



Universidade Federal de Ouro Preto  
Programa de Pós-Graduação em  
Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental  
Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e  
Ambiental

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE  
SOCIOECONÔMICA AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FOSFOGESSO USADO COMO  
CAMADA DE COBERTURA NO LIXIVIADO DE ATERRO  
SANITÁRIO**

Autor: Bruno de Mattos Teixeira  
Ouro Preto, MG  
2011



Universidade Federal de Ouro Preto  
Programa de Pós-Graduação em  
Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental  
Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e  
Ambiental

Bruno de Mattos Teixeira

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO FOSFOGESSO USADO COMO  
CAMADA DE COBERTURA NO LIXIVIADO DE ATERRO  
SANITÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título: “Mestre em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental – Área de Concentração: “ambiometria”

Orientador: Prof. Dr. Jorge Carvalho de Lena

Coorientadora: Prof. Dra. Eleonora Deschamps

Ouro Preto, MG

2011

T266a

Teixeira, Bruno de Mattos .

Avaliação da influência do Fosfógeno usado como camada de cobertura no  
lixiviado de aterro sanitário [manuscrito] / Bruno de Mattos Teixeira. - 2011.  
108f.:

Orientador: Prof. Dr. Jorge Carvalho de Lena.

Coorientador: Profa. Dra. Eleonora Deschamps.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Pró-Reitoria de  
Pesquisa e Pós-Graduação. PROÁGUA. Programa de Pós-Graduação em  
Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental.

Área de Concentração: Ambientometria.

1. Fosfógeno. 2. Aterro Sanitário. 3. Resíduos Sólidos. I. Carvalho de Lena,  
Jorge. II. Deschamps, Eleonora. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV.  
Título.

CDU: 502/504

**Universidade Federal de Ouro Preto**

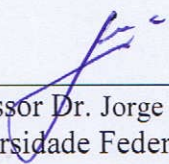
**Mestrado em Sustentabilidade Socioeconômica e Ambiental**

***“Avaliação da influência do fosfogesso usado  
na camada de cobertura no lixiviado  
de aterro sanitário”***

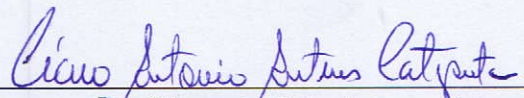
***Bruno de Mattos Teixeira***

Dissertação defendida e aprovada, em 15 de fevereiro de 2011, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

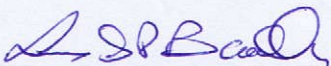
---

  
Professor Dr. Jorge Carvalho de Lena  
Universidade Federal de Ouro Preto

---

  
Dr. Cícero Antônio Antunes Catapreta  
Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

---

  
Professor Dr. Luis de Almeida Prado Bacellar  
Universidade Federal de Ouro Preto



## **AGRADECIMENTO**

Neste item, gostaria de expressar meus agradecimentos a todos que de certa forma contribuíram para elaboração deste trabalho.

A DEUS, por sempre iluminar o meu caminho, confortando-me nos momentos de aflição, enchendo meu coração de amor e força para alcançar os meus objetivos.

A minha filha, Maria Clara, por ser a pessoa mais especial da minha vida, por ser sempre este ser que me proporciona a vontade de ir cada vez mais longe, por iluminar minha vida pela sua existência.

A toda a minha família, em especial aos meus pais, Olinto e Regina, pelo apoio e presença constantes, pelos incentivos aos meus estudos, pelo amor e carinho.

A Gláucia Maria, pelo amor, carinho e compreensão com que vem me acompanhando ao longo de todos estes anos.

Gostaria de agradecer, em especial, a minha professora Eleonora Deschamps, pelos ensinamentos acadêmicos, profissionais, pelo exemplo de dedicação, competência e ética profissional, pela amizade e por proporcionar grandes oportunidades na minha vida.

Ao professor Jorge de Lena pela orientação, ensinamentos, paciência, amizade e apoio ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Ao professor José Cláudio Junqueira por ter acreditado no meu potencial desde os tempos de estágio, pelos ensinamentos profissionais e pelo exemplo.

Ao governo do estado de Minas Gerais pelo financiamento e oportunidade de realizar este trabalho e a todos os colegas da Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, em especial aos meus amigos da Gerência De Resíduos Sólidos – GERES, Gerência de Saneamento – GESAN.

Aos meus amigos, Renato Brandão, Breno Machado, Guilherme Silvino, Karine Dias, Vandinéia Santos, Felipe Gomes, Ivan Amorim, Antônio Carlos, Luiz Pompeu, pela paciência, amizade, pelos conselhos e pelas ajudas técnicas para desenvolvimento deste trabalho.

Ao departamento de limpeza urbana do município de Contagem pela concessão da área para implantação e pelo preenchimento das células. Ao João Batista, Leonardo por apoio incondicional à pesquisa.

A todos os funcionários do aterro sanitário de Contagem em especial ao Branco e a Solange pela disponibilidade, sempre presente, em me ajudar.

A todas as pessoas que de certa forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## Resumo

A produção de fertilizantes tem, entre suas etapas iniciais, o ataque à rocha fosfática com ácido sulfúrico concentrado, visando tornar o fósforo solúvel para as plantas. Como resíduo desse processo produtivo, tem-se o sulfato de cálcio dihidratado, conhecido como fosfogesso, cuja taxa de geração é extremamente elevada, de 4,8 toneladas para cada tonelada de ácido fosfórico produzido. Uma das formas de destinação desse resíduo, tanto no Brasil como no mundo, é a estocagem em pilhas.

Entretanto, como existem bilhões de toneladas estocadas, essas pilhas representam um grande passivo ambiental. Estudos desenvolvidos nos Estados Unidos pelo *Florida Institute of Phosphate Reserarch – FIPR* avaliaram, em escala laboratorial, o uso do fosfogesso como cobertura de aterro. Os resultados demonstraram que houve uma redução de volume na ordem de 30 a 50%, portanto potencial para aumentar a vida útil dos aterros sanitários. Para a realização do experimento em escala real, foi construído um aterro experimental compostos de duas células, uma contendo fosfogesso e a outra apenas com resíduos sólidos urbanos. O presente estudo teve por objetivo avaliar a influência do fosfogesso no lixiviado do aterro.

A avaliação final do trabalho permite concluir que a utilização do fosfogesso como cobertura diária de resíduos sólidos urbanos tende a trazer inúmeros ganhos, não só para as empresas geradoras de fosfogesso, mas também para empresas e municípios que possuem aterro sanitário como forma de destinação final de resíduos. Concluiu-se também que a construção do aterro foi satisfatória, uma vez que o experimento encontra-se implantado e produzindo dados. Porém devido ao estudo abranger uma escala temporal pequena, os resultados podem ser analisados apenas como tendência.

Palavras chaves: Fosfogesso, resíduo sólido urbano, resíduo sólido industrial, aterro experimental, aterro sanitário, lixiviado de aterro

## ABSTRACT

In early stages of the production of fertilizers occurs the attack of phosphate rock by sulfuric acid making the phosphorus soluble for plants. As waste of this production process, results the calcium sulfate dihydrate, known as phosphogypsum and, its generation rate is extremely high, 4.8 tons for each ton of phosphoric acid produced. One of the ways for the final destination of this waste, both in Brazil and worldwide, is the storage of batteries. However, billions tons of these stored pile represent a major environmental liability to the state. One of the most promising techniques for reusing the phosphogypsum is the recovering of landfill because this residue promotes the acceleration of organic matter decomposition, and it represents a potential way to extend the usable life of landfills. The studies developed in the United States by Florida Institute of Phosphate Research – FIPR about the use of phosphogypsum in recovering of landfill were evaluated under laboratory scale. The results showed reductions of volume in the order of 30 to 50%. For performing this experiment in real scale, we constructed two experimental cells, one containing phosphogypsum and the other only waste. This study aimed to evaluate the influence of phosphogypsum on the landfill leachate. The final evaluation of this work allows us to conclude that the use of phosphogypsum as a daily cover of waste brings many potential benefits, not only to industries that produces it, but also to other industries and cities which have landfills as disposals of waste. The construction of the cell, despite difficulties, has been considered satisfactory because the experiment has been implemented and produced data, although it will be necessary a larger temporal scale to evaluate the influence of phosphogypsum on the leachate.

Keywords: phosphogypsum, municipal solid waste, industrial solid waste, experimental cell, landfill, landfill leachate.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1- Etapas da biodegradação dos resíduos sólidos urbanos .....                               | 10 |
| Figura 2 - Concentração do lixiviado em função do tempo .....                                      | 15 |
| Figura 3 - Croqui do aterro experimental .....   | 43 |
| Figura 4 - Marco topográfico para escavação das Células .....                                      | 44 |
| Figura 5 - Escavação manual do poço de coleta de chorume .....                                     | 44 |
| Figura 6 - Detalhe da solda entre os painéis de PEAD .....   | 46 |
| Figura 7 - Teste de estanqueidade – Spark Test .....   | 46 |
| Figura 8 - Construção do dreno de lixiviado.....   | 47 |
| Figura 9 - Dreno de condução do lixiviado para o poço de coleta.....                               | 49 |
| Figura 10 - Desenho esquemático do detalhe do dreno de gás.....                                    | 50 |
| Figura 11 - Dreno de gás - manilha preenchida com pedra de mão .....                               | 51 |
| Figura 12 - Dreno de gás com redutor .....   | 51 |
| Figura 13 - Conformação e compactação dos resíduos .....   | 53 |
| Figura 14 - Marco orientativo - Célula Fosfogesso.....   | 54 |
| Figura 15 - Camada de fosfogesso e resíduos .....  | 55 |
| Figura 16 - Separação e identificação dos frascos .....  | 56 |
| Figura 17 - Coleta e preenchimento dos frascos.....  | 56 |
| Figura 18 - Composição gravimétrica do município de Contagem estratificada por classe social ..... | 58 |
| Figura 19 - Valores de pH dos lixiviados em função dos dias de aterramento .....                   | 63 |
| Figura 20 - Variações de valores de DQO em função dos dias de aterramento .....                    | 65 |
| Figura 21 - Valores da DBO nos lixiviados, em relação aos dias de aterramento .....                | 66 |
| Figura 22 - Valores da alcalinidade dos lixiviados em função do tempo .....                        | 68 |
| Figura 23 - Valores de fósforo em relação ao tempo.....  | 70 |
| Figura 24 - Valores do nitrogênio amoniacal em relação ao tempo.....                               | 71 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 25 - Valores do nitrogênio total em função do tempo.....                                      | 72 |
| Figura 26 - Valores de sólidos sedimentáveis em função do tempo.....                                 | 74 |
| Figura 27 - Valores de sólidos totais em função do tempo.....  | 75 |
| Figura 28 - Valores das concentrações de boro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo .....  | 77 |
| Figura 29 - Valores das concentrações de bário nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 78 |
| Figura 30 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 80 |
| Figura 31 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 81 |
| Figura 32 - Valores das concentrações de cromo nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 82 |
| Figura 33 - Valores das concentrações de zinco nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 83 |
| Figura 34 - Valores das concentrações de ferro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 84 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Valores específicos dos RSU (CARVALHO, 2000, <i>in put</i> CATAPRETA, 2008).....              | 12 |
| Tabela 2 - Peso específico dos RSU (OWEIS, 1993 <i>in put</i> CATAPRETA, 2008)).....                     | 13 |
| Tabela 3 - Fontes de contaminantes no lixiviado.....   | 16 |
| Tabela 4 - Contaminantes do lixiviado de aterro .....  | 17 |
| Tabela 5 - Características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros .....                      | 19 |
| Tabela 6 - Concentração de atividade dos radionuclídeos naturais (Bq/kg) .....                           | 28 |
| Tabela 7 - Composição dos principais componentes e elementos traços em rocas sedimentares e ígneas ..... | 31 |
| Tabela 8 - Composição Gravimétrica do município de Contagem .....  | 57 |
| Tabela 9 - Peso específico dos resíduos dispostos.....   | 60 |
| Tabela 10 - Valores de pH em função dos dias de aterramento.....   | 63 |
| Tabela 11 - Variações de valores de DQO em função dos dias de aterramento.....                           | 64 |
| Tabela 12 - Valores da DBO nos lixiviados, em relação aos dias de aterramento .....                      | 66 |
| Tabela 13 - Razão entre a DQO e a DBO em relação os dias de aterramento na CF .....                      | 67 |
| Tabela 14 - Razão entre a DQO e a DBO em relação os dias de aterramento na CB.....                       | 67 |
| Tabela 15 - Valores da alcalinidade dos lixiviados em função do tempo.....                               | 68 |
| Tabela 16 - Valores de fósforo em relação ao tempo .....   | 69 |
| Tabela 17 - Valores do nitrogênio amoniacal em relação ao tempo .....                                    | 71 |
| Tabela 18 - Valores do nitrogênio total em função do tempo.....  | 72 |
| Tabela 19 - Valores de sólidos sedimentáveis em função do tempo.....                                     | 73 |
| Tabela 20 - Valores de sólidos totais em função do tempo .....   | 74 |
| Tabela 21 - Valores das concentrações de boro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo .....      | 76 |
| Tabela 22 - Valores das concentrações de bário nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo .....     | 78 |
| Tabela 23 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo .....     | 79 |



|  |    |
|--|----|
| Tabela 24 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 80 |
| Tabela 25 - Valores das concentrações de cromo nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 81 |
| Tabela 26 - Valores das concentrações de zinco nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 82 |
| Tabela 27 - Valores das concentrações de ferro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo ..... | 84 |

# SUMÁRIO

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introdução .....  | 1  |
| 2     | Objetivos .....   | 3  |
| 2.1   | Objetivos específicos.....  | 3  |
| 3     | Revisão Bibliográfica.....  | 4  |
| 3.1   | Resíduos sólidos.....   | 4  |
| 3.1.1 | Resíduos Sólidos Urbanos.....   | 5  |
| 3.1.2 | Conceitos da degradação dos resíduos sólidos urbanos .....                  | 7  |
| 3.2   | Aterro sanitário.....   | 11 |
| 3.2.1 | Operação de aterro sanitário.....   | 11 |
| 3.2.2 | Sistema de cobertura .....  | 13 |
| 3.2.3 | Líquidos lixiviados de aterro sanitários.....                               | 15 |
| 3.2.4 | Balanço Hídrico.....  | 20 |
| 3.2.5 | Biogás.....   | 21 |
| 3.3   | Legislação Ambiental.....   | 22 |
| 3.3.1 | Política Estadual de Resíduos Sólidos.....                                  | 22 |
| 3.3.2 | Política Nacional de Resíduos Sólidos.....                                  | 25 |
| 3.4   | O fosfogesso.....   | 27 |
| 3.4.1 | Pilhas de Fosfogesso .....  | 29 |
| 3.4.2 | Rochas Fosfatadas .....   | 30 |
| 3.5   | Utilização do fosfogesso como material de construção civil .....            | 31 |
| 3.6   | Utilização do fosfogesso em aterros sanitários – experiência americana..... | 33 |
| 3.7   | Uso do fosfogesso na agricultura .....                                      | 36 |
| 3.7.1 | Restrição ao uso do fosfogesso nos Estados Unidos .....                     | 37 |
| 4     | Metodologia .....   | 38 |
| 4.1   | Composição Gravimétrica.....  | 38 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.2   | Construção do aterro experimental.....                                  | 40 |
| 4.2.1 | Sistema de impermeabilização de base .....                              | 45 |
| 4.2.2 | Drenos de lixiviado .....   | 47 |
| 4.2.3 | Drenos de gás .....   | 49 |
| 4.2.4 | Preenchimento das células.....  | 52 |
| 4.2.5 | Coleta de amostras de lixiviado.....                                    | 55 |
| 5     | Resultado e Discussão.....  | 57 |
| 5.1   | Composição gravimétrica dos resíduos sólidos.....                       | 57 |
| 5.2   | Avaliação dos métodos empregados na construção da célula.....           | 59 |
| 5.3   | Avaliação da compactação dos resíduos .....                             | 59 |
| 5.4   | Avaliação do uso do fosfogesso como cobertura de aterro sanitário ..... | 61 |
| 5.5   | Avaliação do uso do fosfogesso no lixiviado das células do aterro ..... | 61 |
| 5.5.1 | Parâmetros físico-químicos .....  | 62 |
| 6     | Conclusões .....  | 85 |
| 7     | Recomendações.....  | 89 |
| 8     | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....  | 90 |
| 9     | Anexos.....   | 96 |
| 9.1   | Anexo I – Termo de cooperacao tecnica .....                             | 96 |
| 9.2   | Anexo II –Projeto das células.....                                      | 97 |
| 9.3   | Anexo III –Laudos laboratoriais .....                                   | 98 |

# 1 Introdução

Depósitos de rocha fosfática são a única fonte de fósforo biodisponível indispensável para o setor de agricultura no mundo todo. Minas Gerais é detentora das mais importantes reservas de rocha fosfática do Brasil, correspondendo a 73,8% do total (DESCHAMPS, 2008). A produção de fertilizantes tem, entre suas etapas iniciais, o ataque da rocha fosfática com ácido sulfúrico concentrado, visando tornar o fósforo solúvel para as plantas. Como resíduo do processo produtivo, tem-se o sulfato de cálcio dihidratado, conhecido como fosfogesso, cuja taxa de geração é extremamente elevada, de 4,8 toneladas para cada tonelada de ácido fosfórico produzido. A produção mundial de fosfogesso é de cerca de 150 milhões de toneladas por ano. Desse total, cerca de 12 milhões de toneladas são geradas no Brasil. Uma das formas de destinação desse resíduo, tanto no Brasil como no mundo, é a estocagem em pilhas. Entretanto, essas pilhas representam, para o Estado de Minas Gerais, um grande passivo ambiental que se estima ser atualmente de cerca de 38 milhões de toneladas (DESCHAMPS, 2008).

Uma das técnicas mais promissoras para reutilização do fosfogesso é na cobertura de aterro sanitário, uma vez que esse resíduo promove a aceleração da decomposição da matéria orgânica; apresentando, portanto, potencial para aumentar a vida útil desses aterros. (DESCHAMPS, 2008). A decomposição da matéria orgânica é realizada por bactérias em um ambiente sem a presença de oxigênio (ambiente anaeróbico). A aceleração da decomposição se justifica pelo fato de o fosfogesso conter sulfatos, fósforo e enxofre, que podem ser considerados uma fonte de alimento para as bactérias decompositoras. Como decorrência da oferta de alimento, há um crescimento populacional da espécie, o que leva as bactérias a consumirem mais matéria orgânica, promovendo assim a aceleração da decomposição. Estudos desenvolvidos nos Estados Unidos pelo *Florida Institute of Phosphate Research – FIPR* avaliaram, em escala laboratorial, o uso do fosfogesso com cobertura de aterro. Os resultados demonstraram que houve uma redução de volume na ordem de 30 a 50% (SHIEH, 2008).

O estudo desenvolvido pelo FIPR foi a base para a realização de um experimento em escala real, cujo objetivo foi verificar a influência do uso do fosfogesso no lixiviado de aterros sanitários. Para a realização do experimento em escala real, foi construído um aterro experimental, composto de duas células, no aterro sanitário do município de Contagem. Em uma célula, foram aplicadas camadas intermediárias de fosfogesso com os resíduos sólidos urbanos, e a outra foi preenchida apenas com o resíduo. Esta última foi utilizada como célula de controle, possibilitando a comparação dos dados entre ambas.

Assim, neste estudo, espera-se obter resultados semelhantes aos resultados laboratoriais, a fim de promover uma melhoria na qualidade ambiental do Estado de Minas Gerais e na qualidade de vida da população.

## **2 Objetivos**

O presente trabalho tem por objetivo a execução de um aterro experimental de resíduos sólidos urbanos, composto de duas células, para avaliar a influência do fosfogesso nos líquidos lixiviados gerados.

### ***2.1 Objetivos específicos***

- Construção de um aterro experimental, composto de duas células, com todas as unidades de controle de um aterro sanitário.
- Preenchimento das células, uma com camadas de fosfogesso; outra sem camada de fosfogesso para avaliação dos dados.
- Monitoramento mensal da qualidade dos líquidos lixiviados.
- Análise e comparação dos dados obtidos.



## 3 Revisão Bibliográfica

### 3.1 Resíduos sólidos

Os resíduos sólidos são definidos como restos de materiais provenientes de diversas atividades humanas, sejam elas domiciliares, comerciais, industriais, agrícolas e hospitalares. Por aqueles que os descartam, são considerados como materiais inúteis (ROCHA, 2003).

No Brasil, a Norma que define e classifica os resíduos sólidos é a NBR 10.004, Classificação de Resíduos, (ABNT, 2004). Segundo essa norma, resíduos sólidos podem ser definidos como: “Os resíduos em estado sólido ou semissólido resultantes de atividade industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, inclusive os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água e os resíduos gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviáveis seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água”.

Eles podem ser classificados quanto a sua natureza física, em secos e molhados, quanto à sua composição química em matéria orgânica e inorgânica. Quanto aos riscos ao meio ambiente em perigoso e não perigoso, segundo a norma da NBR 10.004. Em relação à origem, os resíduos podem ser domiciliares, comerciais, públicos, resíduos de serviços de saúde, construção civil, agrícola e industrial (IPT/CEMPRE-2000).

Levando-se em consideração o risco para o meio ambiente, a norma NBR 10.004 classifica os resíduos sólidos em dois grupos - perigosos e não perigosos- sendo ainda este último grupo subdividido em não inerte e inerte (ABNT, 2004).

Essa norma, por ser amplamente citada na legislação ambiental, passou a ter um caráter obrigatório, uma vez que é a única norma brasileira que trata da classificação de resíduos (ROCHA, 2003).

Os resíduos perigosos são classificados como Classe I e os resíduos não perigosos são classificados como Classe II. Os resíduos classificados como classe II são subdivididos em: Classe II A, os não inertes e Classe II B, os inertes.

Os resíduos perigosos são classificados pelas suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e toxicidade.

Para a avaliação da toxicidade dos resíduos, a norma estabelece uma lista de substâncias químicas cujas concentrações não podem ser ultrapassadas, quando submetidas ao ensaio de lixiviação, realizado de acordo com a norma ABNT NBR 10.005 (ABNT, 2004).

Os resíduos classe II A - Não inertes são definidos como sendo aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I - Perigosos ou de resíduos classe II B- Inertes. Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ABNT, 2004).

Já os resíduos classe II B – Inertes são os resíduos que, submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água (ABNT, 2004).

Cabe ressaltar que a norma é clara quanto à identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo. A identificação desses constituintes deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo produtivo que deram origem aos resíduos. (ABNT, 2004).

### **3.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos**

Segundo definição da política estadual de resíduos sólidos, os Resíduos Sólidos Urbanos – RSU podem ser definidos como os resíduos produzidos por residências,

estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços, pela poda e pela limpeza de vias e logradouros públicos.

A quantidade de RSU gerada varia entre os países e está diretamente relacionada com o seu desenvolvimento industrial, sendo de 0.4 kg/dia por habitante na Índia e 2.0 kg/dia por habitante nos Estados Unidos (COSTA, 2009).

A quantidade de RSU também depende do perfil demográfico da cidade. Segundo a CETESB (2009), a produção per capita é de 0.4 kg/dia para municípios com até 100.000 habitantes. 0.5 kg para municípios entre 100.000 e 200.000 habitantes, 0.6 kg para municípios entre 200.000 e 500.000 habitantes e 0.7 kg para municípios com população superior a 500.000 habitantes.

Com relação às características da composição dos RSU, também ocorrem variações dependendo do desenvolvimento econômico dos países em que são gerados. Enquanto a fração orgânica varia entre 50 a 80%, nos países subdesenvolvidos, em países desenvolvidos, essa parcela é bem inferior, oscilando entre 20 e 40%. No Brasil, estima-se em 52% a fração da matéria orgânica (IPT/CEMPRE, 2000).

No Brasil, a principal forma de disposição final do RSU é a disposição ou aterramento sobre o solo. Os aterros são diferenciados, tecnicamente, em aterro sanitário, aterro controlado e lixão ou vazadouro.

De acordo com os dados divulgados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM, referentes ao ano de 2009, o Estado de Minas possui 46 % de sua população com disposição adequada de resíduo. Segundo esses dados, no estado, a disposição de resíduos de 43 % do total da população é feita em aterros sanitários. Em usina de triagem e compostagem, 3 % do total.

### **3.1.2 Conceitos da degradação dos resíduos sólidos urbanos**

Uma das fases do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos compreende a avaliação quanto ao potencial de degradação. Essa avaliação pode ser realizada por meio de análises físico-químicas. Há uma infinidade de métodos analíticos e instrumentais para tais análises, cada um atendendo a uma condição de espaço, complexidade, verba e precisão.

Existem vários modelos que avaliam as fases de decomposição de matéria orgânica em aterros. Uma das técnicas de avaliação do estágio de decomposição dos resíduos se dá por meio da variação das concentrações dos gases em relação ao tempo.. Esse modelo que indica as principais fases do processo de digestão dos resíduos foi descrito por POHLAND & HARPER (1985) e adaptado por outros autores posteriormente (CATAPRETA, 2008).

#### ***3.1.2.1.1 Digestão aeróbia***

A primeira fase de decomposição se dá na presença de oxigênio, ou seja, sob condição aeróbia. A presença do oxigênio ocorre durante o processo de disposição, espalhamento e compactação dos resíduos sólidos urbanos. A principal fonte de organismos aeróbios e anaeróbios responsáveis pela decomposição está presente nos resíduos dispostos. Esses organismos também podem ter sua origem no solo que é utilizado na cobertura diária. (CATAPRETA, 2008).

#### ***3.1.2.2 Digestão anaeróbia***

Com a diminuição da quantidade de oxigênio, os organismos anaeróbios começam a se proliferar. Esses organismos, preferencialmente, não utilizam o oxigênio na decomposição da matéria orgânica.

As bactérias que participam do processo de digestão anaeróbia podem ser divididas em três importantes grupos, tendo comportamentos fisiológicos distintos (CHERNICHARO - 1997).

O primeiro grupo é composto por bactérias fermentativas, que por hidrólise transformam substâncias complexas como carboidratos, proteínas e lipídeos em substância mais simples como aminoácidos, ácidos orgânicos de cadeia curta e outros produtos. O segundo grupo é composto por bactérias acetogênicas, as quais convertem os produtos gerados pelo primeiro grupo em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Esses produtos são substratos essenciais para o terceiro grupo que são as bactérias metanogênicas as quais se subdividem em dois subgrupos. Um utiliza o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto o outro produz metano, por meio da redução de dióxido de carbono (CHERNICHARO - 1997).

Existem vários modelos que descrevem e simulam a decomposição da fração orgânica dos resíduos sólidos em aterros sanitários. A decomposição anaeróbia pode ser descrita em cinco fases sendo hidrólise, acidogênica, acetogênica, metanogênica e maturação.

### ***3.1.2.3 Hidrólise***

A primeira fase da decomposição anaeróbia consiste na hidrólise de materiais particulados complexos em materiais dissolvidos mais simples. Dessa forma, essas substâncias podem entrar na parede celular das bactérias fermentativas.

### ***3.1.2.4 Acidogênica***

Na fase acidogênica, os produtos oriundos da hidrólise são metabolizados por bactérias fermentativas, produzindo compostos mais simples como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, amônia e sulfetos de hidrogênio, excretados pelas células, além de outras bactérias (CHERNICHARO, 1997).

Nessa segunda fase, as bactérias, utilizando um processo bioquímico, não estabilizam a matéria orgânica e podem durar alguns anos. Os metabolismos excretados pelas bactérias hidrolíticas entram em solução no meio e passam a ser substrato das bactérias acetogênicas (CASTILHO JUNIOR, 2003).

### ***3.1.2.5 Acetogênica***

Esta fase envolve a conversão microbiológica dos componentes, resultantes do primeiro passo, em componentes intermediários de baixo peso molecular tais como ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) e pequenas concentrações de ácidos fúlvicos e ácidos orgânicos complexos. Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) é o principal gás produzido durante a fase (CATAPRETA, 2008).

Na fase acetogênica, encontram-se o ácido acético e também grandes quantidades de nitrogênio amoniacal que se misturam com o líquido que percola pela massa de lixo, fazendo o pH cair para valores entre 4 e 6. Esse caráter ácido propicia a solubilização de materiais inorgânicos como ferro, manganês, zinco, cálcio e magnésio. O ambiente ácido favorece o aparecimento de maus odores como gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ) (CASTILHO JUNIOR, 2003).

### ***3.1.2.6 Metanogênica***

Durante a fase metanogênica, os compostos orgânicos simples, formados na fase anterior, começam a ser degradados por bactérias estritamente anaeróbicas, denominadas bactérias metanogênicas. Essas bactérias, ao promoverem essa degradação, dão origem ao metano ( $\text{CH}_4$ ) e ao gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) (IPT/CEMPRE, 2000).

Com o consumo dos ácidos voláteis produzidos na fase anterior, ocorre um aumento do pH. Isso fornece uma condição bastante satisfatória, do ponto da decomposição, uma



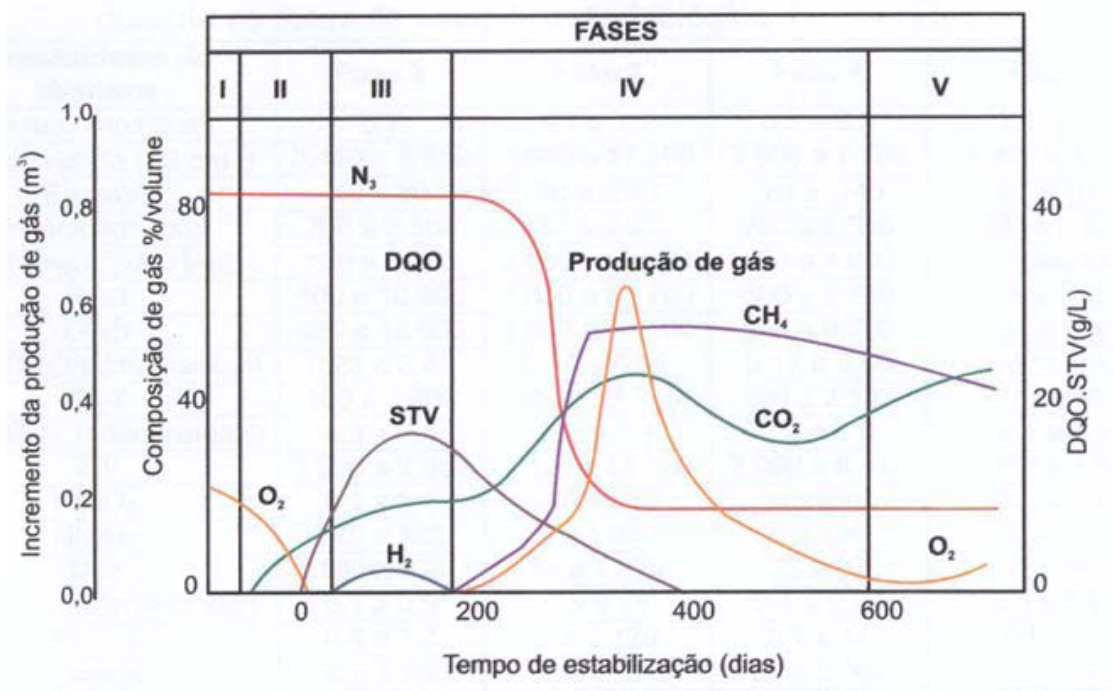
vez que as bactérias metanogênicas desenvolvem-se em ambientes com pH próximo ao neutro 6,6 e 7,3 (IPT/CEMPRE, 2000).

### 3.1.2.7 *Maturação*

A fase de maturação ocorre após a matéria orgânica degradável ter sido convertida em  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ . Com isso, há um decaimento na taxa de geração de gás, já que os nutrientes viáveis foram removidos com os líquidos lixiviados durante as fases anteriores (CATAPRETA, 2008).

Nessa fase, podem aparecer pequenas quantidades de nitrogênio e oxigênio. Isso dependerá dos métodos e materiais utilizados para o selamento do aterro em função da difusão de ar para dentro da massa. Há aumento do valor do potencial redox com o aparecimento de  $\text{O}_2$  e espécies oxidadas. (CATAPRETA, 2008). As etapas descritas anteriormente são demonstradas na Figura 1.

Figura 1- Etapas da biodegradação dos resíduos sólidos urbanos



Fonte – CATAPRETA - 2008

## **3.2 Aterro sanitário**

Aterro sanitário pode ser definido como um processo de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, fundamentado em critérios de engenharia e normas operacionais específicas, permitindo a disposição segura em termos de controle da poluição ambiental e da proteção à saúde pública (IPT/CEMPRE, 2000).

No Brasil, EUA, e em grande parte do mundo, essa técnica representa a principal forma de destinação dos resíduos sólidos urbanos, tornando-se um dos meios mais importantes para o tratamento dos resíduos (MONTEIRO, 2006).

Entretanto, a disposição final em aterros sanitários está relacionada com diversos fatores como a escolha da área para implantação, a impermeabilização de base e taludes, a operação do aterro, a cobertura final da massa de lixo, a coleta e o tratamento do lixiviado e do biogás.

### **3.2.1 Operação de aterro sanitário**

O principal fator a ser observado na operação do aterro sanitário é a compactação dos RSU, dada a sua importância tanto no que se refere à otimização da disposição quanto à melhoria das propriedades geomecânicas.

Segundo BOSCOV (2000), a compactação dos resíduos depende de vários fatores. Dentre eles: a espessura da camada de resíduos, o tipo, o peso e o número das passadas do equipamento compactador, a inclinação da rampa de compactação, o sentido da compactação, a composição e a umidade dos RSU.

A compactação dos resíduos sólidos urbanos, em aterros, tem por objetivo promover a redução volumétrica, proporcionando uma maior estabilidade. A redução do volume se dá pela aplicação da pressão na massa de lixo, por meio do emprego de equipamentos mecânicos, como tratores de esteira (CATAPRETA, 2008).

Os valores do peso específico médio dos resíduos variam entre 1,0 a 3,0 kN/m<sup>3</sup>, para peso específico médio dos resíduos soltos. Após sua compactação, pode variar de 7,0 a 9,0 kN/m<sup>3</sup>. Em função dos processos físicos e biológicos que ocorrem em um aterro sanitário, pode-se chegar, com o tempo, a valores de 10,0 a 13,0 kN/m<sup>3</sup> (GOMES *et al.* 1997). As Tabelas 1 e 2 apresentam valores específicos dos RSU, descritos por alguns autores.

Tabela 1 - Valores específicos dos RSU (CARVALHO, 2000, *in put* CATAPRETA, 2008)

| <b>Autor (Ano)</b>           | <b>Peso específico<br/>kN/m<sup>3</sup></b> | <b>Observações</b>                          |
|------------------------------|---|---|
| Sowers (1968)                | 8,0 – 12,0                                  | Compactados                                 |
| Sowers (1973)                | 1,2 – 3,0                                   | Antes da compactação                        |
|                              | 6   | Após compactação                            |
| Rao (1974)                   | 1,5 – 2,0                                   | Sem compactação                             |
|                              | 3,5 – 6,0                                   | Fraca compactação                           |
| Bratley <i>et al.</i> (1983) | 1,16  | Sem compactação                             |
|                              | 7,0 – 13,1                                  | Compactados                                 |
| Cartier e Baldt (1983)       | 11,0 – 14,5                                 | Compactados                                 |
|                              | 10  | Após compactação                            |
| Oliden (1987)                | 7,5 – 8,5                                   | Pré-carregado                               |
|                              | 5,5 – 7,1                                   | Antes da decomposição                       |
| Oweis & Khera (1990)         | 6,3   | Origem industrial e doméstica               |
|                              | 4,6 – 17,3                                  | Misturado                                   |
| Oweis & Khera (1990)         | 2,8 – 3,1                                   | Municipal sem compactação                   |
|                              | 4,7 – 6,3                                   | Municipal moderadamente compactado          |
| Arroyo <i>et al.</i> (1990)  | 10  | Compactado                                  |
| Landva & Clark (1990)        | 7,0 – 14,0                                  |   |
| Van Impe (1993/1994)         | 10  | Resíduos sólidos municipais<br>densificados |
|                              | 9,3   | Máximo peso específico seco (w=31%)         |
| Gabr & Valero                | 8   | Saturação completa (w=70%)                  |
|                              | 12  | Com volume ar nulo (w=31%)                  |

Tabela 2 - Peso específico dos RSU (OWEIS, 1993 *in put* CATAPRETA, 2008))

| <b>Forma do resíduo sólidos urbanos (RSU)</b> | <b>Peso específico kN/m<sup>3</sup></b> |
|---|---|
| RSU – Compactação boa a excelente             | 4,7 – 6,3                               |
| RSU – Compactação moderada a boa              | 8,6 – 9,4                               |
| RSU – fardo de lixo                           | 8,6 -14,1                               |
| RSU – aterro ativo com líquido percolado      | 6,6                                     |
| RSU – aterro antigo                           | 9,7                                     |
| RSU – após recalque e degradação              | 9,9 – 11,0                              |
| Resíduo de incinerador                        | 7,2 – 12,7                              |

### 3.2.2 Sistema de cobertura

O sistema de cobertura de aterro sanitário tem a função de proteger a superfície das células de resíduos, minimizando o impacto ambiental, bem como eliminar a proliferação de vetores e diminuir a taxa de formação de percolado. Além disso, objetiva reduzir a exalação de odores, impedir a catação, permitir o tráfego de veículos coletores sobre o aterro, eliminar a queima de resíduos e a saída descontrolada de biogás (IPT/CEMPRE, 2000). O sistema de cobertura em um aterro pode ser subdividido em sistema de cobertura diária e sistema de cobertura final.

A cobertura diária deve ser realizada após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 0,20 a 0,30 m de solo (IPT/CEMPRE, 2000). Muitas vezes, esses solos são provenientes da mesma área do aterro, originados da escavação e dos cortes realizados para sua construção ou são solos oriundos de outras jazidas.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 1992, 1997), o sistema de cobertura final de aterros deve minimizar a infiltração de água, exigir pouca manutenção, promover a drenagem e não estar sujeito à erosão. Além disso, deve acomodar recalque sem ruptura e possuir um coeficiente de permeabilidade inferior ao do solo natural do aterro. Cabe ressaltar que as normas brasileiras não dão ênfase aos aspectos técnicos para a construção dessas camadas, limitando-se a descrever, em linhas gerais, alguns itens a serem observados.

No caso da cobertura final, o uso de proteção vegetal é recomendado, procurando-se integrar o empreendimento ao meio local. A instalação de vegetação sobre a camada de cobertura final é ainda importante por diminuir a quantidade de chuva que se infiltra e, Segundo CATAPRETA (2008), o sistema de cobertura final mais referenciado é a cobertura convencional ou resistiva, as coberturas evapotranspirativas (monolíticas ou barreiras capilares).

O sistema de cobertura convencional é constituído de barreiras resistivas que devem possuir baixo coeficiente de permeabilidade, maximizando o escoamento pelo solo e diminuindo a geração de líquido.

No Brasil, a camada de cobertura final de aterros sanitários é feita com uma camada de solo, com espessura de aproximadamente 60 cm, constituída de materiais de baixa condutividade hidráulica saturada (tipicamente  $10^{-7}$  cm/s ou menos). Acima dessa, uma camada de 15 cm de solo com cobertura vegetal (CATAPRETA, 2008).

Já na cobertura evapotranspirativa usa-se uma camada de solo com capacidade de reter a água até que essa seja utilizada pela vegetação de cobertura evapotranspirada pela superfície do solo. Logo, esse sistema de cobertura conta com a capacidade de armazenamento de água, na camada de solo, mais do que com matérias de baixa condutividade hidráulica, para evitar a percolação. (CATAPRETA, 2008)

As coberturas evapotranspirativas funcionam como um sistema de armazenamento de água que a retém no período de precipitação e libera a umidade no período de estiagem.

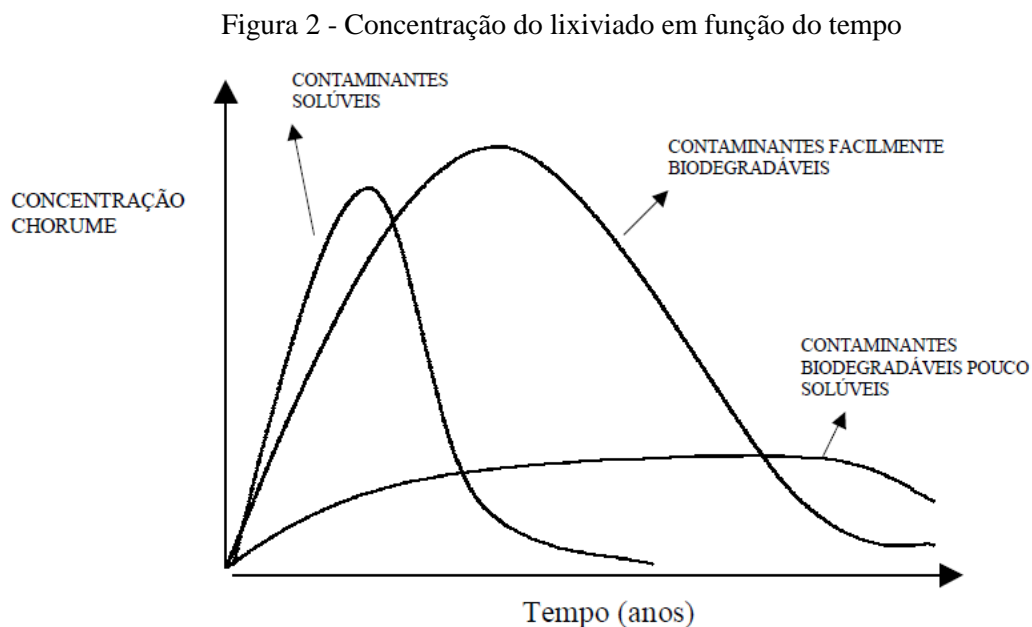
No entanto, esse sistema é aplicado, geralmente, em áreas de climas áridos e semiáridos, enquanto o sistema de coberturas resistivas é indicado para climas úmidos. (CATAPRETA, 2008)

### 3.2.3 Líquidos lixiviados de aterro sanitários

Líquidos lixiviados de aterro, popularmente chamados de chorume, podem ser definidos como líquidos que percolam por meio da massa aterrada, removendo materiais dissolvidos ou suspensos. Na maioria dos aterros sanitários, o lixiviado é composto pelo líquido que entra na massa aterrada de lixo, advindo de fontes externas tais como sistemas de drenagem superficial, chuva, lençol freático, nascentes e aqueles resultantes da decomposição do lixo. (HAMADA, 1997)

O chorume é formado pela digestão de matéria orgânica sólida, por ação de exoenzimas produzidas por bactérias. A função dessas enzimas é solubilizar a matéria orgânica, para que possa ser assimilada pelas células bacterianas (SEGATO, 2000).

Quando a água percola através da massa de lixo aterrada, que está em decomposição, material biológico e componentes químicos são carregados para a solução. A composição química do chorume varia muito, dependendo da idade do aterro e dos eventos que ocorreram antes da amostragem. O gráfico abaixo ilustra a variação da concentração de lixiviado em função do tempo (FARQUHAR, 1988).



Fonte: FARQUHAR, (1988)



Os principais indicadores empregados na caracterização de lixiviados de aterro sanitário são: matéria orgânica com Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO e Demanda química de Oxigênio - DQO, pH, metais, fósforo, enxofre e nitrogênio e análises microbiológicas (AMARAL, 2007).

As fases de degradação em que se encontra o chorume também influenciam nas características do lixiviado. Por exemplo, se o chorume é coletado durante a fase ácida, o pH será baixo, porém parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio- DBO5, Compostos Orgânicos Totais – COT e a Demanda Química de Oxigênio - DQO, nutrientes e metais pesados deverão ser altos. Contudo, durante a fase metanogênica, na qual o pH varia entre 6,5 e 7,5 os valores de DBO5, COT, DQO e dos nutrientes são significativamente menores (HAMADA, 1997).

Segundo CATAPRETA (2008), a carga de contaminantes dos lixiviados é composta de muitas substâncias diferentes, oriundas de fontes diversas. A Tabela 3 ilustra as principais fontes de contaminantes do lixiviado.

Tabela 3 - Fontes de contaminantes no lixiviado

| <b>Íons</b>   | <b>Origem</b>   |
|---|---|
| $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Ca}_2^+$ , $\text{Mg}^{+2}$ | Material orgânico, entulhos de construção, cascas de ovos.                            |
| $\text{PO}_4^{-3}$ , $\text{NO}^{-3}$ , $\text{CO}_3^{-2}$        | Material orgânico   |
| $\text{Cu}^{+2}$ , $\text{Fe}^{+2}$ , $\text{Sn}^{+2}$            | Material eletrônico, latas, tampas de garrafas  |
| $\text{Hg}^{+2}$ , $\text{Mn}^{+2}$                               | Pilhas comuns e alcalinas, lâmpadas fluorescentes                                     |
| $\text{Ni}^{+2}$ , $\text{Cd}^{+2}$ , $\text{Pb}^{+2}$            | Baterias recarregáveis (celular, telefone sem fio, automóveis)                        |
| $\text{Al}^{+3}$  | Latas descartáveis, utensílios domésticos, cosméticos, embalagens laminadas em geral. |
| $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{Ag}^+$                     | Tubos de PVC, negativos de filmes e raios-X   |
| $\text{As}^{+3}$ , $\text{Sb}^{+3}$ , $\text{Cr}^{+3}$            | Embalagens de tintas, vernizes, solventes orgânicos                                   |

Fonte: CATAPRETA, 2008

As características dos líquidos lixiviados dos aterros sanitários estão relacionadas com a idade do aterro, ou seja, com o tempo de disposição dos resíduos. Na Tabela 4, são apresentados valores típicos de parâmetros da composição de líquidos lixiviados de um aterro sanitário, em diferentes idades (CATAPRETA, 2008).

Tabela 4 - Contaminantes do lixiviado de aterro

| Parâmetros                  | Idade do Aterro |                 |                 |               |         |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|---------|
|                             | 0 a 2           | 0 a 5           | 5 a 10          | 10 a 15       | > 20    |
| DBO (mg/L)                  | 2.000–30.000    | 10.000 - 25.000 | 1.000 - 4.000   | 50 - 1.000    | < 50    |
| DQO (mg/L)                  | 3.000 – 60.000  | 15.000 – 40.000 | 10.000 - 20.000 | 1.000 – 5.000 | < 1.000 |
| Nitrogênio Total (mg/L)     | 10 - 800        | 1.000 – 3.000   | 400 - 600       | 75 - 300      | < 50    |
| Nitrogênio amoniacal (mg/L) | 10 - 800        | 500 – 1500      | 300 - 500       | 50 - 200      | < 30    |
| SDT (mg/L)                  | -               | 10.000 – 25.000 | 5.000 – 10.000  | 2.000 – 5.000 | < 1.000 |
| pH                          | 4,5 – 7,5       | 3 - 6           | 6 - 7           | 7 – 7,5       | 7,5     |
| Cálcio (mg/L)               | 200 – 3.000     | 2.000 – 4.000   | 500 – 2.000     | 300 - 500     | < 300   |
| Sódio (mg/L)                | 200 - 2500      | 2.000 – 4.000   | 500 – 1.500     | 100 - 500     | < 100   |
| Potássio (mg/L)             | 200 – 1.000     | 2.000 – 4.000   | 500 – 1.500     | 100 - 500     | < 100   |
| Ferro (mg/L)                | 50 – 1.200      | 500 – 1.500     | 500 - 1.000     | 100 - 500     | < 100   |
| Magnésio (mg/L)             | 50 – 1.500      | 500 – 1.500     | 500 - 1.000     | 100 - 500     | < 100   |
| Zinco (mg/L)                | -               | 100 - 200       | 50 - 100        | 10 - 50       | < 10    |
| Cloreto (mg/L)              | 200 – 3.000     | 1.000 – 3.000   | 500 – 2.000     | 100 - 500     | < 100   |
| Sulfato(mg/L)               | 50 – 1.000      | 500 – 2.000     | 200 – 1.000     | 50 - 200      | < 50    |
| Fósforo (mg/L)              |                 | 100 – 300       | 10 - 100        | -             | < 10    |

Fonte: Fonte: adaptado de O’leary & Tchobanoglous (1994) e El Fadel *et al.* (2002).

(\*) Todos os valores em mg.L<sup>-1</sup>, exceto o pH (adimensional).

A biodegradabilidade do chorume também é outro fator que varia com o tempo e pode ser determinada pela relação DBO<sub>5</sub>/DQO. Inicialmente, essa relação situa-se em torno de 0,5 ou maior; e relações entre 0,4 e 0,6 são indicadores da melhor

biodegradabilidade. Em aterros antigos, a mesma relação situa-se, normalmente, na faixa entre 0,05 e 0,2 (HAMADA, 1997).

Estudos realizados no Brasil procuraram estabelecer parâmetros físico-químicos de líquidos gerados nos aterros nacionais. Desta forma, constatou-se que, em países tropicais, a transição de “chorume novo” e “chorume velho”, provavelmente, acontece no período de um a dois anos, após o início da operação do aterro. Entretanto, a literatura internacional menciona a transição, após um período de cinco anos (SOUTO & POVINELLI, 2007).

Segundo os autores, essa ocorrência se dá devido tanto à decomposição mais rápida dos resíduos, por uma questão de clima quente, quanto ao uso de sistemas de drenagem com brita ou na forma de colchões drenantes. Na Tabela 5, são apresentadas as características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros, segundo SOUTO E POVINELLI (2007).

Tabela 5 - Características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros

| Variável  | Faixa máxima   | Faixa mais provável | FVMP (%) |
|---|----------------|---------------------|----------|
| pH  | 5,7 - 8,6      | 7,2 - 8,6           | 78       |
| Alcalinidade Total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )   | 750 - 11.400   | 750 - 7.100         | 69       |
| Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )               | 95 - 3.100     | 95 - 2.100          | 81       |
| Condutividade (mS/cm)                             | 2.950 - 25.000 | 2.950 - 17.660      | 77       |
| DBO (mg/L)  | < 20 - 30.000  | <20 - 8.600         | 75       |
| DQO (mg/L)  | 190 - 80.000   | 190 - 22.300        | 83       |
| Óleos e graxas (mg/L)                             | 10 - 480       | 10 - 170            | 63       |
| Fenóis (mg/L de C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH) | 0,9 - 9,9      | 0,9 - 4,0           | 58       |
| NTK (mg/L)  | 80 - 3.100     | não há              | -        |
| N-amoniacal (mg/L)                                | 0,4 - 3.000    | 0,4 - 1.800         | 72       |
| N-orgânico (mg/L)                                 | 5 - 1.200      | 400 - 1.200         | 80       |
| N-nitrito (mg/L)                                  | 0 - 50         | 0 - 15              | 69       |
| N-nitrato (mg/L)                                  | 0 - 11         | 0 - 3,5             | 69       |
| P-total (mg/L)                                    | 0,1 - 40       | 0,1 - 15            | 63       |
| Sulfeto (mg/L)                                    | 0 - 35         | 0 - 10              | 78       |
| Sulfato (mg/L)                                    | 0 - 5.400      | 0 - 1.800           | 77       |
| Cloreto (mg/L)                                    | 500 - 5.200    | 500 - 3.000         | 72       |
| Sólidos totais (mg/L)                             | 3.200 - 21.00  | 3.200 a 14.400      | 79       |
| Sólidos totais voláteis (mg/L)                    | 630 - 20.000   | 630 - 5.000         | 60       |
| Sólidos totais fixos (mg/L)                       | 2.100 - 14.500 | 2.100 - 8.300       | 74       |
| Sólidos suspensos totais (mg/L)                   | 5 - 2.800      | 5 - 700             | 68       |
| Sólidos suspensos voláteis (mg/L)                 | 5 - 530        | 5 - 200             | 62       |
| Ferro (mg/L)                                      | 0,01 - 260     | 0,01 - 65           | 67       |
| Manganês (mg/L)                                   | 0,04 - 2,6     | 0,04 - 2,0          | 79       |
| Cobre (mg/L)                                      | 0,005 - 0,6    | 0,05 - 0,15         | 61       |
| Níquel (mg/L)                                     | 0,03 - 1,1     | 0,03 - 0,5          | 71       |
| Cromo (mg/L)                                      | 0,003 - 0,8    | 0,003 - 0,5         | 89       |
| Cádmio (mg/L)                                     | 0 - 0,26       | 0 - 0,065           | 67       |
| Chumbo (mg/L)                                     | 0,01 - 2,8     | 0,01 - 0,5          | 64       |
| Zinco (mg/L)                                      | 0,01 - 8,0     | 0,01 - 1,5          | 70       |

FVMP: Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis

Fonte: SOUTO E POVINELLI (2007)

### 3.2.4 Balanço Hídrico

Outro fator de extrema importância tanto na operação, no controle dos líquidos lixiviados, na decomposição da matéria orgânica quanto na geração de gás de aterro é o balanço hídrico da massa de resíduos.

O princípio do balanço de massa é a base para definição do balanço hídrico, que é uma relação entre precipitação, evapotranspiração, escoamento superficial e armazenamento de água no solo (SILVA, 2005).

Segundo CATAPRETA, (2008) é de extrema importância o conhecimento do balanço hídrico, na operação e na manutenção de um aterro sanitário, uma vez que esse pode influenciar o comportamento geomecânico da massa de resíduos, bem como o dimensionamento dos sistemas de tratamento e drenagem de líquidos.

Outro fator de relevância quanto ao conhecimento do balanço hídrico em um aterro sanitário é sua relação direta com a geração de líquidos percolados. Existem vários modelos que levam em consideração o balanço hídrico para a estimativa de geração de lixiviado, entre eles, o método do Balanço Hídrico Clássico, método Suíço, HELP (*Hydrology Evaluation Leachate Performance*), entres outros.

O método do balanço hídrico permite estimar o percolado, levando em consideração um fluxo unidimensional, na conservação da massa e nas características de transmissão e retenção da cobertura do solo. Esse método necessita de uma grande quantidade de dados meteorológicos, precipitação e evapotranspiração, que são medidos no aterro ou são fornecidos por estações climatológicas (LINS & JUCÁ, 2003)

O método Suíço foi estabelecido a partir de estudos da relação entre a precipitação pluviométrica e o escoamento do líquido lixiviado, estabelecendo uma sistemática empírica para a geração do percolado. Sua metodologia é semelhante ao método do balanço hídrico, porém não leva em consideração a evapotranspiração. O cálculo da vazão média pode ser expresso pela equação 1:

$$Q = \frac{P \cdot A \cdot k}{T}$$

Onde: Q = Vazão do lixiviado (l/s); P = Precipitação média anual (mm); A = Área do aterro; k = Coeficiente que depende do peso específico inicial dos RSU; T = Tempo (segundos/ano)

Já o método HELP foi desenvolvido pela (*United States Enviromental Protection Agency - USEPA*) e é considerado um dos principais modelos para estimar a geração de líquidos percolados. O modelo tem como base o balanço hídrico e executa simulações do movimento da água por meio do aterro sanitário, modelando o fluxo e a remoção da água por meio da evapotranspiração, das condições meteorológicas, da vegetação e das propriedades saturadas e não saturadas dos solos.

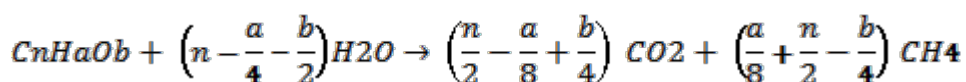
### **3.2.5 Biogás**

O biogás é resultante da decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos dispostos em aterros sanitários, conforme descrito no item 3.1.2. As emissões produzidas pela decomposição dos resíduos são compostas por metano (45% a 60%), dióxido de carbono (40% a 60%), nitrogênio (2% a 5%) e, em quantidades inferiores a 1%, de dezenas de contaminantes orgânicos e inorgânicos conhecidos pela sigla NMOCs (Non-Methane Organic Compounds), que incluem benzeno, tolueno, clorados, mercúrio, organometálicos, etc (ICLEI, 2008).

Embora relativamente constantes, em termos de composição química, as emissões variam tanto em velocidade de produção quanto em quantidade produzida ao longo do tempo de deposição, em função de fatores climáticos, forma de disposição e da própria composição dos resíduos.

Quando os resíduos são depositados em aterros, ou seja, dispostos e compactados a uma densidade específica, uma decomposição anaeróbica se inicia e então surge o biogás,

também conhecido como gás de lixo. As camadas geralmente se tornam estratificadas e, uma vez que a atividade microbiana começa, a produção de biogás se inicia. A formação de metano e gás carbônico se dá, segundo a equação de Busweel & Mueller da seguinte forma (HENRIQUE, 2004) – equação 2:



Onde: C = Carbono, H = Hidrogênio, O = Oxigênio,  $n a b$  = Números dos elementos presente no radical

De acordo com as normas brasileiras (ABNT 8419/92 e 13896/97), os gases provenientes dos aterros sanitários devem ser drenados e tratados. Na maior parte das vezes, a extração do gás se realiza por meio de tubos verticais perfurados, descritos na literatura como drenos de gás, que são a forma mais simples de se retirar o gás do aterro. Os drenos são colocados quando o resíduo ainda está sendo depositado no aterro. Desta forma, ele poderá ser extraído mais facilmente desde o início da sua produção, uma vez que o gás pode ser retirado antes de o aterro ser coberto.

### ***3.3 Legislação Ambiental***

#### **3.3.1 Política Estadual de Resíduos Sólidos**

A legislação ambiental referente a resíduos sólidos ganhou um impulso muito significativo após a promulgação da lei que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, lei 18.031, de janeiro de 2009.

Essa Lei estabelece os princípios, as diretrizes, os objetivos e os instrumentos da Política Estadual de Resíduos Sólidos, pautada por princípios, como os da não-geração, redução, reaproveitamento, reciclagem, tratamento e disposição final adequada.

Um dos objetivos da política é fomentar e valorizar a não-geração, a redução, a reutilização, o reaproveitamento, a reciclagem, a geração de energia, tendo o tratamento e a disposição final adequada dos resíduos sólidos como última alternativa na gestão dos resíduos.

Além desses objetivos, a política também estabelece diretrizes bastante inovadoras no âmbito legal, como a inclusão da adoção do princípio poluidor pagador, a responsabilidade socioambiental compartilhada entre poder público, geradores, transportadores, distribuidores e consumidores no fluxo de resíduos sólidos. Incentiva também o uso de matérias-primas e de insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados.

Com relação aos instrumentos para execução da política, cabe ressaltar a adoção de incentivos fiscais, financeiros e creditícios destinados a atividades que adotem medidas de não-geração, redução da geração, reutilização, reaproveitamento, reciclagem, geração de energia, tratamento ou disposição final de resíduos sólidos, a valorização dos resíduos, a instituição da logística reversa e os Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

A valorização dos resíduos sólidos está definida no artigo 4º, inciso XXXVII, como sendo a requalificação do resíduo sólido como subproduto ou material de segunda geração, agregando-lhe valor por meio da reutilização, do reaproveitamento, da reciclagem, da valorização energética ou do tratamento para outras aplicações.

A política reversa pode ser definida, de acordo com a lei, como sendo o conjunto de ações e procedimentos destinados a facilitar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos aos geradores, para que sejam tratados ou reaproveitados em seu próprio ciclo produtivo ou no ciclo produtivo de outros produtos.

Já o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos é o documento integrante do processo de licenciamento que apresenta um levantamento da situação, naquele momento, do sistema de manejo dos resíduos sólidos. Ele deverá ser elaborado tanto



pelo município, quanto pelos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, prestadores de serviços e pelas demais fontes geradoras previstas em regulamento.

De acordo com a legislação, esse plano é um documento, que tem como objetivo criar procedimentos de gestão de resíduos, tanto no que tange à geração, ao acondicionamento, ao transporte, ao tratamento e à destinação final dos resíduos sólidos como procedimentos em caso de ocorrência que coloque em risco o meio ambiente e a saúde pública.

Com relação aos danos causados ao meio ambiente ou à saúde da população, decorrente de erros ocorridos na gestão de resíduos, desde a geração até a destinação final, a legislação estabelece as responsabilidades pela execução de medidas corretivas, sendo:

- o gerador, nos acidentes ocorridos em seu centro produtivo;
- o gerador e o transportador, nos acidentes ocorridos durante o transporte dos resíduos sólidos;
- o gerador e o gerenciador dos centros de coleta e das unidades de destinação final, nos acidentes ocorridos em suas instalações.

Como pode ser observado, a legislação considera o gerador dos resíduos o responsável por toda gestão desses resíduos, desde a geração até a destinação final. Cabe tanto ao poder público como à iniciativa privada gerenciar seus resíduos de forma responsável, acompanhando todas as suas respectivas etapas de gestão, não só buscando os princípios da não geração como os do reaproveitamento, da reciclagem e da destinação final.

A política estadual de resíduos sólidos torna-se um instrumento legal e os geradores de resíduos, tanto do poder público quanto da iniciativa privada, devem adotá-la nas respectivas gestões. É necessário sempre priorizar os princípios da não geração, da responsabilidade compartilhada, na busca de alternativas que evitem ao máximo a destinação final dos resíduos.

### **3.3.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos**

Em dois de agosto de 2010, o governo federal sanciona a lei 8.305, que institui a política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. Com a sanção da lei, o Brasil passa a ter um marco regulatório na área de resíduos sólidos. A lei faz a distinção entre resíduo (lixo que pode ser reaproveitado ou reciclado) e rejeito (o que não é passível de reaproveitamento).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos. O projeto de lei, que tramitou por mais de 20 anos no Congresso Nacional até que fosse aprovada, responsabiliza as empresas pelo recolhimento de produtos descartáveis (logística reversa), estabelece a integração de municípios na gestão dos resíduos e responsabiliza toda a sociedade pela geração de lixo.

A nova legislação, além de instituir a política, tem um viés educacional, na medida em que dispõe e esclarece sobre princípios, objetivos e instrumentos, concorrentemente, destaca as diretrizes relacionadas com a gestão integrada quanto ao gerenciamento dos resíduos sólidos.

Em geral, o projeto estabelece a “responsabilidade compartilhada” entre governo, indústria, comércio e consumidor final no gerenciamento e na gestão dos resíduos sólidos.

As normas e sanções previstas, em caso do descumprimento da lei, aplicam-se às pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos.

Pela lógica da “responsabilidade compartilhada”, os consumidores finais estão também responsabilizados e terão de acondicionar de forma adequada seu lixo para a coleta, inclusive fazendo a separação nos locais em que houver coleta seletiva.

Depois de sancionada a lei pelo Presidente da República, os municípios terão um prazo de quatro anos para fazer um plano de manejo dos resíduos sólidos em conformidade com as novas diretrizes. Todas as entidades estão proibidas de manter ou criar lixões. As prefeituras deverão construir aterros sanitários adequados ambientalmente, onde só poderão ser depositados os resíduos sem qualquer possibilidade de reaproveitamento ou compostagem.

O infrator que desrespeitar a lei cometerá crime federal, que prevê pena máxima de cinco anos de reclusão e multa, de acordo com as sanções previstas para crimes ambientais relacionados à poluição. A pena, no entanto, não se aplica no caso do lixo doméstico.

Quanto às empresas e empreendimentos privados, a nova legislação altera a Lei 9.605/98 (Lei de Crimes Ambientais) e traz inúmeras inovações que exigirão alterações operacionais na conduta empresarial. Uma das inovações é o compartilhamento de responsabilidades pelo ciclo de vida dos produtos. Neste particular, a lei não se restringe a responsabilizar só os fabricantes, considera, também, responsáveis os importadores, distribuidores, comerciantes e até os consumidores e titulares dos serviços de limpeza urbana ou manejo. A responsabilidade deverá ser implementada de forma individualizada e encadeada.

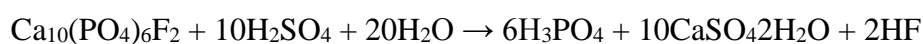
Outro ponto forte abordado pela PNRS é a logística reversa, já existente em casos pontuais como fabricantes de pilhas e pneus. Ela atribui aos responsáveis o recolhimento ou o retorno dos resíduos ou partes inservíveis do produto visando à correta destinação ambientalmente indicada. Inclui também o correto descarte em aterros, embalagens, resíduos da construção civil, dentre outros. Acordos setoriais em todas as instâncias de governo com a iniciativa privada serão pontos fortes da política.

A adequação dos empreendimentos à nova lei será de vital importância e, para que isso possa ocorrer de forma equilibrada e em conformidade legal, contratos com fornecedores e clientes precisarão ser revistos, com compartilhamento dessas responsabilidades.

### 3.4 O fosfogesso

O fosfogesso é descrito na literatura técnica de várias formas como subproduto de gesso, resíduo de gesso, gesso agrícola, gesso químico e gesso sintético. Todos os termos referem-se ao resíduo gerado na produção de ácido fosfórico, matéria prima para produção de fertilizantes (CHANG,1990).

O processo mais usado para a produção de fertilizantes fosfatados é o ataque da rocha fosfática com ácido sulfúrico concentrado, visando tornar o fósforo solúvel e disponível para as plantas. Como resíduo do processo produtivo, tem-se o sulfato de cálcio dihidratado, ou fosfogesso. A formação do sulfato de cálcio dihidratado pode ser resumida segundo a reação a seguir (DESCHAMPS, 2008):



Na produção do ácido fosfórico são utilizadas como matérias primas ácido sulfúrico e rochas fosfáticas em forma de lama com 70% de sólidos. Essa mistura é realizada em um reator no qual ocorrem as reações químicas formando a lama fosfórica que é transferida para filtragem. Nesse processo, é separada a parte líquida da sólida. A parte líquida é o ácido fosfórico diluído com concentração de 27% e a parte sólida é o fosfogesso.

A taxa de geração do fosfogesso é extremamente elevada variando de 4.5 a 5.5 t de fosfogesso por tonelada de ácido fosfórico produzido. Uma das principais formas de disposição do fosfogesso é a disposição em pilhas (CHANG,1990) . Estima-se que, no estado de Minas Gerais, a produção de fosfogesso seja de 3,0 milhões t/ano.

Conforme descrito por DESCHAMPS (2008), a composição média do fosfogesso brasileiro é: 26-28% de CaO; 15-16% S; 0,6-0,75% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> livre; 1,26% SiO<sub>2</sub> insolúvel; 0,63% Fluoretos e 0,37% de óxidos de Al e Fe.

Tendo em vista a presença de radionuclídeos e metais pesados no fosfogesso, torna-se imprescindível sua quantificação e avaliação de mobilidade. De acordo com DESCHAMPS, 2008, análises realizadas no fosfogesso brasileiro, segundo a Norma ABNT 10004/2004, classificam o resíduo com sendo classe IIA, não perigoso, mas não inerte, uma vez que solubilizou acima dos limites os elementos: As, F, Al, Fe, Mn, e Sulfatos (DESCHAMPS, 2008). Os contaminantes encontrados no fosfogesso variam de acordo com o tipo e a eficiência do processo produtivo e com relação às rochas de origem (CHANG,1990).

As análises mineralógicas realizadas no fosfogesso brasileiro, por difração de raio x revelaram que o fosfogesso é 40% gesso, sulfatos de Ca (anidrita e barranita). Os resultados das análises da concentração de atividades dos radionuclídeos revelaram baixa atividade dos radionuclídeos naturais (DESCHAMPS, 2007). As concentrações de  $^{226}\text{Ra}$  (251 Bq/Kg) e  $^{228}\text{Ra}$  (226 Bq/Kg) no fosfogesso estão bem abaixo do valor de 1000 Bq/Kg recomendado pela Agência Internacional de Energia Atômica - CNEN para fins agrícolas e abaixo do valor da EPA, 370 Bq/Kg. Os valores para  $^{210}\text{Pb}$  são comparáveis aos encontrados para  $^{226}\text{Ra}$  e  $^{218}\text{Ra}$ , conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Concentração de atividade dos radionuclídeos naturais (Bq/kg)

| Amostras                 | $^{226}\text{Ra}$ | $^{228}\text{Ra}$ | $^{210}\text{Pb}$ | $^{232}\text{Th}$ | $^{238}\text{U}$ | $^{210}\text{Po}$ |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Fosfogesso - Brasil      | 251 ± 26          | 226 ± 29          | 206 ± 29          | 27 ± 2            | 3,2 ± 0,9        | 229,7 ± 26,3      |
| Limite Fosfogesso (CNEN) | 1000              | 1000              | NR                | NR                | NR               | NR                |
| Limite Fosfogesso (EPA)  | 370               | NR                | NR                | NR                | NR               | NR                |

NR: Não reportado/Fonte: Projeto CNPq (2006)

Limite do fosfogesso para uso agrícola (Brasil/CNEN, EUA/EPA)

Fonte - Deschamps, 2008

### 3.4.1 Pilhas de Fosfogesso

Para a construção das pilhas, deve-se levar em consideração a impermeabilização da base, a fim de garantir a proteção do solo e das águas subterrâneas. O fosfogesso é encaminhado por via úmida, ou seja, por água em forma de lama. A disposição é feita por meio da decantação da polpa em bacias construídas na parte superior da própria pilha. A separação do gesso e da água se dá por decantação.

Com o lançamento da lama de fosfogesso na parte superior da pilha, essa lama é encaminhada para o interior da pilha por canais construídos entre os diques periféricos. Nesses canais, sedimentam-se as partículas mais grossas e as mais finas sedimentam-se no interior das lagoas.

A água, após ser separada do fosfogesso, é encaminhada às lagoas de tratamento, nas quais ocorrem o processo de decantação, a correção de pH e a acumulação. Essa água passa a ser reintroduzida novamente no sistema de transporte do fosfogesso para as pilhas de estocagem, fechando o circuito do processo em questão.

Segundo parecer técnico GEDIM 230/2007 do processo de licenciamento ambiental, processo COPAM 0042/1978/021/2005, uma vez que a lagoa é assoreada pelo gesso, faz-se necessária a elevação dos diques periféricos. Essa elevação, que dão origem aos taludes das pilhas, é realizada pelos materiais de maior granulometria, decantados nos canais.

No pé das pilhas, encontram-se canais responsáveis pela coleta da água de percolação, bem como pela coleta das águas pluviais, que caem sobre a pilha, isolando o sistema das áreas externas.

Os impactos ambientais causados pelas pilhas de fosfogesso estão relacionados com os seguintes fatores (DESCHAMPS, 2008):

- Lixiviação e escoamento superficial de elementos tóxicos (F<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, metais pesados: Cd, As, Zn) e rádio (<sup>226</sup>Ra, <sup>228</sup>Ra, na forma solúvel) resultados da contaminação do solo e dos recursos hídricos,

- radiação gama direta da pilha nos trabalhadores,
- liberação de aerossóis e inalação das emanações de  $^{22}\text{Rn}$  (Radônio).

Uma das maiores preocupações do *United States Environmental Protection Agency* – (USEPA) é com relação à saúde pública e ambiental em relação à disposição e à reutilização do fosfogesso pelo seu teor de rádio que dá origem ao Radônio – Rn, gás inodoro e incolor, que em concentrações extremamente elevadas, pode causar câncer de pulmão. Porém, estudos realizados pelo *Florida Institute of Phosphate Research* – (FIPR) apontam que os efeitos ambientais da reutilização do fosfogesso na construção de estradas e na agricultura são mínimos (CHRIS, 2006).

### **3.4.2 Rochas Fosfatadas**

As rochas fosfatadas, em todo o mundo, encontram-se em depósitos de origens sedimentares, ígneas e biogenéticas. Do ponto de vista econômico, os depósitos mais importantes são de origens ígneas e sedimentares. Os minérios de fosfatos originados de sedimentos marinhos estão localizados nos Estados Unidos, sudeste do México, Marrocos, noroeste do Saara e Oriente Médio. Já os minérios de fosfatos originários de depósitos ígneos estão presentes na África do Sul, Rússia, Finlândia e Brasil, entre outras áreas (CANUT, 2006)

Nas rochas fosfatadas, os vários membros da série natural do Urânio ( $^{238}\text{U}$ ), Tório ( $^{232}\text{Th}$ ) e seus produtos de decaimento encontram-se em equilíbrio radioativo. No processo produtivo de fertilizantes por via úmida, o equilíbrio é quebrado, havendo redistribuição dos radionuclídeos, que passam então a se comportar de acordo com suas propriedades químicas (CANUT, 2006).

Nos fosfatos, os teores de radionuclídeos presentes das séries naturais do U e do Th é bastante variável. A maior parte do  $^{238}\text{U}$  e do  $^{232}\text{Th}$  tende a permanecer no fertilizante enquanto a maior parte do  $^{226}\text{Ra}$  vai para o fosfogesso (DESCHAMPS, 2008).

Fosfatos sedimentares contêm altos níveis de metais pesados, tais como: Hg, Cd, As, Pb, Zn, Cu, Ni e Cr e radionuclídeos, tais como U, Th, Ra, Po se comparado aos fosfatos ígneos. Esses por sua vez são formados pela extrusão da material magmático. Comparadas às rochas sedimentares, as ígneas contêm níveis mais elevados de metais terras raras (DESCHAMPS, 2008). A seguir a Tabela 7, apresenta a composição dos principais componentes e elementos traços em rochas sedimentares e ígneas.

Tabela 7 - Composição dos principais componentes e elementos traços em rocas sedimentares e ígneas

| Principais Constituintes                 | Minerais sedimentares | Minerais ígneos |
|--|-----------------------|-----------------|
|  | (% peso úmido)        | (% peso úmido)  |
| Fosfato ( $\text{PO}_4^{2-}$ )           | 30 - 37               | 35 - 40         |
| Cálcio (CaO)                             | 46-52                 | 48 - 54         |
| Fluoreto (F)                             | 3 - 4                 | 3 - 4           |
| Elementos Traços                         | (ppm)                 | (ppm)           |
| Arsênio (As)                             | 10 - 20               | 1 - 10          |
| Cádmio (Cd)                              | 5 - 50                | 0 - 2           |
| Mercúrio (Hg)                            | < 0,2                 | < 0,1           |
| Metais pesados (Pb, Zn, Cu, Ni, Cr)      | 200 - 800             | 50 - 150        |
| Metais terras raras                      | 100 - 900             | 1400 - 6300     |
| Radioatividade (Bq;Kg <sup>226</sup> Ra) | 700 - 1400            | 10 - 110        |

Fonte : FIPR, 2006

As normas brasileiras não estabelecem um limite máximo de exalação de <sup>222</sup>Rn, porém a USEPA estabeleceu a média de 0,74 Bq /m<sup>2</sup>s (20pCi/ m<sup>2</sup>s) nas pilhas de fosfogesso em território americano (USEPA, 1998). Pelo fato de o Brasil não estabelecer faixas limites de emissão de radônio, a faixa aplicada é a mesma proposta pela USEPA (CANUT, 2006).

### ***3.5 Utilização do fosfogesso como material de construção civil***

O Gesso, devido a suas características de isolamento térmico e acústico, a sua resistência mecânica, além de sua maleabilidade, é um material bastante empregado na construção civil. A maior aplicação do gesso inclusive se dá como revestimento de



paredes, placas, blocos, painéis, tornando-se uma alternativa em relação a outros materiais, como a cal, o cimento, a alvenaria e a madeira. O emprego do gesso também é bastante comum na solução de problemas, como vigas aparentes ou rebaixamentos em geral.

O fosfogesso devido à semelhança com o gesso e a suas propriedades físicas e químicas, pode ser substituído em várias aplicações na construção civil, como na construção de divisórias, placas, forro, pisos e revestimentos.

Na Pontifícia Universidade Católica de Poços de Caldas, no estado de Minas Gerais, foi realizada a construção de uma casa modelo com estrutura metálica e vedação com uso de divisórias de fosfogesso. Neste trabalho, estão sendo avaliados todos os parâmetros relativos às propriedades físicas e mecânicas do material (CANUT, 2006).

No estado de São Paulo uma empresa desenvolveu um método para construção de paredes internas e externas, piso forro, isolante térmico e acústico, ou seja, pré-moldados com a utilização do fosfogesso. O processo consiste em transformar o sulfato de cálcio di-hidratado em sulfato de cálcio hemi-hidratado, matéria prima para produção de peças de gesso. O pó do hemi-hidratado é umedecido, compactado e secado a 50°. Assim obtém-se produtos de gesso com resistência à compressão e à tração de até 100 e 35 MPa, respectivamente (ROSSETO, 2005).

Estudos desenvolvidos na Universidade Federal de Minas Gerais avaliaram o uso do fosfogesso como material de construção. Segundo os estudos, foram compostos cinco tipos de amostras com proporções diferenciadas da mistura de gesso e fosfogesso. As composições propostas tiveram como objetivo avaliar as propriedades físicas e mecânicas nos corpos de provas e nas pastas que os compuseram, a partir da substituição parcial e total do gesso pelo resíduo fosfogesso. Foram avaliados não apenas testes nos corpos de prova como também no fosfogesso. Segundo as análises químicas apresentadas no estudo para aplicação na indústria de pré-moldados, o fosfogesso apresenta uma composição química que não interfere na qualidade final dos produtos fabricados (CANUT – 2006).

A composição do fosfogesso é semelhante à composição do gesso tradicional de pega rápida, consumido pela indústria da construção civil e as impurezas encontradas, por serem de baixo teor, também não influenciam na qualidade do produto final. De acordo com CANUT (2006), pôde-se observar que não houve diferença na fabricação de peças pré-moldadas como blocos de alvenaria, divisórias, rebaixamento de teto, usando gesso e misturas de gesso com fosfogesso, indicando o uso do resíduo na fabricação dessas peças.

### ***3.6 Utilização do fosfogesso em aterros sanitários – experiência americana***

No estado da Flórida, concentra-se a maior produção de fertilizantes da América do Norte, visto que é detentor das matrizes de rochas fosfatadas. Com o intuito de desenvolver tecnologias na área de processo de produção de fertilizantes e também como alternativa para os problemas ambientais oriundos da atividade, foi criado em 1978 o *Florida Institute of Phosphate Research* –( FIPR).

Considerando os problemas da destinação do fosfogesso no estado, o FIPR, em parceria com o *Florida Institute of Technology*, desenvolveu uma pesquisa em torno da utilização do fosfogesso na cobertura de aterros sanitários, objetivando a aceleração da decomposição da matéria orgânica, uma vez que esse resíduo é rico em sulfato de cálcio, utilizado como fonte de energia pelas bactérias anaeróbicas encontradas nos aterros sanitários.

Há boas evidências que sugerem que a adição do fosfogesso no aterro sanitário aumenta a biodegradação dos resíduos sólidos urbanos. Durante a primeira fase de decomposição dos resíduos no aterro, o processo de degradação é essencialmente aeróbico, ou seja, com o oxigênio disponível, o dióxido de carbono é o principal gás produzido. Quando há a depleção do oxigênio disponível, o processo passa a ser anaeróbico, sendo o metano o principal gás produzido em quantidades significativas. Como o fosfogesso possui o sulfato em sua composição, pode-se supor que as colônias de bactérias poderão utilizá-lo como fonte de energia para, após o consumo do oxigênio livre pelas bactérias

aeróbicas, decompor a matéria orgânica, reduzindo o acúmulo desse resíduo nas pilhas e aumentando a vida útil do aterro. A seguir serão descritos as metodologias e os resultados das etapas dessa pesquisa.

Para determinar se o uso do fosfogesso como cobertura de aterro sanitário é tecnológica e ecologicamente viável, a pesquisa foi estruturada em três fases. As fases I e II foram conduzidas em laboratório, enquanto na Fase III foi proposto um estudo em um aterro de escala real. A fase I da pesquisa foi realizada em dois anos (1994 - 1996) para determinar a viabilidade da hipótese e desenvolver as melhores condições para o processo. A fase II, realizada em três anos, aplicou os resultados da Fase I em condições de simulação de um aterro sanitário, entretanto a fase III não foi realizada.

No primeiro ano, foram realizados experimentos para determinar a quantidade de fosfogesso a ser utilizado para maior eficiência do processo de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos e para investigar a metodologia para aplicação em aterros. No segundo ano, foram realizados estudos para definir essa metodologia padrão de aplicação.

Os resultados do experimento forneceram as informações necessárias sobre a biodegradação anaeróbia dentro de um determinado período de tempo. Os valores de pH obtidos a partir do estudo caíram inicialmente. No entanto, subiram ao longo do período, o que está em concordância com as referências teóricas, já bem definidas pela literatura (SHIEH, 2008).

Com relação ao monitoramento dos gases, os estudos da fase I demonstraram que a introdução do fosfogesso em um digestor anaeróbico prolonga o tempo de produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e retarda a formação de metano ( $\text{CH}_4$ ) (SHIEH, 2008).

A análise de sulfato, com base nos dados analíticos e nos valores calculados, indicaram que de fato as bactérias consumiram o sulfato sob condições anaeróbicas. Os resultados revelaram também que a razão recomendada de fosfogesso/resíduos é de 1/3 (SHIEH, 2008).

Os estudos da fase II, com duração de três anos, objetivaram demonstrar se os resultados da fase I seriam significativos quando utilizados resíduos sólidos urbanos propriamente ditos. Foram realizados experimentos para medir a redução de sólidos voláteis em um intervalo de amostragem de três meses, durante um período de dois anos, a fim de determinar o grau de biodegradação de resíduos sólidos urbanos em função do tempo. Para garantir a semelhança dos resíduos utilizados no experimento com os resíduos sólidos urbanos produzidos pela população, foi preparado um resíduo matriz com características dos resíduos produzidos pela população americana com base em dados de literatura, composto de resíduos alimentares (12,5%) resíduos de poda (10,5%), papel (44,2%), plástico (5,8%), têxtil (1,5%), madeira (1,9%), metais (8,0%), vidro (7,7%), sujeira e pedras (7,9%).

O monitoramento do sistema teve início logo após o preenchimento deste pelos resíduos. Parâmetros como balanço hídrico e temperatura foram avaliados durante a realização dos ensaios. A produção de gases no interior dos digestores ocorreu rapidamente nos primeiros 15 dias e continuou a aumentar a um ritmo mais lento. A produção contínua de gases indicou que o digestor estava funcionando como o esperado. A experiência americana demonstrou que a produção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) foi antecipada e o aumento da produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) ocorreu em torno de 40° dia. Notou-se também que houve uma elevação significativa de metano após 100 dias. Este fenômeno, apoiado nos resultados da fase I, indicou que a introdução do fosfogesso no digestor anaeróbico prolonga a produção de ( $\text{CO}_2$ ) e retarda a produção de metano ( $\text{CH}_4$ ) (SHIEH, 2008).

Ao final de cada etapa de teste, foram analisados os resíduos para identificar o grau de decomposição ocorrido. Resultados analíticos indicaram que aproximadamente 90% de sólidos voláteis nos reatores experimentais, com adição de fosfogesso, foram degradados no prazo de 12 meses de exposição, enquanto que menos de 50% de sólidos voláteis nos reatores de controle, ou seja, sem adição de fosfogesso, foram degradadas no mesmo período (SHIEH, 2008).

Os resultados demonstraram que a aplicação de fosfogesso na razão de 1/3 em relação aos resíduos sólidos urbanos, em condições anaeróbicas acelera a decomposição desses resíduos em até 50% (SHIEH, 2008).

### ***3.7 Uso do fosfogesso na agricultura***

Tanto na Europa quanto nos Estados Unidos, os benefícios do uso do gesso na agricultura são conhecidos há muitos anos. Antes da revolução industrial, a mineração de gesso era a única fonte disponível para uso na agricultura. Desde então, vários coprodutos de gesso surgiram no mercado, sendo o fosfogesso o mais expressivo em termos de tonelagem. Nos Estados Unidos, foi desenvolvida uma pesquisa, pela Universidade de Auburn, que demonstrou aumento no rendimento em culturas de trigos com a aplicação do fosfogesso no solo. Foram testadas também várias culturas e embora não tenha aumentado o rendimento de todas, o fez para a maioria (DESCHAMPS, 2007).

Na Espanha e também na Grécia, o fosfogesso é usado como cálciocondicionador em solos sódicos. Os objetivos são diminuir a saturação em sódio, aumentar a disponibilidade de fósforo para as culturas e reduzir a sorção de fósforo nos solos.

Comparado com outras formas de utilização, o fosfogesso na agricultura se mostrou bastante vantajoso, principalmente por questões econômicas. Estudos desenvolvidos nos Estados Unidos demonstraram que o uso do fosfogesso é a melhor maneira para suprimento de enxofre nos solos da Flórida, uma vez que todo sudeste do país é geralmente deficiente desse elemento.

No entanto, segundo estudos desenvolvidos pelo *Florida Institute of Phosphate Research – (FIPR)*, a maior vantagem do uso do fosfogesso é nas pastagens. O enxofre contido no fosfogesso possibilita o crescimento de gramíneas com mais proteínas. Assim, elas se tornam mais digestíveis para a criação, resultando em cerca de 20 % de ganho de peso para os animais.

Estudos desenvolvidos por GUIDRY (1990) visaram examinar os níveis de radioatividades em alimentos cultivados em terras que foram recuperadas após a mineração. As amostras de alimento e de solo foram submetidas a radioensaio de rádio-226, chumbo-210 e polônio-210. Os resultados demonstraram que os alimentos cultivados em terras de mineração de fosfato foram estatisticamente superiores às concentrações desses radionuclídeos encontrados em alimentos cultivados em outras terras. Porém, as doses encontradas são muito baixas e não são consideradas um perigo para a saúde. A diferença de concentração encontrada é considerada "insignificante" pelo Conselho Nacional de Proteção Radiológica Americano.

### **3.7.1 Restrição ao uso do fosfogesso nos Estados Unidos**

Há muito se sabe da ocorrência natural do urânio associado aos depósitos de fosfato encontrados na região central da Flórida. Devido a sua baixa solubilidade, o urânio não é, geralmente, considerado como um grande perigo ambiental, mas muitos dos membros dentro da série de decaimento do urânio apresentam motivo de preocupação. Estes incluem rádio-226, um elemento radioativo quimicamente semelhante ao cálcio; radônio-222, um gás quimicamente inerte, mas radioativo; dois produtos de decaimento de vida mais longa: chumbo -210 e polônio-210 (GUIDRY, 1990).

Preocupada com a contaminação do meio ambiente e dos trabalhadores rurais pelo fosfogesso utilizado na agricultura, a USEPA, baseada em estudos próprios, proibiu o uso do fosfogesso na agricultura e em outras formas de utilização, nos Estados Unidos.

Porém, estudos realizados pelo FIPR demonstraram que as taxas de aplicação de fosfogesso assumidas pelo USEPA e utilizadas como base para a proibição de uso agrícola foram consideradas muito elevadas e exageradas. Dessa forma, os estudos de análise de risco realizados pela USEPA, baseados em taxas muito elevadas de aplicação, foram considerados irrealistas pelos pesquisadores do FIPR. Em vista disso, concluíram que a proibição do uso do fosfogesso deve ser revista pelo órgão ambiental americano, pois a proibição é desnecessária e resulta em prejuízo econômico para o estado da Flórida. (SUMNER, 1995).

## **4 Metodologia**

O trabalho teve início com base nas pesquisas realizadas pelo *Florida Institute of Phosphate Research* (FIPR), descrito no item 3.6, quando foi apresentada a utilização do fosfogesso com cobertura de aterro sanitário

A partir da necessidade de se realizar uma pesquisa em escala real, foi proposta a construção de um aterro experimental de resíduos sólidos urbanos, composto de duas células, uma com camadas de fosfogesso, outra sem o fosfogesso. O objetivo foi comparar os resultados da influência do produto nos líquidos nos lixiviados das células.

### ***4.1 Composição Gravimétrica***

O processo de caracterização dos resíduos sólidos domiciliares foi realizado pela Secretaria Adjunta de Limpeza Urbana, do município de Contagem/MG, no período compreendido entre os dias 24 a 29 de agosto e entre os dias 02 e 05 de setembro de 2009.

Para a amostragem, os critérios adotados pela equipe da prefeitura levaram em consideração algumas variáveis socioeconômicas do município. Desse modo, a quantidade de amostras foi definida de acordo com a proporção resultante entre a população total e a ocorrência de estratos sociais, conforme os setores censitários que compõem a cidade. Esses setores são perímetros definidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) compreendidos por domicílios com características socioeconômicas homogêneas, analisadas através de 14 variáveis. Essas variáveis consideram as dimensões, infraestrutura e acessos da localidade e variam de A a E. Atendendo a esse critério, foram coletadas 42 (quarenta e duas) amostras realizadas nas rotas predefinidas antes do atendimento pelo caminhão compactador. Cada amostra representa um caminhão basculante com capacidade de 6m<sup>3</sup> com carroceria preenchida, sem a organização dos resíduos.

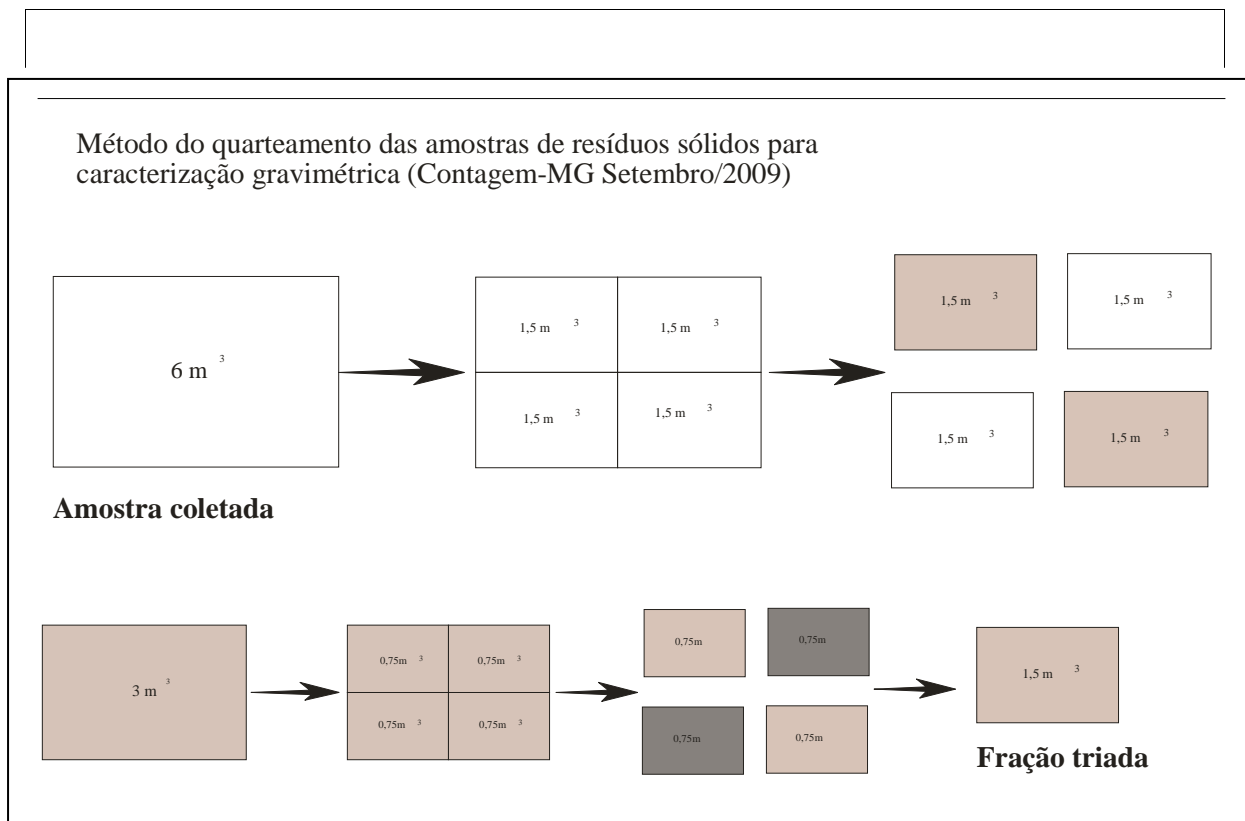
A coleta das amostras atendeu aos procedimentos especificados na metodologia desenvolvida pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – (CETEC). Assim, somente foram coletados os resíduos domiciliares correspondentes a uma residência (dispensando os acúmulos em pontos isolados sem referência da origem). Após a coleta em 01 residência, saltam-se outras 03, adotando o mesmo procedimento para os dois lados das vias percorridas. Foram mapeadas e selecionadas vias de concentração comercial para o recolhimento de amostras que representassem os resíduos do seguimento comercial.

Após a composição de cada uma das amostras, os caminhões foram pesados na balança do aterro sanitário e, em seguida, esse resíduo foi levado para o galpão da ASMAC (Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Contagem), para a realização da triagem.

Na realização da triagem, adotou-se o método do quarteamento. A utilização desse método determina a divisão dos resíduos de cada amostra em quatro partes semelhantes. Em seguida, dispensam-se duas partes, misturam-se as duas restantes e divide-se em quatro partes novamente, dispensando-se duas e ficando com as duas restantes para a realização da triagem (Quadro 1).



## Quadro 1 - Quarteamento



Fonte: Prefeitura Municipal de Contagem - 2009

A partir da obtenção da porção determinada para a triagem, deu-se início à separação dos resíduos por tipo de material (Matéria Orgânica, Papel, Plástico, Metal, Vidro, Trapo, Restos de Banheiro, Entulhos, Outros), que foram dispostos em tambores de 200 litros com identificação de sua tara e do tipo de material a ser recebido. Ao final da triagem, os tambores foram pesados e os resultados anotados na ficha de caracterização da amostra. As frações de resíduos dispensadas durante o quarteamento foram dispostas em caçamba e enviadas ao aterro sanitário municipal.

### 4.2 Construção do aterro experimental

Para a construção do aterro experimental, foram definidas suas dimensões a partir das dimensões propostas na pesquisa desenvolvida pelos americanos, descrita por SHIEH

(2008). Assim, determinou-se que as células teriam 8 metros de comprimento, 15 metros de largura e 4 metros de profundidade.

Depois de estabelecidas as dimensões, foi realizada uma pesquisa para o levantamento do melhor local para instalação do experimento. Para isso, definiu-se como critério que essas áreas deveriam ser instaladas em um aterro sanitário, devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente, uma vez que, para o preenchimento das células com resíduos, seria necessária a infraestrutura de um aterro, como balança, o controle de entrada dos resíduos, bem como a logística de recebimento desses materiais.

Assim, foram avaliados alguns dos aterros do Estado e decidiu-se pelo aterro sanitário de Contagem, cuja proximidade da cidade de Belo Horizonte colaboraria para o acompanhamento da pesquisa.

Para a construção das células no aterro municipal de Contagem, foi celebrado um termo de cooperação técnica entre a Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM - e a prefeitura. Esse termo estabelece as responsabilidades das partes. Coube à FEAM a coordenação e condução de todo o experimento, a construção das células, incluindo a coleta e o envio das amostras do lixiviado e do gás para análise química e sua avaliação e interpretação. À prefeitura, coube o fornecimento do espaço físico para construção das células, a disposição dos resíduos e sua compactação. O termo de cooperação técnica celebrado entre as partes encontra-se no Anexo I.

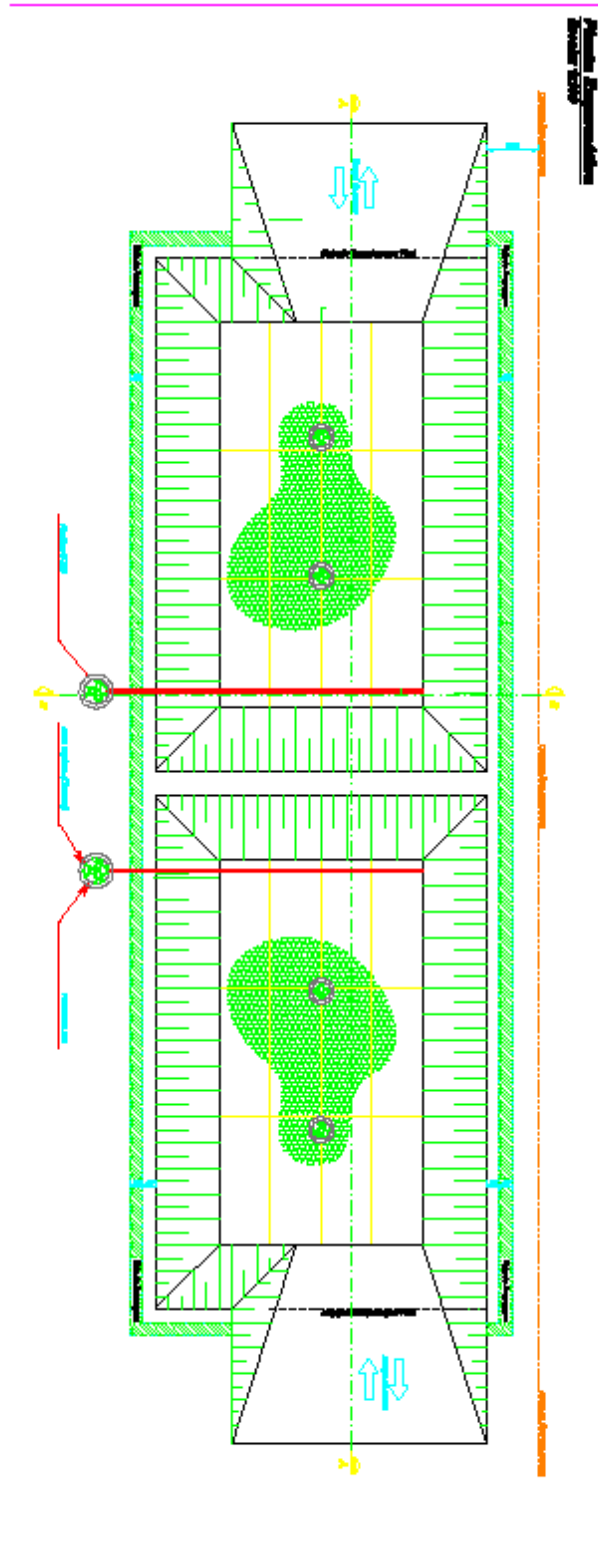
Com a definição do local de implantação das células dentro do aterro, iniciou-se o trabalho de escolha da área para implantação das células. Como critérios, foram consideradas a topografia do terreno, uma vez que terrenos com inclinações mais elevadas dificultariam a execução das obras e a escolha de áreas que não comprometeriam o desenvolvimento dos estudos, pela expansão do aterro.

Escolheu-se uma área plana, sem necessidade de supressão de vegetação. Não foi realizada a caracterização do solo local, uma vez que essa análise já havia sido avaliada pelos órgãos ambientais competentes. Na área, foram locadas as duas células, dispostas

uma de frente para a outra. As células denominadas de célula Fosfogesso - CF e célula Branca – CB, conforme croqui abaixo, ficaram com as seguintes medidas:

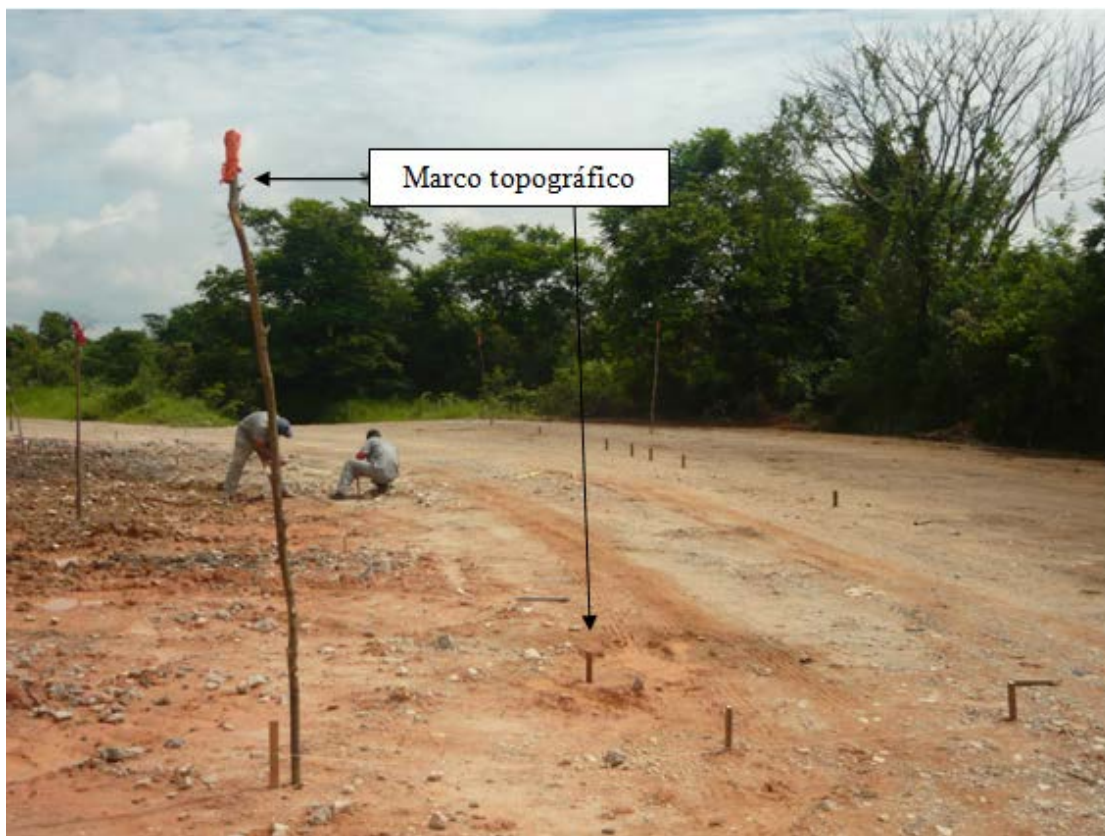
- largura da base – 8 m;
- comprimento da base – 15 m;
- profundidade – 4 m;
- largura de topo – 10 m;
- comprimento de topo – 18 m.

Figura 3 - Croqui do aterro experimental



Definidas as novas dimensões, começou-se o trabalho de topografia para demarcação das áreas das células, conforme Figura 4. As células foram demarcadas com piquete de madeira e linhas de nylon para iniciar as escavações.

Figura 4 - Marco topográfico para escavação das Células



As células foram escavadas com retroescavadeira, obedecendo às dimensões definidas no projeto. Além das escavações, foi realizada a conformação das laterais das células, além da conformação da base, objetivando homogeneizar as superfícies para aplicação da camada de impermeabilização.

Em paralelo à escavação das células, fez-se a perfuração manual dos poços de coletas de lixiviado em ambas as células, conforme Figura 5. Esses poços de coletas com profundidade de cinco metros foram devidamente impermeabilizados. Com capacidade de estocagem de um metro cúbico, encontravam-se nas laterais das células, conforme planta – anexo II.

Figura 5 - Escavação manual do poço de coleta de chorume



#### **4.2.1 Sistema de impermeabilização de base**

A impermeabilização teve por objetivo proteger e prevenir contaminação do solo e das águas subterrâneas pelo lixiviado do aterro. Essa impermeabilização das células foi feita com geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) com espessura de 2 mm e um coeficiente de permeabilidade na ordem de  $10^{-12}$  cm/s.

Para aplicação da manta, fez-se o preparo da base com uma camada de solo argiloso de 50 cm de espessura, compactado com passadas contínuas de retroescavadeira de aproximadamente 6 t, garantindo o nivelamento. Ao finalizar essa etapa, fez-se a inspeção visual para verificar se não havia nenhum material contundente que poderia ferir a manta. A aplicação da manta foi realizada por uma empresa especializada, bem como os testes de estanqueidade.

Os painéis de geomembrana de PEAD são unidos por aquecimento das faces, por meio de uma máquina autopropelida dotada de uma cunha quente com controle automático de velocidade e de temperatura, conforme Figura 6.

Figura 6 - Detalhe da solda entre os painéis de PEAD



O teste de estanqueidade realizado foi o “Spark Test”, utilizado para detectar qualquer tipo de descontinuidade ou furos em todos os painéis instalados e é constituído por uma fonte de baixa amperagem e alta tensão (20.000 a 100.000 V).

Ligados à fonte há uma escova ou barra metálica que é passada lentamente pelos painéis, conforme Figura 7. A geomembrana funciona como isolante e qualquer descontinuidade gera um diferencial de potencial cuja área o aparelho detecta, sinalizando com uma faísca e um sinal sonoro.

Figura 7 - Teste de estanqueidade – Spark Test





#### 4.2.2 Drenos de lixiviado

Após a realização do teste de estanqueidade, começaram-se os trabalhos para instalação dos drenos do lixiviado. De acordo com os projetos licenciados pelo órgão ambiental do estado de Minas Gerais, como a aterro sanitário de Uberaba, Uberlândia, João Monlevade, a conformação mais comum de drenos de chorume é em espinha de peixe. Porém, como se trata de um aterro experimental, optou-se por implantar “colchões” drenantes em toda a base da célula. Com essa alternativa, esperava-se que os líquidos lixiviados drenassem mais rápido que no outro sistema.

Os colchões utilizados com dimensões de 23 cm de espessura; 2,0 m de largura e 3,0cm de comprimento foram instalados em toda a base da célula. Dentro da armação utilizaram-se pedras de mão, conforme observado na Figura 8. Antes da instalação do sistema de dreno, foi aplicada sobre a manta, uma camada de 50 cm de solo, objetivando sua proteção mecânica, tanto na instalação dos drenos como na conformação dos resíduos.

Figura 8 - Construção do dreno de lixiviado





A base das células foi escavada com uma inclinação a fim de direcionar todos os líquidos lixiviados drenados para um dreno secundário que os conduz para o poço de coleta, conforme Figura 9. O dreno secundário foi rebaixado e sobreposto pelo colchão drenante, constituído por dois canos totalmente perfurados em sua extensão, recobertos por pedras de mão e revestidos com manta geotextil.

Figura 9 - Dreno de condução do lixiviado para o poço de coleta



#### 4.2.3 Drenos de gás

Para o dimensionamento da drenagem de gás, houve muita dificuldade em se encontrar metodologia científica para o projeto do sistema quanto ao número de drenos e quanto à espessura do mesmo, uma vez que as normas brasileiras NBR-8419/1992 e NBR-13.896/1997 mencionam apenas a necessidade de se instalar os drenos de gases sem detalhar suas características.

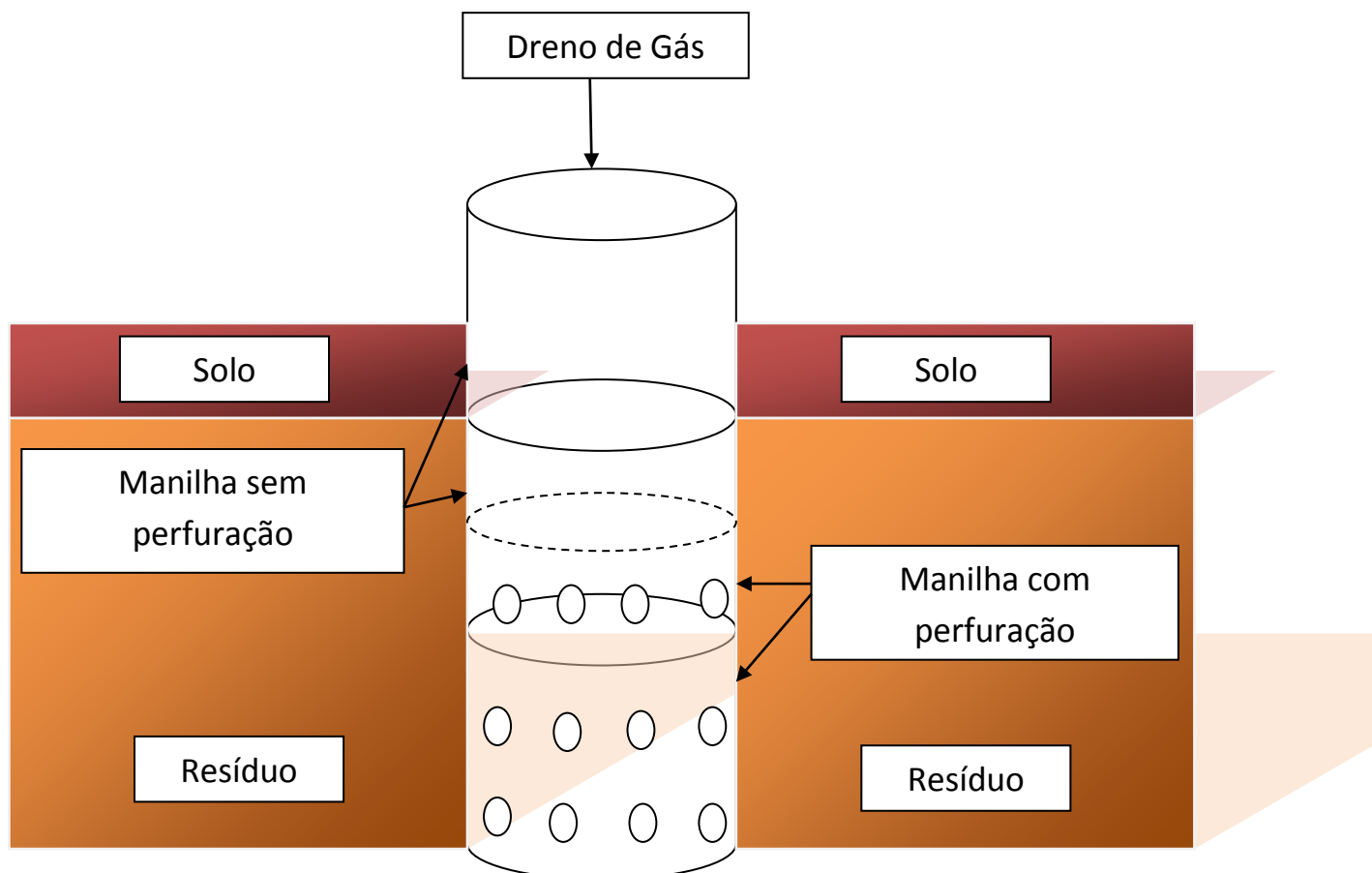
Considerando-se que aterros sanitários de grande porte utilizam, em sua grande maioria, manilhas de 1 m de diâmetro por célula finalizada, optou-se por um dreno com essa dimensão a ser instalado da base até um metro acima da camada de cobertura final. O dreno é composto por manilhas de concreto, perfuradas e preenchidas com pedras de mão.

Entretanto, ao analisar a localização do dreno, as questões de preenchimento e a compactação da massa de resíduos, pôde-se observar que essas etapas seriam bastante comprometidas, caso o dreno fosse erguido junto à disposição dos resíduos, principalmente pela mobilidade do trator dentro da célula. Assim, o sistema de drenagem de gás só foi implantado após o preenchimento total das células.

Para a implantação do sistema de drenagem, foi feita uma escavação da massa de lixo até a base da célula por uma escavadeira mecânica. Depois de aberta a vala, as manilhas foram colocadas, com o auxílio da lança da escavadeira e preenchidas com pedra de mão. Após essa etapa, os resíduos foram recolocados na vala, compactados com a concha da escavadeira e manualmente, com soquetes.

Visando impedir o escapamento dos gases pelas laterais do dreno, realizou-se a perfuração parcial da última manilha em contato com os resíduos, conforme Figura 10. 1.

Figura 10 - Desenho esquemático do detalhe do dreno de gás





Na abertura superior da manilha, foi instalado um redutor de fluxo que consiste em uma manilha de cerâmica de 20 cm de diâmetro e um metro de comprimento, fixada com concreto na abertura superior da última manilha, conforme Figuras 11 e 12.

Figura 11 - Dreno de gás - manilha preenchida com pedra de mão



Figura 12 - Dreno de gás com redutor



#### **4.2.4 Preenchimento das células**

Para o início do preenchimento das células, optou-se por começar pela CB, com o objetivo de adequar a compactação e a conformação dos resíduos. Isso se fez necessário, uma vez que a conformação da rampa de compactação e as manobras do trator de esteira em uma célula escavada são operações mais complexas e diferentes das operações corriqueiras em um aterro sanitário convencional.

O início do preenchimento da CB foi realizado no dia 11 de fevereiro de 2010 e o final no dia 12, totalizando 88 caminhões, 407.5 t de resíduos em dois dias de jornada de trabalho completas, ou seja, todos os resíduos do município de Contagem, dispostos para coleta nestes dois dias do mês, foram destinados à célula Branco.

Para se controlar a entrada dos resíduos, tomou-se como referencial a balança, na qual os caminhões eram pesados e identificados quanto a sua rota de coleta pelas placas dos veículos. Já na área de disposição, também era acompanhada a entrada de resíduos na célula com o registro das placas. Posteriormente, foi realizada a comparação dos controles, a fim de checar se não houve desvio de caminhões para de operação do próprio aterro, para comprovação da quantidade de resíduos dispostos, o que não foi constatado.

O modelo utilizado para o espalhamento e a compactação dos resíduos é um trator de esteira, Caterpillar D 6 de 20 t. Antes da conformação da rampa de compactação, realizou-se o espalhamento do lixo por toda a base da célula em uma camada de aproximadamente 40 cm com o objetivo de proteger a estrutura do dreno de base. Posteriormente, iniciou-se a conformação da rampa de compactação direcionando os resíduos para o fundo da célula de modo a que o trator pudesse realizar várias passadas em uma conformação inclinada, conforme Figura 13.

Figura 13 - Conformação e compactação dos resíduos



Toda operação de preenchimento e compactação dos resíduos foi acompanhada de perto para orientar o tratorista quanto à proximidade da lâmina e da esteira do trator com a manta. Assim pôde-se certificar que não houve nenhum comprometimento do sistema de impermeabilização da célula.

Para o preenchimento da CF, foi realizado o cálculo da quantidade de fosfogesso em relação à quantidade de resíduos, tomando como referência os estudos realizados pelo FIPR, que é a razão de 1/3 de fosfogesso em relação aos resíduos sólidos urbanos. Foram realizadas várias situações para definição da quantidade de camada de cobertura que seria utilizada e chegou-se à conclusão de que a célula teria três camadas de cobertura.

Para a conformação dos resíduos e das camadas de cobertura, o procedimento adotado foi as marcações com tinta branca, pela equipe de topografia, das três camadas predefinidas nas laterais da célula, conforme Figura 14.



Figura 14 - Marco orientativo - Célula Fosfogesso



O operador do trator de esteira foi orientado a preencher com resíduos apenas até a marca. Assim que as camadas com resíduos fossem preenchidas, era verificada com a balança do aterro a quantidade disposta, para saber a quantidade de fosfogesso necessária para o recobrimento. O fosfogesso então era pesado na quantidade predefinida e era espalhado pelo trator. Posteriormente, o procedimento era repetido nas próximas camadas subsequentes. A Figura 15 ilustra a disposição de resíduos e de fosfogesso na célula.

Figura 15 - Camada de fosfogesso e resíduos



Para o encerramento e o fechamento das células, adotou-se como cota máxima de preenchimento até 40 cm a menos que o topo. Posteriormente, foi aplicada uma camada de 60 cm de solo argiloso e compactado com múltiplas passadas do trator de esteira.

#### 4.2.5 Coleta de amostras de lixiviado

A coleta de amostra obedeceu aos procedimentos estabelecidos pelo laboratório do CETEC. Os frascos eram numerados e a instrução era de acordo com a numeração dos frascos.

Para a coleta das amostras, faziam-se a separação e a identificação dos frascos quanto ao local da coleta, de acordo com a Figura 16 sendo a identificação descrita como lixiviado com fosfogesso e lixiviado sem fosfogesso. Posteriormente, realizavam-se a coleta com um balde e o preenchimento dos frascos, conforme Figura 17, obedecendo



as instruções do laboratório. Após o preenchimento, os frascos eram dispostos em uma caixa de isopor contendo gelo e eram encaminhados ao laboratório.

Figura 16 - Separação e identificação dos frascos



Figura 17 - Coleta e preenchimento dos frascos



## 5 Resultado e Discussão

### 5.1 Composição gravimétrica dos resíduos sólidos

No presente estudo, a determinação da composição gravimétrica teve como objetivo identificar o percentual de matéria orgânica e, também, o percentual de materiais recicláveis contidos nos resíduos sólidos urbanos do município.

Os resultados abaixo foram disponibilizados pela Secretaria Municipal Adjunta de Limpeza Urbana e demonstram que o município possui em média 36,49% dos seus resíduos em matéria orgânica, 20,86% em outros resíduos, 16,97% em restos de banheiro, 10,20%, 7,25%, 2,67% e 2,83% em papéis, plásticos, metais e trapos, respectivamente. A Tabela 8 ilustra a composição gravimétrica do município de Contagem.

Tabela 8 - Composição Gravimétrica do município de Contagem

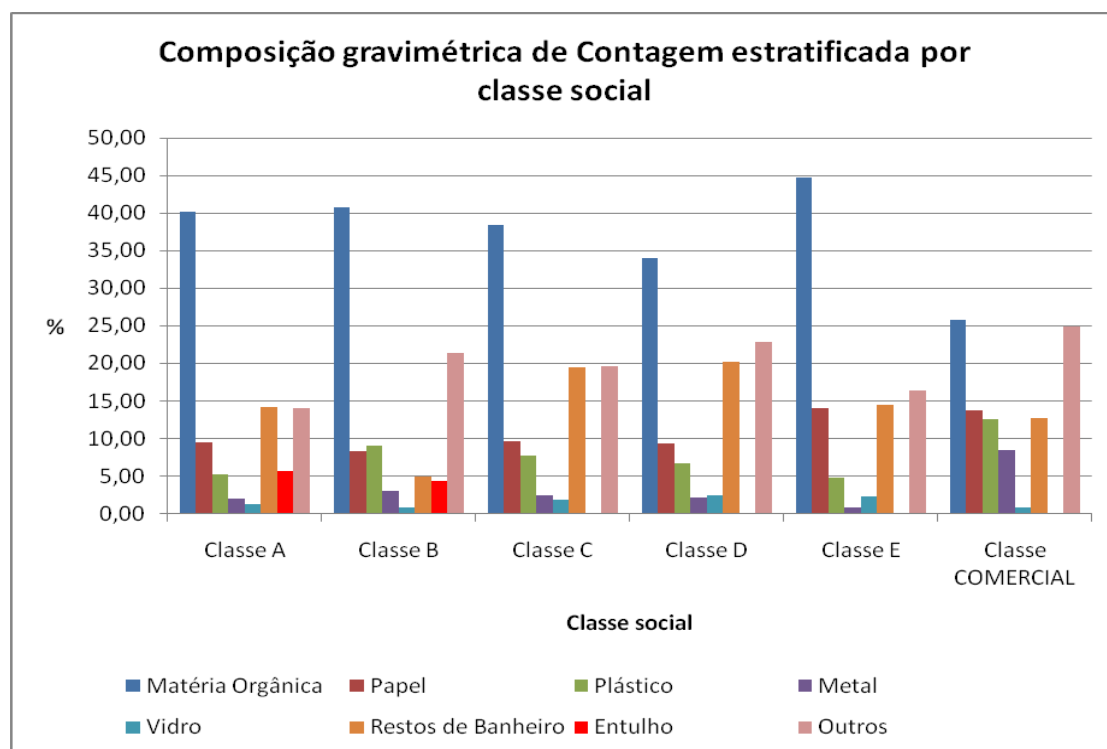
| Estrato Social              | COMPONENTES DA AMOSTRA (%) |              |             |             |             |             |                    |             |              | TOTAL (%)  |
|-----------------------------|----------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|--------------|------------|
|                             | Matéria Orgânica           | Papel        | Plástico    | Metal       | Vidro       | Trapo       | Restos de Banheiro | Entulho     | Outros       |            |
| Classe A                    | 40,19                      | 9,45         | 5,19        | 2,06        | 1,31        | 7,96        | 14,25              | 5,62        | 13,98        | 100        |
| Classe B                    | 40,69                      | 8,34         | 9,10        | 3,03        | 0,82        | 7,40        | 4,93               | 4,31        | 21,38        | 100        |
| Classe C                    | 38,43                      | 9,58         | 7,72        | 2,44        | 1,87        | 0,92        | 19,45              | 0,00        | 19,58        | 100        |
| Classe D                    | 34,04                      | 9,35         | 6,65        | 2,20        | 2,38        | 2,35        | 20,18              | 0,00        | 22,85        | 100        |
| Classe E                    | 44,65                      | 14,01        | 4,82        | 0,88        | 2,35        | 2,36        | 14,51              | 0,00        | 16,42        | 100        |
| Classe COMERCIAL            | 25,75                      | 13,74        | 12,52       | 8,39        | 0,85        | 1,19        | 12,66              | 0,00        | 24,90        | 100        |
| <b>GRAVIMETRIA CONTAGEM</b> | <b>36,49</b>               | <b>10,20</b> | <b>7,25</b> | <b>2,67</b> | <b>1,93</b> | <b>2,83</b> | <b>16,97</b>       | <b>0,79</b> | <b>20,86</b> | <b>100</b> |

Fonte: Secretaria Adjunta de Limpeza Urbana de Contagem, 2010

Avaliando-se a geração de resíduos pela Figura 18, pôde-se observar que 44,65% dos resíduos que a classe E produz é de matéria orgânica, constituindo-se essa a maior geradora dessa matéria. De acordo com os dados, 14,61%, 14,01% e 4,82% do total dos resíduos dessa classe são representados por Restos de Banheiro, Papéis e Plásticos, respectivamente. Já a classe A foi a que mais gerou entulhos, com 5,6 % do total gerado dos resíduos. A classe A apresentou também uma elevada taxa de geração de matéria orgânica, com 40,19% do total dos resíduos.

Considerando-se o potencial dos materiais a serem reciclados, levando-se em conta apenas Papel, Plástico, Metal e Vidro, o município possui 23,18 % dos seus resíduos passíveis de serem reciclados. Na avaliação por classe, pôde-se observar que a classe Comerciantes é a maior geradora de recicláveis, com 35,5%, seguida pelas classes E, C, B, D, A com 22,06%, 21,62 %, 21,29 %, 20,58 %, 18,02%, respectivamente. Figura 18 apresenta os comparativos dos resíduos gerados estratificados por classe social.

Figura 18 - Composição gravimétrica do município de Contagem estratificada por classe social



Fonte : Fonte: Secretaria Adjunta de Limpeza Urbana de Contagem, 2010

## ***5.2 Avaliação dos métodos empregados na construção da célula***

Para a implantação da célula, foi contratada uma empresa de engenharia para execução da obra. O método empregado para construção do aterro experimental, células em valas, apresentou-se o mais satisfatório, uma vez que o objetivo do experimento era a construção de um aterro em escala real em condição anaeróbica. Como a célula é escavada, o único contato que a massa de resíduo possui com o oxigênio, quando há trincas na camada de cobertura, é por meio de sua camada superior. Porém aterros que possuem outras conformações, como os aterros em plataformas, este contato é maior devido à quantidade de trincas serem superiores, pois há a camada de cobertura dos taludes e das bermas.

Com relação ao sistema de drenagem de lixiviado por meio da implantação de colchões drenantes, observou-se uma ótima eficiência, uma vez que se constatou a presença de chorume já nas primeiras semanas de aterramento. Entretanto, avaliando a implantação dos drenos de gases em células escavadas, conforme descrito no item 4.2.3, pôde –se constatar a dificuldade de implantação desses drenos, uma vez que eles só puderam ser instalados após o preenchimento total da células.

Já o método empregado na construção da camada de cobertura final não foi considerado adequado, uma vez que apresentou trincas, principalmente em função do recalque e do ressecamento da camada. Dessa forma, é necessário observar as camadas de cobertura final com um maior rigor para sua adequada manutenção.

## ***5.3 Avaliação da compactação dos resíduos***

Durante toda a etapa de preenchimento e de compactação dos resíduos houve acompanhamento, no local, visando a orientar o tratorista quanto à proteção da manta de impermeabilização. A definição da rampa de compactação foi dificultada por essas questões de operação do maquinário. Assim, a rampa de compactação foi feita de maneira empírica pelo próprio tratorista.

Após a finalização da construção da célula, foi realizada nova medição para se obter dados precisos quanto ao volume real das células. Desta forma, as células ficaram com a seguinte conformação:

- Célula Branco (CB) -Altura – 4,45 m, comprimento – 19,6 m, Largura – 14,5 m
- Célula Fosfogesso (CF) -Altura – 4,39 m, comprimento – 19,4 m, Largura – 13,00 m.

Ao se relacionar o volume das células com a quantidade de resíduos dispostos, observou-se o peso específico dos resíduos dispostos e, assim, verificou-se o grau de compactação obtido. Na Tabela 9, estão apresentados os pesos específicos dos resíduos das células. Observam-se valores próximos sendo de 5,6 kN/m<sup>3</sup> na CB e de 5,3 kN/m<sup>3</sup> na CF.

Tabela 9 - Peso específico dos resíduos dispostos

| <b>Células</b> | <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Quantidade de resíduo (t)</b> | <b>Peso específico dos resíduos disposto (KN/m<sup>3</sup>)</b> |
|----------------|-------------------------------|----------------------------------|---|
| CB             | 956,19                        | 541,25                           | 5,66  |
| CF             | 869,25                        | 466,9                            | 5,37  |

Fonte – Bruno de Mattos Teixeira

Com base nesses valores, concluiu-se que o grau de compactação dos resíduos é considerado baixo. Com baixo grau de compactação, há uma presença maior de oxigênio que poderá aumentar o período de decomposição aeróbica. Cabe ressaltar que a limitação da compactação se deu pela dificuldade de estabelecer conformação ideal para a rampa em função do peso do maquinário utilizado.

#### ***5.4 Avaliação do uso do fosfogesso como cobertura de aterro sanitário***

Esse item faz uma avaliação do uso do fosfogesso na cobertura de aterro, levando em consideração apenas a avaliação de sua influência nos lixiviados das células.

De acordo com o descrito no item 4.2.1 – Caracterização do fosfogesso, o resíduo é classificado como sendo Classe II A. Com isso, verificou-se que, em relação à periculosidade, não há restrição em se codispor o resíduo fosfogesso com os resíduos sólidos urbanos, uma vez que os aterros sanitários são projetados para receber resíduos classe II A. Porém, a influência do resíduo no lixiviado do aterro como também nos gases devem ser avaliadas.

Outro fator preponderante, ao se avaliar a utilização do fosfogesso nos aterros, é em relação às concentrações de atividades dos radionuclídeos. Porém, conforme descrito por DESCHAMPS (2008), valores encontrados de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{210}\text{Po}$  são inferiores aos limites máximos permitidos para aplicação no solo tanto com relação aos padrões brasileiros (CNEN) quanto aos americanos (EPA). Portanto, espera-se que não haja restrições de aplicação do fosfogesso nos resíduos sólidos urbanos.

#### ***5.5 Avaliação do uso do fosfogesso no lixiviado das células do aterro***

As atividades de preenchimento do aterro experimental foram iniciadas em 11 de fevereiro de 2010 e finalizadas em 12 de fevereiro de 2010 na célula Branco (CB) e na célula Fosfogesso (CF) iniciada no dia 18 e finalizada no dia 23. Porém, o período de monitoramento iniciou-se no dia 6 de junho de 2010, ou seja, 115 dias após o aterramento.

### 5.5.1 Parâmetros físico-químicos

Este item apresenta os resultados das análises químicas dos lixiviados coletados no aterro experimental. As análises foram realizadas pelos laboratórios da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC e os laudos, com todos os dados, estão apresentados no Anexo III.

#### Radionuclídeos $^{226}\text{Ra}$ , $^{228}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{238}\text{U}$

Para a avaliação do radionuclídeos no lixiviado das células experimentais, foram realizadas análises de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ . As análises foram realizadas pelo Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear – CDTN em três campanhas.

O método utilizado para avaliação de  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$  foi Espectrometria Gama, para  $^{232}\text{Th}$ , Ativação Neutrônica e para  $^{238}\text{U}$  foi Neutrons Retardados de fissão. Em todas as análises, os limites e os resultados foram inferiores aos limites de detecção do aparelho.

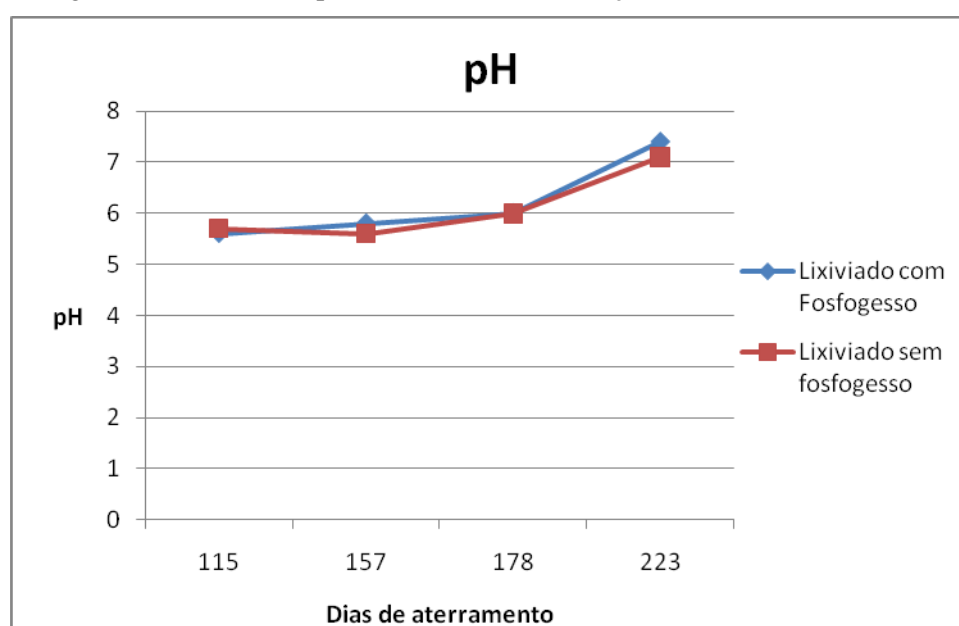
#### pH

O conhecimento do potencial de hidrogênio iônico permite correlacionar a faixa de pH com a fase da decomposição da matéria orgânica, com a solubilização de metais, com o poder de corrosão bem como com o crescimento do micro-organismo. Na Tabela 10 e na Figura 19 a seguir, são apresentados os valores de pH dos lixiviados da CB e da CF em função do período de aterramento.

Tabela 10 - Valores de pH em função dos dias de aterramento

| pH                  |                          |                          |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115                 | 5,6                      | 5,7                      |
| 157                 | 5,8                      | 5,6                      |
| 178                 | 6,0                      | 6,0                      |
| 223                 | 7,4                      | 7,1                      |

Figura 19 - Valores de pH dos lixiviados em função dos dias de aterramento



Na Figura 19, observa-se uma variação de 1,8 unidades de pH entre os dias 115 e 223 de aterramento em ambas as células. Essa transição dos valores de pH de 5,6 na CB e 5,7 na CF para 7,4 e 7,1 pode caracterizar a transição da fase acidogênica para a fase metanogênica, se for avaliado apenas o parâmetro pH isoladamente.

Essa variação do pH é resultante da conversão de ácidos graxos e de ácidos voláteis em compostos orgânicos mais simples, promovendo um aumento do pH. Quando o pH fica próximo ao neutro, como no 223º dia, há o favorecimento das bactérias metanogênicas,



que começam a degradar os compostos orgânicos simples em uma condição estritamente anaeróbica.

Já a avaliação do período de 115° ao 178° dia permite observar uma elevação nos valores de pH, indicando valores característicos da fase ácida, quando também ocorre uma maior solubilização de metais, tais como Ni, Zn, Mn e o Fe, conforme demonstrado na avaliação de metais.

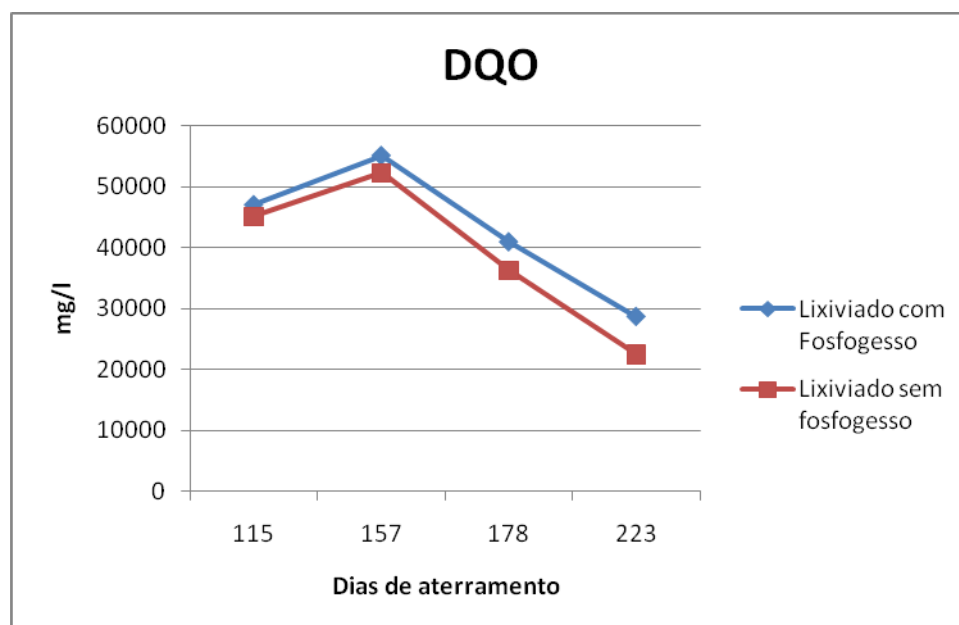
### *Demanda Química de Oxigênio – DQO*

Define-se a demanda química de oxigênio como a quantidade de O<sub>2</sub> necessária para a oxidação da matéria orgânica por meio de um agente químico. Ela se baseia no fato de que alguns compostos orgânicos são oxidados por agentes químicos oxidantes considerados fortes (MACEDO, 2005). Abaixo são apresentados a Figura 20 e a Tabela 11 com as variações de valores de DQO em função dos dias de aterramento.

Tabela 11 - Variações de valores de DQO em função dos dias de aterramento

| <b>Demanda Química de Oxigênio (mg/l)</b> |                                 |                                 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b>                | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                                       | 47009                           | 45107                           |
| 157                                       | 55093                           | 52253                           |
| 178                                       | 40905                           | 36238                           |
| 223                                       | 28626                           | 22474                           |

Figura 20 - Variações de valores de DQO em função dos dias de aterramento



Os valores iniciais de DQO são considerados bastante elevados, valores característicos de aterros novos, nos quais se encontra bastante disponibilidade de matéria orgânica facilmente degradável, variando de 47.009 a 55.093 mg/l nos 115° e o 157° de aterramento na CB e de 45.107 a 52.253 mg/l na CF, respectivamente. A tendência ao decaimento da DQO a partir do 157° dia de aterramento pode estar relacionada à evolução do processo de decomposição anaeróbia. Também se pôde observar que as curvas apresentam um comportamento similar tanto para CB quanto para CF.

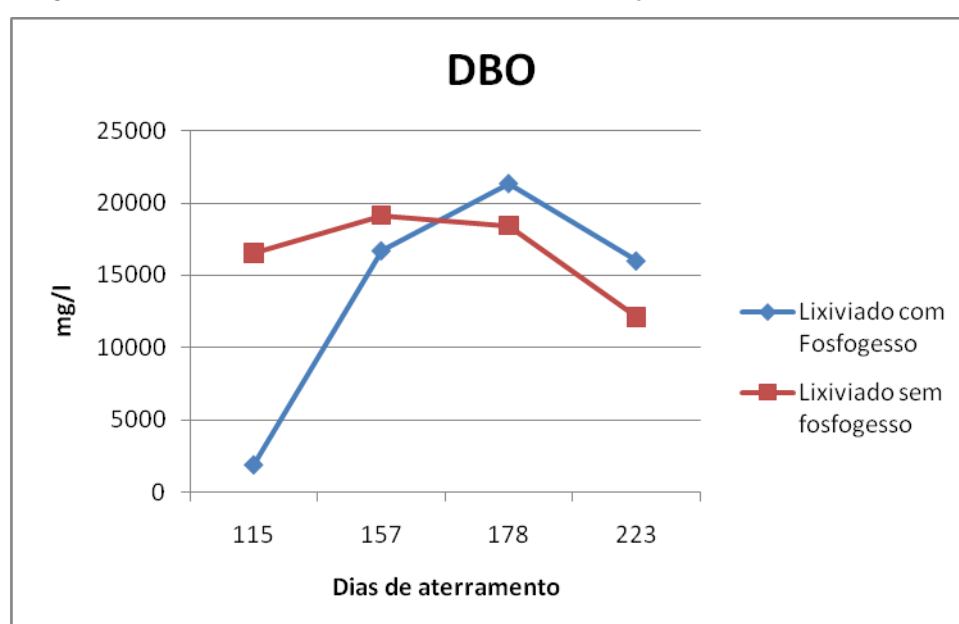
#### *Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO*

O conceito de Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO está relacionado com a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar a matéria orgânica, por meio de processos bioquímicos, (SPERLING, 2005). Levando-se em consideração que, nas células do aterro, ocorre uma grande atividade microbiológica é de extrema importância a avaliação desse parâmetro. Abaixo são apresentadas a Tabela 12 e a Figura 21 da DBO nos lixiviados, em relação aos dias de aterramento.

Tabela 12 - Valores da DBO nos lixiviados, em relação aos dias de aterramento

| Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/l) |                          |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento                   | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115                                   | 1889                     | 16524                    |
| 157                                   | 16688                    | 19153                    |
| 178                                   | 21342                    | 18437                    |
| 223                                   | 15988                    | 12107                    |

Figura 21 - Valores da DBO nos lixiviados, em relação aos dias de aterramento



Como pode ser observado, o valor da DBO do lixiviado com fosfogesso, no 115º dia de aterramento, é bastante inferior ao lixiviado sem fosfogesso, apresentando os valores de 1.889 mg/l na CF e 16.524 mg/l na CB. Sugere-se, então, desconsiderar esse dado. Porém, valores da DBO do 157º dia de aterramento em diante assemelham-se um ao outro, apresentando 16.688 mg/l na CF e 19.153 mg/l na CB.

Levando-se em consideração a razão entre a DQO e a DBO percebe-se a influência do valor da DBO no 115º na CF. Porém, os valores apresentam uma tendência de diminuição. As Tabelas 13 e 14 a seguir apresentam os valores da razão entre a DQO e a DBO em relação aos dias de aterramento.

Tabela 13 - Razão entre a DQO e a DBO em relação os dias de aterramento na CF

| <b>CF</b>                  |            |            |                  |
|----------------------------|------------|------------|------------------|
| <b>Dias de aterramento</b> | <b>DBO</b> | <b>DQO</b> | <b>DQO / DBO</b> |
| 115                        | 1.889      | 47.009     | 24,89            |
| 157                        | 16.688     | 55.093     | 3,30             |
| 178                        | 21.342     | 40.905     | 1,92             |
| 223                        | 15.988     | 28.626     | 1,79             |

Tabela 14 - Razão entre a DQO e a DBO em relação os dias de aterramento na CB

| <b>CB</b>                  |            |            |                  |
|----------------------------|------------|------------|------------------|
| <b>Dias de aterramento</b> | <b>DBO</b> | <b>DQO</b> | <b>DQO / DBO</b> |
| 115                        | 16.524     | 45.107     | 2,73             |
| 157                        | 19.153     | 52.253     | 2,73             |
| 178                        | 18.437     | 36.238     | 1,97             |
| 223                        | 12.107     | 22.474     | 1,86             |

Segundo Sperling, 2005, a relação entre a DQO e a DBO nos fornece informações relativas à porção biodegradável do lixiviado. Valores inferiores a 2,5 indicam que há uma relação baixa entre a DQO e a DBO e que a fração biodegradável é bastante elevada. Valores compreendidos entre 2,5 e 3,5 indicam que a fração biodegradável não é elevada e a relação é Intermediária. Se os valores forem superiores a 3,5 ou 4,0 tem-se a relação com uma porção não biodegradável elevada.

Assim observa-se que, no geral, a razão entre a DBO e a DQO apresenta tanto na CF como na CB valores com tendência a serem inferiores a 2,5, demonstrando que os lixiviados apresentam uma alta taxa de porção biodegradável. Relações inferiores a 2,5, no lixiviado, podem demonstrar uma tendência de ele ser de aterros novos, como é o caso da CF e da CB.

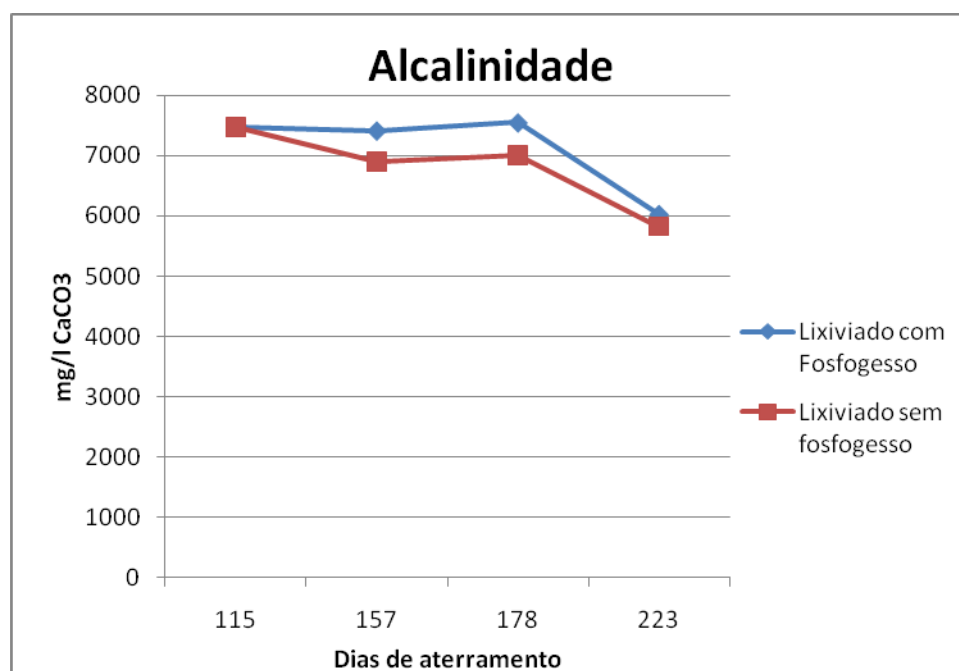
## Alcalinidade

A alcalinidade é a quantidade de íons no efluente que reagirá para neutralizar os íons hidrogênios, ou seja, é a capacidade de neutralizar os ácidos. Todos os íons causadores da alcalinidade têm características base, por isso reagem quimicamente com soluções ácidas. Na Tabela 15 e na Figura 22, são apresentados os valores da alcalinidade dos lixiviados em função do tempo.

Tabela 15 - Valores da alcalinidade dos lixiviados em função do tempo

| Alcalinidade TOTAL (mg/l CaCO <sub>3</sub> ) |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento                          | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115  | 7478                     | 7467                     |
| 157  | 7414                     | 6895                     |
| 178  | 7548                     | 7007                     |
| 223  | 6021                     | 5823                     |

Figura 22 - Valores da alcalinidade dos lixiviados em função do tempo



Na digestão anaeróbia de resíduos, a alcalinidade é importante para a manutenção do equilíbrio entre as fases de produção de ácidos e a metanogênica. A alcalinidade está relacionada com os ácidos voláteis e com o bicarbonato. Portanto, no início do processo de bioestabilização, os resíduos orgânicos produzem lixiviados com baixa alcalinidade a bicarbonato e elevada alcalinidade devido a ácidos voláteis (CATAPRETA, 2008).

É de se esperar que resíduos contendo gesso, como no caso do fosfogesso, tenham valores da alcalinidade superiores aos do lixiviados sem o fosfogesso. Segundo CATAPRETA(2008), a participação dessas fontes, em aterros, que operam em escala real, deve ser levada em consideração. Porém, ao se comparar um dado com o outro, observam-se valores da alcalinidade no lixiviado da CF superiores aos valores da CB, como pode ser verificado na Figura 22.

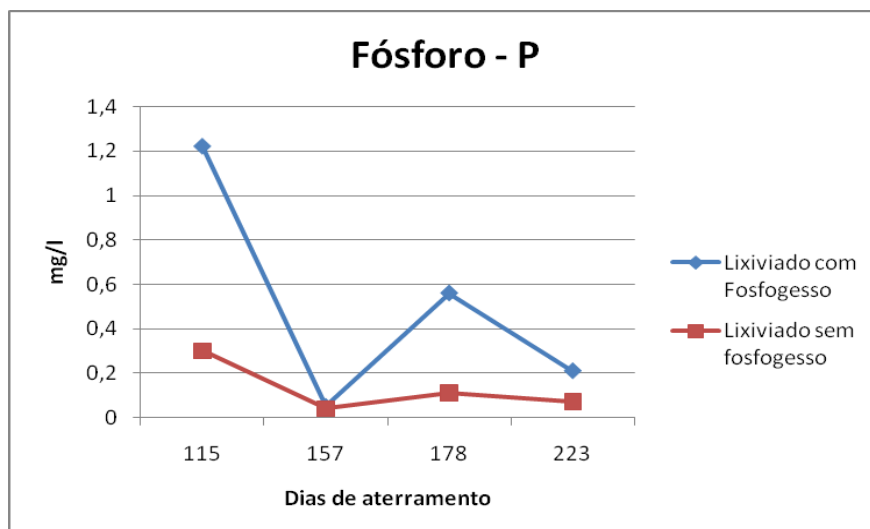
### Fósforo

O fósforo é um nutriente essencial para a o desenvolvimento dos micro-organismos, responsáveis pela degradação da matéria orgânica (SPERLING, 2005). Como se tem o fósforo na composição da matéria-prima na produção de fertilizantes, optou-se por monitorar esse parâmetro com o objetivo de comparar a influência do fosfogesso. A Tabela 16 e o Figura 23 abaixo apresentam os valores de fósforo em relação ao tempo de aterramento nas CB e CF.

Tabela 16 - Valores de fósforo em relação ao tempo

| <b>Fósforo TOTAL (mg/l P)</b> |                                 |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b>    | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                           | 1,22                            | 0,30                            |
| 157                           | 0,05                            | 0,04                            |
| 178                           | 0,56                            | 0,11                            |
| 223                           | 0,21                            | 0,07                            |

Figura 23 - Valores de fósforo em relação ao tempo



A Figura 23 apresenta baixas concentrações de fósforo, porém variáveis, principalmente na CF com valores na ordem de 1,2 mg/l a 0,05 mg/l, não demonstrando nenhuma tendência. Na CB as concentrações também foram baixas, mas variaram menos com valores de 0,3 mg/l a 0,04 mg/l.

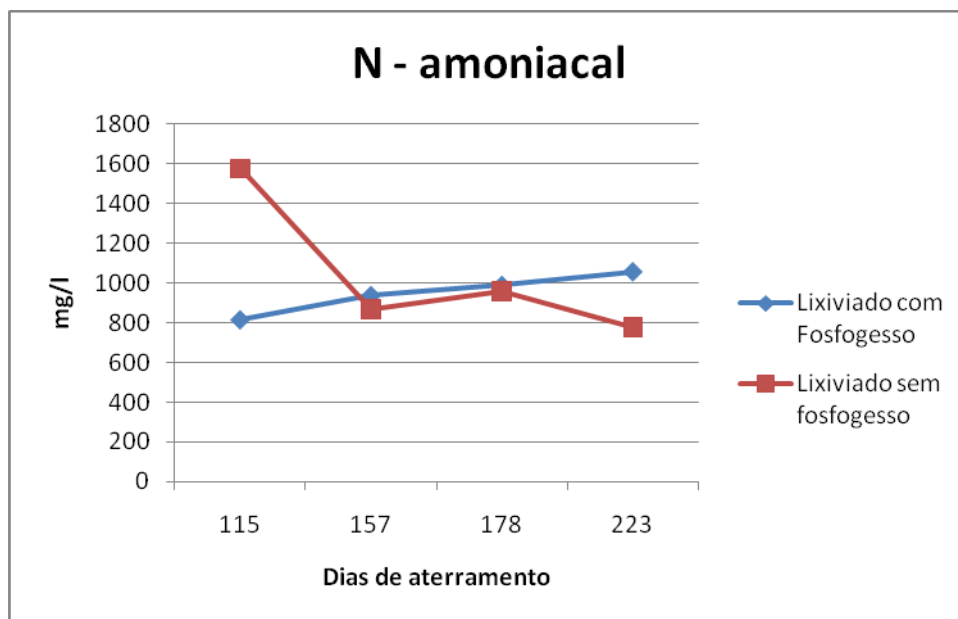
### Nitrogênio Amoniacal

A oxidação do nitrogênio orgânico pelas bactérias se dá pela transformação daquele em nitrogênio amoniacal, depois em nitrito, por último em nitrato. Os altos teores de nitrogênio amoniacal e os baixos teores de nitrato indicam que há uma quantidade elevada de matéria orgânica a ser decomposta e os líquidos lixiviados resultantes não estão estabilizados (METCALF & EDDY, 1985, apud CATAPRETA, 2008). A Tabela 17 e a Figura 24 apresentam os valores do nitrogênio amoniacal em relação ao tempo.

Tabela 17 - Valores do nitrogênio amoniacal em relação ao tempo

| Nitrogênio amoniacal total (mg/l) |                          |                          |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento               | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115                               | 815                      | 1576                     |
| 157                               | 937                      | 867                      |
| 178                               | 989                      | 957                      |
| 223                               | 1058                     | 776                      |

Figura 24 - Valores do nitrogênio amoniacal em relação ao tempo



Como pode ser observado na Figura 24, os valores do nitrogênio amoniacal da CF tendem a se elevar, variando de 815 mg/l no 115º dia a 1.058 mg/l no 223º dia de aterramento. Já na CB, há um comportamento inverso, pois os valores das concentrações de nitrogênio amoniacal tendem a abaixar. Porém, não se pode afirmar nada com relação ao comportamento do N amoniacal, porque há poucos dados. Porém, tanto na CB quanto na CF os valores encontrados são valores descritos na literatura como de aterros de 2 a 5 anos, conforme descrito no item 3.2.3.



### Nitrogênio Total Kjeldahl - NTK

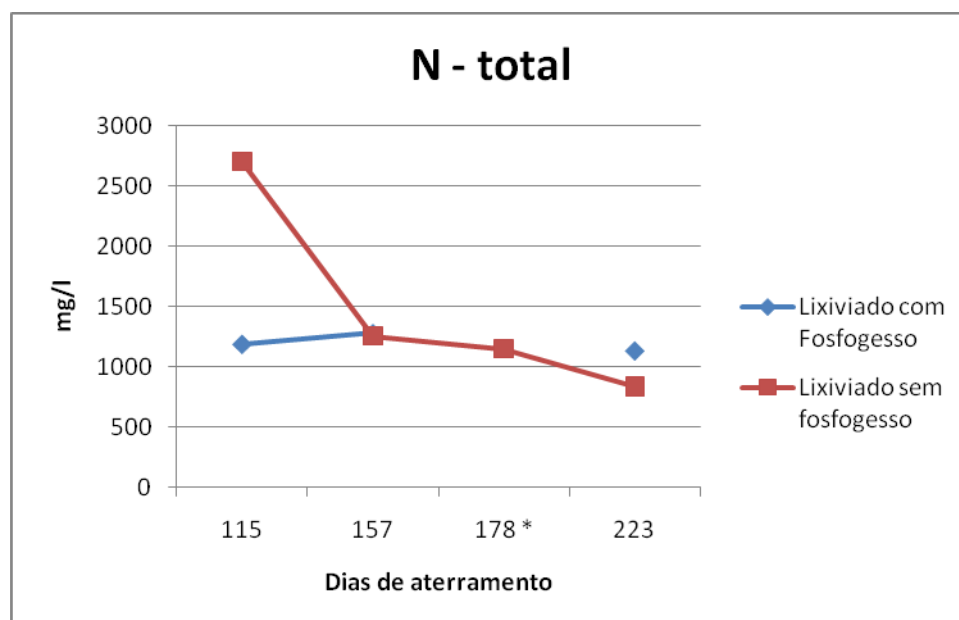
O nitrogênio total é a soma de toda a série nitrogenada, contendo os Nitrogênio Nitrogênios Amoniacais, os Nitritos e os Nitratos. Abaixo são apresentados, na Tabela 18 e na Figura 25, os valores do nitrogênio total em função do tempo.

Tabela 18 - Valores do nitrogênio total em função do tempo

| Nitrogênio total Kjeldahl(mg/l) |                          |                          |
|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento             | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115                             | 1188                     | 2702                     |
| 157                             | 1278                     | 1254                     |
| 178 *                           |                          | 1148                     |
| 223                             | 1133                     | 835                      |

\* - O valor da concentração do 178° dia de aterramento foi desconsiderado

Figura 25 - Valores do nitrogênio total em função do tempo



Pode-se observar que os gráficos de nitrogênio amoniacal e nitrogênio total apresentam a mesma conformação, indicando que o nitrogênio amoniacal está exercendo uma influência significativa nos valores de nitrogênio total. Conseqüentemente, valores baixos de nitrito e nitrato indicam uma quantidade elevada de matéria orgânica a ser decomposta tanto na CF quanto na CB. Cabe ressaltar que o valor medido no 178º dia de aterramento foi desconsiderado por apresentar inconformidade quanto aos outros resultados (1,6 mg/l).

### Série Sólidos

Na série sólidos, foram avaliados os sólidos sedimentáveis e sólidos totais e não avaliados os sólidos voláteis. Porém, com o desenvolvimento dos estudos observou-se a necessidade de avaliar também os sólidos voláteis por esses serem importantes indicadores de degradabilidade dos resíduos sólidos. Na Tabela 19 e na Figura 26, são apresentados os valores dos sólidos sedimentáveis e totais nas células CF e CB em relação ao tempo.

Tabela 19 - Valores de sólidos sedimentáveis em função do tempo

| <b>Sólidos Sedimentáveis (ml/l)</b> |                                 |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b>          | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                                 | 0,2                             | 3                               |
| 157                                 | 5                               | 3                               |
| 178                                 | 3                               | 1                               |
| 223*                                |                                 |                                 |

\* - Valores desconsiderados

Figura 26 - Valores de sólidos sedimentáveis em função do tempo

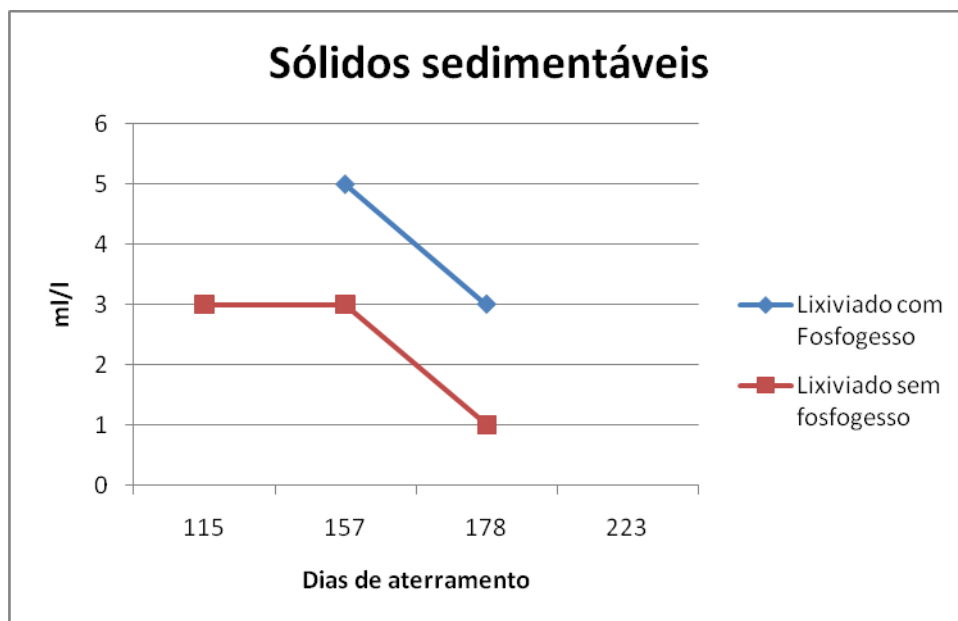
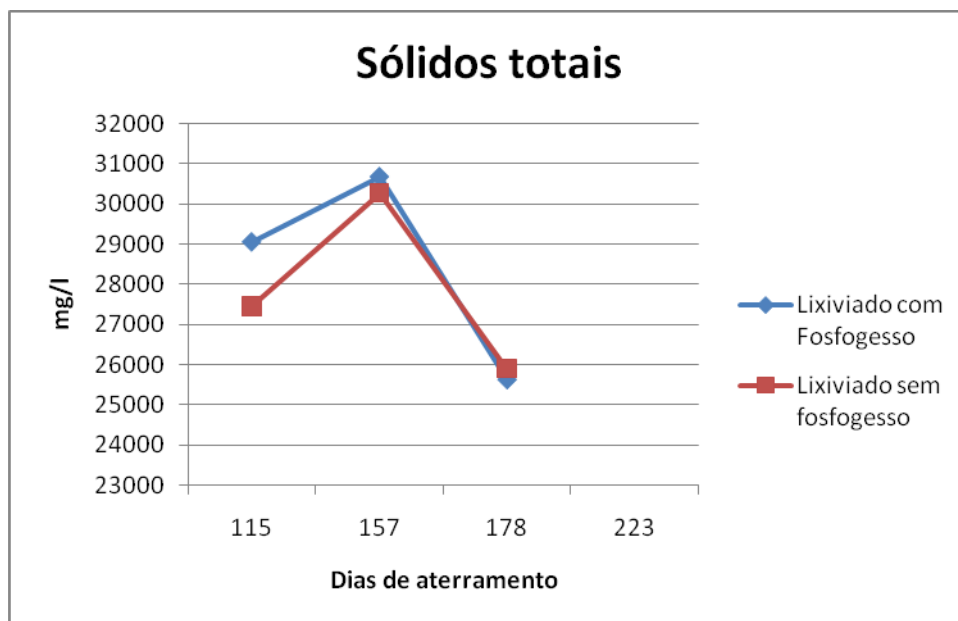


Tabela 20 - Valores de sólidos totais em função do tempo

| Sólidos totais ( 10 <sup>3</sup> -10 <sup>5</sup> /mg/l) |                          |                          |
|--|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento                                      | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115  | 29060                    | 27450                    |
| 157  | 30680                    | 30280                    |
| 178  | 25640                    | 25900                    |
| 223*   |                          |                          |

\* - Valores desconsiderados

Figura 27 - Valores de sólidos totais em função do tempo



De acordo com a Tabela 20 e a Figura 27, observa-se que tanto os sólidos totais quanto os sólidos sedimentáveis nas CB e na CF, no 223º dia de aterramento, não foram levados em consideração, pois os ensaios foram realizados fora do prazo previsto na metodologia de análise. Já o valor da análise da CF do parâmetro sólido sedimentável também foi descartado, por apresentar inconformidade quanto aos outros resultados, 0,2 ml/l. Já as curvas de sólidos totais tanto da CB quanto da CF apresentam a mesma conformação, no período de 115º ao 178º dia de aterramento.

### Metais

Para as análises de metais, foi realizado monitoramento dos seguintes elementos: Prata (Ag), Boro (B), Bário (Ba), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Zinco (Zn), Cádmiom (Cd), Chumbo (Pb), Estanho (Sn), Selênio (Se), Arsênio (As), Mercúrio (Hg), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Manganês (Mn).

Em grande parte das análises, os resultados encontram-se abaixo do limite de detecção do equipamento. Em todas as análises realizadas, entre o período do 115º ao 223º dias

de aterramento, como foi o caso do Hg (< 0,2 mg/l), Se (< 0,0005 mg/l), As (< 0,003 mg/l), Cd (< 0,0005 mg/l), Sn (< 0,5 mg/l), Ag (< 0,1 mg/l).

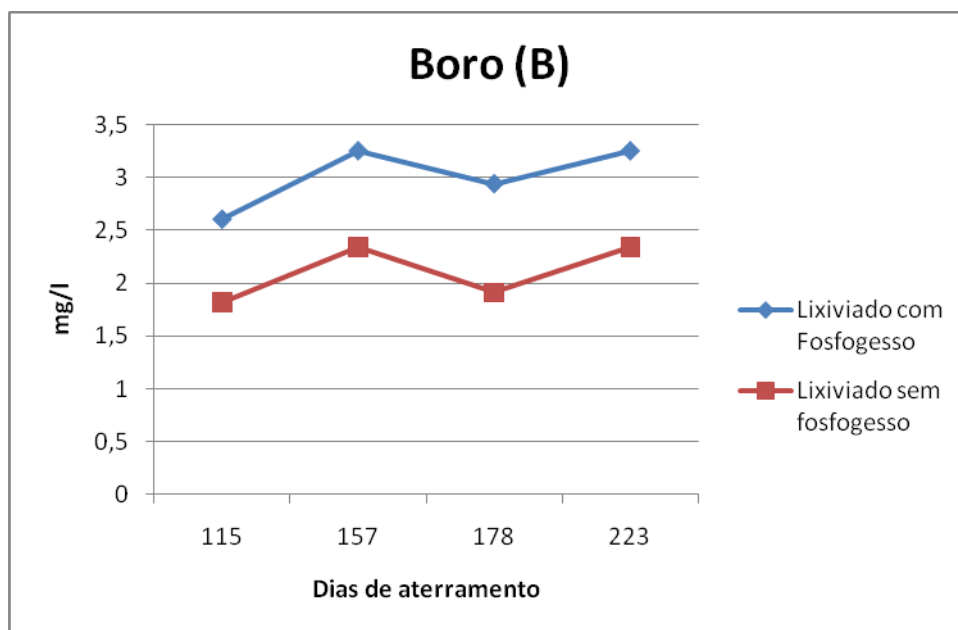
#### Boro – B

Considerando-se a existência da fase ácida na decomposição da matéria orgânica e tendo em vista que, nesta fase, há a solubilização de metais tais como o Boro, houve a necessidade de avaliar esse elemento e se há influência do fosfogesso nele. Na Tabela 21 e na Figura 28 são apresentados os valores das concentrações de boro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo.

Tabela 21 - Valores das concentrações de boro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| <b>Dias de aterramento</b> | <b>B (mg/l)</b>                 |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|                            | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                        | 2,60                            | 1,82                            |
| 157                        | 3,25                            | 2,34                            |
| 178                        | 2,94                            | 1,91                            |
| 223                        | 3,25                            | 2,34                            |

Figura 28 - Valores das concentrações de boro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



Como podem ser observadas, as curvas de concentração do boro tanto na CB quanto na CF apresentam uma semelhança em relação ao tempo de aterramento, porém as concentrações de B na CF foram superiores, indicando que houve uma maior solubilização do boro com o fosfogesso.

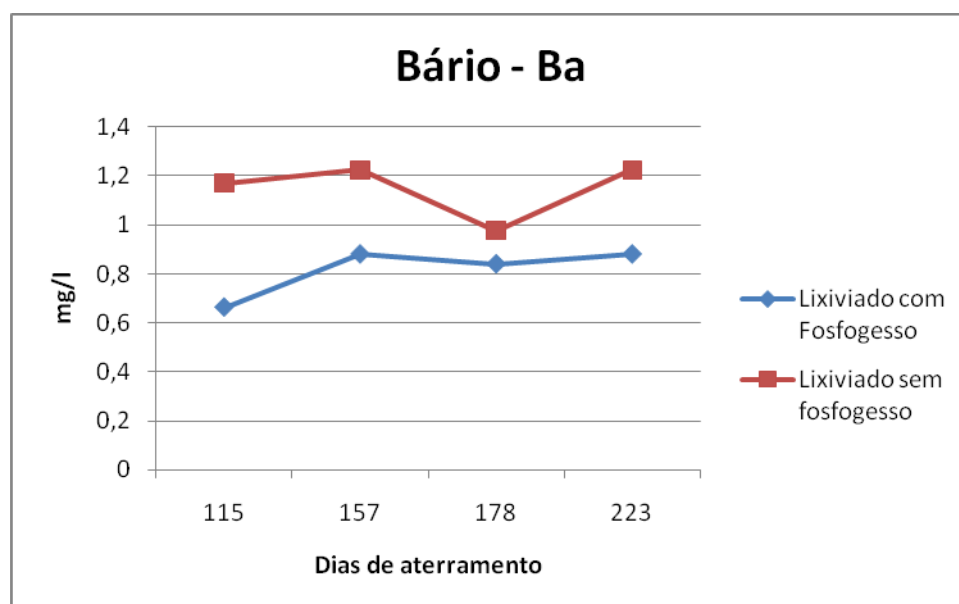
#### Bário – Ba

O Bário foi outro elemento monitorado cujo objetivo foi verificar a solubilização desse elemento na fase ácida. Na Tabela 22 e na Figura 29, apresentam-se os valores de B na CB e na CF em função do tempo.

Tabela 22 - Valores das concentrações de bário nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| <b>Ba (mg/l)</b>           |                                 |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b> | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                        | 0,663                           | 1,170                           |
| 157                        | 0,879                           | 1,224                           |
| 178                        | 0,839                           | 0,977                           |
| 223                        | 0,879                           | 1,224                           |

Figura 29 - Valores das concentrações de bário nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



Para avaliação desse parâmetro, tomaram-se como referência os valores de lançamento de efluentes da legislação ambiental mineira, a Resolução conjunta COPAM/CERH n° 1 de 2008 que, para o Ba, o valor não poderá exceder 5,0 mg/l. Como obteve-se uma concentração inferior a esses valores, pôde-se concluir que, naquele momento, esse elemento não interferiu na composição do lixiviado. Com relação à influência do fosfogesso neste período, observaram-se concentrações inferiores ao da CB.

## Cobre - Cu

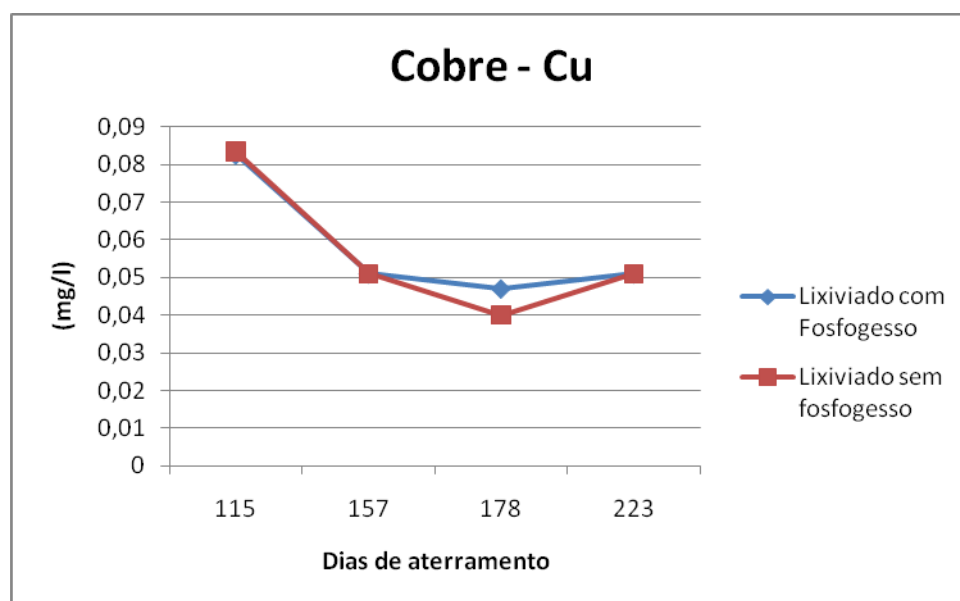
A Tabela 23 e Figura 30 apresentam os valores de Cu nos lixiviados com fosfogesso e no lixiviado sem fosfogesso. Comparando-se os dados entre as CB e a CF, verificou-se valores bastantes próximos um do outro e esses valores tendiam ao decaimento. Portanto, o fosfogesso, no período do 115º ao 223º dia após o aterramento, não influenciou a solubilização do cobre e seus valores são considerados baixos se levarmos em consideração o valor máximo para o lançamento de 1,0 mg/l estabelecido pela legislação.

Tabela 23 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| <b>Cu (mg/l)</b>           |                                 |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b> | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                        | 0,082                           | 0,083                           |
| 157                        | 0,051                           | 0,051                           |
| 178                        | 0,047                           | 0,041                           |
| 223                        | 0,051                           | 0,051                           |



Figura 30 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



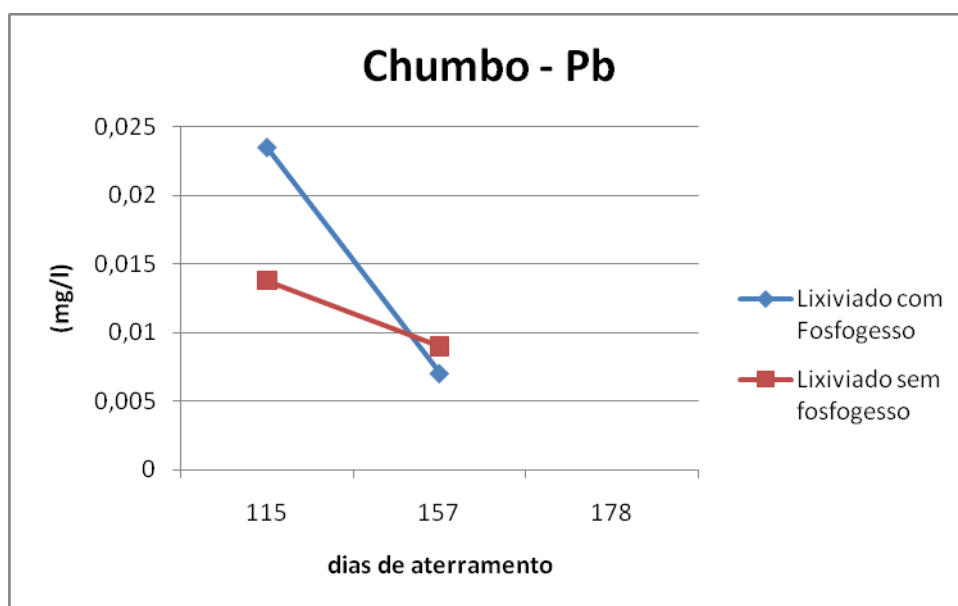
#### Chumbo – Pb

O elemento chumbo comportou-se como o cobre com valores semelhantes tanto para CB quanto para CF, mantendo-se em baixas concentrações em ambas as células. Verificou-se, inclusive, que nos dias 178º e no 223º de aterramento, o equipamento cujo limite de detecção é para valores superiores a 0,005mg/l, não detectou nenhum valor. A seguir são apresentados os valores de chumbo nos lixiviados das células em função do tempo.

Tabela 24 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| <b>Pb (mg/l)</b>           |                                 |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b> | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                        | 0,023                           | 0,013                           |
| 157                        | 0,007                           | 0,009                           |
| 178                        |                                 |                                 |
| 223                        |                                 |                                 |

Figura 31 - Valores das concentrações de cobre nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



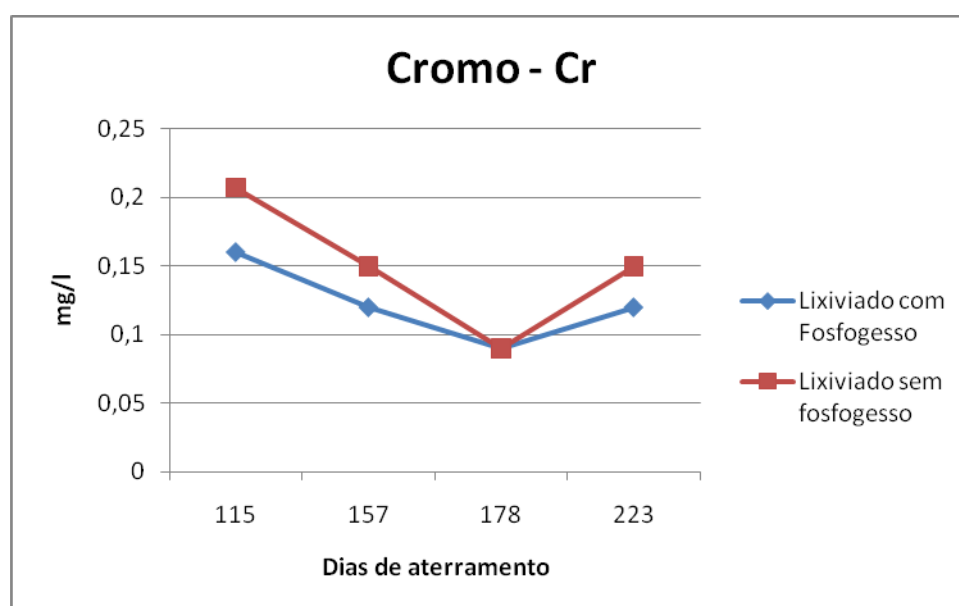
### Cromo – Cr

A Tabela 25 e a Figura 32 demonstram a evolução temporal das concentrações de cromo na CB e na CF. Observaram-se valores com tendência a cair tanto para o lixiviado com fosfogesso como para o lixiviado sem fosfogesso, obtendo inclusive valores iguais no 178º dia de aterramento.

Tabela 25 - Valores das concentrações de cromo nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| <b>Cr (mg/l)</b>           |                                 |                                 |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b> | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                        | 0,16                            | 0,21                            |
| 157                        | 0,12                            | 0,15                            |
| 178                        | 0,09                            | 0,09                            |
| 223                        | 0,12                            | 0,15                            |

Figura 32 - Valores das concentrações de cromo nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



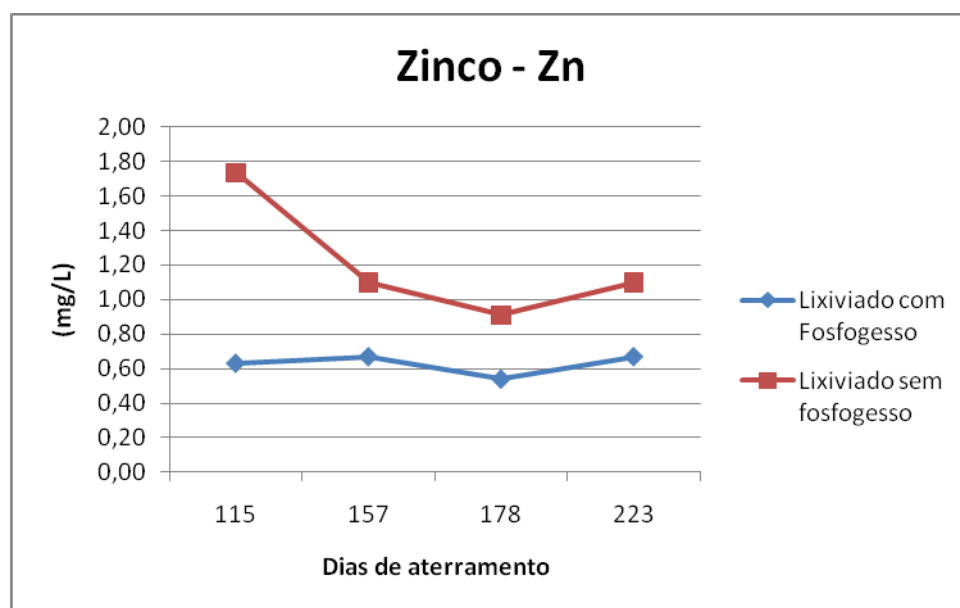
### Zinco - Zn

Os valores de zinco foram considerados baixos, tomando como referência a CONOMA 357 / 2005 e a Resolução nº 1 de 2008 que estabelecem como limite máximo 5,0 mg/l. Como pôde ser observado, os valores de concentração do Zinco no lixiviado da CB e da CF tendem a cair. No entanto, as concentrações de Zn na célula CF são, aproximadamente, a metade dos valores encontrados na CB.

Tabela 26 - Valores das concentrações de zinco nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| Zn (mg/l)           |                          |                          |
|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| Dias de aterramento | Lixiviado com Fosfogesso | Lixiviado sem fosfogesso |
| 115                 | 0,63                     | 1,74                     |
| 157                 | 0,67                     | 1,10                     |
| 178                 | 0,54                     | 0,91                     |
| 223                 | 0,67                     | 1,10                     |

Figura 33 - Valores das concentrações de zinco nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



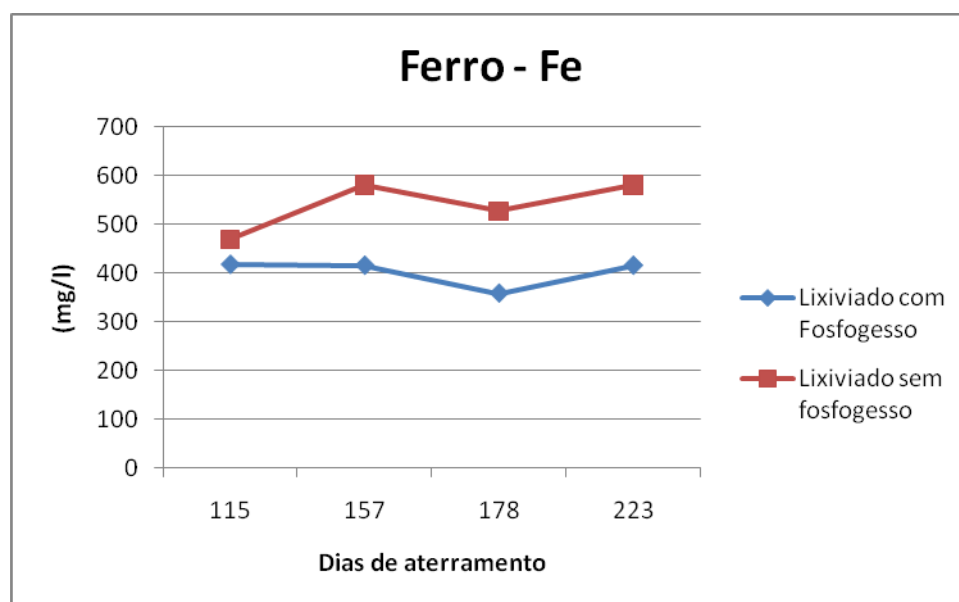
#### Ferro – Fe

Os valores das concentrações de Fe encontram-se elevados em comparação com a legislação que estabelece o limite máximo como sendo de 15 mg/l de Fe no efluente para lançamento. Os valores observados das concentrações de Fe na CF foram mais estáveis, no período de avaliação, variando de 358,03 a 417,3 mg/l. Já os valores apresentados pela CB foram superiores aos da CF e houve uma variação maior de 469,2 a 580,3 mg/l de Fe. Na Tabela 27 e na Figura 34, apresenta-se a evolução da concentração de Fe nos lixiviados.

Tabela 27 - Valores das concentrações de ferro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo

| <b>Fe (mg/l) - resultados dissolvidos</b> |                                 |                                 |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| <b>Dias de aterramento</b>                | <b>Lixiviado com Fosfogesso</b> | <b>Lixiviado sem fosfogesso</b> |
| 115                                       | 417,3                           | 469,2                           |
| 157                                       | 415,4                           | 580,3                           |
| 178                                       | 358,1                           | 526,9                           |
| 223                                       | 415,4                           | 580,3                           |

Figura 34 - Valores das concentrações de ferro nos lixiviados da CF e da CB em função do tempo



## 6 Conclusões

A seguir são apresentadas as principais conclusões dos resultados e das discussões desenvolvidas neste trabalho.

A caracterização dos resíduos urbanos por meio da composição gravimétrica permitiu extratificar e conhecer os resíduos que foram dispostos nas células. Outro fator que contribuiu para confiabilidade dos dados está relacionado com a metodologia da coleta, uma vez que foram coletados somente resíduos domiciliares, correspondentes a uma residência, dispensando os resíduos acumulados em pontos isolados sem referência de origem.

Do ponto de vista da composição granulométrica em si, o percentual de material orgânico garantiu a execução dos experimentos apresentando em média cerca de 36% do total de resíduo disposto. O experimento realizado com sucesso nos Estados Unidos continha 25% de matéria orgânica, quando se observou que, ao longo de três anos, os reatores contendo resíduo e fosfogesso foram decompostos mais rapidamente que os reatores sem fosfogesso.

Paralelamente, observou-se significativo percentual de materiais passíveis de serem reciclados nos resíduos urbanos do município de Contagem (média de cerca de 23%), o que traria ganhos não só em termos de vida útil do aterro mas, principalmente, indicaria uma gestão ambiental, social e econômica otimizada.

A construção das células realizadas uma de frente a outra otimizou o tempo de implantação das mantas, pois não houve necessidade de realizar a ancoragem na interseção das células. Os drenos de chorume, construídos como colchões drenantes, também apresentaram uma ótima eficiência, uma vez que foi observada a drenagem do lixiviado já nas primeiras semanas de aterramento. Já a implantação dos drenos de gases apresentou bastantes dificuldades, uma vez que tiveram que ser implantados após o aterramento dos resíduos.

Os métodos construtivos da camada de cobertura final foram considerados insatisfatórios, uma vez que não houve, para o material utilizado, uma avaliação da sua eficiência quanto à impermeabilização da camada de cobertura final, bem como não houve uma avaliação do teor de argila utilizado. Pôde-se observar também trincas em sua extensão, comprometendo a avaliação dos gases gerados no aterro. Isso pôde ser observado por uma análise do gás realizada pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA da Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. O resultado dessa análise comprovou inexistência de fluxo dos gases no dreno e composição química igual ao ar atmosférico.

A compactação dos resíduos foi considerada baixa em ambas as células com valores de  $5,6 \text{ kN/m}^3$ , na CB e  $5,4 \text{ kN/m}^3$ , na CF, respectivamente. Porém, pôde-se concluir que os resultados obtidos foram comprometidos pela dificuldade de estabelecer uma rampa de compactação homogênea e com inclinação mais elevada, ocasionada pela complexidade de locomoção da máquina dentro da célula.

Há que se destacar que os testes de solubilização e classificação, segundo sugerido pela da ABNT, 1004/2004 classificaram o fosfógeno como resíduo classe IIA, não perigoso, não inerte, em função dos elementos As, F, Al, Fe, Mn e sulfetos que extrapolaram os limites da norma, sem contudo inviabilizar sua disposição em aterros sanitários, uma vez que os mesmos são projetados para receberem resíduos classe IIA.

Por outro lado, observou-se também a presença de radionuclídeos naturais em sua composição, como  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ , porém em concentrações bem inferiores aos limites máximos estabelecidos pela CNEN, o que proporciona margem de confiança ainda maior. Com relação a contaminação do lixiviado por radionuclídeos, os resultados demonstraram que até o presente momento não foi constatada contaminação.

O monitoramento dos líquidos lixiviados foi realizado com o objetivo de avaliar a evolução temporal dos parâmetros físico-químico desde o início do aterramento e verificar a influência do fosfógeno. Entretanto, o monitoramento só pôde ser realizado a partir do mês de junho. Problemas na contratação da Fundação Centro Tecnológicos de Minas Gerais - CETEC ocasionaram um atraso nas medições dos parâmetros do

lixiviado. Desta forma, os resultados ora encontrados podem ser avaliados apenas em termos de tendência, principalmente, em função do curto prazo, não permitindo, portanto afirmativas em experimentos desta natureza quando o tempo mínimo em geral fica por volta dos 12 meses. Porém, os dados preliminares demonstram uma tendência de que a influência do fosfogesso no lixiviado não comprometerá sua tratabilidade, caso esse resíduo venha a ser usado em cobertura de aterro.

A avaliação da mobilização, principalmente de metais para a fase lixiviada, ou seja, para o líquido lixiviado, demonstra uma tendência de eles não se mobilizarem para a fase solúvel, com comportamento bastante semelhante tanto nas células com fosfogesso quanto na sem fosfogesso. Como o período de avaliação ocorreu na época de seca, esperam-se concentrações ainda menores, em todos os parâmetros, a partir do período chuvoso.

Os altos valores iniciais de DBO e DQO são característicos de aterros novos, com grande disponibilidade de matéria orgânica, tendo a relação DBO/DQO características de alta degradabilidade. Os valores apresentados desses parâmetros não evidenciam os benefícios da presença do fosfogesso, uma vez que os resultados das duas células são da mesma ordem de magnitude.

Após a avaliação do plano de monitoramento, observou-se a necessidade de alterá-lo da seguinte forma:

- Para melhor avaliação da influência do fosfogesso no lixiviado as coletas e medições deverão ser realizadas em uma mesma data durante todo o período de monitoramento.
- Devem-se incluir no monitoramento os nitritos e os nitratos para avaliar a decomposição das séries nitrogenadas.
- Devem-se incluir no monitoramento os sólidos voláteis, por serem um importante indicador de degradabilidade dos resíduos sólidos urbanos.
- Como o fosfogesso possui o enxofre (S) em sua composição, devem-se incluir no monitoramento os sulfetos e sulfatos.



- Devem-se incluir no monitoramento os ácidos graxos, por serem importantes indicadores de degradabilidade dos resíduos sólidos urbanos.
- Os elementos que se encontram abaixo do limite de detecção dos aparelhos, como o Hg, Se, As, Cd, Sn, devem ter sua periodicidade alterada, a princípio para trimestral e, caso continuem sem ser detectados, sugere-se a eliminação desses elementos do programa de monitoramento.

Pôde-se concluir que a construção da célula, apesar das dificuldades, foi considerada satisfatória, uma vez que o experimento encontra-se implantado e produzindo dados. Porém, necessita-se de uma escala temporal maior, a fim de avaliar a influência do fosfogesso no lixiviado. Cabe ressaltar que os estudos para utilização do fosfogesso em aterros devem ser mais aprimorados e aprofundados em relação a outros aspectos que não sejam apenas no que tange a influência no lixiviado, mas também nos gases gerados, bem como nas questões de estabilidade do maciço.

Concluiu-se também que o estudo da utilização do fosfogesso como cobertura diária de lixo tende a trazer inúmeros ganhos, não só para as empresas geradoras de fosfogesso, mas também para empresas e municípios que possuam aterro sanitário como forma de destinação final de resíduos.

Para as empresas geradoras de fosfogesso essa seria uma nova alternativa de reutilizar o resíduo em uma escala muito maior do que atualmente. Tendo em vista que a quantidade de resíduo gerado por municípios de médio e grande porte é elevada e que a taxa de aplicação do fosfogesso está relacionada com o peso dos resíduos aterrados, uma quantidade considerável de fosfogesso poderá ser utilizada diariamente para cobertura de aterros.

## 7 Recomendações

Para apresentação de trabalhos futuros, recomendam-se:

- Implantação de dispositivos para avaliação da manta líquida dentro das células do aterro experimental.
- Avaliação da instalação de manta PEAD como camada de cobertura para garantir o fluxo dos gases nos drenos.
- Estudos mais aprofundados quanto à decomposição da matéria orgânica com a influência do fosfogesso.
- Medições de gases metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) no aterro experimental.
- Estudos para avaliação da influência do fosfogesso na estabilidade do maciço de resíduo para aplicação do fosfogesso em aterro sanitários reais.
- Estudos para a avaliação das colônias de micro-organismos existentes nas células do aterro experimental e suas interações com o fosfogesso.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 10.004. Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 63 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 10.005. Lixiviação de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 7 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 10.006. Solubilização de Resíduos - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004. 2 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 13896. Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto implantação e operação - Procedimento. Rio de Janeiro, 1997. 12 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR - 8419. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

AMARAL, Míriam Cristina Santos. Caracterização de lixiviados empregando parâmetros coletivos e identificação de compostos. 2007. 211 folhas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) DESA/UFMG, Belo Horizonte, 2007.

CANUT, Mariana Moreira Cavalcante. Estudo de viabilidade do uso dos resíduos fosfogesso como material de construção. 2006. 154 folhas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) DESA/UFMG, Belo Horizonte, 2006.

CATAPRETA, Cícero Antonio Antunes. Comportamento de um Aterro Sanitário Experimental: Avaliação da Influência do Projeto, Construção e Operação. 2008. 316

folhas. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). DESA/UFMG. Belo Horizonte, 2008.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Inventário de Resíduos Sólidos Urbanos, 2009. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/publicacoes.asp>>. Acesso em: 10-de novembro de 2009.

CHANG, Wen F.; MANTELL, Murray I. Engineering Properties and Construction Applications of Phosphogypsum, University of Miami, Florida, 1990. Disponível em: <<http://www.fipr.state.fl.us/fiprreport2003/research-past-01-068-070.htm>> Acesso em: 16 de fevereiro de 2010.

COELHO, Hosmanny Mauro Goulart. Avaliação da influência de camadas de cobertura intermediárias e finais na degradação de resíduos sólidos urbanos e na geração de lixiviados. 2005. 137 folhas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - DESA/UFMG. Belo Horizonte, 2005.

COSTA, Marco Aurélio.; SILVA, Pedro S.C.; VALLE, Pedro W. P. A. do. Bioenergia: Cadeia Produtiva e Co-produto em Minas Gerais – Belo Horizonte Instituto de Estudo Pró-cidadania – PRÓ-CITTÁ/SECTES, 2009. 176p. : Il.

DESCHAMPS, Eleonora.<sup>1</sup>; RIBEIRO, Caroline Monteiro. <sup>1</sup>; PAES, Flora Freitas.<sup>1</sup>; JACOMINO, Vanusa<sup>2</sup>. Há usos alternativos seguros para o fosfogesso? <sup>1</sup> XI ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONTAMINANTES INORGÂNICOS.

FARQUHAR, G. J. Leachate: production and characterization, Department of Civil Engineering, University of Waterloo, Waterloo, Canadá, 1988. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/muwww/fulltext/repind49/lesson10/leachate.html>>. Acesso em: 25 de outubro de 2009.

FIPR – FLORIDA INSTITUTE OF PHOSPHATE RESEARCH. Gypsum as a Calcium & Sulfur Source for the Southeastern US. Literature Review on Gypsum as a Calcium and Sulfur Source for the Southeastern United States Malcolm Edward Sumner

<<http://www.fipr.state.fl.us/fiprreport2003/research-past-01-118-118.htm>>. Acesso em: 14 de abril 2009.

FIPR – FLORIDA INSTITUTE OF PHOSPHATE RESEARCH. Research Highlights - Public & Environmental Health. FIPR Report 2003-2004 The First Twenty-Five Years: A Look Back Research Highlights. Disponível em: <<http://www.fipr.state.fl.us/FIPRreport2003/photo-montage-public-health.htm>>. Acesso em: 14 de abril 2009.

GUIDRY, Jerome J.; ROESSLER, Charles E.; BOLCH, W. Emmett. et all Radiocity in foods grown on mined phosphate lands, Florida Institute of Phosphate Research, Bartow, Florida, Outubro, 1990. Publication No. 05-028-088.

HAMADA, Jorge. Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Foz do Iguaçu, 1997. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/chorume.pdf>>. Acesso em: 12 de novembro de 2009.

HENRIQUES, Rachel Martins. Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: Uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação de mestrado. Escola de engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, 2004.

ICLEI 'International Council for Local Environmental Initiatives' Brasil, Governos locais para sustentabilidade Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

LINS, E. A. M.; JUCÁ, J. F. T. A utilização de métodos empíricos para a estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinvile, SC. Anais Joinvile: ABES, 2003. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/III-239.pdf>>. Acesso em: 16 de março de 2010.

MACEDO, Jorge Antônio Barros de. Métodos de laboratório de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas, 3ª Ed. – CRQ – Belo Horizonte, MG, 2005.

METCALF-EDDY. Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Barcelona / ESP: Editorial Labor S.A. 2ª Edición, 1985, 969 p.

MUNHOZ, Fabiana Costa. RENOFIO, Adilson. Uso da gipsita na construção civil e adequação para a P+L. XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 09 a 11 de outubro de 2007. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007\\_TR650479\\_9888.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2007_TR650479_9888.pdf)>. Acesso em: 07 de abril de 2009.

NOTA TÉCNICA DEN 06/08 Avaliação Preliminar do Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos de Campo Grande, MS. Governo Federal Ministério de Minas e Energia - Rio de Janeiro, Novembro de 2008.

OTERO, Maria Luiza.; VILHENA, André. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado - 2.ed. São Paulo: IPT / CEMPRE, 2000. - Publicação IPT.

OWEIS, I. S. Stability of landfills. In: Daniel, D. E. (Ed.). Geotechnical Practice for Waste Disposal. London: Chapman and Hall, 1993, pp. 244 – 268.

Parecer técnico GEDIM 230/2007 do processo de licenciamento ambiental, processo COPAM 0042/1978/021/2005.

Política Estadual de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.mncr.org.br/box\\_2/arquivos-em-pdf/LEI%2018031-2009%20Política%20estadual%20de%20Resíduos%20MG.pdf](http://www.mncr.org.br/box_2/arquivos-em-pdf/LEI%2018031-2009%20Política%20estadual%20de%20Resíduos%20MG.pdf)>. Acesso em 13 de maio de 2009.

Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 13 de maio de 2009.

Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/action/consultaPublicacoes>>. Acesso em: 16 de maio de 2010.

Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legi.cfm>>. Acesso em: 15 de abril de 2009.

Resolução conjunta COPAM/CERH nº 1. 5 de maio de 2008. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 15 de abril de 2009.

ROCHA, Gustavo Henrique Tetzl.; Identificação e Avaliação de resíduos potencialmente perigosos no resíduo sólido urbano. 2003. 146 folhas. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) -DESA/UFMG, Belo Horizonte, 2003.

RUSSO, M. A. T.; VIEIRA, C. Estudos sobre tratamento de lixiviados de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2000, Porto Seguro, BA. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-112.pdf>>. Acesso em: 18 de agosto de 2009.

SEGATO, Luciana Maturana. Caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru. XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-039.pdf>>. Acesso em: 23 de agosto de 2009.

SHIED, Chih-Shim. Application of Phosphogypsum in landfills. Disponível em <[http://www.fipr.state.fl.us/5b\\_Shieh\\_testimony.pdf](http://www.fipr.state.fl.us/5b_Shieh_testimony.pdf)>. Acesso em 15 de abril de 2008.

SILVA, Florence Vasconcelos Braga. Avaliação da influência da correção do teor de umidade na degradação anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos. 2005, 114 folhas.

Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos).  
Universidade Federal de Minas Gerais – DESA/UFMG, Belo Horizonte, 2005.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2007, Belo Horizonte, MG. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 2007.

SPERLING, Marcos Von. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – 3 ed. – Belo Horizonte, Departamento de Engenharia sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

SUMNER, Malcolm Edward. Gypsum as a calcium and sulfur source for crops and soils in the southeastern United States. Reconciliation of Literature Review with EPA's Final Rule on Phosphogypsum, Florida Institute of Phosphate Research, FIPR Project # 93-01-118, outubro de 1995.



## **9 Anexos**

### ***9.1 Anexo I – Termo de cooperacao tecnica***





**TERMO DE COOPERAÇÃO TÉCNICA  
N.º 2091010500109 QUE ENTRE SI  
CELEBRAM A FUNDAÇÃO ESTADUAL  
DO MEIO AMBIENTE - FEAM E  
PREFEITURA MUNICIPAL DE  
CONTAGEM**

A **Fundação Estadual do Meio Ambiente**, doravante denominada **FEAM**, inscrita no CNPJ/MF nº 25.455.858/0001-71, com sede na Rua Espírito Santo, 495, 11º andar, Bairro Centro, CEP 30.160.030, em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais, neste ato representada por seu Presidente, **José Cláudio Junqueira Ribeiro**, casado, engenheiro civil, portador da CI nº M 899.977, inscrito no CPF nº 154.724.856-49, residente e domiciliado em Belo Horizonte, na Rua Rodrigues Caldas, 475, apto 201, Bairro Santo Agostinho, CEP 30.190.120, e a **Prefeitura Municipal de Contagem**, doravante denominada Prefeitura, pessoa de direito público interno, inscrita no CNPJ/MF sob nº 18.715.508.0001-31, com sede na Praça Presidente Tancredo Neves, nº 200, Bairro Camilo Alves, cidade de Contagem/MG, neste ato representado pelo secretário da **SECRETARIA DE OBRAS E SERVIÇOS URBANOS**, na pessoa de Rômulo Thomaz Perilli, profissão engenheiro civil, portador da CI nº M - 9.116.610, inscrito no CPF nº 186.061.216-49, residente e domiciliado em Belo Horizonte, na localidade da rua Acarau, nº 235, apartamento 701, bairro Cidade Jardim, cidade de 30380-020, MG,

Considerando que os 3R's - Redução, Reuso e Reciclagem - dos resíduos originários do processo de produção de fertilizantes - fosfogesso, é um dos desafios a ser enfrentado;

Considerando que os aterros sanitários são intervenções antrópicas que geram passivos ambientais para gerações futuras;

Considerando que, no paradigma da atuação da FEAM, o espírito investigativo é a tônica na busca de soluções tecnológicas que venham equacionar ou mitigar os problemas ambientais do território mineiro, por consequência a sua melhora da qualidade ambiental;

Considerando que os desafios carecem de estudos, análises, testes, certificações, modelagem, enfim todo um processo metodológico de definição e desenvolvimento de uma rotina tecnológica;

Considerando que a perspectiva de utilização do fosfogesso em aterros sanitários é alvissareira, que pode aumentar sua vida útil e, conseqüentemente, gerar vantagens econômicas para os municípios;

Considerando que há necessidade de desenvolvimento de pesquisa que retrate a nossa realidade com definições paramétricas que chequem os dados teóricos de bancada com os práticos em escala piloto;

000042

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*







Considerando o empreendedorismo do município de Contagem em compartilhar os esforços em busca de melhorias para um dos problemas enfrentados pelos prefeitos.

Resolvem celebrar o presente convênio de cooperação técnica, sujeitando-se às normas da lei 8.666, de 21 de junho de 1993, e suas alterações posteriores no que couber, mediante Cláusulas e condições seguintes:

### CLÁUSULA PRIMEIRA – DO OBJETO

O presente convênio tem por objeto o desenvolvimento de atividades de pesquisa e cooperação técnica, na temática de reutilização de resíduos, visando ampliar o conhecimento e a aplicação de fosfogesso em aterro sanitário em substituição à utilização do material de cobertura, buscando a análise da aceleração da decomposição da matéria orgânica, bem como contribuir para o entendimento do seu comportamento em sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos às condições brasileiras, por meio da construção e monitoramento de 2 (duas) células experimentais em escala real na área do aterro sanitário do município. Cabe ressaltar que este projeto que esta sendo desenvolvido pela Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM faz parte da dissertação de mestrado do servidor Bruno de Mattos Teixeira pela Universidade Federal de Ouro Preto.

000041

### CLÁUSULA SEGUNDA – DA OPERACIONALIZAÇÃO

#### 2.1 Compete, exclusivamente, à FEAM:

- 2.1.1 Contratar o projeto executivo de construção das células experimentais de aterro;
- 2.1.2 Responsabilizar-se pela construção das células de acordo com o projeto executivo;
- 2.1.3 Fornecer o material denominado fosfogesso, parte do objeto da pesquisa, a ser aplicado nas células experimentais de aterro;
- 2.1.4 Fornecer a orientação adequada aos operadores do aterro sanitário como dos procedimentos operacionais nas células experimentais, indicadas neste Termo;
- 2.1.5 Cumprir a legislação trabalhista, tributária, previdenciária, assistencial e securitária de seus servidores, e demais responsabilidades decorrentes das atividades ajustadas;
- 2.1.6 Realizar os ensaios das amostras coletadas nas células experimentais, conforme o plano de trabalho;
- 2.1.7 Fornecer a relação nominal das pessoas que terão acesso ao aterro sanitário e às células experimentais;

*[Handwritten signatures]*







- 2.1.8 Fornecer a Prefeitura um exemplar da dissertação realizada pelo servidor Bruno de Matos Teixeira no curso de Mestrado Profissional em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental ofertado pela Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP;
- 2.1.9 Constar quando da divulgação da dissertação, a participação da Prefeitura Municipal de Contagem, por meio da menção de parceria realizada;
- 2.1.10 Apoiar e colaborar, no que couber para execução do presente Termo de Cooperação;
- 2.1.11 Assegurar a publicidade deste, publicando no Diário Oficial do Estado.

**2.2 Compete, exclusivamente, à Prefeitura:**

- 2.2.1 Ceder uma área física para implantação das células junto ao Aterro Sanitário do município;
- 2.2.2 Permitir o conhecimento e a utilização da documentação afeta ao tema existente, desde que a mesma seja necessária ao bom andamento dos trabalhos;
- 2.2.3 Realizar a compactação dos resíduos sólidos urbanos nas células experimentais de aterro a serem construídas para a pesquisa com trator de esteira, conforme praticado no aterro sanitário;
- 2.2.4 Realizar o espalhamento do resíduo fosfogesso em substituição ao material de cobertura por resíduo de fosfogesso na célula experimental de acordo com a orientação da FEAM;
- 2.2.5 Assegurar o isolamento das áreas não permitindo qualquer modificação ou intromissão de terceiros que não conste da equipe da pesquisa;
- 2.2.6 Realizar as coletas de amostras nas células experimentais devidamente instruídas pelos pesquisadores da FEAM, caso necessário;
- 2.2.7 Realizar a coleta de chorume por caminhão pipa no tanque de armazenamento de chorume da célula que não contém fosfogesso, para encaminhamento do mesmo para tratamento, conforme realizado no aterro municipal, com uma periodicidade quinzenal.
- 2.2.8 Ceder três funcionários para ajudar na composição gravimétrica dos resíduos no período de uma semana necessário para o levantamento dos dados;
- 2.2.9 Apoiar o desenvolvimento das ações/atividades previstas no escopo do projeto de pesquisa, assim como a alocação de instalações, equipamentos e recursos humanos de apoio logístico.

**CLÁUSULA TERCEIRA – DO DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS**

*[Handwritten signatures]*



000040





As atividades de pesquisa serão desenvolvidas pelo mestrando Bruno de Matos Teixeira, sob orientação do Prof. Dr. Jorge de Lena e co-orientação da Dr. Eleonora Deschamps, no âmbito do curso de Mestrado Profissional em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental ofertado pela Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP;

#### CLÁUSULA QUARTA – DO ACESSO À ÁREA

O acesso ao Aterro Sanitário e outras dependências correlatas será permitido a qualquer momento aos técnicos credenciados pela FEAM, aprovados previamente pela Prefeitura.

#### CLÁUSULA QUINTA – DA COORDENAÇÃO DOS TRABALHOS

O presente Convênio deverá ser coordenado pelos seguintes profissionais em parceria:

- 1.1 – Prof. Dr. Jorge de Lena, como orientador, pela Fundação Gorceix, no âmbito do curso de Mestrado Profissional em Sustentabilidade Socioeconômica Ambiental da UFOP, que orientará a dissertação de mestrado intitulada “Avaliação do Uso do Fosfogesso na Recobertura de Aterro Sanitário”.
- 1.2 – Prof. Dra. Eleonora Deschamps, pela FEAM, que co-orientará a dissertação.
- 1.3 – Mestrando Bruno de Matos Teixeira, servidor da Feam, aluno do curso do Mestrado Profissional em Sustentabilidade Socioeconômica da UFOP.

#### CLÁUSULA SEXTA – DOS RECURSOS ORÇAMENTÁRIOS E FINANCEIROS

As partes deixam de mencionar os recursos financeiros e as respectivas dotações orçamentárias para atenderem as despesas deste Termo, devido à inexistência de ônus adicional, todavia acordam na utilização de recursos humanos e materiais sempre que disponíveis.

**Parágrafo Primeiro** – Os recursos financeiros para a execução das atividades deste Termo só poderão ser empenhados se previsto em dotação orçamentária específica.

**Parágrafo Segundo** - No presente Termo não haverá repasse de quaisquer recursos financeiros.

#### CLÁUSULA SÉTIMA – DOS GESTORES

Ficam designados como prepostos o servidor Bruno de Matos Teixeira, pela Feam e o Gestor de Limpeza Urbana João Batista de Lima Filho, pela Prefeitura, para responderem pelo Termo de Cooperação.

#### CLÁUSULA OITAVA – DA DENÚNCIA, RESCISÃO E ALTERAÇÃO

6300009







O presente Termo poderá, mediante assentimento das partes, ser alterado através de Termos Aditivos, bem como rescindido ou denunciado a qualquer tempo, por inadimplência de quaisquer das partes, nas cláusulas e condições estipuladas, por interesse público ou em caso de força maior desde que haja notificação com antecedência mínima de 30 (trinta) dias, motivadamente e por escrito, ressaltando-se, nesta oportunidade, as perdas e danos à parte que provar os prejuízos havidos.

#### CLÁUSULA NONA – DA DIVULGAÇÃO E PROPRIEDADE DOS RESULTADOS

As partes poderão divulgar o andamento dos programas, estudos, análises e projetos de pesquisa durante a execução deste Termo, bem como os produtos parciais e finais decorrentes da consecução de sua finalidade.

**Parágrafo Primeiro** - Nos produtos de divulgação e comunicação resultante do presente trabalho, deverá ser incluída a grafia da seguinte expressão: "Coordenação: Fundação Estadual do Meio Ambiente – Sistema Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais", utilizando-se da logomarca, tipo arial, tamanho 28, caixa baixa, e em corpo equivalente a grafia em arial 10, caixa alta, espaçamento simples, em corpo equivalente a grafia em arial 10, caixa alta, espaçamento simples, em itálico, **Fundação Estadual** logo baixo e na linha inferior **do Meio Ambiente**, caixa baixa, sublinhado, conforme modelo a ser fornecido pela Feam.

**Parágrafo Segundo** - Nas publicações de livros, cartilhas, material didático, paradidático ou outro material educacional deverá ser incluída a grafia com a seguinte expressão: "Este trabalho contou com a coordenação da Fundação Estadual do Meio Ambiente", utilizando-se da logomarca, tipo arial, tamanho 28, caixa baixa, e em corpo equivalente a grafia arial 10, caixa alta, espaçamento simples, em itálico, **Fundação Estadual** logo abaixo e na linha inferior **do Meio Ambiente**, caixa baixa, sublinhado, conforme modelo a ser fornecido pela Feam.

**Parágrafo Terceiro** - Nas peças eletrônicas e de cinema resultante do presente trabalho, a Prefeitura deverá fazer constar a seguinte expressão: "Produzido e coordenado com a Fundação Estadual do Meio Ambiente – Feam".

#### CLÁUSULA DÉCIMA – DA VIGÊNCIA

O prazo de início do presente Termo será o da data de sua publicação e do término 31 de dezembro de 2012, podendo ser prorrogado por tempo e condições a serem acordadas entre as partícipes, mediante a celebração de Termo Aditivo.

#### CLÁUSULA DÉCIMA PRIMEIRA – DA PRORROGAÇÃO E/OU ALTERAÇÕES

Este termo poderá ser prorrogado e/ou alterado, por solicitação das partes, em comum acordo, através de Termo Aditivo, dentro do prazo de vigência, mediante

000038

*[Handwritten initials]*







pedido acompanhado de justificativa circunstanciada e aceitação mútua das partes, com antecedência mínima de 30 (trinta) dias ao término de sua validade.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA SEGUNDA – DA PUBLICIDADE**

Qualquer publicidade decorrente deste Instrumento deverá ter caráter educativo, científico, informativo ou de orientação social, dela não podendo constar nomes, símbolos ou imagens que caracterizem promoção pessoal de autoridades ou de servidores públicos.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA TERCEIRA – DA AÇÃO PROMOCIONAL**

Em qualquer ação promocional relacionada ao objeto do presente Termo de Cooperação será, obrigatoriamente, destacada a participação da FEAM, observado o disposto no parágrafo 1º do art. 37 da Constituição Federal.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA QUARTA – DAS DISPOSIÇÕES GERAIS**

Cada parte arcará com seus encargos e obrigações fiscais, tributários, sociais, trabalhistas, previdenciários, acidentários ou quaisquer outros ônus inerentes às suas respectivas atividades ou operações, com pessoal próprio ou de terceiros contratados, inclusive no que diz respeito à responsabilidade civil perante este Termo.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA QUINTA – DA PUBLICAÇÃO**

Atendendo aos princípios legais da administração pública, a FEAM promoverá a publicação deste Instrumento no Diário Oficial de Minas Gerais.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA SEXTA – DOS CASOS OMISSOS**

Na ocorrência de fatos em que seja omissos o presente Termo, os mesmos serão, quando possível, resolvidos mediante acordo entre as partes, consultada a legislação vigente.

#### **CLÁUSULA DÉCIMA PRIMEIRA – DO FORO**

Para dirimir quaisquer dúvidas, na execução deste Termo de Cooperação Técnica, que não possam ser solucionada pela mediação administrativa, fica eleito o foro da Comarca de Belo Horizonte, renunciando-se a qualquer outro, por mais privilegiado que seja.

000037

RP







Governo do Estado de Minas Gerais  
Sistema Estadual de Meio Ambiente – SISEMA

Assim, justos e acordados, os partícipes assinam o presente TERMO DE COOPERAÇÃO, em 2 (duas) vias de igual teor e forma perante as testemunhas abaixo, para os fins de direito.

Belo Horizonte, 03 de Julho de 2009.

*José Cláudio Junqueira Ribeiro*  
José Cláudio Junqueira Ribeiro

Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEAM

Presidente

*Rômulo Thomaz Ferilli*  
Rômulo Thomaz Ferilli

Prefeitura Municipal de Contagem

Secretário de Obras e Serviços Urbanos

1ª Testemunha: *Rosineia Santos Costa* CPF 034.343.026-84

2ª Testemunha: *Antônio P. ...* CPF 573440606-63

000036





## FEAM

Extrato do Termo de Cooperação Técnica nº. 2091010500109. Partes: Fundação Estadual do Meio Ambiente e a Prefeitura Municipal de Contagem. Objeto: Desenvolvimento de atividades de pesquisa e cooperação técnica, na temática de reutilização de resíduos, visando ampliar o conhecimento e a aplicação de fosfogesso em aterro sanitário em substituição à utilização do material de cobertura, buscando a análise da aceleração da decomposição da matéria orgânica, bem como contribuir para o entendimento do seu comportamento em sistema de disposição de resíduos sólidos urbanos às condições brasileiras, por meio da construção e monitoramento de 2 (duas) células experimentais em escala real na área do aterro sanitário do município. Vigência: 31 de dezembro de 2012, contados a partir da data de sua publicação. Termo assinado aos 03.07.2009. a) José Cláudio Junqueira Ribeiro; b) Rômulo Thomaz Perilli.

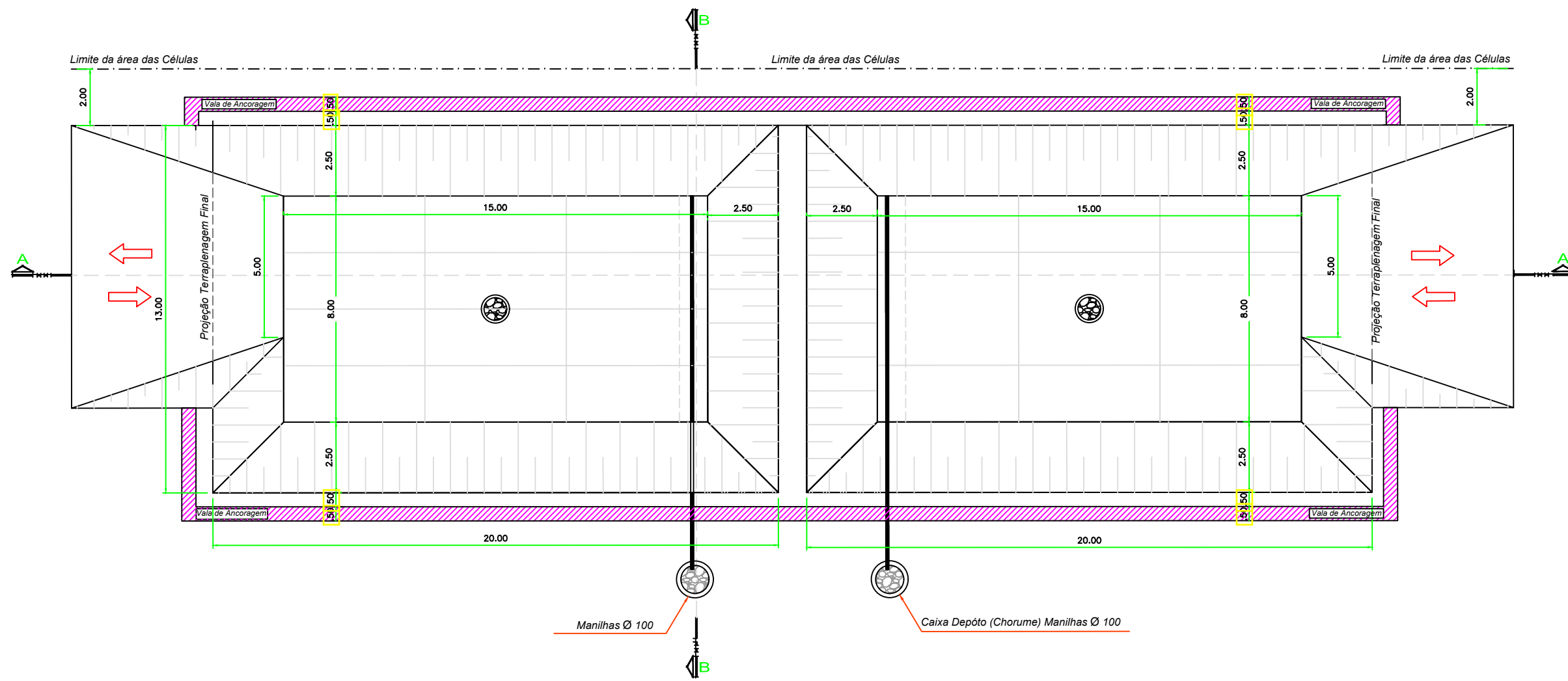
4cm 03 958.165 - X

000035

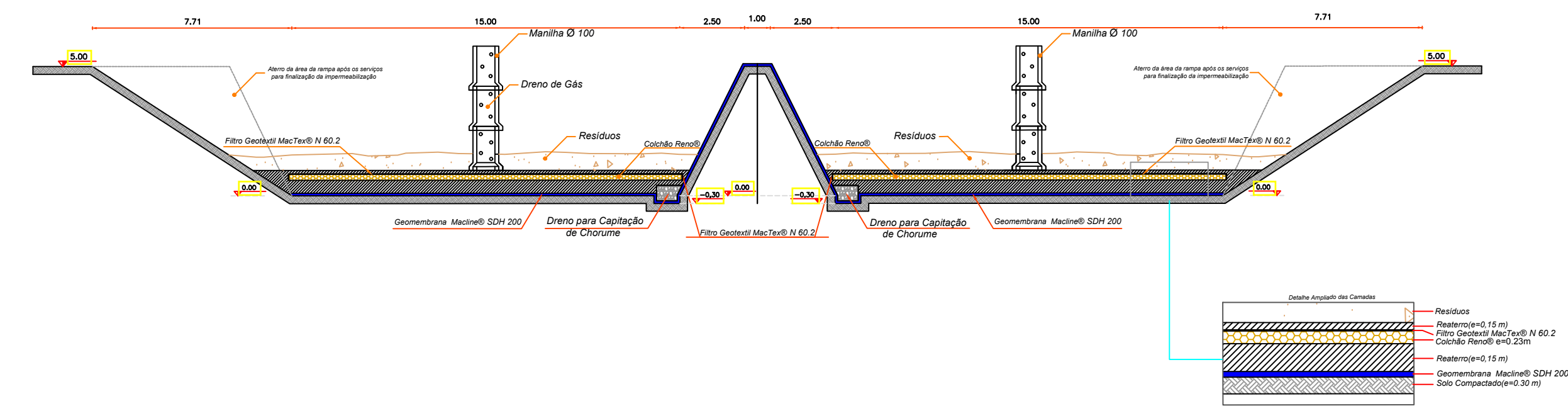
## ***9.2 Anexo II –Projeto das células***



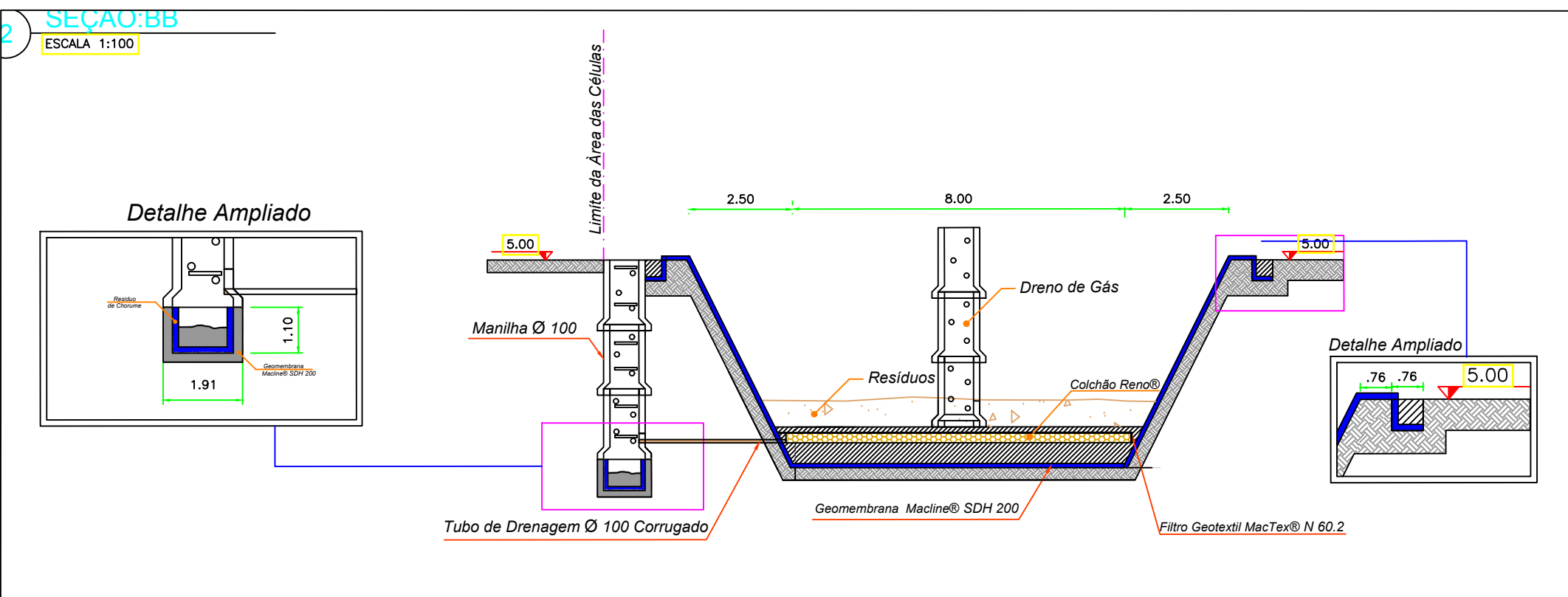
0 Planta Esquemática  
ESCALA 1:100



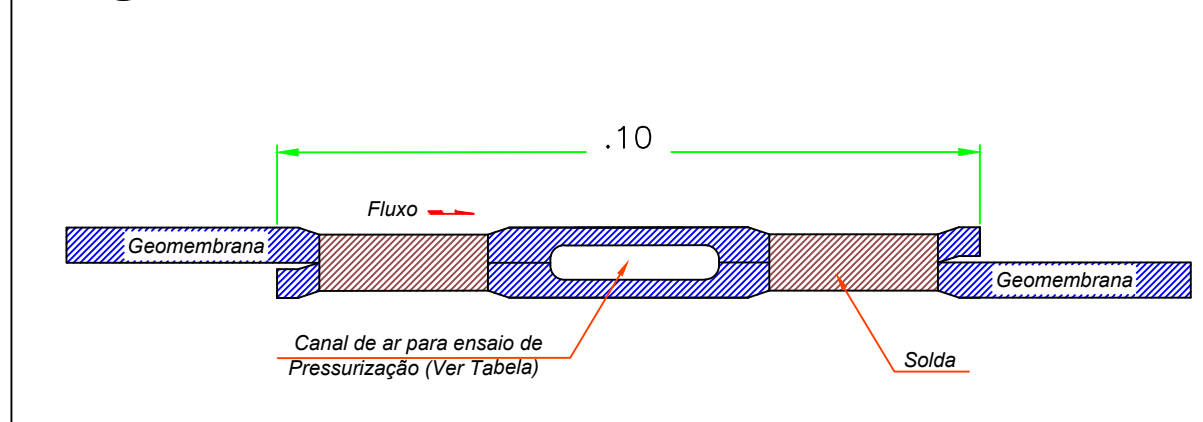
1 SEÇÃO AA  
ESCALA 1:100



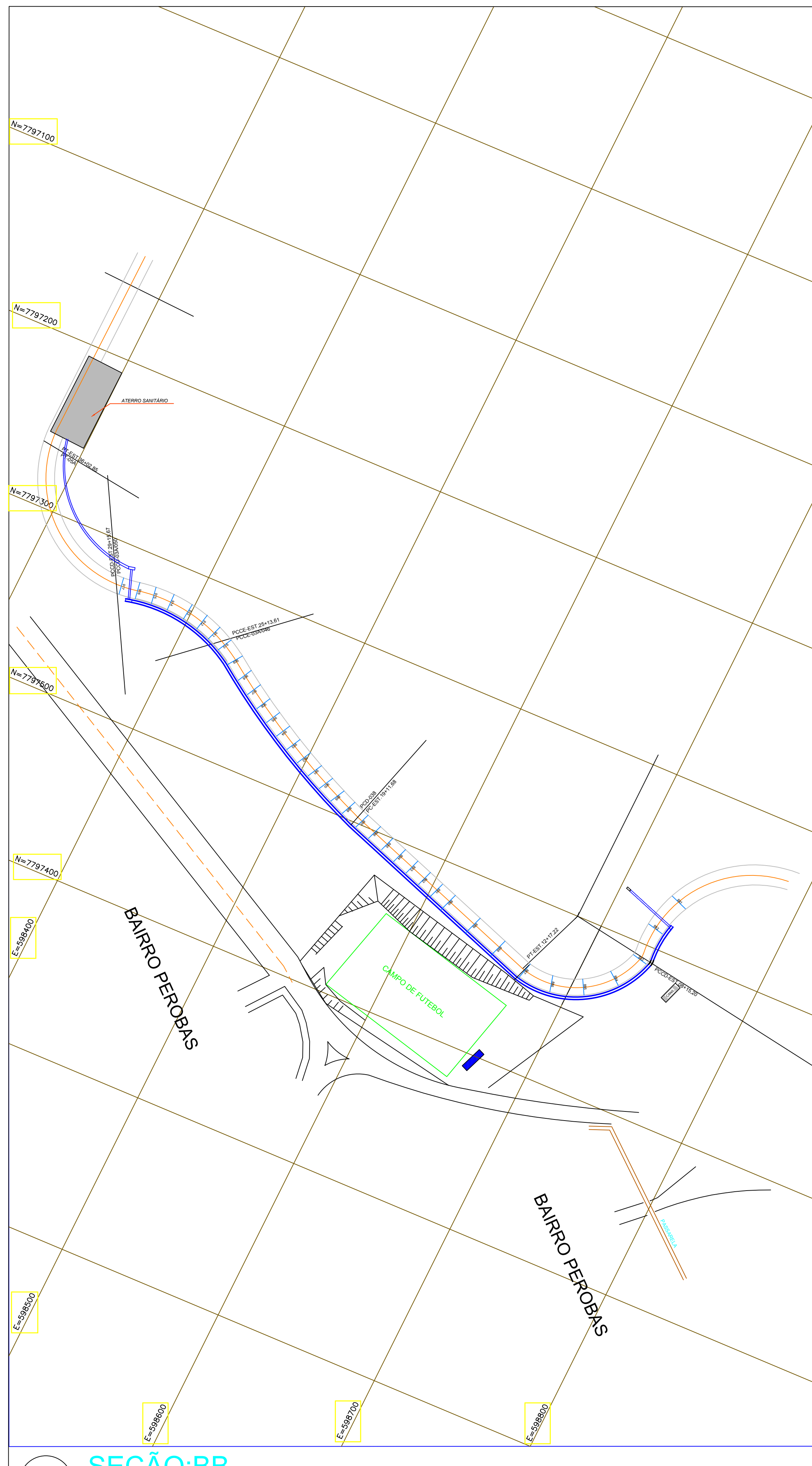
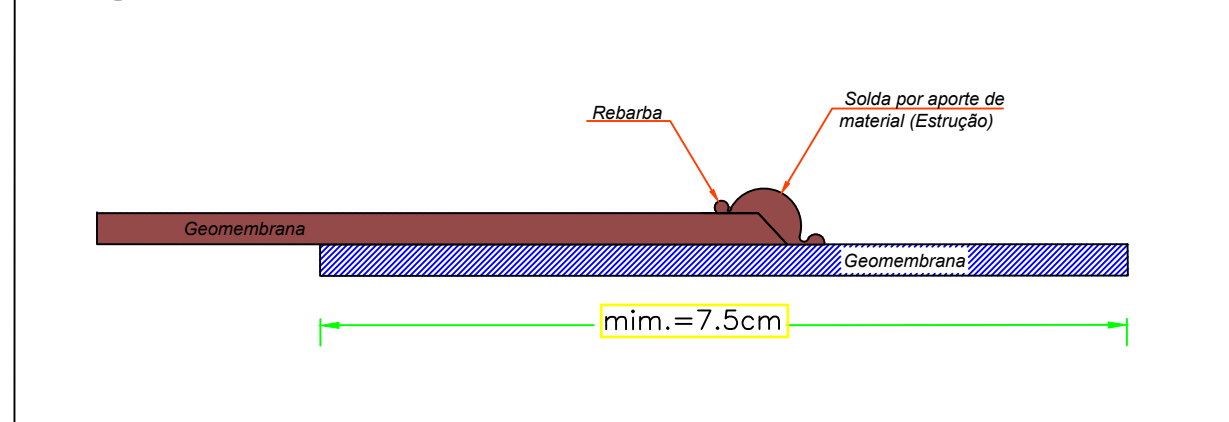
2 SEÇÃO BB  
ESCALA 1:100



3 Detalhe da Solda por Cunha Quente  
ESCALA 5/Execução



3 Detalhe da Solda por Aporte de Material (Extrusão)  
ESCALA 5/Execução



2 SEÇÃO BB  
ESCALA 1:500

1) Todas as Dimensões estão em M. a menos que se indique o contrário.

**Especificações**  
Geomembrana Macine® de polietileno de alta densidade são produzidas com resinas de alto peso molecular resultando geomembranas flexíveis de primaríssima qualidade. Sua composição foi formulada para se obter uma resistência a produtos químicos livres de aditivos lixiviáveis e a degradação por raios ultravioletas.

**Tabela para ensaio de pressurização**

| Espessura (mm) | Pressão (kPa) | Pressão (psi) | Fenda admissível após 5min (kPa) | Fenda admissível após 5min (psi) |
|----------------|---------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| 1,0            | 205           | 30            | 28                               | 4                                |
| 1,5            | 205           | 30            | 21                               | 3                                |
| 2,0            | 205           | 30            | 14                               | 2                                |
| 2,5            | 205           | 30            | 14                               | 2                                |

**QUANTIDADES**

| Descrição do Material            | Quant.   | Un. |
|----------------------------------|----------|-----|
| Geomembrana Macine® SDH 200      | 1.250,00 | m²  |
| Colchão Reno® (GH-PVC) e=0,23m   | 240,00   | m²  |
| Filtro Geotextil MacTex® N. 60.2 | 690,00   | m²  |

CONFERRIR MEDIDAS NO LOCAL - DIREITOS AUTORAIS RESERVADOS

| NO  | REVISÃO | DESCRIÇÃO | DATA | RESP. |
|-----|---------|-----------|------|-------|
| 01  |         |           |      |       |
| 02  |         |           |      |       |
| 03  |         |           |      |       |
| 04  |         |           |      |       |
| 05  |         |           |      |       |
| 06  |         |           |      |       |
| 07  |         |           |      |       |
| 08  |         |           |      |       |
| 09  |         |           |      |       |
| 10  |         |           |      |       |
| 11  |         |           |      |       |
| 12  |         |           |      |       |
| 13  |         |           |      |       |
| 14  |         |           |      |       |
| 15  |         |           |      |       |
| 16  |         |           |      |       |
| 17  |         |           |      |       |
| 18  |         |           |      |       |
| 19  |         |           |      |       |
| 20  |         |           |      |       |
| 21  |         |           |      |       |
| 22  |         |           |      |       |
| 23  |         |           |      |       |
| 24  |         |           |      |       |
| 25  |         |           |      |       |
| 26  |         |           |      |       |
| 27  |         |           |      |       |
| 28  |         |           |      |       |
| 29  |         |           |      |       |
| 30  |         |           |      |       |
| 31  |         |           |      |       |
| 32  |         |           |      |       |
| 33  |         |           |      |       |
| 34  |         |           |      |       |
| 35  |         |           |      |       |
| 36  |         |           |      |       |
| 37  |         |           |      |       |
| 38  |         |           |      |       |
| 39  |         |           |      |       |
| 40  |         |           |      |       |
| 41  |         |           |      |       |
| 42  |         |           |      |       |
| 43  |         |           |      |       |
| 44  |         |           |      |       |
| 45  |         |           |      |       |
| 46  |         |           |      |       |
| 47  |         |           |      |       |
| 48  |         |           |      |       |
| 49  |         |           |      |       |
| 50  |         |           |      |       |
| 51  |         |           |      |       |
| 52  |         |           |      |       |
| 53  |         |           |      |       |
| 54  |         |           |      |       |
| 55  |         |           |      |       |
| 56  |         |           |      |       |
| 57  |         |           |      |       |
| 58  |         |           |      |       |
| 59  |         |           |      |       |
| 60  |         |           |      |       |
| 61  |         |           |      |       |
| 62  |         |           |      |       |
| 63  |         |           |      |       |
| 64  |         |           |      |       |
| 65  |         |           |      |       |
| 66  |         |           |      |       |
| 67  |         |           |      |       |
| 68  |         |           |      |       |
| 69  |         |           |      |       |
| 70  |         |           |      |       |
| 71  |         |           |      |       |
| 72  |         |           |      |       |
| 73  |         |           |      |       |
| 74  |         |           |      |       |
| 75  |         |           |      |       |
| 76  |         |           |      |       |
| 77  |         |           |      |       |
| 78  |         |           |      |       |
| 79  |         |           |      |       |
| 80  |         |           |      |       |
| 81  |         |           |      |       |
| 82  |         |           |      |       |
| 83  |         |           |      |       |
| 84  |         |           |      |       |
| 85  |         |           |      |       |
| 86  |         |           |      |       |
| 87  |         |           |      |       |
| 88  |         |           |      |       |
| 89  |         |           |      |       |
| 90  |         |           |      |       |
| 91  |         |           |      |       |
| 92  |         |           |      |       |
| 93  |         |           |      |       |
| 94  |         |           |      |       |
| 95  |         |           |      |       |
| 96  |         |           |      |       |
| 97  |         |           |      |       |
| 98  |         |           |      |       |
| 99  |         |           |      |       |
| 100 |         |           |      |       |

### ***9.3 Anexo III –Laudos laboratoriais***





Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
tafeconosco@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Análises  
Químicas

Certificado de Ensaios Nº 627046

Folha  
1/3

## LABORATÓRIO DE TRAÇOS METÁLICOS

Cliente: FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente  
Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/nº - Edifício Minas 1º andar  
Cidade Administrativa – Bairro Serra Verde  
CEP: 33.040-130 Santa Luzia, MG

Guia de Autorização de Serviços (GAS) Nº: 75602

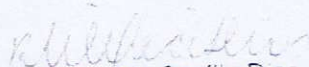
Objeto: duas amostras de chorume

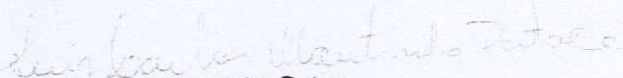
Natureza do trabalho: determinação quantitativa de Cu, Fe, Mn dissolvidos e Ba, B, Cr, Sn, Ni, Ag, Zn totais por espectrometria de emissão atômica por plasma, Cd, Pb totais por espectrometria de absorção atômica com forno de grafite, As, Se totais por espectrometria de absorção atômica com gerador de hidretos e Hg total por espectrometria de absorção atômica com vapor frio, segundo procedimentos do laboratório

Data de recebimento  
21-6-2010

Data de conclusão  
13-7-2010

Data de emissão  
14-7-2010

  
Renata Vilela Cecílio Dias  
CRQ/MG 02100991  
Responsável Substituta Laboratório de Traços Metálicos

  
Luiz Carlos Moutinho Pataca  
CRQ/MG 02100629  
Coordenador Interino do Setor de Análises Químicas

Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.  
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.







# Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Barro Preto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
fatec@fatec.br - www.fatec.br

Setor de  
Análises  
Químicas

## Certificado de Ensaio Nº 627046

Folha  
2/3

### 1 Identificação das amostras

| Id. Laboratório | Id. Cliente |                |                          |
|-----------------|-------------|----------------|--------------------------|
|                 | Ponto       | Data da coleta | Descrição                |
| 75602/7153      | Ponto 1     | 16.06.2010     | Lixiviado com Fosfogesso |
| 75602/7154      | Ponto2      | 16.06.2010     | Lixiviado sem fosfogesso |

### 2 Resultados

| Id. Laboratório | Resultados Totais |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | Ag mg/L           |           | B mg/L    |           | Ba mg/L   |           | Cr mg/L   |           | Ni mg/L   |           |
|                 | Resultado         | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza |
| 75602/7153      | <0,01             | 1,3E-06   | 2,605     | 0,052     | 0,663     | 0,013     | 0,160     | 0,010     | 0,365     | 0,055     |
| 75602/7154      | <0,01             | 1,3E-06   | 1,827     | 0,037     | 1,170     | 0,023     | 0,207     | 0,012     | 0,359     | 0,054     |

| Id. Laboratório | Resultados Totais |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | Sn mg/L           |           | Zn mg/L   |           | Cd mg/L   |           | Pb mg/L   |           | As mg/L   |           |
|                 | Resultado         | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza |
| 75602/7153      | <0,50             | 1,2E-01   | 0,632     | 0,026     | <0,0005   | 5,0E-05   | 0,0235    | 0,0014    | <0,0003   | 4,2E-05   |
| 75602/7154      | <0,50             | 1,2E-01   | 1,735     | 0,027     | <0,0005   | 5,0E-05   | 0,0138    | 0,0012    | <0,0003   | 4,2E-05   |

| Id. Laboratório | Resultados Totais |           |           |           |
|-----------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
|                 | Se mg/L           |           | Hg mg/L   |           |
|                 | Resultado         | Incerteza | Resultado | Incerteza |
| 75602/7153      | <0,0005           | 7,5E-05   | <0,20     | 2,4E-02   |
| 75602/7154      | 0,000718          | 0,000072  | <0,20     | 2,4E-02   |

| Id. Laboratório | Resultados Dissolvidos |           |           |           |           |           |
|-----------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                 | Cu mg/L                |           | Fe mg/L   |           | Mn mg/L   |           |
|                 | Resultado              | Incerteza | Resultado | Incerteza | Resultado | Incerteza |
| 75602/7153      | 0,0826                 | 0,0025    | 417,3     | 8,3       | 54,3      | 1,1       |
| 75602/7154      | 0,0834                 | 0,0025    | 469,2     | 9,4       | 34,51     | 0,69      |





## Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido de Almeida, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
teleconosco@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Análises  
Químicas

# Certificado de Ensaio Nº 627046

Folha  
3/3

### 3 Características dos instrumentos utilizados no ensaio

3.1 Espectrômetro de emissão por plasma, marca Perkin Elmer, modelo ICP Optima 3000, número de série 069N308060.

3.2 Espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite, marca Perkin Elmer, modelo Zeeman 5100, número de série 6326, com HGA 600, número de série 4717.

3.3 Espectrômetro de absorção atômica com geração de hidretos, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 10.

3.4 Espectrômetro de absorção atômica com vapor frio, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 20, número de série 2346.

### 4 Condições operacionais

4.1 Ensaio realizado dentro de uma área limpa, classe 10000, com linhas de fluxo laminar classe 100.

4.2 Água utilizada foi purificada utilizando Milli-Q. Reagentes purificados por subebulição.

### 5 Analistas

5.1 Adilson Rosa Filho - CRQ/MG 02411183

5.2 Andrea Moreira Carvalho - CRQ/MG 02407538

5.3 Eduardo Henrique Martins de Oliveira - CRQ/MG 02411945

5.4 Geraldo do Carmo - CRQ/MG 02400776

5.5 Oiguita G. Ferreira Rocha - CRQ/MG 02100224

### 6 Observações

6.1 Resultados expressos como "<(valor)" referem-se aos limites de quantificação dos métodos.

6.2 A incerteza expandida (U expandida) refere-se a um intervalo de confiança de aproximadamente 95% e é declarada como a incerteza padrão multiplicada por um fator de abrangência (K) igual a 2.

6.3 A incerteza expandida foi determinada segundo as prescrições do EURACHEM/CITAC Guide (2000), considerando-se os seguintes componentes: padrões analíticos, curva analítica, preparo da amostra e reprodutibilidade.







Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
faleconoscoi@oetec.br - www.oetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

Folha

1/3

Certificado de Ensaio Nº 215051

LABORATÓRIO DE ÁGUA E EFLUENTES LÍQUIDOS



Cliente: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Endereço: Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/nº  
Cidade Administrativa - Edifício Minas - 1º andar  
Serra Verde  
31630-900 Belo Horizonte, MG

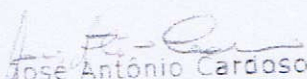
Guia de Autorização de Serviços (GAS) Nº: 58674

Objeto: 02 (duas) amostras de chorume

Natureza do trabalho: Ensaio dos constituintes conforme SM e ABNT

Data de conclusão  
22-07-2010

Data de emissão  
22-07-2010

  
José Antônio Cardoso  
Químico CRQ Nº 02100295  
Responsável pelo Laboratório  
Coordenador do SAM/CETEC

*Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) descrita(s) no item 1.  
Nas situações aplicáveis, o arredondamento dos nºs apresentados neste certificado foi realizado segundo as prescrições da NBR 5891/1977.  
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.*







# Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido de Silva, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-3200  
fatecnosco@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

## Certificado de Ensaio Nº 215051

Folha  
2/3

### Identificação das amostras

| Identificação do Laboratório | Data de coleta | Hora de coleta | Identificação do Cliente |
|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                              |                |                | Descrição                |
| 58674/1396                   | 16-06-2010     | 10:40          | Lixiviado com fosfogesso |
| 58674/1397                   | 16-06-2010     | 10:55          | Lixiviado sem fosfogesso |

### Resultados

| Determinação / unidade                      | Data do ensaio | Amostra nº 58674/1396 |             | Método de ensaio           |
|---|----------------|-----------------------|-------------|----------------------------|
|   |                | Valor                 | = Incerteza |                            |
| Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 16-06-2010     | 7478                  | = 1,7E+02   | SM 2320 B                  |
| Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 16-06-2010     | 21920                 | = 4,8E+02   | SM 2510 B                  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 16-06-2010     | 1889                  | = 5,7E+01   | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
| Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 17-06-2010     | 47009                 | = 2,5E+02   | ABNT NBR 10357/1988        |
| Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 22-06-2010     | 6376                  | = 3,9E+01   | SM 2340 C                  |
| Fósforo total / mg/L P                      | 18-06-2010     | 1,22                  | = 5,5E-02   | SM 4500-P B e E            |
| Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 05-07-2010     | 815                   | = 1,6E+01   | ABNT NBR 10560/1988        |
| Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 17-07-2010     | 1188                  | = 4,0E+01   | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 22-06-2010     | 0,2                   | = 2,7E-02   | ABNT NBR 10561/1988        |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L            | 23-06-2010     | 29060                 | = 6,9E+02   | ABNT NBR 10664/1989        |
| Fenóis totais / mg/L                        | 08-07-2010     | 11,780                | = 9,9E-01   | ABNT NBR 10740/1989        |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L     | 16-06-2010     | <1,0                  | = 1,1E-02   | SM 4500-O G                |
| pH, laboratório                             | 16-06-2010     | 5,6                   | = 5,5E-02   | SM 4500 H+ B               |

...continua







# Certificado de Ensaio Nº 215051

Folha

3/3

## 2 Resultados (continuação)

| Determinação / unidade                      | Data do ensaio | Amostra nº 58674/1397 |   |           | Método de ensaio           |
|---|----------------|-----------------------|---|-----------|----------------------------|
|   |                | Valor                 | ± | Incerteza |                            |
| Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 16-06-2010     | 7467                  | ± | 1,7E+02   | SM 2320 B                  |
| Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 16-06-2010     | 21280                 | ± | 4,7E+02   | SM 2510 B                  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 16-06-2010     | 16524                 | ± | 5,0E+02   | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
| Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 17-06-2010     | 45107                 | ± | 2,4E+02   | ABNT NBR 10357/1988        |
| Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 22-06-2010     | 7045                  | ± | 4,3E+01   | SM 2340 C                  |
| Fósforo total / mg/L P                      | 18-06-2010     | 0,30                  | ± | 1,4E-02   | SM 4500-P B e E            |
| Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 05-07-2010     | 1576                  | ± | 3,1E+01   | ABNT NBR 10560/1988        |
| Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 17-07-2010     | 2702                  | ± | 9,0E+01   | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 22-06-2010     | 3,0                   | ± | 4,0E-01   | ABNT NBR 10561/1988        |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L            | 23-06-2010     | 27540                 | ± | 6,6E+02   | ABNT NBR 10664/1989        |
| Fenóis totais / mg/L                        | 08-07-2010     | 10,755                | ± | 9,0E-01   | ABNT NBR 10740/1989        |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L     | 16-06-2010     | <1,0                  | ± | 1,1E-02   | SM 4500-O G                |
| pH, laboratório                             | 16-06-2010     | 5,7                   | ± | 5,5E-02   | SM 4500 H+ B               |

## 3 Observação

Os resultados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.

### 3.1 Laboratório

3.1.1 A incerteza relatada refere-se à incerteza expandida, declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k = 2$ , que para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%.

3.1.2 Para resultados menores que o Limite de Quantificação (LQ) a incerteza expandida foi estimada na concentração equivalente a este limite.

## 4 Referência bibliográfica

4.1 STANDARD methods for the examination of water and wastewater (SM) 21 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005. 1v.

4.2 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.







# Certificado de Ensaio Nº 215092

Folha

2/3

## 1 Identificação das amostras

| Identificação do Laboratório | Data de coleta | Hora de coleta | Identificação do Cliente |
|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                              |                |                | Descrição                |
| 58674/1712                   | 28-07-2010     | 10:00          | Amostra com fosfogesso   |
| 58674/1713                   | 28-07-2010     | 10:30          | Amostra sem fosfogesso   |

## 2 Resultados

| Determinação / unidade                      | Data do ensaio | Amostra nº 58674/1712 |   |           | Método de ensaio           |
|---|----------------|-----------------------|---|-----------|----------------------------|
|   |                | Valor                 | ± | Incerteza |                            |
| Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 28-07-2010     | 7414                  | ± | 1,7E+02   | SM 2320 B                  |
| Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 28-07-2010     | 21290                 | ± | 4,7E+02   | SM 2510 B                  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 28-07-2010     | 16688                 | ± | 5,0E+02   | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
| Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 02-08-2010     | 55093                 | ± | 2,9E+02   | ABNT NBR 10357/1988        |
| Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 28-07-2010     | 7441                  | ± | 4,6E+01   | SM 2340 C                  |
| Fósforo total / mg/L P                      | 03-08-2010     | 0,05                  | ± | 2,3E-03   | SM 4500-P B e E            |
| Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 04-08-2010     | 937                   | ± | 1,8E+01   | ABNT NBR 10560/1988        |
| Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 05-08-2010     | 1278                  | ± | 4,3E+01   | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 02-08-2010     | 5,0                   | ± | 6,7E-01   | ABNT NBR 10561/1988        |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L            | 02-08-2010     | 30580                 | ± | 7,3E+02   | ABNT NBR 10664/1989        |
| Fenóis totais / mg/L                        | 04-08-2010     | 10,845                | ± | 9,1E-01   | ABNT NBR 10740/1989        |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L     | *              | *                     | ± | *         | SM 4500-O G                |
| pH, laboratório                             | 28-07-2010     | 5,8                   | ± | 5,6E-02   | SM 4500 H+ B               |

\* Ensaio não executado

... continua







# Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido de Almeida, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
faleconosco@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

## Certificado de Ensaio Nº 215092

2/3

### 1 Identificação das amostras

| Identificação do Laboratório | Data de coleta | Hora de coleta | Identificação do Cliente |
|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                              |                |                | Descrição                |
| 58674/1712                   | 28-07-2010     | 10:00          | Amostra com fosfogesso   |
| 58674/1713                   | 28-07-2010     | 10:30          | Amostra sem fosfogesso   |

### 2 Resultados

| Determinação / unidade                      | Data do ensaio | Amostra nº 58674/1712 |   |           | Método de ensaio           |
|---|----------------|-----------------------|---|-----------|----------------------------|
|   |                | Valor                 | ± | Incerteza |                            |
| Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 28-07-2010     | 7414                  | ± | 1,7E+02   | SM 2320 B                  |
| Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 28-07-2010     | 21290                 | ± | 4,7E+02   | SM 2510 B                  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 28-07-2010     | 16688                 | ± | 5,0E+02   | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
| Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 02-08-2010     | 55093                 | ± | 2,9E+02   | ABNT NBR 10357/1988        |
| Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 28-07-2010     | 7441                  | ± | 4,6E+01   | SM 2340 C                  |
| Fósforo total / mg/L P                      | 03-08-2010     | 0,05                  | ± | 2,3E-03   | SM 4500-P B e E            |
| Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 04-08-2010     | 937                   | ± | 1,8E+01   | ABNT NBR 10560/1988        |
| Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 05-08-2010     | 1278                  | ± | 4,3E+01   | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 02-08-2010     | 5,0                   | ± | 6,7E-01   | ABNT NBR 10561/1988        |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L            | 02-08-2010     | 30680                 | ± | 7,3E+02   | ABNT NBR 10664/1989        |
| Fenóis totais / mg/L                        | 04-08-2010     | 10,845                | ± | 9,1E-01   | ABNT NBR 10740/1989        |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L     | *              | *                     | ± | *         | SM 4500-O G                |
| pH, laboratório                             | 28-07-2010     | 5,8                   | ± | 5,6E-02   | SM 4500 H+ B               |

\* Ensaio não executado

... continue







# Certificado de Ensaio Nº 215092

Folha

3/3

## 2 Resultados (continuação)

|   | Determinação / unidade                      | Data do ensaio | Amostra nº 58674/1713 |         |                     | Método de ensaio           |
|---|---|----------------|-----------------------|---------|---------------------|----------------------------|
|   |   |                | Valor                 | ±       | Incerteza           |                            |
| Ensaio acreditado                       | Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 28-07-2010     | 6895                  | ±       | 1,6E+02             | SM 2320 B                  |
|   | Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 28-07-2010     | 21030                 | ±       | 4,6E+02             | SM 2510 B                  |
|   | Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 28-07-2010     | 19153                 | ±       | 5,8E+02             | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
|   | Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 02-08-2010     | 52253                 | ±       | 2,8E+02             | ABNT NBR 10357/1988        |
|   | Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 28-07-2010     | 7314                  | ±       | 4,5E+01             | SM 2340 C                  |
|   | Fósforo total / mg/L P                      | 03-08-2010     | 0,04                  | ±       | 1,8E-03             | SM 4500-P B e E            |
|   | Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 04-08-2010     | 867                   | ±       | 1,7E+01             | ABNT NBR 10560/1988        |
|   | Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 05-08-2010     | 1254                  | ±       | 4,2E+01             | SM 4500-N <sub>cr3</sub> D |
|   | Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 02-08-2010     | 3,0                   | ±       | 4,0E-01             | ABNT NBR 10561/1988        |
|   | Sólidos totais, 103-105°C / mg/L            | 02-08-2010     | 30280                 | ±       | 7,2E+02             | ABNT NBR 10664/1989        |
| Fenóis totais / mg/L                    | 04-08-2010                                  | 9,205          | ±                     | 7,7E-01 | ABNT NBR 10740/1989 |                            |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L | *   | *              | ±                     | *       | SM 4500-O G         |                            |
| pH, laboratório                         | 28-07-2010                                  | 5,6            | ±                     | 5,5E-02 | SM 4500 H+ B        |                            |

\* Ensaio não executado.

## 3 Observação

Os resultados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.

### 3.1 Laboratório

3.1.1 A incerteza relatada refere-se à incerteza expandida, declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k = 2$ , que para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%.

3.1.2 Para resultados menores que o Limite de Quantificação (LQ) a incerteza expandida foi estimada na concentração equivalente a este limite.

## 4 Referência bibliográfica

4.1 STANDARD methods for the examination of water and wastewater (SM) 21 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005. 1v.

4.2 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.







# Certificado de Ensaios Nº 627541

Folha

2/2

## 1 Identificação das amostras

| Id. Laboratório | Id. Cliente |                |                          |
|-----------------|-------------|----------------|--------------------------|
|                 | Ponto       | Data da coleta | Descrição                |
| 75698/9116      | Ponto 1     | 28.07.2010     | Lixiviado com Fosfogesso |
| 75698/9117      | Ponto2      | 28.07.2010     | Lixiviado sem fosfogesso |

## 2 Resultados

| Id. Laboratório | Resultados Totais |        |         |         |         |         |         |
|-----------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | Ag mg/L           | B mg/L | Ba mg/L | Cr mg/L | Ni mg/L | Sn mg/L | Zn mg/L |
| 75698/9116      | <0,01             | 3,25   | 0,879   | 0,12    | 0,26    | <0,50   | 0,67    |
| 75698/9117      | <0,01             | 2,34   | 1,224   | 0,16    | 0,33    | <0,50   | 1,10    |

| Id. Laboratório | Resultados Totais |         |         |         |         |
|-----------------|-------------------|---------|---------|---------|---------|
|                 | Cd mg/L           | Pb mg/L | As mg/L | Se mg/L | Hg µg/L |
| 75698/9116      | <0,0005           | 0,007   | <0,0003 | 0,0008  | <0,20   |
| 75698/9117      | <0,0005           | 0,009   | <0,0003 | 0,0016  | <0,20   |

| Id. Laboratório | Resultados dissolvidos |         |         |
|-----------------|------------------------|---------|---------|
|                 | Cu mg/L                | Fe mg/L | Mn mg/L |
| 75698/9116      | 0,051                  | 415,4   | 48,24   |
| 75698/9117      | 0,051                  | 580,3   | 35,49   |

### 3 Características dos instrumentos utilizados no ensaio

- 3.1 Espectrômetro de emissão por plasma, marca Perkin Elmer, modelo ICP Optima 3000, número de série 069N308060.
- 3.2 Espectrômetro de absorção atômica com chama, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 400, número de série 201S7010505.
- 3.3 Espectrômetro de absorção atômica com geração de hidretos, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 10.
- 3.4 Espectrômetro de absorção atômica com vapor frio, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 20, número de série 2346.

### 4 Condições operacionais

- 4.1 Ensaios realizados dentro de uma área limpa, classe 10000, com ilhas de fluxo laminar classe 100.
- 4.2 Água utilizada foi purificada utilizando Milli-Q. Reagentes purificados por subebulição.

### 5 Analistas

- 5.1 Andréa Moreira Carvalho - CRQ/MG 02407538
- 5.2 Eduardo Henrique Martins Oliveira - CRQ/MG 02411945
- 5.3 Geraldo do Carmo - CRQ/MG 02400776
- 5.4 Olguita G. Ferreira Rocha - CRQ/MG 02100224
- 5.5 Isaias Gomes da Silva - CRQ/MG 02400388

6 Observações: Resultados expressos como "<(valor)" referem-se aos limites de quantificação dos métodos







Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais  
Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horn  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3488-2000 - Fax: (31) 3488-2200  
faleconoscoi@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

Certificado de Ensaio Nº 215114

Folha  
1/3

LABORATÓRIO DE ÁGUA E EFLUENTES LÍQUIDOS



Cliente: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Endereço: Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/nº  
Cidade Administrativa - Edifício Minas - 1º andar  
Serra Verde  
31630-900 Belo Horizonte, MG

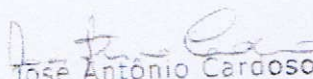
Guia de Autorização de Serviços (GAS) Nº: 58674

Objeto: 02 (duas) amostras de chorume

Natureza do trabalho: Ensaio dos constituintes conforme SM e ABNT

Data de conclusão  
14-09-2010

Data de emissão  
17-09-2010

  
José Antônio Cardoso  
Químico CRQ Nº 02100296  
Responsável pelo Laboratório  
Coordenador do SAM/CETEC

*Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) descrita(s) no item 1.  
Nas situações aplicáveis, o arredondamento dos r<sup>es</sup> apresentados neste certificado foi realizado segundo as prescrições da NBR 5891/1977.  
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.*





Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido de Sá, 2010 - Bairro Itaipó  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 5454-2000 - Fax: (31) 5454-2200  
lab@fnasoc@focis.u.br - www.cetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

# Certificado de Ensaio Nº 215114

2/3

## 1 Identificação das amostras

| Identificação do Laboratório | Data de coleta | Hora de coleta | Identificação do Cliente |
|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                              |                |                | Descrição                |
| 58674/1938                   | 18-08-2010     | 14:45          | Amostra com fosfogesso   |
| 58674/1939                   | 18-08-2010     | 15:15          | Amostra sem fosfogesso   |

## 2 Resultados

| Determinação / unidade                  | Data do ensaio                              | Amostra nº 58674/1938 |           |                     | Método de ensaio           |
|---|---|-----------------------|-----------|---------------------|----------------------------|
|   |   | Valor                 | ±         | Incerteza           |                            |
| Ensaio<br>acreditados                   | Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 19-08-2010            | 7548      | ± 1,8E+02           | SM 2320 B                  |
|   | Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 19-08-2010            | 22840     | ± 5,0E+02           | SM 2510 B                  |
|   | Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 19-08-2010            | 21342     | ± 6,4E+02           | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
|   | Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 23-08-2010            | 40905     | ± 2,2E+02           | ABNT NBR 10357/1988        |
|   | Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 20-08-2010            | 8285      | ± 5,1E+01           | SM 2340 C                  |
|   | Fósforo total / mg/L P                      | 27-08-2010            | 0,56      | ± 2,5E-02           | SM 4500-P B e E            |
|   | Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 26-08-2010            | 989       | ± 1,9E+01           | ABNT NBR 10560/1988        |
|   | Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 27-08-2010            | 1,16      | ± 1,1E-01           | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
|   | Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 24-08-2010            | 3,0       | ± 4,0E-01           | ABNT NBR 10561/1988        |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L        | 24-08-2010                                  | 25640                 | ± 6,1E+02 | ABNT NBR 10664/1989 |                            |
| Fenóis totais / mg/L                    | 25-08-2010                                  | 9,475                 | ± 8,0E-01 | ABNT NBR 10740/1989 |                            |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L | 19-08-2010                                  | <1,0                  | ± 1,1E-02 | SM 4500-O G         |                            |
| pH, laboratório                         | 19-08-2010                                  | 6,4                   | ± 6,2E-02 | SM 4500 H+ B        |                            |

...continua







# Certificado de Ensaio Nº 215114

3/3

## 2 Resultados (continuação)

| Determinação / unidade                      | Data do ensaio | Amostra nº 58674/1939 |             | Método de ensaio           |
|---|----------------|-----------------------|-------------|----------------------------|
|   |                | Valor                 | = Incerteza |                            |
| Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 19-08-2010     | 7007                  | ± 1,6E+02   | SM 2320 B                  |
| Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 19-08-2010     | 20520                 | ± 4,5E+02   | SM 2510 B                  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 19-08-2010     | 18437                 | ± 5,6E+02   | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
| Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 23-08-2010     | 36238                 | ± 1,9E+02   | ABNT NBR 10357/1988        |
| Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 20-08-2010     | 6859                  | ± 4,2E+01   | SM 2340 C                  |
| Fósforo total / mg/L P                      | 27-08-2010     | 0,11                  | ± 5,0E-03   | SM 4500-P B e E            |
| Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 26-08-2010     | 957                   | ± 1,9E+01   | ABNT NBR 10560/1988        |
| Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 25-08-2010     | 1148                  | ± 3,8E+01   | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L                | 24-08-2010     | 1,0                   | ± 1,3E-01   | ABNT NBR 10561/1988        |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L            | 24-08-2010     | 25900                 | ± 6,2E+02   | ABNT NBR 10664/1989        |
| Fenóis totais / mg/L                        | 25-08-2010     | 8,890                 | ± 7,5E-01   | ABNT NBR 10740/1989        |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L     | 19-08-2010     | <1,0                  | ± 1,1E-02   | SM 4500-O G                |
| pH, laboratório                             | 19-08-2010     | 6,0                   | ± 5,8E-02   | SM 4500 H+ B               |

## 3 Observação

Os resultados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.

### 3.1 Laboratório

3.1.1 A incerteza relatada refere-se à incerteza expandida, declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k = 2$ , que para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%.

3.1.2 Para resultados menores que o Limite de Quantificação (LQ) a incerteza expandida foi estimada na concentração equivalente a este limite.

## 4 Referência bibliográfica

4.1 STANDARD methods for the examination of water and wastewater (SM) 21 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005. 1v.

4.2 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.







Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
faleconosco@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Análises  
Químicas

Certificado de Ensaios N° 627541

1/2

## LABORATÓRIO DE TRAÇOS METÁLICOS

Cliente: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Rodovia Prefeito Américo Gianetti s/n° Edifício Minas 1° andar  
Cidade Administrativa  
31630-900 Belo Horizonte - MG

Guia de Autorização de Serviços (GAS) N°: 75698

Objeto: duas amostras de chorume

Natureza do trabalho: determinação quantitativa de Fe, Mn dissolvidos e Ag, B, Ba, Cr, Ni, Zn, totais por espectrometria de emissão atômica por plasma, Cu dissolvido e Sn total por espectrometria de absorção atômica com chama, As, Se totais por espectrometria de absorção atômica com gerador de hidretos e Hg total por espectrometria de absorção atômica com vapor frio, segundo Normas do Sistema da Qualidade do CETEC.

Data de recebimento

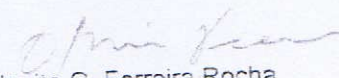
2-8-2010

Data de conclusão

8-11-2010

Data de emissão

9-11-2010

  
Olguita G. Ferreira Rocha  
CRQ/MG 02100224  
Responsável Laboratório de Traços Metálicos  
Coordenadora do Setor de Análises Químicas

Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.  
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.





# Certificado de Ensaios Nº 627481

2/2

## 1 Identificação das amostras

| Id. Laboratório | Id. Cliente |                |                          |
|-----------------|-------------|----------------|--------------------------|
|                 | Ponto       | Data da coleta | Descrição                |
| 75752/10066     | Ponto 1     | 18.8.2010      | Lixiviado com fosfogesso |
| 75752/10067     | Ponto2      | 18.8.2010      | Lixiviado sem fosfogesso |

## 2 Resultados

| Id. Laboratório | Resultados totais |      |       |        |       |       |      |         |        |         |        |       |
|-----------------|-------------------|------|-------|--------|-------|-------|------|---------|--------|---------|--------|-------|
|                 | Ag                | B    | Ba    | Cr     | Ni    | Sn    | Zn   | Cd      | Pb     | As      | Se     | Hg    |
|                 | mg/L              | mg/L | mg/L  | mg/L   | mg/L  | mg/L  | mg/L | mg/L    | mg/L   | mg/L    | mg/L   | µg/L  |
| 75752/10066     | <0,01             | 2,94 | 0,839 | 0,0859 | 0,110 | <0,50 | 0,54 | <0,0005 | <0,005 | <0,0003 | 0,0006 | <0,20 |
| 75752/10067     | <0,01             | 1,91 | 0,977 | 0,0891 | 0,20  | <0,50 | 0,91 | <0,0005 | <0,005 | <0,0003 | 0,0005 | <0,20 |

| Id. Laboratório | Resultados dissolvidos |        |       |
|-----------------|------------------------|--------|-------|
|                 | Cu                     | Fe     | Mn    |
|                 | mg/L                   | mg/L   | mg/L  |
| 75752/10066     | 0,047                  | 358,03 | 37,84 |
| 75752/10067     | 0,040                  | 526,99 | 26,41 |

## 3 Características dos instrumentos utilizados no ensaio

- 3.1 Espectrômetro de emissão por plasma, marca Perkin Elmer, modelo ICP Optima 3000, número de série 069N308060.
- 3.2 Espectrômetro de absorção atômica com chama, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 400, número de série 201S7010505.
- 3.3 Espectrômetro de absorção atômica com geração de hidretos, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 10.
- 3.4 Espectrômetro de absorção atômica com vapor frio, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 20, número de série 2346.

## 4 Condições operacionais

- 4.1 Ensaio realizado dentro de uma área limpa, classe 10000, com ilhas de fluxo laminar classe 100.
- 4.2 Água utilizada foi purificada utilizando Milli-Q. Reagentes purificados por subebulição.

## 5 Analistas

- 5.1 Andréa Moreira Carvalho - CRQ/MG 02407538
- 5.2 Adilson Rosa Filho - CRQ/MG 02411183
- 5.3 Geraldo do Carmo - CRQ/MG 02400776
- 5.4 Olguita G. Ferreira Rocha - CRQ/MG 02100224
- 5.5 Eduardo Henrique Martins de Oliveira - CRQ/MG 02411945

6 Observações: Resultados expressos como "<(valor)" referem-se aos limites de quantificação dos métodos







Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
faleconosco@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

Certificado de Ensaio Nº 215139

1/3

LABORATÓRIO DE ÁGUA E EFLUENTES LÍQUIDOS



Cliente: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM  
Endereço: Rodovia Prefeito Américo Gianetti, s/nº  
Cidade Administrativa - Edifício Minas - 1º andar  
Serra Verde  
31630-900 Belo Horizonte, MG

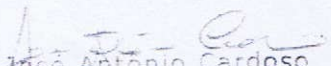
Guia de Autorização de Serviços (GAS) Nº: 58674

Objeto: 02 (duas) amostras de chorume

Natureza do trabalho: Ensaio dos constituintes conforme SM e ABNT

Data de conclusão  
22-10-2010

Data de emissão  
22-10-2010

  
José Antonio Cardoso  
Químico CRQ Nº 02100296  
Responsável pelo Laboratório  
Coordenador do SAM/CETEC

*Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) descrita(s) no item 1.  
Nas situações aplicáveis, o arredondamento dos nºs apresentados neste certificado foi realizado segundo as prescrições da NBR 5891/1977.  
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.*





Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido da Silveira, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
telecompscoi@cetec.br - www.cetec.br

Setor de  
Medições  
Ambientais

# Certificado de Ensaio Nº 215139

2/3

## 1 Identificação das amostras

| Identificação do Laboratório | Data de coleta | Hora de coleta | Identificação do Cliente |
|------------------------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                              |                |                | Descrição                |
| 58674/2281                   | 22-09-2010     | 15:00          | Amostra com fosfogesso   |
| 58674/2282                   | 22-09-2010     | 15:30          | Amostra sem fosfogesso   |

## 2 Resultados

| Determinação / unidade                  | Data do ensaio                              | Amostra nº 58674/2281 |           |                     | Método de ensaio           |
|---|---|-----------------------|-----------|---------------------|----------------------------|
|   |   | Valor                 | ±         | Incerteza           |                            |
| Ensaio acreditado                       | Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 23-09-2010            | 6021      | ± 1,4E+02           | SM 2320 B                  |
|   | Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 23-09-2010            | 18560     | ± 4,1E+02           | SM 2510 B                  |
|   | Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 23-09-2010            | 15988     | ± 4,8E+02           | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
|   | Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 30-09-2010            | 28626     | ± 1,5E+02           | ABNT NBR 10357/1988        |
|   | Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 04-10-2010            | 4434      | ± 2,7E+01           | SM 2340 C                  |
|   | Fósforo total / mg/L P                      | 04-10-2010            | 0,21      | ± 9,3E-03           | SM 4500-P B e E            |
|   | Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 01-10-2010            | 1058      | ± 2,1E+01           | ABNT NBR 10560/1988        |
|   | Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 01-10-2010            | 1133      | ± 3,8E+01           | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Fenóis totais / mg/L                    | 01-10-2010                                  | 7,400                 | ± 6,2E-01 | ABNT NBR 10740/1989 |                            |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L | *   | *                     | ± *       | SM 4500-O G         |                            |
| pH, laboratório                         | 23-09-2010                                  | 7,4                   | ± 7,2E-02 | SM 4500 H+ B        |                            |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L            | 05-10-2010                                  | 2,0                   | ± 2,7E-01 | ABNT NBR 10561/1988 |                            |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L        | 05-10-2010                                  | 1115                  | ± 2,7E+01 | ABNT NBR 10664/1989 |                            |

\* Ensaio não realizado

...continua







## Certificado de Ensaio Nº 215139

3/3

## 2 Resultados (continuação)

| Determinação / unidade                  | Data do ensaio                              | Amostra nº 58674/2282 |           |                     | Método de ensaio           |
|---|---|-----------------------|-----------|---------------------|----------------------------|
|   |   | Valor                 | ±         | Incerteza           |                            |
| Ensaio<br>acreditados                   | Alcalinidade total / mg/L CaCO <sub>3</sub> | 23-09-2010            | 5823      | ± 1,4E+02           | SM 2320 B                  |
|   | Condutividade elétrica, 25°C / µS/cm        | 23-09-2010            | 15560     | ± 3,4E+02           | SM 2510 B                  |
|   | Demanda Bioquímica de Oxigênio / mg/L       | 23-09-2010            | 12107     | ± 3,6E+02           | SM 5210 B e SM 4500-O G    |
|   | Demanda Química de Oxigênio / mg/L          | 30-09-2010            | 22474     | ± 1,2E+02           | ABNT NBR 10357/1988        |
|   | Dureza total / mg/L CaCO <sub>3</sub>       | 04-10-2010            | 4514      | ± 2,8E+01           | SM 2340 C                  |
|   | Fósforo total / mg/L P                      | 04-10-2010            | 0,07      | ± 3,2E-03           | SM 4500-P B e E            |
|   | Nitrogênio amoniacal total / mg/L           | 01-10-2010            | 776       | ± 1,5E+01           | ABNT NBR 10560/1988        |
|   | Nitrogênio total Kjeldahl / mg/L            | 01-10-2010            | 835       | ± 2,8E+01           | SM 4500-N <sub>org</sub> B |
| Fenóis totais / mg/L                    | 01-10-2010                                  | 6,665                 | ± 5,6E-01 | ABNT NBR 10740/1989 |                            |
| Oxigênio dissolvido, laboratório / mg/L | *   | *                     | ± *       | SM 4500-O G         |                            |
| pH, laboratório                         | 23-09-2010                                  | 7,1                   | ± 6,9E-02 | SM 4500 H+ B        |                            |
| Sólidos sedimentáveis / mL/L            | 05-10-2010                                  | 2,0                   | ± 2,7E-01 | ABNT NBR 10561/1988 |                            |
| Sólidos totais, 103-105°C / mg/L        | 05-10-2010                                  | 1094                  | ± 2,6E+01 | ABNT NBR 10664/1989 |                            |

\* Ensaio não realizado

## 3 Observações

3.1 Os resultados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.

3.2 A incerteza relatada refere-se à incerteza expandida, declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência  $k = 2$ , que para uma distribuição normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%.

3.3 Para resultados menores que o Limite de Quantificação (LQ) a incerteza expandida foi estimada na concentração equivalente a este limite.

## 4 Referência bibliográfica

4.1 STANDARD methods for the examination of water and wastewater (SM) 21 ed. Washington: APHA, AWWA, WEF, 2005. 1v.

4.2 Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.







Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais

Av. José Cândido de Almeida, 2000 - Bairro Horto  
31170-000 - Belo Horizonte - MG - Brasil  
Telefone: (31) 3489-2000 - Fax: (31) 3489-2200  
telecom@setec.br - www.setec.br

Setor de  
Análises  
Químicas

Certificado de Ensaio Nº 627622

Folha  
1/2

## LABORATÓRIO DE TRAÇOS METÁLICOS

Ciente: Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM

Rodovia Prefeito Américo Gianetti s/nº Edifício Minas 1º andar  
Cidade Administrativa  
31630-900 Belo Horizonte - MG

Guia de Autorização de Serviços (GAS) Nº: 75824

Objeto: duas amostras de churume

Natureza do trabalho: determinação quantitativa de Cu, Fe, Mn dissolvidos e Ag, B, Ba, Cr, Ni, Zn totais por espectrometria de emissão atômica por plasma, Sn por espectrometria de absorção atômica com chama, Cd, Pb totais espectrometria de absorção atômica com forno de grafite, As, Se totais por espectrometria de absorção atômica com gerador de hidretos e Hg total por espectrometria de absorção atômica com vapor frio, segundo Standard Methods e Normas do Sistema de Qualidade do CETEC

Data de recebimento


Data de conclusão

Data de emissão

14-10-2010

29-11-2010

30-11-2010

  
Olga G. Ferreira Rocha  
CRQ/MG 02100224  
Responsável Laboratório de Traços Metálicos  
Coordenadora do Setor de Análises Químicas

Os resultados apresentados referem-se exclusivamente à(s) amostra(s) enviada(s) pelo cliente.  
O CETEC autoriza a reprodução deste certificado, desde que qualquer cópia sempre apresente seu conteúdo integral.







# Certificado de Ensaio N° 627622

Folha  
2/2

## 1 Identificação das amostras

| Id. Laboratório | Id. Cliente |                |                          |
|-----------------|-------------|----------------|--------------------------|
|                 | Ponto       | Data da coleta | Descrição                |
| 75824/11911     | Ponto 1     | 22.09.2010     | Lixiviado com Fosfogesso |
| 75824/11912     | Ponto2      | 22.09.2010     | Lixiviado sem fosfogesso |

## 2 Resultados

| Id. Laboratório | Resultados totais |        |         |         |         |         |         |         |         |
|-----------------|-------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                 | Ag mg/L           | B mg/L | Ba mg/L | Cr mg/L | Ni mg/L | Sn mg/L | Zn mg/L | Cd mg/L | Pb mg/L |
| 75824/11911     | <0,01             | 2,92   | 0,471   | 0,07    | 0,051   | <0,50   | 0,63    | <0,0005 | 0,024   |
| 75824/11912     | 0,01              | 1,61   | 0,505   | 0,06    | 0,054   | <0,50   | 0,70    | <0,0005 | 0,021   |

| Id. Laboratório | Resultados totais |         |         |
|-----------------|-------------------|---------|---------|
|                 | As mg/L           | Se mg/L | Hg µg/L |
| 75824/11911     | <0,0003           | <0,0005 | <0,20   |
| 75824/11912     | <0,0003           | <0,0005 | <0,20   |

| Id. Laboratório | Resultados dissolvidos |         |         |
|-----------------|------------------------|---------|---------|
|                 | Cu mg/L                | Fe mg/L | Mn mg/L |
| 75824/11911     | 0,014                  | 4,07    | 1,05    |
| 75824/11912     | 0,013                  | 58,66   | 3,93    |

## 3 Características dos instrumentos utilizados no ensaio

- 3.1 Espectrômetro de emissão por plasma, marca Perkin Elmer, modelo ICP Optima 3000, número de série 069N308060.
- 3.2 Espectrômetro de absorção atômica com chama, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 400, número de série 201S7010505.
- 3.3 Espectrômetro de absorção atômica com geração de hidretos, marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 100, número de série 040S1020212, com MHS 10.
- 3.4 Espectrômetro de absorção atômica com vapor frio (CVAAS), marca Perkin Elmer, modelo 5000, número de série 119465, com MHS 20, número de série 2346.

## 4 Condições operacionais

- 4.1 Ensaio realizado dentro de uma área limpa, classe 10000, com ilhas de fluxo laminar classe 100.
- 4.2 Água utilizada foi purificada utilizando Milli-Q. Reagentes purificados por subebulição.

## 5 Referência

- 5.1 STANDARD METHODS for the examination of water e wastewater 21<sup>th</sup> ed. Washington: APHA, AWWA, WEF. 2005. 1 v.

## 6 Analistas

- 6.1 Adilson Rosa Filho - CRQ/MG 02411183
- 6.2 Andréa Moreira Carvalho - CRQ/MG 02407538
- 6.3 Gilson Ventura - CRQ/MG 02411296
- 6.4 Geraldo do Carmo - CRQ/MG 02400776
- 6.5 Olguita G. Ferreira Rocha - CRQ/MG 02100224

## 7 Observações

- 7.1 Resultados expressos como "<(valor)" referem-se aos limites de quantificação dos métodos.
- 7.2 A incerteza expandida (U expandida) refere-se a um intervalo de confiança de aproximadamente 95% e é declarada como a incerteza padrão multiplicada por um fator de abrangência (K) igual a 2.
- 7.3 A incerteza expandida foi determinada segundo as prescrições do EURACHEM/CITAC Guide (2000), considerando-se os seguintes componentes: padrões analíticos, curva analítica, preparo da amostra e reprodutibilidade.

