Arrudas, Uma grande realização.** Disponível em: <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=31>. Acesso: 15/12/2013

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS / SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Excursão virtual pela Estrada Real no Quadrilátero Ferrífero, Aspectos geológicos, Estratigrafia.** Disponível em: [http://www.cprm.gov.br/estrada\\_real/geologia\\_estratigrafia.html](http://www.cprm.gov.br/estrada_real/geologia_estratigrafia.html). Acesso: 13/01/2014.

\_\_\_\_\_. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações.** 3 edição, 2008.

DARCY, H. **Les Fontaines Publiques De La Ville De Dijon.** Paris, Victor Dalmont Editeur, 1856.

DIAS, C.L. *et al.* **Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no Estado de São Paulo.** Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

DISAN – DIVISÃO DE SANEAMENTO. **Parecer técnico nº 152/03 in Minas Gerais – SEMAD. Parecer único SUPRAM CM N.º 077/2010.**

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – USA. *Research Report. Technologies and techniques for Early Warning System to monitor and Evaluate Drinking water Quality: A state-of-the-art review.* EPA/600/R-05/156. U.S. Environmental Protection Agency. Office of Water, 2005

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Nota técnica nº 002.** Divisão de Monitoramento e Geoprocessamento e Divisão de Saneamento – DIMOG/DISAN, 5 p. 2005.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações.** 3 ed. CPRM, 2008.

FRIEDMAN, M. G.; SANDERS E. J. **Principles of Sedimentology.** Nova Iorque, Wiley, 1978.

GOOGLE. **Imagens de Satélite.** 2013.

Disponível em: <https://maps.google.com/?mid=1387384605>

Acesso em: 18/12/2013.

GOOGLE EARTH. **Imagens de Satélite.** 2009.

Acesso em: 18/12/2013.

GUIMARÃES, M.M. **Estudo do movimento de partículas de sedimentos finos nos escoamentos com superfície livre com transferências verticais.** Tese de doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2006.

GUIMARÃES, M.M.; CHAVES, M.A. Estudos hidrossedimentológicos da bacia do Rio das Mortes - MG, Brasil. **Anais do XXV Congresso Latinoamericano de Hidráulica.** San José, Costa Rica, Set/2012.

HIRATA, R.; FERNANDES, A. **Monitoramento das Águas Subterrâneas: Um grande Desafio para Países Emergentes.** In: I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas. Belo Horizonte: ABAS, Minas Gerais, 2006.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.V. **A Proteção dos Recursos Hídricos Subterrâneos no Estado de São Paulo**. In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 13. Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa no site da instituição, verificando perfil da unidade federativa de Minas Gerais. <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=mg>. Acesso: 11/12/2013

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – **Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas de Minas Gerais: Guarani e Bambuí / IGAM**. Belo Horizonte 2013.155p. : mapas.

\_\_\_\_\_. **Mapeamento do Enquadramento dos Corpos de Água em Classes Segundo o Uso Preponderante da Água da Bacia do Rio das Velhas**. Imagem S/D, Portal infohidro, mapoteca/mapas.

Disponível em:

<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/mapoteca/mapas/enquadramento/6400-enquadramentobacia-do-rio-das-velhas> Acesso: 13/05/2014.

\_\_\_\_\_. **1º Relatório de Gestão e Situação dos Recursos Hídricos de Minas Gerais 2012**. Belo Horizonte 2014. Disponível em: <http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/publicacoes-tecnicas/relatorios-de-sustentabilidade-e-de-gestao-de-recursos-hidricos/6403-relatorio-de-gestao-e-situacao-dos-recursos-hidricos>. Acesso: 13/05/2014.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map 150cmx200cm.

LEMONS, J.W.; VORWERK, M. **Remote Monitoring of Hydroprojects: Design, Installation and Verification of Remote Monitoring Systems**. U.S. Army Corps of Engineers. *Water Quality Technical Notes*. AM-02, 1998.

LOBO FERREIRA, J.P.C. **Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal**. In: Congresso da Água Da APRH, 4. Lisboa, 1998.

LÓPEZ-VERA, F. **Estado Actual del Monitoreo en La Unión Europea**. In: I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas, 2006.

MESTRINHO, S. S. P. **Aspectos da hidrogeoquímica voltados para água subterrânea**. Apresentação da 8ª reunião GT CONAMA "Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas". Natal, 2006.

Disponível em: [http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/DC2BA37B/PALEST\\_SuelyMestrinaUFBA.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/DC2BA37B/PALEST_SuelyMestrinaUFBA.pdf)

Acesso em: 13/10/2013

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM N° 96, de 12 de abril de 2006. Convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências**. Belo Horizonte: Diário do Executivo "Minas Gerais", 2006.

\_\_\_\_\_. **Deliberação Normativa COPAM N° 128, de 27 de novembro de 2008. Altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM 96 / 2006 que convoca municípios para o licenciamento ambiental de sistema de tratamento de esgotos e dá outras providências**. Belo Horizonte: Diário do Executivo "Minas Gerais", 2008.

\_\_\_\_\_. **Deliberação Normativa COPAM N° 167, de 29 de junho de 2011.** Revisa e consolida as exigências para laboratórios que emitem relatórios de ensaios ou certificados de calibração referentes a medições ambientais, revoga as Deliberações Normativas COPAM n° 89, de 15 de setembro de 2005, n° 120, de 8 de agosto de 2008, n° 140, de 28 de outubro de 2009, n° 158, de 6 de outubro 2010 e os art. 1º e 2º da Deliberação Normativa COPAM n° 165, de 11 de abril de 2011. Belo Horizonte: Diário do Executivo “Minas Gerais”, 2011.

\_\_\_\_\_. **Parecer único SUPRAM CM N.º 077/2010.** SEMAD, 2010.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria N° 2.914 GM/MS, De 12 De Dezembro De 2011.** Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso: 18/12/2013.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução N° 357, De 17 De Março De 2005.** Publicada no DOU n° 053, de 18/03/2005, págs. 58-63. Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso: 14/12/2013.

\_\_\_\_\_. **Resolução N° 396, De 03 De Abril De 2008.** Publicada no DOU N° 66, de 07/04/2008, págs. 64-68. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>. Acesso: 18/12/2013.

NOCE, C.M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. ***U-Pb geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (southern São Francisco craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism.*** Revista Brasileira de Geociências, 28(1):95-102. 1998.

PURSALS, J. A. ***Desenvolupament de Sensores Potenciòmetrics D'Estat Sòlid Per a Usos Mediambientals I Agroalimentaris.*** Tese de doutorado. Universidade Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 2003.

RADA - **Relatório de Avaliação de Desempenho Ambiental, 2006 in Minas Gerais – SEMAD. Parecer único supram CM N.º 077/2010.**

RENGER, F.E. *et al.* **Evolução Sedimentar do Supergrupo Minas: 500Ma de Registro Geológico no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil.** Geonomos, Belo Horizonte, V.2, n.1, 1994. 11p.

SÁ JUNIOR, A. **Aplicação da Classificação de Köppen para o zoneamento de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras – MG. 2009. 101p.

SILVA, A.B.; CARVALHO, E.T.; FANTINEL, L.M.; ROMANO, A.W.; VIANA, C.S.. **Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte – Belo Horizonte: Convênio PBH-IGC-FUNDEP. (Relatório Final).** 1995. 375p.

SIRHESC – SISTEMA DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Apresentação: **III Introdução ao monitoramento das águas subterrâneas.** Por: Dra Suely Schuartz Pacheco Mestrinho. QUALI\_água Consultores Associados Ltda. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/mwg-internal/de5fs23hu73ds/progress?id=Rx9ezy3Gcd>. Acesso: 03/03/2013.

SISEMA – SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório de Sustentabilidade**. 1. ed. Belo Horizonte: Report, 2008. 47 p.

SISEMA/FEAM – SISTEMA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS/FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Plano para Incremento do Percentual de Tratamento de Esgotos Sanitários na Bacia do Rio das Velhas** – Belo Horizonte. 2010. 299p.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Progresso do Programa Minas Trata Esgoto** – Belo Horizonte. 2013. 45p.

UNESCO – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO. ZEKTSER, I.S.; EVERETT G. L. – **Groundwater Resources Of The Wordland Their Use**. 2004.

UNESP – UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – Braga. **A. C. O. Recursos Hídricos**. Material didático sobre recursos hídricos, S/D. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/DIDATICOS/BRAGA/Hidro/RecursosHidricos.htm>. Acesso: 03/12/2013.


VRBA, J; **The Role of Groundwater Monitoring in the Management of Groundwater Resources**. In: I Simpósio Latino-Americano de Monitoramento das Águas Subterrâneas, 2006.

WORLD RESOURCES 2000-2001. **People and Ecosystems: the Fraying Web of Life**. World Resources Institute (WRI), Washington, D.C., 2000. Disponível em: [http://www.grida.no/graphicslib/detail/freshwater-availability-groundwater-and-river-flow\\_a39a](http://www.grida.no/graphicslib/detail/freshwater-availability-groundwater-and-river-flow_a39a). Acesso: 01/12/2013.

## ANEXO A

**Primeiras Análises, Históricos, Perfis e Relatórios Finais dos Poços de Monitoramento das Áreas Destinadas a Disposição de Resíduos Sólidos na ETE Arrudas**

Poço C01 – Poço a montante da Área I

|   |   |                        |                             |
|---|---|------------------------|-----------------------------|
|  | <b>RESULTADOS DE ANÁLISES BACTERIOLÓGICAS</b> | DISTRITO: DVAS         | Data da Coleta: 27/04/2001  |
|   |   | CIDADE: BELO HORIZONTE | Data Análise: 27/04/2001    |
|   |   | <b>OS 4393</b>         | Data da Leitura: 30/04/2001 |

|                      |               |   |
|----------------------|---------------|---|
| Solicitante:<br>DVAS | Coletor:<br>- | Condições do Tempo<br>( ) Bom ( ) Nublado ( ) Chuvoso |
|----------------------|---------------|---|

**PONTOS DE COLETAS**

|   |    |
|---|----|
| 1) ETE ARRUDAS Poço de Monitoramento C 01 | 4) |
| 2)  | 5) |
| 3)  | 6) |

| Características / Parâmetros)  | Ponto 1 | Ponto 2 | Ponto 3 | Ponto 4 | Ponto 5 | Ponto 6 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Hora da Coleta                 | 12:50   |         |         |         |         |         |
| Natureza                       | BRUTA   |         |         |         |         |         |
| Procedência                    | POÇO    |         |         |         |         |         |
| Cloro Residual Total (mg/l Cl) | -       |         |         |         |         |         |

**RESULTADOS**

| Pontos De Coletas                | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------------------------|--------|---|---|---|---|---|
| Coliformes Totais (100 ml)       | -      |   |   |   |   |   |
| C. Fecais / E. coli (100 ml)     | 1000,0 |   |   |   |   |   |
| Streptococos Fecais (100 ml)     | -      |   |   |   |   |   |
| Heterótrofos Mesófilos (ml)      | -      |   |   |   |   |   |
| Bactérias que Precip. Ferro (ml) | -      |   |   |   |   |   |
| Ferro Bactéria                   | -      |   |   |   |   |   |
| PARECER                          | -      |   |   |   |   |   |


**TÉCNICA UTILIZADA**

|  |   |  |  |                                      |
|--|---|--|--|--------------------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> M. Filtrante | <input type="checkbox"/> T. Múltiplas (NMP) | <input checked="" type="checkbox"/> S. Cromogênico | <input type="checkbox"/> Contagem Placas | <input type="checkbox"/> Microscopia |
|--|---|--|--|--------------------------------------|

**LEGENDA DO PARECER**

|   |
|---|
| 1) Água Bacteriologicamente Imprópria ao Consumo Humano de Acordo com a Portaria 36 - Ministério da Saúde |
| 2) Água Bacteriologicamente Adequada ao Consumo Humano de Acordo com a Portaria 36 - Ministério da Saúde  |
| 3) Água Bacteriologicamente Imprópria ao Consumo Humano de Acordo Guias / OMS / 93                        |
| 4) Água Bacteriologicamente Adequada ao Consumo Humano de Acordo Guias / OMS / 93                         |

Observações :

|   |         |
|---|---------|
| Responsável Laboratório<br><br>Fernando A. Jardim<br>10000.5 | Chefia: |
|---|---------|

|               |  |                        |                          |
|---------------|--|------------------------|--------------------------|
| <b>COPASA</b> | RESULTADOS DE ANÁLISES FÍSICO QUÍMICAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS | Distrito: DVAS         | Data da Coleta: 27/06/00 |
|               |  | Cidade: BELO HORIZONTE | Data Análise: 27/06/00   |
|               |  | OS 4393                | Data da Saída: 03/07/00  |

|                     |              |   |
|---------------------|--------------|---|
| Solicitante<br>DVAS | Coletor<br>- | Condições do Tempo<br>( ) Bom ( ) Nublado ( ) Chuvoso |
|---------------------|--------------|---|

| PONTOS DE COLETAS   |    |
|---|----|
| 1- ETE ARRUDAS Poço de Monitoramento C- 01 ( Resultado Parcial) | 4- |
| 2-  | 5- |
| 3-  | 6- |

| PARAMETROS                | UNIDADE                | 1       | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------|------------------------|---------|---|---|---|---|---|
| HORA DA COLETA            |                        | -       |   |   |   |   |   |
| TEMPERATURA AMBIENTE      | ° C                    | -       |   |   |   |   |   |
| TEMPERATURA AMOSTRA       | ° C                    | -       |   |   |   |   |   |
| TURBIDEZ                  | u T                    | -       |   |   |   |   |   |
|                           |                        | 6,7     |   |   |   |   |   |
| ACIDEZ TOTAL              | mg/l CaCO <sub>3</sub> | -       |   |   |   |   |   |
| FERRO SOLUVEL             | mg/l Fe                | -       |   |   |   |   |   |
| GAS CARBONICO             | mg/l CO <sub>2</sub>   | -       |   |   |   |   |   |
| ALCALINIDADE TOTAL        | mg/l CaCO <sub>3</sub> | -       |   |   |   |   |   |
| FOSFORO TOTAL             | mg/l                   | 1,7     |   |   |   |   |   |
| ZINCO                     | mg/l Zn                | -       |   |   |   |   |   |
| SULFATOS                  | mg/l SO <sub>4</sub> = | -       |   |   |   |   |   |
| N. AMONIACAL              | mg/l N                 | 0,73    |   |   |   |   |   |
| N. TOTAL                  | mg/l N                 | 1,46    |   |   |   |   |   |
| NITRATO                   | mg/l N                 | -       |   |   |   |   |   |
| NITRITO                   | mg/l N                 | <0,0020 |   |   |   |   |   |
| ORTO FOSFATO              | mg/l                   | <0,020  |   |   |   |   |   |
| ATA                       | mg/l LAS               | -       |   |   |   |   |   |
| ÓLEOS E GRAXAS            | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.T.                      | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S. T. F.                  | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.T.V.                    | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.T.                      | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.S.F.                    | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.S.V.                    | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.D.T.                    | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.D.F.                    | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.D.V.                    | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| S.SEDIMENTÁVEIS           | ml/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| SEDIMENTABILIDADE DE LODO | ml/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| TEOR DE UMIDADE           | %                      | -       |   |   |   |   |   |
| ESTABILIDADE RELATIVA     | %                      | -       |   |   |   |   |   |
| OD                        | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| DQO                       | mg/l                   | <5,0    |   |   |   |   |   |
| DQO 5 DIAS                | mg/l                   | -       |   |   |   |   |   |
| DBO                       | mg/l                   | 4,0     |   |   |   |   |   |

|  |               |
|--|---------------|
| Observações:                                       |               |
| RESPONSÁVEL: <b>Francisco S. Machado</b><br>0887/0 | VISTO CHEFIA: |

| COPASA MG   |            | SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água            |  |                              |       |           |                |               |
|---|------------|---|--|------------------------------|-------|-----------|----------------|---------------|
|   |            | Resultados de Análises                                      |  |                              |       |           |                |               |
| <b>Ordem de Serviço:</b> BELO HORIZONTE / 4393      |            | <b>Solicitante:</b> DVAS-ETE Arrudas Poço Tubular -CI178/01 |  | <b>CGC/CPF:</b>              |       |           |                |               |
| <b>Endereço:</b> DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas |            | <b>Data da Coleta:</b> 25/04/2001                           |  | <b>Coletor:</b> O Mesmo      |       |           |                |               |
| Pontos de Amostragem                                |            | Local de Coleta   |  | Amostra                      | Tempo | Hora      | Temp. Ambiente | Temp. Amostra |
| Poço Tubular da ETE Arrudas - BHTE                  |            | Poço Tubular nº 1 ETE Arrudas                               |  | 1                            | Bom   | 12:50     | 30             | 25            |
| Parâmetros / Unidades                               |            | Amostras  |  |                              |       |           |                |               |
|   |            | 1   |  |                              |       |           |                |               |
| AMET - Alumínio / mg/L Al                           |            | 8,100   |  |                              |       |           |                |               |
| Arsênio / mg/L As                                   |            | <0,0030   |  |                              |       |           |                |               |
| Bário / mg/L Ba                                     |            | 0,260   |  |                              |       |           |                |               |
| Chumbo / mg/L Pb                                    |            | <0,050  |  |                              |       |           |                |               |
| Cobre / mg/L Cu                                     |            | <0,010  |  |                              |       |           |                |               |
| Cromo Total / mg/L Cr                               |            | <0,050  |  |                              |       |           |                |               |
| Cádmio / mg/L Cd                                    |            | <0,0030   |  |                              |       |           |                |               |
| Estanho / mg/L Sn                                   |            | <0,035  |  |                              |       |           |                |               |
| Ferro Total / mg/L Fe                               |            | 8,100   |  |                              |       |           |                |               |
| Manganês Total / mg/L Mn                            |            | 0,510   |  |                              |       |           |                |               |
| Mercurio / mg/L Hg                                  |            | <0,00100  |  |                              |       |           |                |               |
| Níquel / mg/L Ni                                    |            | <0,020  |  |                              |       |           |                |               |
| Prata / mg/L Ag                                     |            | <0,024  |  |                              |       |           |                |               |
| Selênio / mg/L Se                                   |            | <0,0003   |  |                              |       |           |                |               |
| Zinco / mg/L Zn                                     |            | 4,100   |  |                              |       |           |                |               |
| SICQA923  | Visto Por: | Aprovado Por:   |  | Emissão: 25/06/2001 09:26:56 |       | Página: 1 |                |               |
|   |            |   |  | MARCELO VILHENA<br>07018-9   |       |           |                |               |

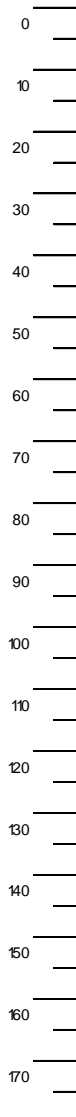
| COPASA MG  |            | SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água            |  |                              |  |           |  |  |
|--|------------|---|--|------------------------------|--|-----------|--|--|
|  |            | Resultados de Análises                                      |  |                              |  |           |  |  |
| <b>Ordem de Serviço:</b> BELO HORIZONTE / 4393                       |            | <b>Solicitante:</b> DVAS-ETE Arrudas Poço Tubular -CI178/01 |  | <b>CGC/CPF:</b>              |  |           |  |  |
| <b>Endereço:</b> DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas                  |            | <b>Data da Coleta:</b> 25/04/2001                           |  | <b>Coletor:</b> O Mesmo      |  |           |  |  |
| Parâmetros / Unidades  |            | Amostras  |  |                              |  |           |  |  |
|  |            | 1   |  |                              |  |           |  |  |
| BACB - Colif. Termotolerantes / Col/100ml                            |            | 1000,0  |  |                              |  |           |  |  |
| FQMM - Dem. Bioq de Oxigênio / mg/L O                                |            | 4,00  |  |                              |  |           |  |  |
| Dem. Química de Oxigênio / mg/L O                                    |            | <5,0  |  |                              |  |           |  |  |
| Fósforo Total / mg/L P   |            | 1,70  |  |                              |  |           |  |  |
| Nitratos / mg/L N  |            |   |  |                              |  |           |  |  |
| Nitritos / mg/L N  |            | <0,002  |  |                              |  |           |  |  |
| Nitrogênio Amomiacal / mg/L N  |            | 0,73  |  |                              |  |           |  |  |
| Nitrogênio Total / mg/L N  |            | 1,46  |  |                              |  |           |  |  |
| Ortofosfatos / mg/L P  |            | <0,020  |  |                              |  |           |  |  |
| pH /   |            | 6,7   |  |                              |  |           |  |  |
| <b>Ocorrências nas Análises:</b>                                     |            |   |  |                              |  |           |  |  |
| Amostra 1 - FQMM - Nitratos - Am.Foras das Condi. normais de Análise |            |   |  |                              |  |           |  |  |
| Final do Relatório   |            |   |  |                              |  |           |  |  |
| SICQA923   | Visto Por: | Aprovado Por:   |  | Emissão: 25/06/2001 09:26:56 |  | Página: 2 |  |  |
|  |            | FERNANDO AL JARDIM<br>110893-5                              |  | MARCELO VILHENA<br>07018-9   |  |           |  |  |



|   |  |                                     |                                 |
|---|--|-------------------------------------|---------------------------------|
|  | <b>PERFIL DE POÇO PROFUNDO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS | MUNICÍPIO:<br><b>BELO HORIZONTE</b> | <b>POÇO:</b><br><br><b>C-01</b> |
|   |  | LOCALIDADE:<br><b>ETE ARRUDAS</b>   |                                 |

### CARACTERÍSTICAS DO POÇO

|   |  |   |
|---|--|---|
| Data de Início<br><b>20/4/2001</b>                  | Data de Término<br><b>22/4/2001</b>    | Profundidade (m):<br><b>18.88</b>                           |
| Perf. Camadas não consolidadas (m):<br><b>19.70</b> | Perf. Rocha Alterada (m):              | Perf. Rocha Sã (m):   |
| Tubos de Revestimento (m):<br><b>15.58</b>          | Filtros Utilizados (m):<br><b>4.00</b> | Entrada de Água:<br><b>8,78 a 10,78 m e 16,78 a 18,78 m</b> |
| Nível Estático (m):<br><b>8.54</b>                  | Nível Dinâmico (m):                    |   |



0,00 - 4,00 - Material silto-arenoso de coloração avermelhada.

4,00 - 6,00 - Material areno-siltoso de coloração vermelho-acinzentado.

6,00 - 10,00 - Material argilo-arenoso de coloração cinza claro.

10,00 - 12,00 - Material arenoso contendo grânulos de quartzo e de rocha granito-gnaissica alterada, com diâmetro médio de 0,6 a 1,0 mm. Coloração cinza.


12,00 - 16,00 - Material arenoso, quartzoso, com pouca proporção de argila, de coloração cinza claro. Ocorrem fragmentos de rocha granito-gnaissica alterada de até 0,5 cm de diâmetro.

16,00 - 19,70 - Material arenoso, quartzoso, de coloração cinza claro, com grande proporção de fragmentos submilimétricos de rocha granito-gnaissica decomposta. Localmente ocorrem fragmentos de quartzo semi-arredondados de até 1,0 cm de diâmetro.


19,70 - Substrato rochoso (não amostrado).

Responsável:

ANDRÉ NAVES ALVES

|   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
|---|-----------|--|---------------------|---|------------------|-------------------------|----------|-----------|
|  |           | <b>RELATÓRIO FINAL DE POÇO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS |                     |   | MUNICÍPIO:       |                         |          |           |
|   |           |  |                     |   | BELO HORIZONTE   |                         |          |           |
|   |           | POÇO Nº  |                     | OPÇÃO                                     |                  |                         |          |           |
|   |           | C-01   |                     |   |                  |                         |          |           |
| LOCALIDADE:   |           | PROPRIETÁRIO DO TERRENO:   |                     |   | CÓDIGO CONTÁBIL: |                         |          |           |
| ETE ARRUDAS   |           | COPASA   |                     |   |                  |                         |          |           |
| PROGRAMA:   |           | CONTRATO Nº  |                     |   | BM. Nº           |                         |          |           |
| INV. COPASA   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| DATA DE INÍCIO  |           | DATA DE TÉRMINO:   |                     |   | EXECUTOR:        |                         |          |           |
| 20/4/2001   |           | 22/4/2001  |                     |   | COPASA           |                         |          |           |
| SONDA:  |           | MÉTODO:  |                     |   | SONDADOR:        |                         |          |           |
| R 1 H - Nº 05   |           | ROTOPNEUMÁTICO   |                     |   | DERIVALDO        |                         |          |           |
| FORMAÇÃO GEOLÓGICA:   |           |  |                     |   | AQUÍFERO:        |                         |          |           |
| CRISTALINO  |           |  |                     |   | POROSO           |                         |          |           |
| COBERTURA:(m)   | ROCHA:(m) | LATITUDE:  |                     | LONGITUDE                                 | COTA:            |                         |          |           |
| 19.70   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| <b>PERFURAÇÃO</b>   |           |  |                     | <b>REVESTIMENTO</b>                       |                  |                         |          |           |
| DIÂM.(mm)   | INTERVALO |  | PROF. DE FENDAS (m) | DIÂM.(mm)                                 | POSIÇÃO          |                         | TIPO     |           |
| 250   | 0.00      | a  | 19.70               | 150                                       | 0,70             | a                       | 0.00     | Saliência |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 0.00             | a                       | 8.78     | Tubo Liso |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 8.78             | a                       | 10.78    | Filtro    |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 10.78            | a                       | 16.78    | Tubo Liso |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 16.78            | a                       | 18.78    | Filtro    |
| TOTAL:  | 19.70 m   |  |                     | 150                                       | 18.78            | a                       | 18.88    | Tampão    |
| ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TUBO:   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| Aço Preto DIN 2440  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| FILTRO:   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| Tipo Nold, galvanizado  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT./QUANT.)  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| (1,5 x 1,5 x 0,20)m   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TUBO PARA REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./DIÂM./COMP.)                               |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
|   |           |  |                     | TOTAL DE TUBO: 15.58 m                    |                  | TOTAL DE FILTRO: 4.00 m |          |           |
| <b>COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)</b>                                |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)  |           |  |                     | POSIÇÃO                                   |                  | QUANTIDADE:             |          |           |
| Material argiloso   |           |  |                     | 0.00 a 4.06                               |                  | 114 l                   |          |           |
| Cimentação  |           |  |                     | 4.06 a 6.90                               |                  | 80 l                    |          |           |
| Cascalho selecionado  |           |  |                     | 6.90 a 18.88                              |                  | 600 l                   |          |           |
| <b>DESENVOLVIMENTO</b>  |           |  |                     | <b>DESINFECÇÃO / REMOÇÃO DE BENTONITA</b> |                  |                         |          |           |
| MÉTODO  | TEMPO (H) |  |                     | PRODUTO QUÍMICO                           |                  | QUANT. (GR.)            |          |           |
| Air Lift  | 16:00     |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| <b>TESTE DE BOMBEAMENTO</b>   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TESTE   | DATA      | EQUIPAMENTO  |                     | DURAÇÃO (h)                               | PROF. (m)        | N.E. (m)                | N.D. (m) | VAZÃO l/s |
|   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| KM PERCORRIDO:  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| RESPONSÁVEL:  |           |  |                     |   |                  | DATA                    |          |           |
| DERIVALDO SANTOS COSTA  |           |  |                     |   |                  | 22/4/2001               |          |           |

## Poço C02 – Poço a jusante da Área I

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <b>SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água</b> |  |
|   | <b>Resultados de Análises</b>                           |  |

Ordem de Serviço: BELO HORIZONTE / 4664  
Endereço: DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas


Solicitante: DVAS-ETE Arrudas Poço Tubular -C1178/01  
Data da Coleta: 22/05/2001 Coletor: 19949

CGC/CPF:

| Pontos de Amostragem                        | Local de Coleta              | Amostra | Tempo | Hora  | Temp. Ambiente | Temp. Amostra |
|---|------------------------------|---------|-------|-------|----------------|---------------|
| Poço de Monitoramento da ETE Arrudas - BHTe | Poço de Monitoramento C - 02 | 1       | Bom   | 10:35 | 24             | 23            |

| Parâmetros / Unidades     | Amostras |  |  |  |  |  |
|---------------------------|----------|--|--|--|--|--|
|                           | 1        |  |  |  |  |  |
| AMET - Alumínio / mg/L Al | 0,420    |  |  |  |  |  |
| Arsênio / mg/L As         | <0,0030  |  |  |  |  |  |
| Bário / mg/L Ba           | <0,100   |  |  |  |  |  |
| Chumbo / mg/L Pb          | <0,050   |  |  |  |  |  |
| Cobre / mg/L Cu           | <0,010   |  |  |  |  |  |
| Cromo Total / mg/L Cr     | <0,050   |  |  |  |  |  |
| Cádmio / mg/L Cd          | <0,0030  |  |  |  |  |  |
| Estanho / mg/L Sn         | <0,035   |  |  |  |  |  |
| Ferro Total / mg/L Fe     | 12,850   |  |  |  |  |  |
| Manganês Total / mg/L Mn  | 0,340    |  |  |  |  |  |
| Mercurio / mg/L Hg        | <0,00100 |  |  |  |  |  |
| Níquel / mg/L Ni          | <0,020   |  |  |  |  |  |
| Prata / mg/L Ag           | <0,024   |  |  |  |  |  |
| Selênio / mg/L Se         | <0,0003  |  |  |  |  |  |
| Zinco / mg/L Zn           | 0,630    |  |  |  |  |  |

SICQA923 Visto Por:  Aprovado Por:  Emissão: 13/06/2001 09:56:28 Página: 1

|   |   |  |
|---|---|--|
|  | <b>SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água</b> |  |
|   | <b>Resultados de Análises</b>                           |  |

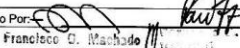
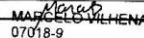
Ordem de Serviço: BELO HORIZONTE / 4664  
Endereço: DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas

Solicitante: DVAS-ETE Arrudas Poço Tubular -C1178/01  
Data da Coleta: 22/05/2001 Coletor: 19949

CGC/CPF:

| Parâmetros / Unidades                     | Amostras |  |  |  |  |  |
|---|----------|--|--|--|--|--|
|   | 1        |  |  |  |  |  |
| BACB - Colif. Termotolerantes / Col/100ml | 0,0      |  |  |  |  |  |
| FQMM - Dem. Bioq de Oxigênio / mg/L O     | 11,00    |  |  |  |  |  |
| Dem. Química de Oxigênio / mg/L O         | 33,00    |  |  |  |  |  |
| Fósforo Total / mg/L P                    | 1,20     |  |  |  |  |  |
| Nitratos / mg/L N                         | 1,800    |  |  |  |  |  |
| Nitritos / mg/L N                         | <0,002   |  |  |  |  |  |
| Nitrogênio Amoniacal / mg/L N             | 2,20     |  |  |  |  |  |
| pH /                                      | 6,7      |  |  |  |  |  |

Final do Relatório

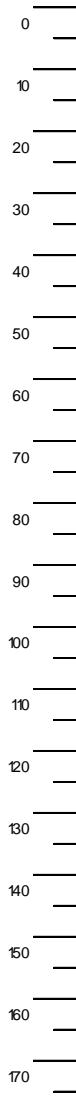
SICQA923 Visto Por:  Francisco C. Machado / 10297/0 Aprovado Por:  Emissão: 13/06/2001 09:56:28 Página: 2



|   |  |                |       |
|---|--|----------------|-------|
|  | <b>PERFIL DE POÇO PROFUNDO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS | MUNICÍPIO:     | POÇO: |
|   |  | BELO HORIZONTE |       |
|   |  | LOCALIDADE:    |       |
|   |  | ETE ARRUDAS    |       |

### CARACTERÍSTICAS DO POÇO

|                                     |                           |                     |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Data de Início                      | Data de Término           | Profundidade (m):   |
| 23/4/2001                           | 24/4/2001                 | 16.50               |
| Perf. Camadas não consolidadas (m): | Perf. Rocha Alterada (m): | Perf. Rocha Sã (m): |
| 16.50                               |                           |                     |
| Tubos de Revestimento (m):          | Filtros Utilizados (m):   | Entrada de Água:    |
| 14.80                               | 2.00                      | 14,30 a 16,30       |
| Nível Estático (m):                 | Nível Dinâmico (m):       |                     |
| 9.50                                |                           |                     |



00,00-06,00 - Solo argiloso de coloração ocre a marrom-claro.

06,00-10,00 - material argilo-arenoso de coloração marrom.


10,00-12,00 - idem 06,00-10,00, com presença de fragmentos de rocha extremamente alterada de mesma coloração do material, e seixos de quartzo incolor semi-arredondado com diâmetro médio de 0,5 cm.

12,00-16,50 - Cascalho grosso com seixos variando de 0,5 cm a 6,0 cm, além de fragmentos de rocha alterada de coloração cinza-amarelada em tamanhos variados.


16,50 - Substrato rochoso (não amostrado).

Responsável:

SILVANA MÔNICA VAZ

|   |              |  |             |   |                  |                         |           |
|---|--------------|--|-------------|---|------------------|-------------------------|-----------|
|  |              | <b>RELATÓRIO FINAL DE POÇO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS |             |   | MUNICÍPIO:       |                         |           |
|   |              |  |             |   | BELO HORIZONTE   |                         |           |
|   |              | POÇO Nº  |             | OPÇÃO                                     |                  |                         |           |
|   |              | C-02   |             |   |                  |                         |           |
| LOCALIDADE:   |              | PROPRIETÁRIO DO TERRENO:   |             |   | CÓDIGO CONTÁBIL: |                         |           |
| ETE ARRUDAS   |              | COPASA   |             |   |                  |                         |           |
| PROGRAMA:   |              | CONTRATO Nº  |             |   | BM. Nº           |                         |           |
| INV. COPASA   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| DATA DE INÍCIO  |              | DATA DE TÉRMINO:   |             |   | EXECUTOR:        |                         |           |
| 23/4/2001   |              | 24/4/2001  |             |   | COPASA           |                         |           |
| SONDA:  |              | MÉTODO:  |             |   | SONDADOR:        |                         |           |
| R 1 H Nº 05   |              | ROTOPNEUMÁTICO   |             |   | DERIVALDO        |                         |           |
| FORMAÇÃO GEOLÓGICA:   |              |  |             |   | AQUÍFERO:        |                         |           |
| CRISTALINO  |              |  |             |   | POROSO           |                         |           |
| COBERTURA:(m)   | ROCHA:(m)    | LATITUDE:  | LONGITUDE   | COTA:                                     |                  |                         |           |
| 16.50   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| <b>PERFURAÇÃO</b>   |              |  |             | <b>REVESTIMENTO</b>                       |                  |                         |           |
| DIÂM.(mm)   | INTERVALO    | PROF. DE FENDAS (m)  | DIÂM.(mm)   | POSIÇÃO                                   | TIPO             |                         |           |
| 250   | 0.00 a 16.50 |  | 150         | 0,30 a 0.00                               | Saliência        |                         |           |
|   | a            |  | 150         | 0.00 a 14.30                              | Tubo Liso        |                         |           |
|   | a            |  | 150         | 14.30 a 16.30                             | Filtro           |                         |           |
|   | a            |  | 150         | 16.30 a 16.50                             | Tampão           |                         |           |
|   | a            |  |             |   |                  |                         |           |
| TOTAL: 16.50 m  |              |  |             |   |                  |                         |           |
| ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| TUBO:   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| Aço Preto DIN 2440  |              |  |             |   |                  |                         |           |
| FILTRO:   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| Tipo Nold, galvanizado  |              |  |             |   |                  |                         |           |
| LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT./QUANT.)  |              |  |             |   |                  |                         |           |
| (1,5 x 1,5 x 0,20)m   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| TUBO PARA REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./DIÂM./COMP.)                               |              |  |             |   |                  |                         |           |
|   |              |  |             | TOTAL DE TUBO: 14.80 m                    |                  | TOTAL DE FILTRO: 2.00 m |           |
| <b>COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)</b>                                |              |  |             |   |                  |                         |           |
| MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)  |              |  |             | POSIÇÃO                                   |                  | QUANTIDADE:             |           |
| Material argiloso   |              |  |             | 0.00 a 5.60                               |                  | 160 l                   |           |
| Cimentação  |              |  |             | 5.60 a 9.00                               |                  | 100 l                   |           |
| Cascalho selecionado  |              |  |             | 9.00 a 16.50                              |                  | 450 l                   |           |
| <b>DESENVOLVIMENTO</b>  |              |  |             | <b>DESINFECÇÃO / REMOÇÃO DE BENTONITA</b> |                  |                         |           |
| MÉTODO  | TEMPO (H)    |  |             | PRODUTO QUÍMICO                           |                  | QUANT. (GR.)            |           |
| Air Lift  | 12:00        |  |             |   |                  |                         |           |
| <b>TESTE DE BOMBEAMENTO</b>   |              |  |             |   |                  |                         |           |
| TESTE   | DATA         | EQUIPAMENTO  | DURAÇÃO (h) | PROF. (m)                                 | N.E. (m)         | N.D. (m)                | VAZÃO l/s |
|   |              |  |             |   | 9.50             |                         |           |
| KM PERCORRIDO:  |              |  |             |   |                  |                         |           |
| RESPONSÁVEL:  |              |  |             |   |                  | DATA                    |           |
| DERIVALDO SANTOS COSTA  |              |  |             |   |                  | 24/4/2001               |           |

## Poço C03 – Poço a montante da Área II

|   |   |
|---|---|
|  | <b>SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água</b> |
|   | <b>Resultados de Análises</b>                           |

Ordem de Serviço: BELO HORIZONTE / 4665  
Endereço: DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas

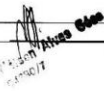
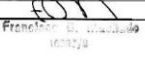
Solicitante: DVAS - ETE Arrudas Poço Tubular - C1178/01


CGC/CPF:

Data da Coleta: 22/05/2001 Coletor: 19949

| Pontos de Amostragem                        | Local de Coleta              | Amostra | Tempo | Hora  | Temp. Ambiente | Temp. Amostra |
|---|------------------------------|---------|-------|-------|----------------|---------------|
| Poço de Monitoramento da ETE Arrudas - BHTE | Poço de Monitoramento C - 03 | 1       | Bom   | 11:00 | 23             | 22            |

| Parâmetros / Unidades     | Amostras |  |  |  |  |  |
|---------------------------|----------|--|--|--|--|--|
|                           | 1        |  |  |  |  |  |
| AMET - Alumínio / mg/L Al | 0,250    |  |  |  |  |  |
| Arsênio / mg/L As         | <0,0030  |  |  |  |  |  |
| Bário / mg/L Ba           | <0,100   |  |  |  |  |  |
| Chumbo / mg/L Pb          | <0,050   |  |  |  |  |  |
| Cobre / mg/L Cu           | <0,010   |  |  |  |  |  |
| Cromo Total / mg/L Cr     | <0,050   |  |  |  |  |  |
| Cádmio / mg/L Cd          | <0,0030  |  |  |  |  |  |
| Estanho / mg/L Sn         | <0,035   |  |  |  |  |  |
| Ferro Total / mg/L Fe     | 7,850    |  |  |  |  |  |
| Manganês Total / mg/L Mn  | 0,260    |  |  |  |  |  |
| Mercurio / mg/L Hg        | <0,00100 |  |  |  |  |  |
| Níquel / mg/L Ni          | <0,020   |  |  |  |  |  |
| Prata / mg/L Ag           | <0,024   |  |  |  |  |  |
| Selênio / mg/L Se         | <0,0003  |  |  |  |  |  |
| Zinco / mg/L Zn           | 1,180    |  |  |  |  |  |

SICQA923 Visto Por:  Aprovado Por:  Emissão: 13/06/2001 09:56:57 Página: 1

|   |   |
|---|---|
|  | <b>SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água</b> |
|   | <b>Resultados de Análises</b>                           |

Ordem de Serviço: BELO HORIZONTE / 4665  
Endereço: DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas

Solicitante: DVAS - ETE Arrudas Poço Tubular - C1178/01

CGC/CPF:

Data da Coleta: 22/05/2001 Coletor: 19949

| Parâmetros / Unidades                     | Amostras |  |  |  |  |  |
|---|----------|--|--|--|--|--|
|   | 1        |  |  |  |  |  |
| BACB - Colif. Termotolerantes / Col/100ml | 0,0      |  |  |  |  |  |
| FQMM - Dem. Bioq de Oxigênio / mg/L O     |          |  |  |  |  |  |
| Dem. Química de Oxigênio / mg/L O         | <5,00    |  |  |  |  |  |
| Fósforo Total / mg/L P                    | 0,46     |  |  |  |  |  |
| Nitratos / mg/L N                         | 2,300    |  |  |  |  |  |
| Nitritos / mg/L N                         | <0,002   |  |  |  |  |  |
| Nitrogênio Amoniacal / mg/L N             | 1,50     |  |  |  |  |  |
| pH /                                      | 6,5      |  |  |  |  |  |

Ocorrências nas Análises:  
Amostra 1 - FQMM - Dem. Bioq de Oxigênio - Am. Fora das Cond. normais de Análise

Final do Relatório

SICQA923 Visto Por:  Aprovado Por:  Emissão: 13/06/2001 09:56:57 Página: 2

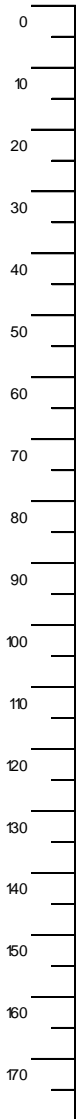
MARCELO VILHENA  
07018-9



|   |  |                                     |                      |
|---|--|-------------------------------------|----------------------|
|  | <b>PERFIL DE POÇO PROFUNDO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS | <b>MUNICÍPIO:</b><br>BELO HORIZONTE | <b>POÇO:</b><br>C-03 |
|   |  | <b>LOCALIDADE:</b><br>ETE ARRUDAS   |                      |

**CARACTERÍSTICAS DO POÇO**

|  |                                   |                                  |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Data de Início<br>24/4/2001                  | Data de Término<br>25/4/2001      | Profundidade (m):<br>16.90       |
| Perf. Camadas não consolidadas (m):<br>16.00 | Perf. Rocha Alterada (m):<br>0.90 | Perf. Rocha Sã (m):              |
| Tubos de Revestimento (m):<br>12.80          | Filtros Utilizados (m):<br>4.00   | Entrada de Água:<br>6,70 a 10,70 |
| Nível Estático (m):<br>5.40                  | Nível Dinâmico (m):               |                                  |



00,00-02,00 - Solo argiloso de coloração marrom-avermelhada (proveniente de aterro feito no local)

02,00-04,00 - Solo areno-argiloso de coloração marrom escuro a preta (solo natural); com presença de fragmentos de rocha muito alterada de mesma cor e diâmetro médio de 0,5 cm.

04,00-06,00 - Material fragmentado com granulometria de areia grossa, composto de minerais ferruginosos, além de fragmentos tabulares de rocha alterada de coloração cinza escuro, envoltos em uma matriz argilosa.


06,00-10,00 - Cascalho médio a grosso composto por seixos semi-arredondados de quartzo leitoso com diâmetro médio de 3,0 cm e seixos de minerais ferruginosos com presença de pequena quantidade de material argiloso.

10,00-12,00 - Cascalho grosso composto com os mesmos seixos descritos no intervalo de 06,00-10,00, com fragmentos de rocha extremamente alterada de coloração marrom-amarelada e diâmetro médio de 05,cm.

12,00-16,00 - material argiloso de coloração cinza-amarelado, contendo fragmentos de minerais ferruginosos semi-arredondados, fragmentos de rocha alterada (granito-gnáissica); ambos com tamanho correspondente a areia média.

16,00-16,90 - Fragmentos de rocha granito-gnáissica alterada de coloração cinza clara a esbranquiçada e diâmetro correspondente a areia média.

Responsável: **SILVANA MÔNICA VAZ**

|   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
|---|-----------|--|---------------------|---|------------------|-------------------------|----------|-----------|
|  |           | <b>RELATÓRIO FINAL DE POÇO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS |                     |   | MUNICÍPIO:       |                         |          |           |
|   |           |  |                     |   | BELO HORIZONTE   |                         |          |           |
|   |           | POÇO Nº  |                     | OPÇÃO                                     |                  |                         |          |           |
|   |           | C-03   |                     |   |                  |                         |          |           |
| LOCALIDADE:   |           | PROPRIETÁRIO DO TERRENO:   |                     |   | CÓDIGO CONTÁBIL: |                         |          |           |
| ETE ARRUDAS   |           | COPASA   |                     |   |                  |                         |          |           |
| PROGRAMA:   |           | CONTRATO Nº  |                     |   | BM. Nº           |                         |          |           |
| INV. COPASA   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| DATA DE INÍCIO  |           | DATA DE TÉRMINO:   |                     |   | EXECUTOR:        |                         |          |           |
| 24/4/2001   |           | 25/4/2001  |                     |   | COPASA           |                         |          |           |
| SONDA:  |           | MÉTODO:  |                     |   | SONDADOR:        |                         |          |           |
| R 1 H Nº 05   |           | ROTOPNEUMÁTICO   |                     |   | DERIVALDO        |                         |          |           |
| FORMAÇÃO GEOLÓGICA:   |           |  |                     |   | AQUÍFERO:        |                         |          |           |
| CRISTALINO  |           |  |                     |   | POROSO           |                         |          |           |
| COBERTURA:(m)   | ROCHA:(m) | LATITUDE:  |                     | LONGITUDE                                 | COTA:            |                         |          |           |
| 16.00   | 0.90      |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| <b>PERFURAÇÃO</b>   |           |  |                     | <b>REVESTIMENTO</b>                       |                  |                         |          |           |
| DIÂM.(mm)   | INTERVALO |  | PROF. DE FENDAS (m) | DIÂM.(mm)                                 | POSIÇÃO          |                         | TIPO     |           |
| 250   | 0.00      | a  | 16.90               | 150                                       | 0,80             | a                       | 0.00     | Saliência |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 0.00             | a                       | 6.70     | Tube Liso |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 6.70             | a                       | 10.70    | Filtros   |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 10.70            | a                       | 16.80    | Tube Liso |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 16.80            | a                       | 16.90    | Tampão    |
| TOTAL:  |           | 16.90 m  |                     |   |                  |                         |          |           |
| ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TUBO:   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| Aço Preto DIN 2440  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| FILTRO:   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| Tipo Nold, galvanizado  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT./QUANT.)  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| (1,5 X 1,5 X 0,20) m  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TUBO PARA REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./DIÂM./COMP.)                               |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
|   |           |  |                     | TOTAL DE TUBO: 13.70 m                    |                  | TOTAL DE FILTRO: 4.00 m |          |           |
| <b>COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)</b>                                |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)  |           |  |                     | POSIÇÃO                                   |                  | QUANTIDADE:             |          |           |
| Material argiloso   |           |  |                     | 0.00 a 4.50                               |                  | 125 l                   |          |           |
| Cimentação  |           |  |                     | 4.50 a 5.50                               |                  | 30 l                    |          |           |
| Cascalho Selecionado  |           |  |                     | 5.50 a 12.00                              |                  | 360 l                   |          |           |
| Brita Zero  |           |  |                     | 12.00 a 16.90                             |                  | 270 l                   |          |           |
| <b>DESENVOLVIMENTO</b>  |           |  |                     | <b>DESINFECÇÃO / REMOÇÃO DE BENTONITA</b> |                  |                         |          |           |
| MÉTODO  | TEMPO (H) |  |                     | PRODUTO QUÍMICO                           |                  | QUANT. (GR.)            |          |           |
| Air Lift  | 10:00     |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| <b>TESTE DE BOMBEAMENTO</b>   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TESTE   | DATA      | EQUIPAMENTO  |                     | DURAÇÃO (h)                               | PROF. (m)        | N.E. (m)                | N.D. (m) | VAZÃO l/s |
|   |           |  |                     |   |                  | 5.20                    |          |           |
| KM PERCORRIDO:  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| RESPONSÁVEL:  |           |  |                     |   |                  | DATA                    |          |           |
| DERIVALDO SANTOS COSTA  |           |  |                     |   |                  | 25/4/2001               |          |           |

Poço C04 – Poço a jusante da Área II

|   |  |  |  |                              |                 |             |                       |                      |
|---|--|--|--|------------------------------|-----------------|-------------|-----------------------|----------------------|
|   |  | <b>SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água</b>      |  |                              |                 |             |                       |                      |
|   |  | <b>Resultados de Análises</b>                                |  |                              |                 |             |                       |                      |
| <b>Ordem de Serviço:</b> BELO HORIZONTE / 4415      |  | <b>Solicitante:</b> DVAS -ETE Arrudas Poço Tubular -CI178/01 |  |                              | <b>CGC/CPF:</b> |             |                       |                      |
| <b>Endereço:</b> DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas |  | <b>Data da Coleta:</b> 30/04/2001                            |  | <b>Coletor:</b> 999999       |                 |             |                       |                      |
| <b>Pontos de Amostragem</b>                         |  | <b>Local de Coleta</b>                                       |  | <b>Amostra</b>               | <b>Tempo</b>    | <b>Hora</b> | <b>Temp. Ambiente</b> | <b>Temp. Amostra</b> |
| Poço de Monitoramento da ETE Arrudas - BHTE         |  | Poço de Monitoramento C - 04                                 |  | 1                            | Bom             | 15:55       | 27                    | 23                   |
| <b>Parâmetros / Unidades</b>                        |  | <b>Amostras</b>  |  |                              |                 |             |                       |                      |
|   |  | 1  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| AMET - Alumínio / mg/L Al                           |  | 1,400  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Arsênio / mg/L As                                   |  | <0,0030  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Bário / mg/L Ba                                     |  | <0,100   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Chumbo / mg/L Pb                                    |  | <0,050   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Cobre / mg/L Cu                                     |  | <0,010   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Cromo Total / mg/L Cr                               |  | <0,050   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Cádmio / mg/L Cd                                    |  | <0,0030  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Estanho / mg/L Sn                                   |  | <0,035   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Ferro Total / mg/L Fe                               |  | 5,300  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Manganês Total / mg/L Mn                            |  | 0,110  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Mercúrio / mg/L Hg                                  |  | <0,00100   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Níquel / mg/L Ni                                    |  | <0,020   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Prata / mg/L Ag                                     |  | <0,024   |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Selênio / mg/L Se                                   |  | <0,0003  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| Zinco / mg/L Zn                                     |  | 1,800  |  |                              |                 |             |                       |                      |
| SICQA923 Visto Por:                                 |  | Aprovado Por:  MARCELO VILHENA<br>07019-9                    |  | Emissão: 18/05/2001 08:26:29 |                 | Página: 1   |                       |                      |

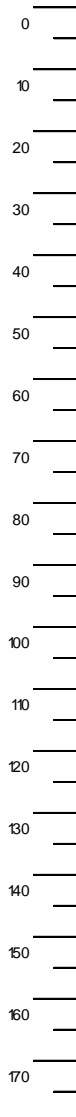
|  |  |  |  |                              |                 |           |  |  |
|--|--|--|--|------------------------------|-----------------|-----------|--|--|
|  |  | <b>SICQA - Sistema de Controle da Qualidade da Água</b>      |  |                              |                 |           |  |  |
|  |  | <b>Resultados de Análises</b>                                |  |                              |                 |           |  |  |
| <b>Ordem de Serviço:</b> BELO HORIZONTE / 4415             |  | <b>Solicitante:</b> DVAS -ETE Arrudas Poço Tubular -CI178/01 |  |                              | <b>CGC/CPF:</b> |           |  |  |
| <b>Endereço:</b> DVAS - Poço Tubular da ETE Arrudas - C-04 |  | <b>Data da Coleta:</b> 30/04/2001                            |  | <b>Coletor:</b> 999999       |                 |           |  |  |
| <b>Parâmetros / Unidades</b>                               |  | <b>Amostras</b>  |  |                              |                 |           |  |  |
|  |  | 1  |  |                              |                 |           |  |  |
| BACB - Colif. Termotolerantes / Col/100ml                  |  | 5,0  |  |                              |                 |           |  |  |
| FQMM - Dem. Bioq de Oxigênio / mg/L O                      |  | 30,00  |  |                              |                 |           |  |  |
| Dem. Química de Oxigênio / mg/L O                          |  | 93,0000  |  |                              |                 |           |  |  |
| Fosfato Total / mg/L P                                     |  | <0,020   |  |                              |                 |           |  |  |
| Fósforo Total / mg/L P                                     |  | <0,02  |  |                              |                 |           |  |  |
| Nitratos / mg/L N  |  | <0,200   |  |                              |                 |           |  |  |
| Nitritos / mg/L N  |  | <0,002   |  |                              |                 |           |  |  |
| Nitrogênio Amoniacal / mg/L N                              |  | 1,30   |  |                              |                 |           |  |  |
| Nitrogênio Total / mg/L N                                  |  | 2,70   |  |                              |                 |           |  |  |
| Ortofosfatos / mg/L P                                      |  | <0,020   |  |                              |                 |           |  |  |
| pH /   |  | 6,5  |  |                              |                 |           |  |  |
|  |  | Final do Relatório   |  |                              |                 |           |  |  |
| SICQA923 Visto Por:  FRANCISCO O. ...                      |  | Aprovado Por:  MARCELO VILHENA<br>07019-9                    |  | Emissão: 18/05/2001 08:26:29 |                 | Página: 2 |  |  |



|   |  |  |                             |
|---|--|--|-----------------------------|
|  | <b>PERFIL DE POÇO PROFUNDO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS | <b>MUNICÍPIO:</b><br><b>BELO HORIZONTE</b> | <b>POÇO:</b><br><b>C-04</b> |
|   |  | <b>LOCALIDADE:</b><br><b>ETE ARRUDAS</b>   |                             |

### CARACTERÍSTICAS DO POÇO

|   |  |  |
|---|--|--|
| Data de Início<br><b>26/4/2001</b>                  | Data de Término<br><b>27/4/2001</b>      | Profundidade (m):<br><b>22.00</b>        |
| Perf. Camadas não consolidadas (m):<br><b>20.00</b> | Perf. Rocha Alterada (m):<br><b>2.00</b> | Perf. Rocha Sã (m):                      |
| Tubos de Revestimento (m):<br><b>16.90</b>          | Filtros Utilizados (m):<br><b>5.80</b>   | Entrada de Água:<br><b>14,60 a 20,40</b> |
| Nível Estático (m):<br><b>14.25</b>                 | Nível Dinâmico (m):                      |  |



00,00-10,00 - Solo argilo-siltoso de coloração marrom-amarelada, contendo poucos grãos semi-arredondados de quartzo (seixos) e fragmentos irregulares de rocha granito-gnáissica pouco alterada com tamanho médio de 1,0 cm. Material característico de aterro.

10,00-14,00 - Material arenoso de coloração marrom-amarelada com granulometria de areia fina a média, envolto em uma matriz argilosa de coloração esbranquiçada.

14,00-16,00 - Material argilo-siltoso de coloração amarelada, plástico.


16,00-18,00 - Material arenoso de coloração amarelada, granulometria fina a média, composto principalmente por grãos de quartzo.

18,00-20,00 - Material arenoso de coloração amarelo-esbranquiçada, composto principalmente por grãos de quartzo, fragmentos de rocha muito alterada e fragmentos de minerais ferruginosos, com a mesma granulometria da areia grossa.

20,00-22,00 - Material proveniente de rocha granito-gnáissica alterada de coloração cinza-esbranquiçada. Presença de fragmentos de minerais ferruginosos com granulometria de areia grossa.

Responsável:

SILVANA MÔNICA VAZ

|   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
|---|-----------|--|---------------------|---|------------------|-------------------------|----------|-----------|
|  |           | <b>RELATÓRIO FINAL DE POÇO</b><br>DIVISÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS - DVAS |                     |   | MUNICÍPIO:       |                         |          |           |
|   |           |  |                     |   | BELO HORIZONTE   |                         |          |           |
|   |           | POÇO Nº  |                     | OPÇÃO                                     |                  |                         |          |           |
|   |           | C-04   |                     |   |                  |                         |          |           |
| LOCALIDADE:   |           | PROPRIETÁRIO DO TERRENO:   |                     |   | CÓDIGO CONTÁBIL: |                         |          |           |
| ETE ARRUDAS   |           | COPASA   |                     |   |                  |                         |          |           |
| PROGRAMA:   |           | CONTRATO Nº  |                     |   | BM. Nº           |                         |          |           |
| INV. COPASA   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| DATA DE INÍCIO  |           | DATA DE TÉRMINO:   |                     |   | EXECUTOR:        |                         |          |           |
| 26/4/2001   |           | 27/4/2001  |                     |   | COPASA           |                         |          |           |
| SONDA:  |           | MÉTODO:  |                     |   | SONDADOR:        |                         |          |           |
| R 1 H Nº 05   |           | ROTOPNEUMÁTICO   |                     |   | DERIVALDO        |                         |          |           |
| FORMAÇÃO GEOLÓGICA:   |           |  |                     |   | AQUÍFERO:        |                         |          |           |
| CRISTALINO  |           |  |                     |   | POROSO           |                         |          |           |
| COBERTURA:(m)   | ROCHA:(m) | LATITUDE:  |                     | LONGITUDE                                 | COTA:            |                         |          |           |
| 20.00   | 2.00      |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| <b>PERFURAÇÃO</b>   |           |  |                     | <b>REVESTIMENTO</b>                       |                  |                         |          |           |
| DIÂM.(mm)   | INTERVALO |  | PROF. DE FENDAS (m) | DIÂM.(mm)                                 | POSIÇÃO          |                         | TIPO     |           |
| 250   | 0.00      | a  | 22.00               | 150                                       | 0,70             | a                       | 0.00     | Saliência |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 0.00             | a                       | 14.60    | Tubo Liso |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 14.60            | a                       | 20.40    | Filtro    |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 20.40            | a                       | 21.90    | Tubo Liso |
|   |           | a  |                     | 150                                       | 21.90            | a                       | 22.00    | Tampão    |
| TOTAL:  |           | 22.00 m  |                     |   |                  |                         |          |           |
| ESPECIFICAÇÃO DO REVESTIMENTO   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TUBO:   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| Aço Preto DIN 2440  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| FILTRO:   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| Tipo Nold; galvanizado  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| LAJE DE PROTEÇÃO (DIMENSÕES/MAT./QUANT.)  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| (1,5 x 1,5 x 0,20) m  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TUBO PARA REALIMENTAR PRÉ-FILTRO (MAT./DIÂM./COMP.)                               |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
|   |           |  |                     | TOTAL DE TUBO: 16.90 m                    |                  | TOTAL DE FILTRO: 5.80 m |          |           |
| <b>COMPLEMENTAÇÃO (ENVOLTÓRIO DO REVESTIMENTO)</b>                                |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| MATERIAL (ESPECIFICAÇÃO)  |           |  |                     | POSIÇÃO                                   |                  | QUANTIDADE:             |          |           |
| Material argiloso   |           |  |                     | 0.00 a 1.85                               |                  | 52 l                    |          |           |
| Cimentação  |           |  |                     | 1.85 a 7.00                               |                  | 145 l                   |          |           |
| Cascalho selecionado  |           |  |                     | 7.00 a 22.00                              |                  | 450 l                   |          |           |
| <b>DESENVOLVIMENTO</b>  |           |  |                     | <b>DESINFECÇÃO / REMOÇÃO DE BENTONITA</b> |                  |                         |          |           |
| MÉTODO  | TEMPO (H) |  |                     | PRODUTO QUÍMICO                           |                  | QUANT. (GR.)            |          |           |
| Air Lift  | 12:00     |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| <b>TESTE DE BOMBEAMENTO</b>   |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| TESTE   | DATA      | EQUIPAMENTO  |                     | DURAÇÃO (h)                               | PROF. (m)        | N.E. (m)                | N.D. (m) | VAZÃO l/s |
|   |           |  |                     |   |                  | 14.25                   |          |           |
| KM PERCORRIDO:  |           |  |                     |   |                  |                         |          |           |
| RESPONSÁVEL:  |           |  |                     |   |                  | DATA                    |          |           |
| DERIVALDO SANTOS COSTA  |           |  |                     |   |                  | 27/4/2001               |          |           |