



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

GUIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ATERROS SANITÁRIOS

THAYRINNE MARCELLA RODRIGUES BORGES

BELO HORIZONTE  
2015

THAYRINNE MARCELLA RODRIGUES BORGES

GUIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ATERROS SANITÁRIOS

Trabalho apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>.Doutora Gisele Vidal Vimieiro  
Coorientador: Doutor Cícero Antônio Antunes Catapreta

BELO HORIZONTE  
2015

THAYRINNE MARCELLA RODRIGUES BORGES

TÍTULO DO TRABALHO: GUIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM  
ATERROS SANITÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Centro Federal de  
Educação Tecnológica de Minas Gerais  
como requisito parcial para obtenção do  
título de Engenheiro Ambiental e  
Sanitarista.

Data de aprovação: 12/06/2015

Banca Examinadora:

---

Gisele Vidal Vimieiro – Presidente da Banca Examinadora  
Prof. Dr. Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Orientadora

---

Cícero Antônio Antunes Catapreta  
Prof. Dr. Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Coorientador

---

André Luiz Marques Rocha  
Prof. Mestre em Engenharia Agrícola do CEFET-MG.

---

Karla Garcia Tavares  
Especialista em Engenharia Sanitária e Meio ambiente da Superintendência de  
Limpeza Urbana de Belo Horizonte

## AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus familiares, em especial meus pais, minha avó Vilda, e Gustavo, pelo amor e palavras de conforto em todas as horas.

Às minhas amigas da faculdade Ana Luisa, Gabriela, Paula e Raissa, pela compreensão, suporte e paciência.

À minha orientadora, Professora Dra Gisele Vidal Vimieiro, que me acompanhou durante toda a jornada de trabalho, dando conselhos e direções para execução dos trabalhos, sempre alegre e bem disposta, sem ela nada seria possível.

Aos meus colegas de trabalho da Superintendência de Limpeza Urbana, em especial o Cícero, que me ensinou e deu suporte em todos os momentos. Agradeço também a Sofia e Karla, pelos ensinamentos e sabedoria diante de toda a dificuldade.

## RESUMO

A geração de resíduos sólidos urbanos vem aumentando significativamente com o passar dos anos, devido às práticas exacerbadas de consumo concomitante à presença de produtos com baixa vida útil no mercado. A disposição inadequada de resíduos pode causar problemas em diversos âmbitos, principalmente no ambiental, como a contaminação dos solos, do ar e das águas, alterando suas características físicas, químicas e biológicas e colocando em risco a saúde humana. O aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, onde os danos à saúde e a segurança, assim como os impactos ambientais, são minimizados. Para se obter eficiência e controle da disposição adequada dos resíduos, devem ser executados monitoramentos e inspeções no local de disposição, realizado por profissionais capacitados. O objetivo deste trabalho foi descrever os principais monitoramentos que devem ser executados em aterros sanitários e gerar um guia. Foi realizada uma revisão bibliográfica, com consulta a artigos técnicos, publicações, normas e legislações referentes ao monitoramento em aterros sanitários, além de visitas para o acompanhamento e o registro dos monitoramentos executados no Aterro Sanitário da Prefeitura de Belo Horizonte. Foram realizadas visitas diárias no período de dezembro de 2014 e janeiro de 2015, onde se pôde acompanhar e registrar a execução dos principais monitoramentos. Após a experiência prática, vivenciada no estágio curricular e nas visitas, foi gerado um guia, como produto final do TCC, que fornece orientações para o acompanhamento e a gestão dos principais monitoramentos em aterros sanitários. Com isso, pode-se concluir que o processo de monitoramento em aterros sanitários é, além de obrigatório, complexo, dinâmico, extenso, envolve profissionais de diversos campos de atuação e, com sua execução correta pode-se identificar e prevenir problemas, possibilitando a adoção de medidas corretivas a tempo.

*Palavras-Chave: resíduos sólidos urbanos, aterro sanitário, monitoramento, guia ambiental.*

## **ABSTRACT**

The generation of urban solid wastes has been significantly increased over the years. Such fact can be explained by the consumerism practices associated to the presence of low life cycle products in the market. The inadequate waste disposal can cause problems in several scopes, mainly in the environmental perspective, such as soil, water and air contamination, changing its physical, chemical and biological properties and putting the human health at risk. The sanitary landfill is a solid waste disposal method on land, where the damages to the public health and safety, as the environmental impacts, are minimized. To obtain the appropriate efficiency and control of the wastes, monitoring and inspections have to be executed on the disposal location by qualified professionals. The aim of this work was to describe the main monitoring practices that have to be executed on landfills, producing an orienting manual. A literature review was performed, by consulting technical articles, publications, norms and legislations relative to the monitoring on landfills, apart from technical visits to watch over and to record the monitoring practices executed at the Sanitary Landfill of the Belo Horizonte City Hall. Daily visits on December (2014) and January (2015) were performed and it was possible to check and to record the main monitoring practices. After the practical experience lived both in the curricular internship and on the visits, a guide was elaborated as a final product of the completion of the course work, which provides orientation to the assistance and management of monitoring on landfills. Therefore it can be concluded that the process of landfill monitoring is, apart from being mandatory, complex, dynamic, extensive and involve professionals of several fields of acting and, with the correct execution, it can identify problems and prevent problems, allowing corrective measures to be taken in time if needed.

**Key Words:** Urban solid wastes, sanitary landfill, monitoring, environmental orienting manual.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

CEFET/MG - CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE

COPAM – CONSELHO DE POLÍTICAS AMBIENTAIS

CTRS – CENTRAL DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

EIA – ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL

FCO - FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE

GASMIG – COMPANHIA DE GÁS DE MINAS GERAIS

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS

NT – NOTA TÉCNICA

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE

PCA – PLANO DE CONTROLE AMBIENTAL

RIMA – RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL

RSU – RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

SIAM – SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL

SLU – SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA–

UFMG – UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

## SUMÁRIO

<b>1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA .....</b>	<b>10</b>
<b>2. MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Objetivo geral.....</b>	<b>14</b>
<b>3.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>14</b>
<b>4. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Tipos de aterros sanitários.....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Impactos ambientais em aterros sanitários .....</b>	<b>17</b>
4.2.1 <i>Impactos positivos .....</i>	<i>19</i>
4.2.2 <i>Impactos negativos.....</i>	<i>19</i>
<b>4.3 Monitoramentos em aterros sanitários.....</b>	<b>21</b>
4.3.1 <i>Tipos de monitoramentos de aterros sanitários:.....</i>	<i>23</i>
<b>4.4 Manuais, cartilhas e artigos sobre monitoramento ambiental .....</b>	<b>34</b>
<b>5. METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Descrição da área objeto de estudo.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2 Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>36</b>
<b>5.3 Visitas ao aterro e acompanhamento dos monitoramentos .....</b>	<b>36</b>
<b>5.4 Guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários .....</b>	<b>37</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 Visitas Técnicas:.....</b>	<b>38</b>
6.1.1 <i>Monitoramento da qualidade das águas superficiais.....</i>	<i>38</i>
6.1.2 <i>Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas.....</i>	<i>39</i>



6.1.3	<i>Monitoramento de líquidos lixiviados</i> .....	44
6.1.4	<i>Monitoramento da qualidade do ar</i> .....	46
6.1.5	<i>Monitoramento dos Gases</i> .....	49
6.1.6	<i>Monitoramento dos ruídos</i> .....	52
6.1.7	<i>Monitoramento Geotécnico</i> .....	54
6.1.7.1	<i>Medição da manta líquida</i> .....	54
6.1.8	<i>Inspeções de campo</i> .....	58
6.1.9	<i>Tratamento de dados</i> .....	59
<b>6.2</b>	<b>Guia para monitoramento ambiental de aterros sanitários</b> .....	<b>59</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>61</b>
	<b>ANEXO I – GUIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ATERROS SANITÁRIOS</b> .....	<b>65</b>
	<b>ANEXO II – MATERIAL DE APOIO E CONSULTA</b> .....	<b>66</b>

## 1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Com a inovação tecnológica e o aumento no poder de compra, o consumo de produtos tem aumentado significativamente com o passar dos anos. Atualmente, o mercado dispõe de produtos com baixa vida útil, onde o cenário mais vantajoso é adquirir um novo produto do que efetuar o seu conserto, fato que tem levado ao aumento da geração dos resíduos. A cultura do consumo, direta ou indiretamente, influencia na quantidade de resíduos sólidos gerada.

A disposição inadequada desses resíduos pode causar problemas no âmbito social, econômico e principalmente ambiental, como a contaminação dos solos, do ar e das águas (subterrâneas e superficiais), alterando suas características físicas, químicas e biológicas e colocando em risco a saúde humana.

Diante desse problema, tem-se a necessidade de enfatizar e disseminar para a população as políticas públicas que incentivem a redução, reutilização e a reciclagem, a fim de minimizar a quantidade de resíduos gerados, que precisam ter disposição final adequada, conforme preconizam as Políticas Estadual e Nacional de Resíduos Sólidos (MINAS GERAIS, 2009; BRASIL, 2010).

Ao considerar a evolução da situação da disposição final dos resíduos no estado de Minas Gerais, pode-se observar na Tabela 1, que está ocorrendo uma redução do número dos lixões e um pequeno aumento na implantação de aterros sanitários em Minas Gerais, a passos lentos, segundo dados apresentados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). É verificado o aumento significativo de aterros controlados e das Unidades de Triagem e Compostagem (UTC), que sugerem melhora no quadro atual da disposição de resíduos.

Apesar da existência de metas estaduais e nacionais para a eliminação e recuperação de lixões, é possível verificar que o número de vazadouros ainda é significativo, visto que há uma dificuldade no fechamento desses devido a fatores sociais, políticos e econômicos. Merece destaque as dificuldades técnicas, como a escassez de mão de obra especializada para a regularização e transição de lixões ou aterros controlados a aterros sanitários, e inclusive para a posterior operação e monitoramento dessas instalações.

Tabela 1 - Evolução da situação da disposição final dos resíduos nos municípios de Minas Gerais

Tipologia de Destinação de RSU	Número de municípios							
	2001	2005	2008	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Lixão</b>	823	564	442	385	311	278	267	264
<b>Aterro Sanitário</b>	08	25	43	53	61	72	86	101
<b>Aterro Sanitário + UTC</b>	-	-	05	05	08	07	07	04
<b>UTC</b>	22	55	87	94	112	121	122	128
<b>UTC<sup>1</sup> não regularizada</b>	-	17	09	15	15	15	24	27
<b>Aterro Controlado</b>	-	191	226	227	288	308	291	280
<b>Fora de MG</b>	-	01	03	02	03	03	03	03
<b>AAF's em verificação</b>	-	-	38	72	55	49	45	33

<sup>1</sup> Unidade de triagem e compostagem

Fonte: Adaptado FEAM (2013)

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992a), da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), o aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos no solo, onde os danos à saúde e à segurança, assim como os impactos ambientais, são minimizados. Tal norma discorre sobre a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, onde é possível verificar a exigência de diversos sistemas, como os de impermeabilização, recobrimento final diário dos resíduos, sistemas de drenagem de lixiviado e águas pluviais, sistema de tratamento de gases e líquidos lixiviados e o sistema de monitoramento ambiental, que precisam ser monitorados.

Os aterros sanitários são obras civis que apresentam um dinamismo desde a implantação até após seu fechamento. De acordo com a Resolução CONAMA01/86, em seu artigo 2º item X, o licenciamento de aterros sanitários, processamento e destino final de resíduos tóxicos e perigosos dependerão da elaboração de estudo de impacto ambiental (EIA) e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA), a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) em caráter supletivo, por serem consideradas atividades modificadoras do meio ambiente. Dentre os itens que devem compor o EIA, incluem-se o plano de monitoramento e gestão ambiental de atividades potencialmente poluidoras. Assim, o monitoramento ambiental nessas obras é de extrema importância para minimizar os impactos ambientais gerados, prevenir e evitar catástrofes devido à instabilidade

geotécnica, geração de gases e de lixiviado, diante da decomposição da matéria orgânica.

Cabe destacar que o monitoramento ambiental em aterros é uma exigência legal, prevista na legislação ambiental, como visto em diversas legislações, como visto na Resolução CONAMA 01/86 e outras, sendo os aterros sanitários passíveis de licenciamento e do cumprimento de condicionantes exigidas pelo poder legal e/ou agência reguladora.

As principais legislações em âmbito federal e estadual, normas técnicas da ABNT e do Ministério do Trabalho e Emprego podem ser verificadas como material de apoio e consulta disponíveis no Anexo II deste documento.

## **2. MOTIVAÇÃO**

Observa-se que os procedimentos do monitoramento ambiental em aterros não são exemplificados facilmente na literatura ou em normas vigentes, havendo a necessidade de demonstrar as técnicas envolvidas nesse monitoramento, para que um profissional de meio ambiente tenha como se orientar diante deste tema e obtenha êxito no processo e em seu planejamento. Daí a motivação de se executar um guia para monitoramento em aterros sanitários.

Além desse fato, outra motivação é a experiência obtida no estágio curricular, embasado no monitoramento ambiental do aterro sanitário da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH). Nesse estágio foi possível aprender algumas metodologias de monitoramento e entender a análise e a importância dos dados coletados.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Descrever os principais monitoramentos que devem ser executados em aterros sanitários, gerando um guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Definir os principais tipos de aterros sanitários.
- Listar os principais impactos gerados na implantação e operação de aterros sanitários.
- Descrever os principais monitoramentos empregados nos aterros sanitários.
- Elaborar o guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários.

## 4. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Tipos de aterros sanitários

De acordo com Barros (2012), os aterros sanitários se diferenciam de acordo com as formas construtivas e operacionais. Tchobanoglous *et al.* (1993), classifica os principais tipos de aterramento dos RSU em aterros sanitários como o de área, de Cânion e de trincheiras, também denominado de escavação e células.

Vale ressaltar que as combinações entre essas modalidades poderão ser feitos, assim como adaptações e alterações. Abaixo seguem os tipos de aterros sanitários listados por Tchobanoglous *et al.* (1993).

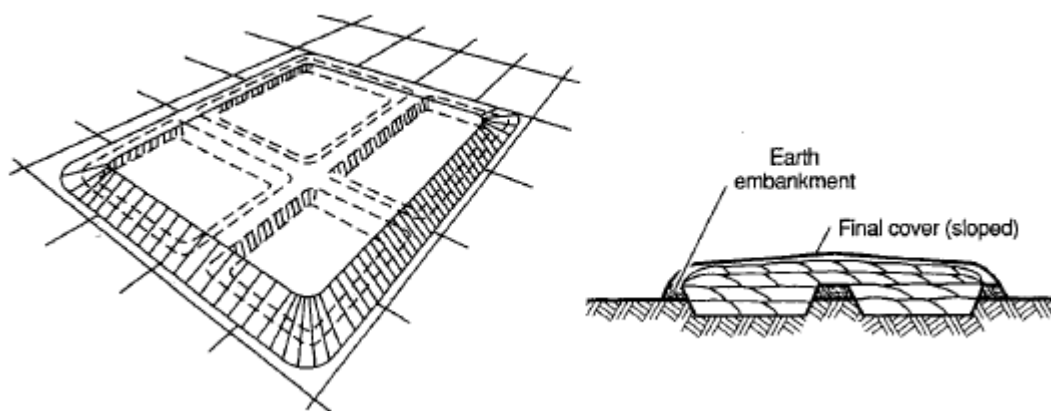
#### 4.1.1 Método da trincheira

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993) a aplicabilidade desse método é em áreas levemente inclinadas ou planas, onde o nível do lençol freático não seja próximo da superfície. Neste método, são escavadas trincheiras normalmente quadradas com largura variando entre 6 e 40 m, profundidade entre 2 e 4 m, espaçadas de 1 m. O material escavado pode ser utilizado como recobrimento ou até mesmo nas vias de acesso dos aterros. As trincheiras podem ser revestidas por membranas sintéticas e de baixa permeabilidade, argila ou a combinação de ambos para limitar a movimentação dos gases e lixiviados.

Barros (2012) afirma que após a execução da terraplanagem, a aplicação da membrana sintética, entre outras tarefas anteriores ao aterramento, o caminhão de coleta descarrega os resíduos sólidos urbanos (RSU) dentro da trincheira, onde são espalhados e compactados por trator, fazendo uma rampa de aproximadamente 30 graus. Essa inclinação é estabelecida de forma a concentrar o peso da máquina e aumentar o grau de compactação.

Na Figura 1, podemos observar uma representação do método das trincheiras proposto por Tchobanoglous *et al.* (1993).

Figura 1 - Métodos das trincheiras.

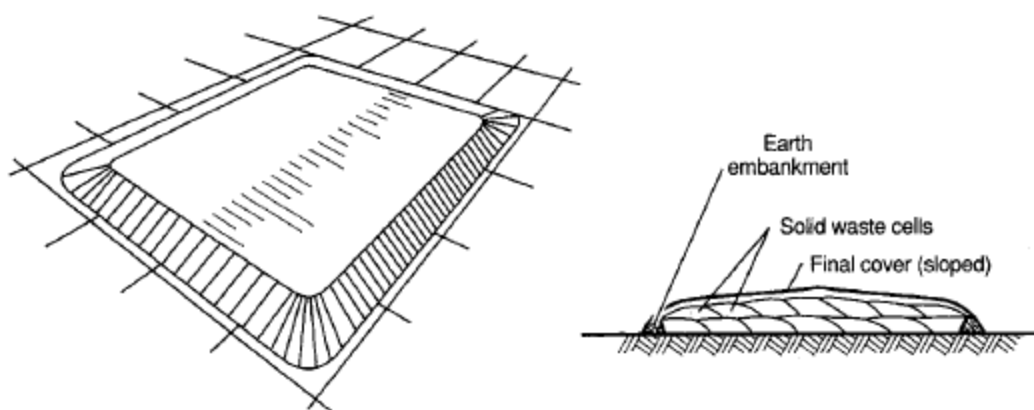


Fonte: Adaptado de Tchobanoglous *et al.* (1993)

#### 4.1.2 Método das áreas

O método é recomendado para quando o terreno não é adequado para escavação de células e trincheiras, ou seja, em áreas baixas ou com lençol freático próximo à superfície. Para a execução deste método é necessário a utilização de membranas impermeáveis. Em locais onde há baixa disponibilidade de material de cobertura, este deve ser levado por caminhões ou equipamentos de terraplanagem de um terreno adjacente ou de outras áreas. Na figura 2 é possível observar um esquema do método das áreas.

Figura 2 - Método das áreas



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous *et al.* (1993)



#### 4.1.3 Método do Cânion ou depressão

O método Cânion pode ser aplicado em Cânions, ravinas, depressões e até mesmo em áreas de mineração. As técnicas de disposição destes resíduos irão variar de acordo com a geometria do local, disponibilidade de material de cobertura, hidrologia e geologia do local, qual a geração de gás e lixiviado do resíduo bem como as condições de acesso ao local. Muitas vezes, um fator crítico para a implantação deste tipo de aterro é a execução do sistema de drenagem. Tipicamente os resíduos são depositados na parte mais profunda do aterro até atingirem a superfície.

#### 4.1.4 Outras classificações/métodos:

Tchobanoglous *et al.* (1993) afirma que podem existir diversas configurações de aterro, cada qual construído para atender determinada especificação, como os aterros de resíduos de construção civil e demolição, resíduos industriais (fábricas de papel e celulose, fundições, etc) que devem ser projetados com a finalidade de minimizar os impactos ambientais, podendo conter ou não os elementos convencionais. Por exemplo, um aterro que não gerará gás, como aterro de cinzas provenientes de incineração, não teria a necessidade de apresentar um sistema de drenagem de gases, pois teoricamente toda a matéria orgânica já teria sido degradada no processo de combustão.

Uma tecnologia emergente para a estabilização dos resíduos seria os aterros biorreatores, que são projetados e operados para aumentar a taxa de decomposição do material orgânico dos RSU. Esses aterros estão sendo vistos como uma opção para reduzir o volume dos resíduos em um pequeno intervalo de tempo, aumentando a vida útil dos aterros tradicionais. Vale destacar que a eficiência desses aterros depende do clima do local bem como as características dos resíduos sólidos.

## **4.2 Impactos ambientais em aterros sanitários**

A disposição de resíduos sólidos urbanos (RSU) sem o devido controle pode gerar impactos ambientais e sociais significativos, principalmente em relação à poluição do solo, do ar e de recursos hídricos, através da migração dos elementos

constituintes dos efluentes líquidos e gasosos gerados (CATAPRETA; SIMÕES 2007a).

Listar todos os impactos ambientais gerados por um aterro sanitário envolve complexidade e dinamismo, uma vez que cada impacto ocorre em diferentes aterros e em diversos locais. Previamente deve-se ressaltar que, na maioria dos empreendimentos de grande porte, como aterros sanitários, deve se executar o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), a fim de prever os possíveis impactos ambientais e propor suas respectivas medidas mitigadoras e compensatórias. Na elaboração do EIA/RIMA, há diversas metodologias para a verificação dos possíveis impactos ambientais, sendo uma tarefa complexa e com certo grau de incerteza, devido ao dinamismo apresentado pelo meio ambiente.

As exigências normativas para aterros sanitários não são de baixo custo e nem simples de serem cumpridas, fato que compromete os municípios com poucos recursos financeiros e/ou de pequeno porte. A Resolução CONAMA nº404/08 estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterros sanitários de pequeno porte, com disposição diária de até 20 t de RSU. A menos que se verifique uma potencial degradação significativa ao meio ambiente, esses empreendimentos serão dispensados de EIA/RIMA. No entanto, o órgão ambiental competente poderá definir procedimentos complementares para o licenciamento ambiental (BARROS, 2012).

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993) é necessário atentar-se para alguns pontos referentes à disposição dos RSU, dentre os quais:

- O impacto da descarga não controlada de gases de aterros sanitários e a intensificação do efeito estufa;
- O odor e as condições potencialmente perigosas geradas pela migração das emissões descontroladas dos gases do aterro;
- A contaminação das águas subterrâneas e superficiais através da liberação descontrolada dos lixiviados;
- A proliferação de vetores de doenças provenientes da má gestão.

Diante disso, Tchobanoglous *et al.* (1993) enfatiza que a meta para o projeto e operação de um aterro sanitário é eliminar ou minimizar os impactos associados aos problemas referidos.

Os impactos ambientais causados por aterros sanitários poderão ocorrer de diversas maneiras: direta e indiretas, positivas e/ou negativas, normalmente presentes em quatro fases distintas: no planejamento e elaboração do projeto, na implantação do empreendimento, no exercício das atividades e no encerramento da vida útil. Os impactos referentes à implantação de aterros sanitários podem ser positivos e negativos. Cada impacto ambiental difere de acordo com a sua localização e o tipo de processo empregado, bem como o tipo de resíduo disposto. Adiante serão descritos os principais impactos ambientais, de maneira generalizada, nos aterros sanitários utilizados para disposição dos RSU.

#### 4.2.1 Impactos positivos

Genericamente, podem-se listar os seguintes impactos positivos advindos da implantação do empreendimento (LANCE, 2012):

- Disciplinamento e organização da deposição final de resíduos sólidos no município, através do atendimento à legislação, normas e parâmetros ambientais;
- Geração de empregos diretos e indiretos, tanto na fase de instalação quanto na fase de operação;
- Implantação de um empreendimento ambientalmente orientado, que concorrerá para anular/minimizar/remodelar os componentes culturais desenvolvidos a partir da interação e/ou conhecimento de iniciativas de deposição final de resíduos sólidos, não mediados por preocupações, cuidados e procedimentos ambientais – lixão; e a
- Dinamização dos setores econômicos envolvidos com os gastos de investimento para implantação e operação do empreendimento.

#### 4.2.2 Impactos negativos

A seguir serão exemplificados alguns impactos ambientais negativos nos meios físicos, bióticos e antrópicos provenientes dos aterros sanitários (LANCE, 2012).

#### 4.2.2.1 *Impactos no meio biótico*

Os principais efeitos ambientais apresentados no meio biótico normalmente são a supressão da vegetação local, remoção do solo orgânico, aumento de ruídos, supressão de populações adaptadas aos microambientes, desequilíbrio e/ou supressão dos ambientes naturais, ocorrência de atropelamentos com perda de indivíduos da fauna, declínio populacional de espécies da avi-fauna, principalmente pela presença de aves como o Carcará e urubu, perda da diversidade genética vegetal, alterações nas comunidades de fauna das áreas de entorno e a dispersão das populações de fauna. Alguns desses efeitos estão presentes principalmente no processo de implantação, mas podem ocorrer no processo de operação.

#### 4.2.2.2 *Impactos no meio socioeconômico*

Dentre os impactos ambientais no meio socioeconômico, pode-se notar a alteração na qualidade de vida da população do entorno, tendo a necessidade do monitoramento e controle das emissões atmosféricas, ruídos e vibrações. Outro impacto é o afluxo populacional para a região, devido à oferta de trabalho e desvalorização dos terrenos ao entorno e a procura de emprego. Pode ocorrer a destruição total ou parcial dos sítios arqueológicos, caso presentes, sendo necessário a implantação de sistemas de gestão ambiental e resgate arqueológico. Pode ocorrer ainda a intensificação da incidência de acidentes, pelo aumento do tráfego de veículos.

#### 4.2.2.3 *Impactos no meio físico*

Dentre os diversos impactos no meio físico, podemos classificá-los de acordo com a sua área de ocorrência:

##### 4.2.2.3.1 Impactos sobre a qualidade dos solos:

- Impermeabilização dos solos, proveniente das etapas de implantação e operação, com a necessidade da instalação de sistemas de drenagem de águas subterrâneas;
- Erosão dos solos e do aterro, presente nas fases de implantação, operação e encerramento, necessitando de uma operação adequada, bem como a

instalação e manutenção do sistema de drenagem de águas pluviais e o monitoramento geotécnico;

- Contaminação do solo, presente nas fases de implantação, operação e encerramento, tendo a necessidade da operação adequada, instalação das mantas impermeabilizantes, manutenção de veículos e projetos de educação ambiental para funcionários e colaboradores.

#### 4.2.2.3.2 Impactos sobre a qualidade das águas:

- Assoreamento dos corpos d'água;
- Contaminação de águas superficiais;
- Supressão de nascentes; e
- Contaminação das águas subterrâneas.

#### 4.2.2.3.3 Impactos sobre a qualidade do ar:

- Poluição atmosférica, presente nas fases de implantação, operação e encerramento. Pode ser decorrente da emissão de particulados e CO<sub>2</sub>, devido ao aumento da presença de veículos e a emissão de gases resultantes do processo de decomposição dos RSU. Diante disso, faz-se necessário a manutenção constante de veículos da empresa e terceiros, a aplicação de um sistema de drenagem de gás eficiente, o monitoramento da qualidade do ar e se possível, a implantação do sistema de aproveitamento energético do gás metano.
- Poluição sonora, presente nas fases de implantação e operação, tendo a necessidade da manutenção de veículos da empresa e de terceiros, bem como do monitoramento de ruídos.

### 4.3 Monitoramentos em aterros sanitários

O aterro sanitário é uma das alternativas mais seguras e de menor custo para disposição final dos resíduos, devendo ter fundamento em bases da engenharia e normas técnicas, a fim de minimizar os impactos ambientais e controlar a qualidade social e ambiental. Além disso, utiliza técnicas de engenharia com o objetivo de

diminuir o volume e a área dos resíduos, adotando seu recobrimento com camadas de terra diariamente. A NBR 13896 (ABNT, 1997b), recomenda a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos, observando que o seu monitoramento deve prolongar-se, no mínimo, por mais 10 anos após o seu encerramento.

Segundo FEAM (2006), há uma vasta lista de aspectos que devem ser monitorados sistematicamente para que um aterro sanitário opere de forma eficiente. De acordo com Catapreta e Simões (2007a), os objetivos do monitoramento são acompanhar o comportamento geomecânico e o desempenho ambiental do aterro, de forma a permitir a identificação, em tempo hábil, de alterações no padrão de comportamento previsto e a proposição de medidas preventivas e corretivas, orientando os trabalhos de conservação e manutenção.

Os monitoramentos geotécnicos e ambientais de um aterro sanitário são realizados por meio dos resultados das observações de campo, da análise da instrumentação instalada e das análises físico-químicas e microbiológicas em amostras de águas superficiais e subterrâneas, e em amostras de líquidos lixiviados. São monitoradas ainda as condições de qualidade dos solos e do ar. As atividades envolvidas nos monitoramentos geotécnicos e ambientais compreendem:

- Definição do padrão de desempenho esperado seja o mecânico (comportamento das deformações) ou o ambiental (atendimento aos padrões de referência de qualidade ambiental);
- Definição dos indicadores e parâmetros para análise do desempenho;
- Definição e obtenção dos dados necessários para análise e interpretação do desempenho geotécnico e ambiental (observacionais e instrumentais);
- Análise e interpretação dos dados obtidos e comparação com os padrões de desempenho esperados e de referência de qualidade ambiental;
- Aplicação dos resultados para a operação, conservação e manutenção do aterro: medidas preventivas e corretivas, e de remediação de áreas que eventualmente apresentem alterações na qualidade ambiental ou desempenho geomecânico inadequado. (CATAPRETA; SIMÕES, 2007a).

#### 4.3.1 Tipos de monitoramentos de aterros sanitários:

A utilização de áreas para tratamento e disposição de RSU apresenta riscos elevados de contaminação do ambiente natural. Logo, a concepção e operação adequada desses empreendimentos, assim como a adoção de medidas mitigadoras, resultam na minimização dos impactos.

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993) a finalidade principal do monitoramento ambiental é evitar que contaminantes sejam liberados a partir do aterro.

Conforme se verifica na legislação, é necessário implantar em aterros sanitários os planos de monitoramentos, que englobam todos os monitoramentos ambientais. Adiante serão tratados os principais monitoramentos empregados em aterros sanitários.

RECESA (2008) divide os monitoramentos em dois tipos: o ambiental e o geotécnico e infere que o primeiro objetiva verificar se as obras de drenagem e impermeabilização cumprem com a função de isolar o entorno do aterro dos resíduos e efluentes com potencial poluidor.

Já o monitoramento geotécnico é definido como uma importante ferramenta que permite a contínua avaliação das condições de segurança e possibilita a contínua estimativa da vida útil dos aterros sanitários, já que os RSU são materiais altamente deformáveis.

##### *4.3.1.1 Monitoramentos ambientais*

De acordo com RECESA (2008) e outros autores, os principais monitoramentos ambientais englobam:

##### *4.3.1.1.1 Monitoramento dos recursos hídricos: águas superficiais e subterrâneas:*

Esse monitoramento tem o objetivo de acompanhar as condições dos mananciais superficiais e subterrâneos, avaliar a eficiência dos sistemas de impermeabilização e drenagem de lixiviados e detectar alterações na qualidade da água subterrânea. Deve ser feito a fim de preservar os mananciais nas áreas de influência do empreendimento.

Os parâmetros monitorados são baseados nas legislações ambientais vigentes e vale destacar que, apesar de alguns parâmetros não constarem nessas

normas, normalmente são acrescentados por contribuírem com a avaliação da qualidade dos recursos hídricos (RECESA, 2008).

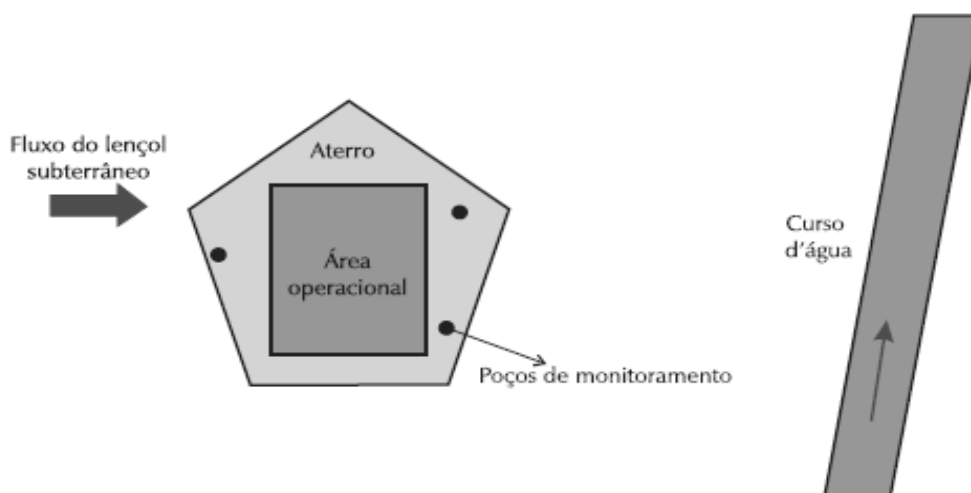
Normalmente os parâmetros adotados são os referentes aos padrões para águas superficiais, de acordo com a classe do corpo d'água. Por exemplo, se o corpo hídrico é classe 2, adota-se a Deliberação Normativa COPAM-CERH nº 01/2008.

Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas, normalmente a referência adotada é o padrão de potabilidade das águas destinadas ao consumo humano, estabelecido pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 2914, de 12 de dezembro de 2012.

Vale destacar que é de extrema importância a comparação dos resultados encontrados com os limites estabelecidos nas legislações. A adequação do corpo d'água superficial ou subterrâneo legislações depende também de suas características iniciais, anteriores à implantação e operação do empreendimento.

Para as águas subterrâneas devem ser feitas análises em laboratório das amostras de água coletada em pelo menos três poços a montante e a jusante do aterro em relação ao fluxo subterrâneo – NBR 15495-1 (ABNT, 2007), conforme exemplificado na Figura 3. Normalmente a metodologia de análise adotada é de acordo com o *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Figura 3 - Localização dos poços de monitoramento



Fonte: IBAM (2001)



É importante, em um plano de monitoramento, a presença de um croqui, identificando os pontos de monitoramento de recursos hídricos bem como a descrição do ribeirão ou córrego pertencente.

No estado de Minas Gerais, a FEAM possui uma Nota técnica (NT- 003/2005) (FEAM, 2005) que estabelece critérios para o monitoramento de efluentes líquidos, águas superficiais e subterrâneas associadas a aterros sanitários, a fim de verificar os possíveis impactos e a efetividade das ações de controle adotadas. Essa nota técnica estabelece as frequências e parâmetros adotados para o monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. Os monitoramentos que possuem frequência semestral deverão ocorrer no estado de Minas Gerais, nos meses de fevereiro e agosto; os monitoramentos com frequência anual deverão ocorrer em agosto. De acordo com FEAM (2005), caso os resultados do monitoramento conduzidos pelo empreendedor indiquem que o aterro é operado continuamente de maneira satisfatória, o programa de monitoramento poderá ter a frequência revista.

É importante ressaltar que quando qualquer parâmetro monitorado apresentar resultado em desconformidade com a legislação, o empreendedor deverá encaminhar ao órgão ambiental um laudo técnico indicando a causa da não conformidade e as ações adotadas para a solução do problema.

Caso seja verificada desconformidade com o comprometimento ambiental resultante da operação inadequada, poderão ser acrescentados alguns parâmetros e/ou alterada a frequência dos monitoramentos.

Para o estado de Minas Gerais, os parâmetros e frequência de monitoramento das águas subterrâneas são apresentados na Tabela 2. Para efeito de avaliação dos resultados desse monitoramento pela FEAM (2005), serão utilizados os valores estabelecidos em:

- Relatório de Estabelecimento de Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo (CASARINI *et al*, 2001).
- Portaria N.º 2914 do Ministério da Saúde, de 12 de dezembro de 2011, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Tabela 2 - Programa de monitoramento de águas subterrâneas para aterros sanitários Classe 1, 3 e 5

PARÂMETRO	CLASSE 1	CLASSE 3	CLASSE 5
Cádmio total - mg/L	Bianual	Anual	Anual
Chumbo total - mg/L	Bianual	Anual	Anual
Cobre dissolvido - mg/L	Bianual	Anual	Anual
Condutividade elétrica - $\mu$ S/cm	Bianual	Anual	Anual
Cloretos - mg/L	Bianual	Anual	Anual
Cromo total - mg/L	Bianual	Anual	Anual
E. coli – NMP	Bianual	Anual	Anual
Nitratos-mg/L	Bianual	Anual	Anual
Nitrogênio amoniacal total - mg/L	Bianual	Anual	Anual
Nível de água	Bianual	Anual	Anual
pH	Bianual	Anual	Anual
Zinco total - mg/L	Bianual	Anual	Anual

Fonte: FEAM (2005)

De acordo com a FEAM (2005), a verificação dos corpos hídricos (córrego, ribeirão, rio ou lago) que estão na área de influência do aterro sanitário deverá ser monitorada a montante e a jusante do empreendimento. A Tabela 3 apresenta os parâmetros e as frequências que devem ser adotadas no Estado de Minas Gerais.

Tabela 3 - Programa de monitoramento de corpos hídricos para aterros sanitários Classe 1, 3 e 5.

PARÂMETRO	CLASSE 1	CLASSE 3	CLASSE 5
Cádmio total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Chumbo total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Cobre dissolvido - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Condutividade elétrica - $\mu$ S/cm	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
Cromo total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
DBO - mg/L	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
DQO -mg/L	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
E. coli – NMP	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
Fósforo total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Níquel Total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Nitratos-mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Nitrogênio amoniacal total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Óleos e graxas	Anual	Semestral	Semestral
Oxigênio dissolvido - mg/L	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
pH	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
Substâncias tensoativas - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Zinco total - mg/L	Anual	Semestral	Semestral
Clorofila a - $\mu$ g/L	Trimestral	Trimestral	Trimestral
Densidade de Cianobactérias - cel/ml ou $\text{mm}^3/\text{L}$	Trimestral	Trimestral	Trimestral

Fonte: FEAM (2005)

#### 4.3.1.1.2 Monitoramento da qualidade do ar

Segundo Catapreta *et al.* (2007b), o monitoramento da qualidade do ar no entorno de aterros sanitários destaca-se como uma das principais etapas de controle da qualidade ambiental, pois está relacionada diretamente com a saúde e bem estar da sociedade e do meio ambiente. Segundo o autor, a existência de redes de monitoramento da qualidade do ar em aterros sanitários é quase inexistente no Brasil e poucos trabalhos têm sido desenvolvidos nesse sentido. Alia-se a isto o fato de que a literatura especializada carece de estudos dessa natureza.

O autor define que um programa de monitoramento da qualidade do ar deverá abranger:

- Monitoramento da qualidade do ar ambiente / Medidas meteorológicas;
- Constituição de inventários de emissões atmosféricas;
- Avaliação de riscos a saúde decorrente das emissões atmosféricas;
- Prevenção da poluição e redução da geração de resíduos;
- Planejamento do gerenciamento de riscos potenciais; e
- Controle da emissão de gases causadores do efeito estufa, quando for o caso.

As variáveis climatológicas devem ser monitoradas, pois podem ter relação com a emissão de particulado, como a direção dos ventos, precipitação, temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa do ar.

De acordo com Fedorak e Rogers (1991), em aterros sanitários é presente um fluxo intenso de veículos e movimentação de terra que impacta ou influencia diretamente na emissão de materiais particulados, sendo inevitável a dispersão dos mesmos. Concomitantemente com a geração de particulados, há a geração de gases provenientes do processo de decomposição do lixo. Essas emissões acabam sendo transportadas por correntes de ar e depositadas em outros locais.

Catapreta *et al.* (2007b) expõe que uma forma de controle do particulado pode ser a aspersão de água em vias, afim de minimizar o transporte desses. Catapreta, Tavares e Silveira (2002) mencionam que, para monitoramento do ar, devem ser feitas amostragens com equipamentos precisos como:

- Coletores de partículas totais em suspensão;

- Coletores de partículas inaláveis em suspensão; e
- Estação Climatológica.

As amostragens da avaliação da qualidade do ar devem ser feitas em pontos estratégicos, previamente selecionados de acordo com a direção dos ventos e com equipamentos de avaliação da qualidade do ar (HI-VOL e o PM 10) – NBR 13412 (ABNT, 1995) e NBR 9547 (ABNT, 1997a).

A Resolução CONAMA nº 03 de 1990 dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no Programa Nacional de Controle de Qualidade do ar (PRONAR), dividindo os padrões em primários e secundários e estabelecendo limites de tolerância. A resolução define que:

Padrão Primário: são as concentrações de poluentes que, ultrapassadas, poderão afetar a saúde da população. Esse limite só pode ser ultrapassado 01 (uma) vez dentro do período de 12 (doze) meses.

Padrão Secundário: são as concentrações de poluentes abaixo das quais se prevê o mínimo efeito adverso sobre o bem estar da população, assim como o mínimo dano à fauna, à flora, aos materiais e ao meio ambiente em geral. Também só pode ser ultrapassada 01 (uma) vez dentro do período de 12 (doze) meses.

De acordo com BRASIL (1990), os padrões e aparelhagens para aferição das partículas totais em suspensão e partículas inaláveis, são:

- Para partículas totais em suspensão:

Aparelho de amostragem: amostrador de grandes volumes ou método equivalente.

#### Padrão Primário

01) Concentração média geométrica anual de 80 (oitenta) microgramas por metro cúbico de ar.

02) Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 240 (duzentos e quarenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

#### Padrão Secundário

01) Concentração média geométrica anual de 60 (sessenta) microgramas por metro-cúbico de ar.

02) Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas, de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

- Para partículas inaláveis:

Aparelho de amostragem: método de Separação Inercial/Filtração ou método Equivalente

#### Padrão Primário e Secundário

01) Concentração média aritmética anual de 50 (cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar.

02) Concentração média de 24 (vinte e quatro) horas de 150 (cento e cinquenta) microgramas por metro cúbico de ar, que não deve ser excedida mais de uma vez por ano.

#### 4.3.1.1.3 Monitoramento da poluição sonora, ruídos ou pressão sonora.

De acordo com RECESA (2008), este monitoramento tem o objetivo de acompanhar os níveis de ruídos gerados em um aterro sanitário a fim de controlá-los, evitando efeitos negativos sobre os seres humanos, como perda da capacidade de trabalho, nervosismo, irritabilidade, estresse, alterações circulatórias, digestivas e até perda gradativa na audição.

O monitoramento deve ser feito considerando os abatimentos dos ruídos provocados de acordo com a NBR 12179 (ABNT, 1992b), observando que os ruídos não poderão exceder os limites fixados pela Norma NBR 10152 (ABNT, 1987), conforme estabelecido pela Resolução do CONAMA nº 01 de 08/03/90. O monitoramento deve ser feito em todo o aterro sanitário e imediações.

#### 4.3.1.1.4 Monitoramento dos Líquidos lixiviados

De acordo com Catapreta e Simões (2007a), o monitoramento dos líquidos lixiviados geralmente consiste na sua avaliação quali-quantitativa (medição da vazão e análises físico-químicas). O controle dos parâmetros físico-químicos dos líquidos lixiviados visa à avaliação da eficiência do tratamento adotado. Este controle possibilita a verificação da ocorrência de problemas, como infiltrações na massa de resíduo e vazamentos, além de fornecer parâmetros de controle capazes de indicar

a existência de desequilíbrios nos fatores abióticos que interferem no processo e podem causar a inibição do mesmo.

Normalmente, adota-se a Resolução n° 357 do CONAMA (BRASIL, 2005) que classifica os corpos d'água e padrões de lançamento de efluentes, para verificação do enquadramento do efluente tratado.

É importante destacar que variações da vazão e dos parâmetros físico-químicos podem ocorrer de acordo com as condições climatológicas e hidrogeológicas, bem como das características dos RSU aterrados. Em períodos chuvosos, pode-se verificar o aumento da vazão de modo significativo, devido à percolação e infiltração das águas de chuva no solo. Normalmente, o aumento da vazão é verificado em períodos posteriores ao evento chuvoso, variando de acordo com a permeabilidade do solo em estudo (CATAPRETA *et al.*,2014).

O monitoramento do lixiviado dos aterros no estado de Minas Gerais deverá ser conduzido de acordo com os parâmetros e frequências indicados na Tabela 4. Para utilização dessa tabela, deve-se ter atenção para a classe do aterro, que é definida de acordo com a Deliberação Normativa COPAM n° 74/2004.

Tabela 4- Programa de monitoramento de efluentes para aterros sanitários Classe 1, 3 e 5.

PARÂMETRO	CLASSE 1	CLASSE 3	CLASSE 5
Cádmio total - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Chumbo total - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Cobre dissolvido - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Condutividade elétrica - <sup>4</sup> S/cm	<b>Trimestral</b>	<b>Trimestral</b>	<b>Trimestral</b>
Cromo total - mg/L	Anual	Semestral	Bimestral
DBO* - mg/L	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
DQO* - mg/L	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
E. coli – NMP	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
Fósforo total - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Níquel Total - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Nitrogênio amoniacal total - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Nitratos-mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
pH	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
Sólidos sedimentáveis * - ml/L	<b>Trimestral</b>	<b>Bimestral</b>	<b>Bimestral</b>
Substâncias tensoativas - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Cloretos - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral
Teste de toxicidade aguda	Anual	Anual	Anual
Zinco total - mg/L	Anual	Semestral	Trimestral

\* Parâmetro também monitorado no afluente.

\*\* Para a declaração de carga (CONAMA 357) deverá ser medida a vazão média anual do efluente do sistema de tratamento.

Fonte: FEAM (2005)

De acordo com IBAM (2001), a principal característica do lixiviado é a variabilidade de sua composição em decorrência do esgotamento progressivo da matéria orgânica biodegradável. Afirma também que a melhor forma de se determinar a vazão do lixiviado gerada em um aterro é através da medição direta, sendo a correlação direta com a geração de lixiviado em aterros conhecidos outra forma para se estimar as vazões de aterros sanitários, embora, para isso, tenha que se admitir uma série de simplificações.

#### 4.3.1.1.5 Monitoramento dos gases

De acordo com Tchobanoglous *et al.* (1993), os gases dos aterros devem ser monitorados a fim de avaliar a sua composição e para determinar a presença de vestígios de constituintes que podem representar risco para a saúde ou ao meio ambiente. RECESA (2008) infere que o monitoramento dos gases tem por objetivo verificar a qualidade e a quantidade dos gases gerados e deve ser feito com a finalidade de acompanhar as fases de degradação e o grau de estabilização dos resíduos, bem como seu potencial energético.

Catapreta, Batista e Simões (2006) afirmam que os gases gerados nos aterros sanitários são subprodutos da digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos por ação de microrganismos que os transformam em substâncias mais estáveis, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O), gás metano (CH<sub>4</sub>), gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), mercaptanas e outros componentes minerais.

Esses gases são preocupantes do ponto de vista local (odores e efeitos sobre a saúde), regional e global (o metano contribui para o aumento do efeito estufa). A produção de metano em aterros municipais em todo o mundo representa de 5 a 15% do metano total lançado na atmosfera. Além disso, o metano é de 20 a 25 vezes mais efetivo que o CO<sub>2</sub>, na absorção da energia infravermelha, contribuindo significativamente para o aumento do efeito estufa (FCO, 2000).

Através do aproveitamento energético, é possível aproveitar os gases como fonte de energia, fazendo com que seja reduzida a emissão desses gases para a atmosfera. No Brasil, as iniciativas de aproveitamento do biogás ainda não são tão significativas quanto em países desenvolvidos.

Catapreta, Batista e Simões (2006) afirmam também que as estimativas de geração de gases em aterros sanitários ainda são realizadas de formas indiretas,

por meio de modelos matemáticos, os quais muitas vezes não levam em consideração diversos parâmetros e condições operacionais. Dessa forma, o monitoramento de gases gerados tem se restringido, na maioria dos casos, somente à sua composição estequiométrica.

#### 4.3.1.1.6 Monitoramento dos resíduos enviados ao aterro

Segundo Catapreta e Simões (2007a) devem ser monitoradas as características dos RSU que são enviados para o aterro, com o objetivo de controlar a compatibilidade dos resíduos com a característica e a classe do mesmo; controlar as fontes e regiões quanto às composições dos resíduos sólidos predominantes e; controlar a eficiência do sistema de coleta por roteiro, tipo de equipamento e por equipe. Esse controle normalmente é realizado na portaria ou no sistema de pesagem, através de inspeção visual dos resíduos ou conferência da nota fiscal.

#### 4.3.1.2 *Monitoramento geotécnico*

O monitoramento geotécnico consiste na implantação de instrumentação geotécnica para monitoramento dos maciços, com a realização de leituras ou observações de variações das grandezas de interesse, com intervalos de leitura de acordo com cada situação (risco e probabilidade de ruptura). Normalmente são feitos com o auxílio topográfico de medidores de recalque, piezômetros, medidores de vazão, pluviômetros e inclinômetros devidamente localizados (RECESA, 2008).

De acordo com Simões e Catapreta (2004), o monitoramento de aterros sanitários de grande e médio porte deve, necessariamente, envolver o monitoramento geotécnico, por meio do qual se procura monitorar a sua estabilidade e conhecer o comportamento da massa de resíduos disposta. Simões e Catapreta (2004) destaca a importância de monitorar os recalques, que são ocasionados por mecanismos físicos, químicos e biológicos. O monitoramento geotécnico permite inferir os parâmetros geotécnicos envolvidos e auxiliar na estimativa da vida útil dos aterros sanitários.

RECESA (2008) define que no monitoramento geotécnico os seguintes itens devem ser avaliados:



- Recalques superficiais:

Tem o objetivo de monitorar os deslocamentos verticais e horizontais do aterro sanitário. Deve ser feito para permitir uma avaliação contínua da vida útil do aterro e fornecer elementos para a avaliação da estabilidade de seus taludes, evitando acidentes, como desmoronamentos. O monitoramento é feito por meio do registro topográfico das posições de medidores de recalque e marcos superficiais. Os pontos de monitoramento devem ser nas superfícies dos taludes, bermas e topo do aterro.

- Pressões nos líquidos e gases no interior das células de resíduos

Tem o objetivo de monitorar o nível de líquidos e as pressões nos gases para fornecer elementos para a avaliação da estabilidade dos taludes do aterro, evitando acidentes como desmoronamentos. O monitoramento é feito por meio de piezômetros instalados no interior do maciço de aterro.

- Inspeções de campo

Tem o objetivo de avaliar o desempenho dos elementos do aterro sanitário para assegurar o funcionamento adequado dos elementos de projeto implantados. Esse monitoramento é feito por meio de observações que visem detectar trincas, focos erosivos, vazamento de lixiviados, entre outros. A verificação é realizada em todo o aterro e imediações.

- Controle tecnológico dos materiais geotécnicos utilizados

Tem o objetivo de avaliar a qualidade dos materiais utilizados nos diversos sistemas de um aterro. Deve ser feito para garantir que os elementos de projeto tenham sido devidamente implantados, dentro das especificações previstas. É feito por meio de controles tecnológicos dos materiais e de ensaios de laboratório e de campo em todo o aterro.

De acordo com RECESA (2008) e ABNT (1997b), o monitoramento ambiental e geotécnico deverá continuar (mínimo 10 anos), mesmo após o encerramento das atividades do aterro, que continua a apresentar recalques horizontais e verticais e a gerar lixiviados e gases, devido às reações bioquímicas do material orgânico que o constituem em razão da continuidade do processo de degradação.

#### **4.4 Manuais, cartilhas e artigos sobre monitoramento ambiental**

Após consultas bibliográficas referentes ao tema do trabalho, foi possível perceber que, a maiorias das fontes apresentou o monitoramento ambiental em aterros sanitários de forma sucinta e superficial, uma complementando a outra. As cartilhas consultadas apresentaram alguns pontos que ofereceram um maior suporte com relação aos monitoramentos ambientais, em especialmente a cartilha da RECESA (2008), que ofereceu algumas informações detalhadas em diversos aspectos do monitoramento ambiental. O manual da FEAM (2006) e o do IBAM (2001) abordam o tema do monitoramento ambiental de maneira superficial, possivelmente por terem como foco principal aterros sanitários e resíduos sólidos, mas direcionaram a alguns pontos necessários para sua execução, bem como legislações pertinentes ao tema. A Nota técnica da FEAM (NT 003/2005) e as normas da ABNT ofereceram maior suporte e especificação aos tipos de monitoramento, parâmetros, frequências bem como os procedimentos que devem ser executados, sendo de grande valia para a revisão bibliográfica. Os livros consultados apresentam de maneira geral a necessidade da execução dos monitoramentos, mas sem especificar como fazê-lo ou até mesmo com ausência de algumas legislações pertinentes, sendo apresentada uma abordagem mais didática sobre o tema. Alguns profissionais da Diretoria de Gestão de Resíduos (DGER) da FEAM foram consultados, e reforçaram a necessidade de manuais mais específicos sobre o monitoramento ambiental em aterros sanitários. Os artigos, em geral, apresentaram mais análises de uma série de dados dos monitoramentos ambientais do que como executá-los. Sem dúvida, a experiência prática aliada à revisão bibliográfica se complementaram para gerar um Guia com orientações básicas para monitoramento ambiental em aterros sanitários.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 Descrição da área objeto de estudo

A Superintendência de Limpeza Urbana (SLU) é uma autarquia municipal, cuja responsabilidade é realizar tanto a elaboração quanto o controle e a execução das atividades e dos programas direcionados para a limpeza urbana de Belo Horizonte (PBH, s.d.). A prestação de serviços da SLU engloba a coleta domiciliar de lixo, capina e roçada, varrição, aterragem de resíduos, reciclagem de entulho, coleta seletiva e também compostagem de materiais orgânicos.

O Departamento de Tratamento de Resíduos Sólidos (DPTDR), setor da SLU responsável pela Central de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos da BR 040 (CTRS BR 040), está localizado na região Noroeste de Belo Horizonte. Seu endereço é na BR 040, no km 531, bairro Jardim Filadélfia, Belo Horizonte, Minas Gerais. A Figura 04 mostra a localização da CTRS BR 040 a partir de uma imagem de satélite.

Figura 4 - Localização da CTRS BR040



Fonte: Google Earth (2014)

A desapropriação do local para a implantação do aterro sanitário se deu em 30 de abril de 1974, sendo que o local desapropriado se chamava, na época, Fazenda Coqueiros. O início da operação do aterro sanitário de Belo Horizonte ocorreu em 17 de fevereiro de 1975, onde seu objetivo era atender às necessidades

da cidade com relação aos resíduos sólidos urbanos gerados por seus moradores e também, reduzir os impactos gerados pela disposição inadequada desses resíduos.

Em 11 de junho de 1997 foi concedida a licença de operação da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos – CTRS BR 040 pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). Para a implantação do aterro sanitário foi reservada uma área de 144 hectares. Contudo, após apropriações, a área remanescente é de 100 hectares, onde 60 ha são ocupados atualmente por aterragem.

Atualmente, a CTRS BR 040 é formada pelo espaço ocupado pelos resíduos aterrados desde 1975 até 2007, período onde houve o encerramento das atividades de recebimento de resíduos domésticos para aterragem. No aterro ainda é feita a compactação e cobertura diariamente dos resíduos oriundos dos serviços de saúde. O aterramento acontece em células, considerando todas as medidas necessárias para reduzir os impactos prejudiciais ao meio ambiente.

São executados os procedimentos contidos nos planos de monitoramento ambiental e geotécnico de toda a área. Sistemáticamente são realizados estudos de monitoramento da qualidade do ar e dos ruídos, dos maciços de resíduos aterrados, do nível de líquidos e de diversos outros parâmetros ambientais e de engenharia.

## **5.2 Revisão Bibliográfica**

Foi executada uma revisão bibliográfica, com consulta a artigos técnicos, publicações, normas e legislações referentes ao monitoramento ambiental em aterros sanitários. A revisão englobou os principais impactos gerados por um aterro sanitário, os principais monitoramentos ambientais e geotécnicos empregados nos aterros sanitários de RSU, tendo como referência inicial o acompanhamento e o registro dos monitoramentos executados no Aterro Sanitário da Prefeitura de Belo Horizonte localizado na BR-040, no município de Belo Horizonte.

## **5.3 Visitas ao aterro e acompanhamento dos monitoramentos**

As visitas ao aterro sanitário da CTRS-BR 040 foram diárias, sendo acompanhados diferentes monitoramentos ao longo do tempo. Entre eles: medições da manta líquida, (piezômetros), vazão do lixiviado, inclinômetros, medição de recalques, monitoramento de gases, ruídos, qualidade do ar e a coleta de água subterrânea, superficial e do lixiviado para posterior análise físico-química.

Vale ressaltar que os monitoramentos diferiram sua frequência, sendo diária a medição da vazão, a cada seis dias o monitoramento da qualidade do ar, quinzenal a medição de inclinômetros e piezômetros e mensal a medição do nível dos poços subterrâneos. As coletas e análises físico-químicas variam mensalmente, trimestralmente e semestralmente e a medição dos gases gerados, trimestralmente.

Nas visitas ao aterro foram realizados registros fotográficos a fim de se permitir a melhor visualização das técnicas e do local do monitoramento. Foi consultado o Plano de Controle Ambiental (PCA) do Aterro da BR-040, através do site do sistema Integrado de Informação Ambiental (SIAM) do estado de MINAS GERAIS, onde são apresentadas as diretrizes dos monitoramentos executados no aterro sanitário.

#### **5.4 Guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários**

Após a revisão bibliográfica, a experiência prática vivenciada no estágio curricular e as visitas adicionais, foi elaborado uma cartilha denominada Guia ambiental para aterros sanitários, como produto final do TCC, sendo uma orientação para acompanhamento e gestão de monitoramentos em aterros sanitários, a fim de nortear e auxiliar profissionais da área sobre os principais monitoramentos empregados nos aterros sanitários.

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Visitas Técnicas:

Foram realizadas visitas diárias no período de dezembro de 2014 e janeiro de 2015, onde se pode acompanhar e executar os seguintes monitoramentos:

- Monitoramento das águas subterrâneas e superficiais, com a medição do nível d'água e a coleta de amostras para análise físico-químicas;
- Monitoramento dos lixiviados através da medição da vazão de líquidos lixiviados;
- Monitoramentos geotécnicos, através da medição dos níveis de manta líquida em piezômetros, medição de inclinômetros e acompanhamento de dados de recalque; e
- Monitoramentos envolvendo a qualidade do ar, ruídos e gases gerados no aterro.

As atividades realizadas nas visitas foram à execução prática dos planos de monitoramento ambiental, monitoramento geotécnico e operação de toda a área do aterro da BR-040, com acompanhamento e atuação conjuntos da equipe da Superintendência de Limpeza Urbana e da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) por meio da Fundação Cristiano Otoni (FCO).

Devido ao fato de a maior parte das atividades realizadas no aterro serem feitas em campo, é obrigatório o uso de alguns Equipamentos de proteção Individual (EPI's), como por exemplo, botina e luvas, juntamente com o uso do uniforme da SLU.

A seguir são descritos os monitoramentos executados ao longo das visitas de campo.

#### 6.1.1 Monitoramento da qualidade das águas superficiais

Na coleta de águas superficiais foi realizada uma amostragem simples e por arrastos horizontais à jusante do curso d'água. Após coletadas as amostras, estas foram colocadas em frascos esterilizados para análise físico-química em laboratório contratado.

As coletas são em corpos d'água que provêm de nascentes captadas e drenadas sob sistema de impermeabilização, colchão reno. Os colchões renos, ou

gabiões, são utilizados para proteger e estabilizar canais e margens de córregos e rios, consistindo em caixas de telas metálicas com enchimento de pedras. As coletas e análises de amostras foram executadas de acordo com os métodos descritos no *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Os pontos de amostragem foram:

PSP1- Córrego Coqueiros, nos limites com o Bairro Pindorama, próximo ao portão de acesso pela Avenida Amintas Jacques de Moraes.

PSP2 – Córrego Taiobas, antes da entrada da água na tubulação que conduz a área da lagoa.

PSP3 – Córrego Taiobas, após a saída da tubulação que passa sob a lagoa.

### 6.1.2 Monitoramento da qualidade das águas subterrâneas

A coleta de águas subterrâneas foi realizada da jusante do aterro para a montante. Ela foi coletada através do método de amostragem de purga mínima, de baixa vazão. O método de purga mínima baseia-se na remoção do menor volume de água possível, ou seja, somente o necessário para a análise físico-química.

O monitoramento das águas subterrâneas ocorre no entorno do aterro, totalizando 27 (vinte e sete) poços subterrâneos, sendo que 6 (seis) deles são multiníveis. Os poços multiníveis são poços que apresentam duas ou mais perfurações situadas em um mesmo ponto, com seções filtrantes posicionadas em diferentes profundidades.

No método de purga mínima, utiliza-se uma bomba peristáltica, obedecendo aos critérios rígidos de controle de qualidade. A amostra é coletada diretamente da seção filtrante do poço, evitando a entrada de água com vazão acima da produção fornecida pelo aquífero. Posteriormente à coleta, são realizadas análises físico-químicas no laboratório contratado.

#### *6.1.2.1 Medição do nível do lençol freático:*

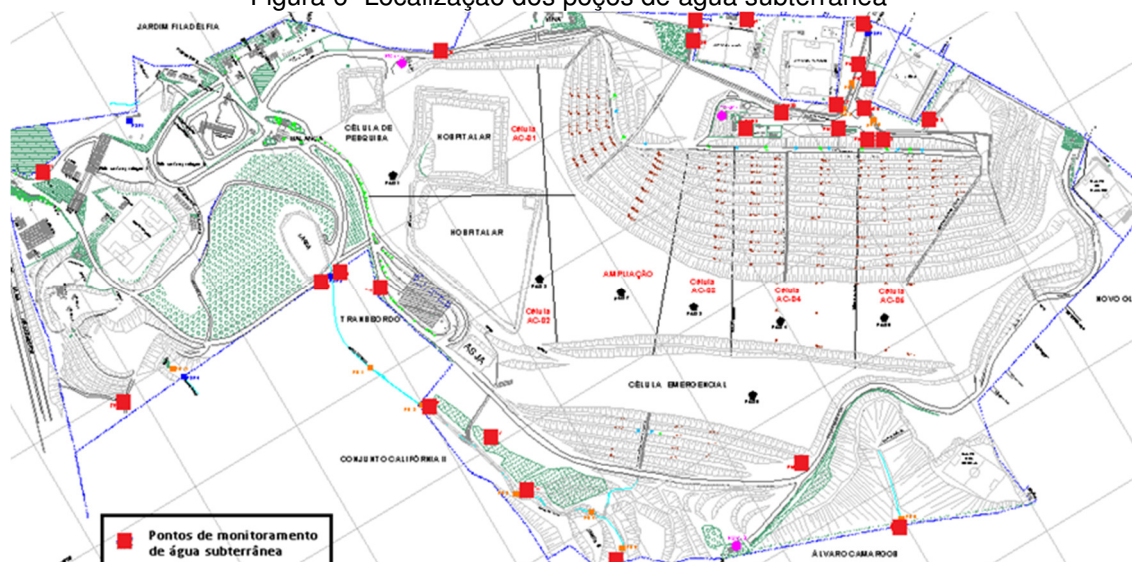
Este monitoramento avalia a altura do nível d'água no poço subterrâneo com o auxílio de um equipamento chamado medidor de nível (Figura05). Assim como a coleta de águas subterrâneas, a medição do nível da água subterrânea foi executada nos mesmos 27 poços de monitoramento já citados.

Figura 5- Medição do nível da água subterrânea



A medição de todos os pontos foi concluída em duas semanas, devido à logística, ao grande número de pontos e de profissionais disponíveis. Em uma semana foram feitas as medições dos pontos situados a jusante do aterro e em outra semana, nos pontos da e a montante do aterro. A Figura 06 demonstra a localização dos 27 poços de água subterrânea.

Figura 6- Localização dos poços de água subterrânea



Fonte: SLU (2014)

As ferramentas necessárias para a realização dessa medição são o medidor de nível (Figura. 07), uma prancheta com a planilha de campo onde são anotados os dados obtidos (Tabela 5), uma caneta e luvas.



Tabela 5 - Planilha de campo - Monitoramento de águas subterrâneas

<b>Superintendência de Limpeza Urbana – SLU</b>		
<b>Departamento de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos</b>		
<b>Monitoramento do Nível de H<sub>2</sub>O nos Poços de Água Subterrânea na CTRS BR 040</b>		
Engenheiro Responsável:		
Estagiário Responsável:		
	Data: / /	Hora: a
<i>Ponto</i>	<i>Altura (m)</i>	<i>Observações</i>
PM01		
PM02		
PM03 – Furo 1		
PM03 – Furo 2		
PM03 – Furo 3		
PM04		
PM05		
PM06		
PM07		
PM08		
PM09		

Fonte: SLU (2014)

Figura 7- Medidor de nível- PIO



Na Tabela 6 são mostrados os parâmetros monitorados e as frequências de águas subterrâneas e superficiais.

Tabela 6 - Parâmetros monitorados e frequência nas águas superficiais e subterrâneas.

Parâmetros	Frequência	
	Águas subterrâneas	Águas Superficiais
Cianeto total	Semestral	Semestral
Cloretos	Mensal	Mensal
Cloro Residual	-	Semestral
Cobalto total	-	Semestral
Cobre total	Semestral	Semestral
Cor aparente	Mensal	Mensal
Cromo Hexavalente	-	Mensal
Cromo Trivalente	-	Mensal
Cromo total	Mensal	-
DBO	Semestral	Mensal
DQO	Semestral	Mensal
Estanho total	-	Semestral
Dureza total	Mensal	-
Ferro Solúvel	-	Mensal
Ferro total	Mensal	-
Fluoreto total	Mensal	Semestral
Fosfato total	-	Mensal
Lítio total	-	Semestral
Índice de fenóis	-	Mensal
Manganês total	Mensal	Mensal
Mercurio total	Mensal	Mensal
Níquel	-	Semestral
Nitrato	Semestral	Semestral
Nitritos	Mensal	Mensal
Oxigênio Dissolvido	-	Mensal
Ph	Mensal	Mensal
Prata total	-	Semestral
Selênio total	Semestral	Semestral
Sólidos Dissolvidos	Mensal	Mensal
Substâncias Tensoativas que reagem com azul de metileno	-	Mensal
Sulfatos	Semestral	-
Sulfeto de Hidrogênio	Mensal	Mensal
Turbidez	Mensal	Semestral
Urânio	-	Mensal
Vanádio	-	Semestral
Zinco total	Mensal	Mensal
Antimônio	Semestral	-
Bromato	Semestral	-
Cloreto	Semestral	-
Cloro livre	Semestral	-
Sódio	Semestral	-
Sulfactantes	Mensal	-

Tabela 6- Parâmetros monitorados e freqüência nas águas superficiais e subterrâneas (continuação).

Parâmetros	Frequência		
	Águas subterrâneas	Águas Superficiais	
<b>Parâmetros físicos -químicos</b>	Alumínio Total	Mensal	Mensal
	Amônia não- ionizável	Mensal	Mensal
	Arsênio total	Mensal	Semestral
	Bário total	Mensal	Semestral
	Berílio	-	Semestral
	Boro	-	Semestral
	Cadmio total	Mensal	Mensal
	Chumbo total	Mensal	Mensal
<b>Compostos Orgânicos</b>	Determinação qualitativa das substâncias orgânicas, agrotóxicos, desinfetantes e produtos secundários da desinfecção presentes	Semestral	-
	Determinação qualitativa dos compostos orgânicos presentes	-	Semestral
<b>Características Orgânicas</b>	Odor	Mensal	-
<b>Parâmetros Microbiológicos</b>	Coliformes Fecais	Mensal	Mensal
	Coliformes Totais	Mensal	Mensal

Fonte : SLU (1996)

As Figuras 08, 09,10 e 11 são referentes às coletas de água subterrânea para amostragem e análise posterior em laboratório conveniado.

Figura 8 - Poço multinível



Figura 9- Leitor de multiparâmetros



Figura 10 - Visão geral do bombeamento

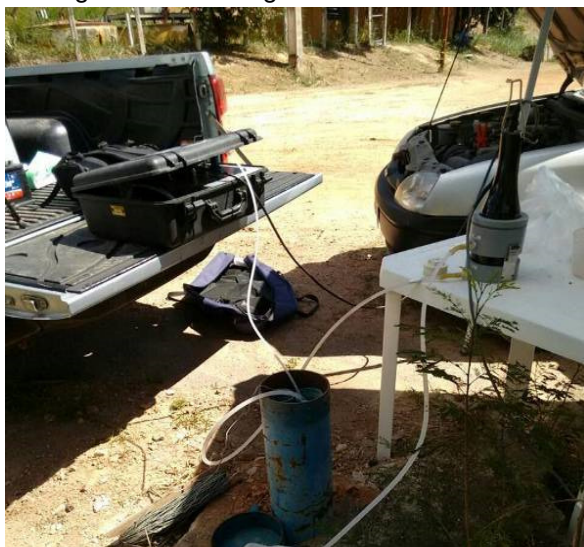


Figura 11- Frascos esterilizados e identificados



### 6.1.3 Monitoramento de líquidos lixiviados

Para a realização dessa tarefa, foi feita a medição da vazão do lixiviado através de mangueiras que direcionam o líquido para vertedouros triangulares (Figuras 12 e 13). Essa atividade fornece elementos para a avaliação do balanço hídrico no aterro e é correlacionada aos dados pluviométricos.

Figura 12 - Mangueiras de lixiviado



Figura 13- Vertedouro triangular



Esse monitoramento foi realizado de segunda a sexta-feira. Nos vertedouros triangulares existe uma régua onde a altura que o lixiviado atinge é observada. Os dados obtidos foram anotados na planilha de campo (Tabela 7), como mostra a Tabela 8, juntamente com a vazão referente a cada altura observada, extraída de

uma tabela de valores (Fórmula de Thompson). A medição foi verificada durante um intervalo de 10 minutos para melhor exatidão da lâmina líquida.

Tabela 7 - Planilha de campo para medição de vazão

Planilha de Campo – Medição de vazão – Mês:						Ano:		
EBALP's	Data / /	Altura (cm)	Vazão (L/s)	Altura (cm)	Vazão (L/s)	Altura (cm)	Vazão (L/s)	Média (L/S)
Amarela	PZ 4.1							
	PZ NO 6C							
	PZ 5.1							
Vermelha	PZ A.1							
	PZ 3.1							
	PX 3.5							
	PZ04							
TOTAL								

Fonte: SLU (2014)

Para o monitoramento qualitativo dos líquidos lixiviados, são feitas coletas em frascos esterilizados para posterior análise em laboratório. As frequências de cada monitoramento, bem como os parâmetros monitorados são definidos de acordo com a exigência do órgão ambiental. Na Tabela 8 pode-se observar os parâmetros e frequência monitorada do lixiviados.

Tabela 8 – Parâmetros monitorados e frequência dos lixiviados

Parâmetros Monitorados		Frequência de Amostragem
<b>Microbiológicos</b>	Coliformes totais	Trimestral
	Coliformes fecais	Trimestral
	Estreptococcus fecais	Trimestral
<b>Compostos orgânicos</b>	Determinação Qualitativa dos Compostos Orgânicos Presentes	Semestral
<b>Físico-Químicos</b>	Mercúrio total	Trimestral
	Metais tóxicos totais	Mensal
	Níquel total	Trimestral
	Prata total	Trimestral
	Selênio total	Mensal
	Zinco total	Trimestral
	Ácidos Voláteis	Mensal
	Alcalinidade	Mensal
	Amônia não-ionizável	Mensal
	Carbono Total e Carbono Orgânico Total	Mensal
	Cianeto total	Mensal
	Cloretos	Mensal
	Condutividade elétrica	Mensal

Tabela 8 – Parâmetros monitorados e frequência dos lixiviados (continuação)

	<b>Parâmetros Monitorados</b>	<b>Frequência de Amostragem</b>
<b>Físico-Químicos</b>	Cor	Mensal
	Demanda Bioquímica de Oxigênio	Mensal
	Demanda Química de Oxigênio	Mensal
	Dureza de Cálcio	Mensal
	Dureza de magnésio	Mensal
	Índice de Fenóis	Mensal
	Fluoreto Total	Mensal
	Nitrogênio Amoniacal	Mensal
	Nitrogênio Total	Mensal
	Nitratos	Mensal
	Óleos minerais	Mensal
	Óleos vegetais e gorduras	Mensal
	Potencial hidrogeniônico	Mensal
	Potencial Redox	Mensal
	Sulfatos	Mensal
	Sulfetos	Mensal
	Sulfitos	Mensal
	Temperatura	Mensal
	Turbidez	Mensal
	Sólidos totais	Mensal
	Sólidos dissolvidos	Mensal
	Sólidos Suspensos	Mensal
	Sólidos voláteis	Mensal
	Sólidos sedimentáveis	Trimestral
	Ferro solúvel	Mensal
	Ferro total	Mensal
	Manganês solúvel	Mensal
	Manganês total	Trimestral
	Alumínio total	Mensal
	Arsênio total	Trimestral
	Bário total	Trimestral
	Boro total	Trimestral
	Cádmio total	Mensal
Chumbo total	Mensal	
Cobre total	Trimestral	
Cromo hexavalente	Trimestral	
Cromo trivalente	Trimestral	
Estanho total	Trimestral	

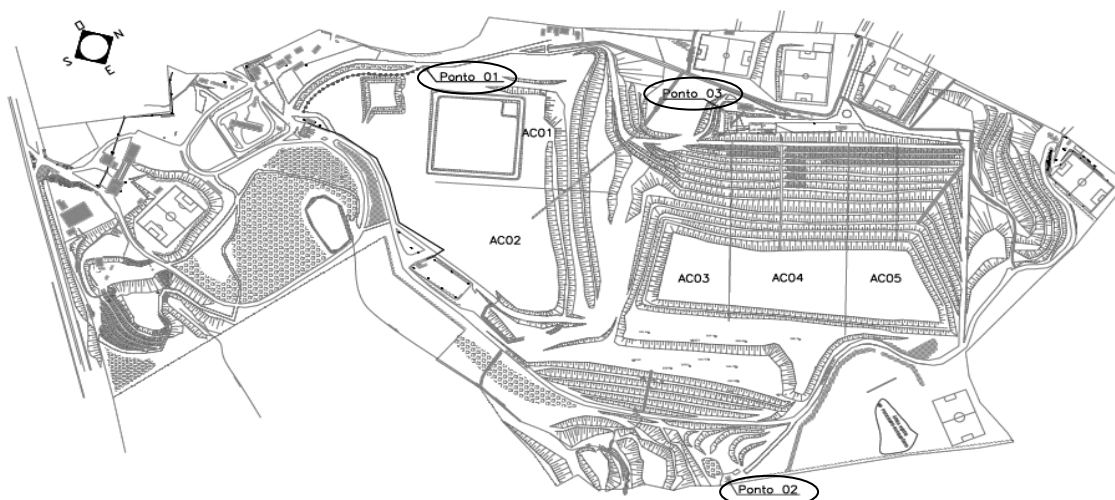
Fonte: SLU (1996)

#### 6.1.4 Monitoramento da qualidade do ar

O monitoramento da qualidade do ar está relacionado principalmente aos particulados em suspensão na área do aterro sanitário. São realizadas amostragens de partículas inaláveis (<10 µm) e totais (<100 µm) que são correlacionadas com as variações de temperatura, umidade, precipitação, ou seja, com as características climatológicas. Na Figura 14, são representados os três pontos de amostragem que foram selecionados de acordo com a direção dos ventos. As coletas foram

realizadas, simultaneamente nas estações, por um período ininterrupto de aproximadamente 24 horas, conforme determina a norma da ABNT, a cada seis dias, de forma a contemplar todos os dias da semana.

Figura 14 - Pontos de amostragem da qualidade do ar



No monitoramento ambiental, observa-se a existência de alguns equipamentos com a finalidade de acompanhamento da qualidade do ar, dentre eles:

- **HI VOL** - Coletor de partículas totais em suspensão: conforme descrito na NBR 9547 (ABNT, 1986), é um equipamento que possui um motor aspirador capaz de fazer passar ar atmosférico através de uma área de 40.645 mm<sup>3</sup> (63 in<sup>2</sup>) de um filtro de fibra de vidro de 203 mm x 254 mm (8" x 10") a uma determinada vazão (40 – 60 ft<sup>3</sup>/min) (Figura15).
- **PM 10:** Coletor de partículas inaláveis em suspensão que retém partículas com diâmetro inferior a 10 micra (10-6 m). A NBR 13.412 (ABNT, 1995) descreve este equipamento, que deve ter um sistema de entrada de amostra, que operando a uma vazão especificada, seja capaz de discriminar partículas quanto ao seu tamanho. Possui um dispositivo controlador de vazão capaz de mantê-la dentro dos limites especificados para o separador inercial e permite medir a vazão total durante o período de amostragem; (Figura 16).
- Biruta;
- Medidor de umidade relativa do ar;

- Pluviômetro - aparelho que mede a quantidade de chuva dentro de um determinado horário (Figura 17);
- Pluviógrafo – aparelho que registra a intensidade e o horário da chuva (Figura 17); e
- Medidor de umidade relativa/temperatura ambiente – Termo-Higrômetro Digital Polimed – PM 500 (Figura 18).

Figura 15 – HIVOL



Fonte: SLU (1996)

Figura 16 – PM10



Fonte: SLU (1996)

Figura 17 – Pluviógrafo e Pluviômetro



Figura 18 – Termo-higrômetro



Para o controle de particulados em áreas críticas ou na frente de serviços, há a aspersão de água nas vias com caminhões-pipas (Figura 19).



Figura 19 - Aspersão de água na frente de serviços do Aterro Sanitário de Belo Horizonte



Os dados coletados das amostragens são analisados e correlacionados com os índices climatológicos. Verifica-se a adequação dos dados com a legislação vigente para que, em caso de não conformidade ou alteração da qualidade do ar, sejam tomadas as medidas de controle.

Assim, os resultados permitem o acompanhamento sistemático da qualidade do ar na área do Aterro Sanitário de Belo Horizonte, bem como se constituem em elementos para subsidiar as ações operacionais no que toca ao controle das emissões, com vistas à saúde e melhoria da qualidade de vida da população local e do entorno.

#### 6.1.5 Monitoramento dos gases

No final da década de 1980, foi instalada no Aterro Sanitário de Belo Horizonte uma Unidade de Reaproveitamento de Gases, pela Companhia de Gás de Minas Gerais (GASMIG), onde se iniciou o monitoramento dos gases.

A unidade operou entre 1989 a 1995, quando foi suspenso o monitoramento dos gases. O mesmo retornou de 1998 a 2000, com o acompanhamento da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Após este período, iniciou-se o monitoramento com técnicos da SLU, que continua até a presente data.

O monitoramento dos gases no aterro sanitário é realizado de forma qualitativa, ou seja, através da medida de sua composição estequiométrica. São monitorados com a frequência trimestral os gases: metano, dióxido de carbono, hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, nitrogênio, monóxido de carbono e oxigênio.

A amostragem dos gases é realizada diretamente nos drenos de gás existentes nas células de aterramento. Esses drenos foram selecionados de forma a refletir as características do gás gerados nas diferentes células do aterro.

Para a coleta das amostras adota-se metodologia de acordo com as normas técnicas da CETESB, listadas abaixo:

- Para determinação de metano, dióxido de carbono, hidrogênio molecular e oxigênio molecular, hidrogênio e monóxido de carbono – Norma USEPA 3C/2011: ensaio por cromatografia gasosa;
- Para - Determinação do sulfeto de hidrogênio- Norma Técnica L9.233: Dutos e chaminés estacionárias - método de ensaio;
- Para determinação de umidade, quando necessário, como parte da determinação de algum dos parâmetros - Norma Técnica L9.224: Dutos e chaminés estacionárias - Determinação da umidade dos efluentes - método de ensaio

A coleta de gás foi realizada em 7 (sete) pontos selecionados no maciço de aterramento. Sendo eles identificados como:

- AC01 - Próximo à célula hospitalar (camisa metálica – Figura 20);
- AC02 - Próximo ao final da Célula Hospitalar (camisa metálica);
- ACO3 – Cabeça de poço (Figura 21) n E8;
- ACO4 – Cabeça de poço nº O9;
- ACO5 – Cabeça de poço nº L2;
- Célula emergencial – Cabeça de poço n M8; e
- ACO3 – Cabeça de poço nº A2.

Figura 20 – Ponto Camisa metálica



Figura 21 – Cabeça de poço



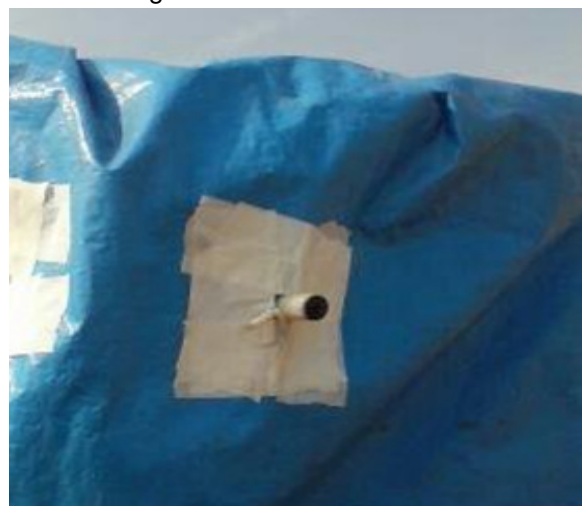
Os pontos como da Figura 20 são protegidos por uma camisa metálica, onde é necessário o uso de uma campânula (Figura 22 e 23) - dispositivo de coleta (aparato de metal, lona e material para fixar o mesmo na camisa metálica). Depois de ajustar a campânula na camisa metálica espera-se cerca de uma hora para o acúmulo dos gases.

Depois de aguardar o tempo necessário para inflar o sistema, a amostragem é realizada através de uma bomba GAST. O gás é recolhido em um saco de coleta (Figura 24) e levado ao laboratório contratado onde é analisado por meio de cromatografia gasosa. Para análise do  $H_2S$  é utilizado um aparelho denominado absorvedor "MIDGER IMPINGER" com placa de porosidade grossa por onde o gás é borbulhado em soluções específicas.

Figura 22 – Campânula



Figura 23 – Válvula de coleta



Nos demais pontos como da Figura 21, as coletas são realizadas em cabeça de poço diretamente na válvula de saída, após aguardar o tempo suficiente para a ambientação do sistema tal condição é verificada avaliando-se o decréscimo da concentração de oxigênio para valores abaixo de 2%, através de um analisador portátil de gases de combustão. Após o decréscimo do O<sub>2</sub> inicia-se a amostragem.

Figura 24 – Armazenamento dos gases em um balão



#### 6.1.6 Monitoramento dos ruídos

O monitoramento da emissão de ruídos visa à obtenção dos níveis de pressão sonora por meio de equipamentos apropriados e frequências pré-estabelecidas. Ele deve ser feito no entorno do empreendimento, buscando identificar os possíveis impactos provocados pela operação do aterro, principalmente pela movimentação das máquinas e dos veículos pesados.

No aterro sanitário de Belo Horizonte, a amostragem é realizada mensalmente, em 6 pontos distribuídos ao longo do perímetro externo da CTRS - BR 040 e em quatro momentos do dia (dois pela manhã e dois à tarde), alternando-se períodos de pico e de calmaria na operação do aterro.

A pressão sonora é medida em decibéis, sendo que o nível aceitável é variável de acordo com a classificação das vias e o zoneamento de território do município, estabelecido pelo art. 5º da Lei nº 7.166, de agosto de 1996. Dessa

forma, essa avaliação é realizada em conformidade com a legislação vigente de Belo Horizonte, destacando-se:

- Decreto Nº 9.139 de 07 de Março de 1997 - que altera a redação do Decreto 5.893 de 16 de Março de 1988, o qual dispõe sobre a Política de Proteção, Controle e Conservação do Meio Ambiente e Melhoria da Qualidade de Vida no Município de Belo Horizonte.
- Plano Diretor e Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo do Município de Belo Horizonte – 1996, que estabelece a divisão do município em zonas para as quais está definida sua forma de uso e ocupação do solo.
- Lei 10.100 de 17 de janeiro de 1990, que dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais e Lei Municipal 9.341 de 22 de fevereiro de 2007.

Em cada ponto de amostragem, expõe-se o *dosímetro* (aparelho medidor) por um intervalo pré-estabelecido (normalmente cinco minutos), durante o qual se anota os valores apresentados no mostrador. Nas medições utilizou-se um Dosímetro MINIPA, modelo MSL -1325 e um Cronômetro Digital Casio.

Ao término do tempo, busca-se no conjunto de valores anotados, o máximo, o mínimo e a média, que são então anotados em planilha e comparados à legislação vigente.

Cabe ressaltar que é necessário desconsiderar alguns valores referentes a sons produzidos de forma pontual durante a amostragem, principalmente em função do trânsito de veículos sem relação com as atividades do aterro sanitário.

Essa metodologia simplificada foi definida pelos técnicos da SLU, pode-se como opção adotar aquela determinada na NBR- 10151 de dezembro de 1987 que prevê a avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade.

Na Tabela 9, pode-se verificar os pontos de amostragem do monitoramento da pressão sonora no Aterro Sanitário da BR-040.

Tabela 9 – Pontos de Monitoramento de Ruído da CTRS- BR040

DESCRIÇÃO DO PONTO				
Nº	Localização	Classificação da Via	Cód. de Zoneamento	Limite
1	Rua Anália, 417 – Pindorama, junto ao muro da CTRS, próximo à guarita verde e à célula AC01.	Coletora	ZAR – 2	65 dB
2	R. Cachoeira da Prata, 394 – Novo Glória, final da rua, junto ao portão de acesso ao Campo do Clube do Remo, do ponto se vê as Células AC03, AC04 e AC05, parcialmente bloqueada em função do cinturão verde que, nesse ponto, oferece obstáculo visual considerável	Local	ZAP	60 dB
3	R. São Damião, 362 – Glória. Final da rua que termina na cerca da CTRS BR 040, próximo ao Mirante. Do ponto, bastante elevado, tem-se uma ampla visão da operação de Aterro.	Local	ZAP	60 dB
4	R. Prof. Adelmo Lodi, 145 – Álvaro Camargos. Rua que margeia a extremidade da CTRS BR 040 onde se situa a G4 -guarita de vigilância vermelha. Do local não se vê o Aterro Sanitário	Local	ZAP	60 dB
5	Rua B, 155 – Califórnia I. Via interna ao conjunto de prédios. Do local se vê o Anel Rodoviário de Belo Horizonte distante cerca de 1000 m e não se vê o Aterro Sanitário	Local	ZAP	60 dB
6	Rua A, 25 – Califórnia II. Do ponto vê-se a via Perimetral da Central BR 040 (rua interna que dá acesso ao Aterro Sanitário).	Local	ZAP	60 dB

### 6.1.7 Monitoramento Geotécnico

#### 6.1.7.1 Medição da manta líquida

Consiste na medição do nível do lixiviado com a utilização do medidor de nível. É realizada nos poços piezométricos, nos poços de drenagem de gases e em furos exploratórios executados nos topos das células e traduz o real nível de líquidos no interior das células (Figuras 25, 26 e 27).

Figura 25 – Abertura de poço de Monitoramento



Figura 26- Medição em poço de monitoramento



Figura 27 - Medição em poço de monitoramento célula emergencial.



A medição da manta líquida foi realizada às quintas e sextas-feiras, sendo que em uma semana ela foi feita na célula emergencial do aterro sanitário da BR 040 e nos taludes da célula emergencial e na outra semana, no topo do aterro sanitário (onde estão localizadas as demais células) e no dique, conforme mostra a Figura 28.

Figura 28- Áreas de realização de manta líquida



Fonte: Google Earth (2014)

Após a realização da medição da manta líquida e da coleta desses dados, as informações obtidas foram anotadas numa planilha de campo (Tabela 10).

Tabela 10 - Planilha de Campo para medição de manta líquida

<b>Monitoramento do nível de Manta Líquida de chorume no interior dos Piezômetros – CTRS – BR040</b>				
Datas: ___ e ___ de ___ de ____				
Condições Climáticas:			Responsável:	
Célula/Cota	Pontos	Altura Ext.	Medida	Observações
<b>AMPLIAÇÃO</b>	A-1			
	A-8			
<b>AC-03</b>	E-5			
	D-12			
<b>AC-04</b>	O-1			
	O-9			
	H-4			
<b>AC-05</b>	H-6			
	L-6			
<b>EMERGENCIAL</b>	M-7			
	M-10			
	G-2			
<b>PAMPULHA</b>	PZ 3.5			
	PZ4.2			
	PZ N.O			
<b>PERIMETRAL</b>	PZ0.6			

Fonte: SLU (2014)

#### 6.1.7.2 *Medições nos inclinômetros*

As medições nos inclinômetros acompanham as possíveis movimentações horizontais internas do aterro sanitário. É realizada a leitura de possíveis movimentações do maciço nos inclinômetros instalados no dique de contenção.

A leitura dos inclinômetros foi feita com um técnico responsável da UFMG-FCO, os tubos dos inclinômetros possuem ranhuras internas por onde desliza uma sonda que registra, em uma unidade de leitura automática, as inclinações de cada sub-trecho, normalmente com comprimento de 50 cm. Os dados são descarregados da unidade de leitura para um microcomputador e processados através de um programa próprio. As Figuras 29 e 30 mostram os componentes dos inclinômetros.



Figura 29 – Tubos e Sonda componentes do Inclinômetro



Fonte: SLU (1996)

Figura 30 – Sonda e Unidade de Leitura

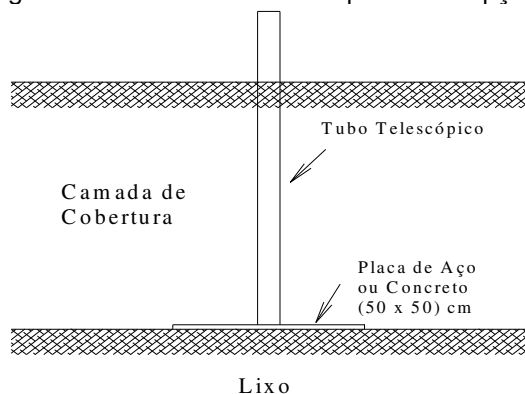


Fonte: SLU (1996)

### 6.1.7.3 Instalações e monitoramento dos medidores de recalque

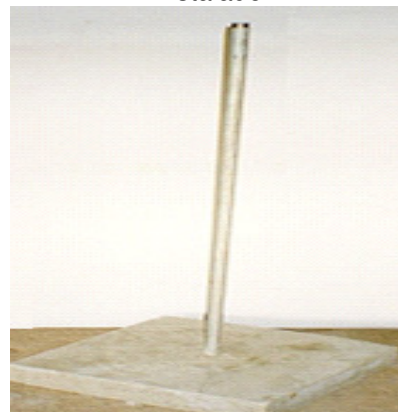
Os medidores de recalque estão instalados nos taludes do aterro sanitário para realizar o registro de movimentos verticais e horizontais no maciço, servindo como indicativo de possíveis problemas de estabilidade da massa de resíduos. Esses medidores são formados por uma haste metálica "telescópica", soldada ou solidarizada a uma placa de concreto ou de aço, composta de tubos de ferro galvanizado providos de rosca, para possibilitar o encaixe de novas hastes, se necessário. As Figuras 31 e 32 apresentam um esquema do medidor de recalques superficiais proposto e um medidor de recalques pronto para ser instalado, respectivamente.

Figura 31 – Medidor de Recalque – concepção



Fonte: SLU (1996)

Figura 32 – Medidor de Recalques pronto para ser instalado



Fonte: SLU (1996)

O conhecimento do recalque é de suma importância, pois através dele temos uma estimativa da vida útil do aterro, a avaliação da integridade dos sistemas de revestimentos, de cobertura e das linhas de drenagem de líquidos lixiviados e gases, estudos para reaproveitamento de áreas ocupadas após o fechamento dos aterros e para estabelecer correlações entre o recalque e a degradação dos resíduos. Recalque nada mais é que o quanto determinada estrutura está rebaixando o solo com o passar do tempo. Em aterros, esse fenômeno é bastante comum, pois com a decomposição acelerada dos RSU, a tendência é que ocorra um rebaixamento do terreno com o passar dos anos. O monitoramento de instalação, manutenção e leitura foi acompanhado junto da equipe de topografia do local.

#### 6.1.8 Inspeções de campo

Esta atividade foi realizada juntamente com os responsáveis técnicos da operação e tem por objetivo avaliar as condições dos sistemas de drenagem de águas pluviais, processos erosivos, incidências de trincas nos taludes e no topo do maciço.

Existe, neste procedimento, uma ficha de inspeção onde há a verificação de diversos itens, dentre eles:

- Verificação das condições das vias de acesso (boa, regular ou péssima);
- Verificação da aparência do topo (colo, alteado, trincas, empoçamento, outros);
- Verificação da aparência das bermas e taludes (alinhas, desniveladas, com surgência de lixiviado, com erosões e trincas);
- Verificação da falta de material de cobertura;
- Verificação da aparência do sistema de drenagem superficial (quebrado, desalinhado, com trincas);
- Verificação do funcionamento dos drenos de gás;
- Verificação se há drenagem de líquidos livres e escoando;
- Verificação se há drenos de gás ou poços de captação inclinados ou danificados;
- Verificação da surgência de lixiviados nos taludes e bermas;
- Detecção de trincas;
- Verificação da continuidade das manutenções;

- Verificação da existência de falhas na proteção vegetal;
- Verificação se há inclinação de arbustos;
- Verificação da vazão do lixiviado na data da inspeção com a vazão da inspeção anterior; e
- Verificação de alterações nas leituras da placa de recalques, inclinômetros e piezômetros.

Vale ressaltar que as inspeções de campo devem ser executadas em intervalos fixos, estabelecendo certa rotina para que sejam acompanhados o comportamento e a necessidade de ações corretivas nos aterros sanitários.

#### 6.1.9 Tratamento de dados

Essa atividade é realizada após a obtenção dos dados recolhidos em campo a partir dos monitoramentos ambiental e geotécnico. É feito o tratamento desses dados para a geração de gráficos e verificação das conformidades segundo exigência do órgão ambiental. O tratamento e a interpretação dos dados são de extrema importância para a verificação do grau de decomposição dos resíduos e a verificação se as condicionantes ambientais estão sendo cumpridas. A avaliação de dados permite verificar se as medidas mitigadoras anteriores estão sendo efetivas e se os procedimentos operacionais do aterro foram/estão sendo executados corretamente. Em caso negativo, são propostas novas medidas e/ou alterados procedimentos operacionais.

#### **6.2 Guia para monitoramento ambiental de aterros sanitários**

Foi gerado um guia a partir das informações contidas no presente trabalho, sobre os principais monitoramentos ambientais empregados nos aterros sanitários, tendo como base os monitoramentos empregados no Aterro Sanitário da Prefeitura de Belo Horizonte. O guia encontra – se no Anexo I deste documento.

## **7 CONCLUSÕES**

O processo de monitoramento em aterros sanitários é obrigatório, complexo, dinâmico, extenso, envolvendo profissionais de diversos campos de atuação. A frequência e os tipos de monitoramento ambiental irão variar de acordo com o porte do aterro, sua área de instalação, exigência do órgão fiscalizador, bem como o tipo de resíduo disposto. Com a execução correta dos monitoramentos é possível identificar problemas e adotar medidas corretivas e preventivas a tempo para se evitar prováveis acidentes e melhorar as condições ambientais afetadas por esse tipo de empreendimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, 2012

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12179: Tratamento acústico em recintos fechados - Procedimento*. Rio de Janeiro, 1992b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13412: Material particulado em suspensão na atmosfera - Determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas - Método de ensaio*. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos- Critérios para projeto, implantação e operação*. Rio de Janeiro, 1997b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares*. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Rio de Janeiro, 1992a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9547: Material particulado em suspensão no ar ambiente - Determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume*. Rio de Janeiro, 1997a.

BARROS, R. T. V. *Elementos de gestão de resíduos sólidos*. 1a.ed. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. v. 1.

BELO HORIZONTE. *Decreto Nº 9.139/97*, de 07 de março de 1997. Altera a redação do Decreto 5.893 de 16 de março de 1988, o qual dispõe sobre a Política de Proteção, Controle e Conservação do Meio Ambiente e Melhoria da Qualidade de Vida no Município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, Governo Municipal, 1990.

BELO HORIZONTE. *Lei nº 7.166/96*, de 27 de agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município de Belo Horizonte. Belo Horizonte, Governo Municipal, 1990.

BRASIL. *Lei nº 12.305/2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. *Resolução CONAMA nº404/08* – Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. *Resolução CONAMA nº357/05* – Estabelece a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. *Resolução CONAMA nº01/86* – Dispõe sobre procedimentos relativos a Estudo de Impacto Ambiental.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. *Resolução CONAMA nº01/90* – Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. *Resolução CONAMA nº03/90* – Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR.

BRASIL. *Portaria do Ministério da Saúde nº 2914*, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial (da República Federativa do Brasil), Brasília, 2004.

CASARINI, D. C. P.[et al.]. Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo. São Paulo: CETESB, 2001.

CATAPRETA, C. A. A.; BATISTA, H. P.; SIMÕES, G. F. Monitoramento qualitativo do biogás gerado no aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. In: VIII SIBESA - SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2006.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F.; BATISTA, H. P.; HELLER, P. G. B. Geração de líquidos lixiviados em função do método operacional e da idade dos resíduos sólidos urbanos dispostos em um aterro sanitário. IN: XII SIBESA - SIMPÓSIO ÍTALO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F.; BATISTA, H. P.; TAVARES, K. G. Estudo e controle de emissões particuladas na área do aterro sanitário de Belo Horizonte, MG. In: 24º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007b.

CATAPRETA, C. A. A.; TAVARES, K. G.; SILVEIRA, R. M. B. Avaliação da qualidade do ar na região do aterro sanitário da BR 040 em Belo Horizonte. In: VI SIBESA - SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais...* Vitória: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

CATAPRETA, C. A. A.; SIMÕES, G. F. Monitoramento Ambiental, Operacional e Geotécnico de Aterros Sanitários. In: VI CONGRESSO BRASILEIRO DE

GEOTECNICA AMBIENTAL. *Anais...* São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos, 2007a.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *L9.210: Análise dos gases de combustão através do Aparelho Orsat - Método de Ensaio.* São Paulo, 1990.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *L9.224: Dutos e chaminés de fontes estacionárias - Determinação da umidade dos efluentes - Método de Ensaio.* São Paulo, 1993.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *L9.233: Dutos e chaminés de fontes estacionárias – Determinação de sulfeto de hidrogênio - Método de Ensaio.* São Paulo, 1990.

FEDORAK, P.M., ROGERS, R.E. *Assessment of the potencial health risks associated with the dissemination of micro-organisms from a landfill site.* ISWA, 1991. Cap. 9: Waste Management & Research, p. 537 - 563.

FUNDAÇÃO CHRISTIANO OTTONI. 6º Relatório de Atividades. Belo Horizonte, 2000.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. Situação da disposição final dos resíduos sólidos urbanos – Minas Gerais – 2013. Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <[http://www.feam.br/images/stories/minas\\_sem\\_lixoes/2014/rsu\\_2013\\_200dpi2.pdf](http://www.feam.br/images/stories/minas_sem_lixoes/2014/rsu_2013_200dpi2.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2015.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – FEAM. *Nota técnica DIMOG 003/2005, 16 de dezembro de 2005.* Estabelece critérios para o monitoramento dos efluentes líquidos, águas superficiais e águas subterrâneas associados a aterros sanitários, permitindo a verificação dos possíveis impactos ambientais e a efetividade das ações de controle adotadas. Belo Horizonte: FEAM, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos / José Henrique Penido Monteiro [et al.]; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro, 2001.

LANCE. Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA para implantação do aterro sanitário regional do Cariri – Caririaçu - CE. Fortaleza, 2012.

MINAS GERAIS. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008*, 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Belo Horizonte: Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, 2008.

MINAS GERAIS. *Deliberação Normativa COPAM nº 74/04*, 09 de setembro de 2004. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento

ambiental, e dá outras providências. Belo Horizonte: Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais – COPAM, 2004.

MINAS GERAIS. *Lei 10.100/1990*, de 17 de janeiro de 1990. Dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 1990.

MINAS GERAIS. *Lei nº 18.031/2009*, de 12 de janeiro de 2009. Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais, 2009.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Orientações básicas para a operação de aterro sanitário. Belo Horizonte, 2006.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Superintendência de Limpeza Urbana. Disponível em: < <http://portalpbh.pbh.gov.br/slu>>. Acesso em: 07 nov. 2014.

REDE NACIONAL DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte, 2008.120 p.

SIMÕES, G. F.; CATAPRETA, C. A. A. Recalques em resíduos sólidos dispostos no aterro sanitário de Belo Horizonte. In: 11º SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2004.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMAÇÃO AMBIENTAL [SIAM]. Consulta interna: <http://www.siam.mg.gov.br/siam/analise/>. Belo Horizonte, 2015.

SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA DE BELO HORIZONTE. Plano de Controle Ambiental da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR040, setembro de 1996.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL S. A. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. New York: McGraw-Hill International Editions, 1993.



**ANEXO I – GUIA PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL EM ATERROS  
SANITÁRIOS**

## **ANEXO II – MATERIAL DE APOIO E CONSULTA**

### **LEGISLAÇÕES, RESOLUÇÕES E NORMAS TÉCNICAS.**

#### **ÂMBITO FEDERAL**

- Decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1.990, que dispõe sobre a criação das Estações Ecológicas e Áreas de Proteção Ambiental e sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, e dá outras providências.
- Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1.979, 8.036, de 11 de maio de 1.990, 8.666, de 21 de junho de 1.993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1.995; revoga a Lei 6.528, de 11 de maio de 1.978; e dá outras providências.
- Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.
- Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1.965, que institui o Código Florestal Alterada pela Lei nº 7.803 de 15 de agosto de 1989).
- Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1.979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências.
- Lei nº 6.938, 31 de agosto de 1.981, que dispõe sobre a Política Nacional de Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.
- Lei nº 7.565, de 19 de dezembro de 1986, que instituiu o Código Brasileiro da Aeronáutica.
- Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1.998, que dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.
- Portaria nº 1.141/GM5, de 08 de dezembro de 1.987, que dispõe sobre Zonas de Proteção e Aprova o Plano Básico de Zona de Proteção de Aeródromos, o Plano Básico de Zoneamento de Ruído, o Plano Básico de Zona de Proteção de Helipontos e o Plano de Zona de Proteção de Auxílios à Navegação Aérea e dá outras providências.
- Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1.986, que dispõe sobre critérios básicas e diretrizes gerais para o Estudo de Impacto Ambiental – EIA – e para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Publicação DOU: 17/02/1986.
- Resolução CONAMA nº 237/1997: Dispõe sobre o licenciamento ambiental.

- Resolução CONAMA nº 275/2001: Estabelece código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.
- Resolução CONAMA nº 306/2002: Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais.
- Resolução CONAMA nº 357 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências - Data da legislação: 17/03/2005 - Publicação DOU: 18/05/2005;
- Resolução CONAMA nº 358 - Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências - Data da legislação: 29/04/2005 - Publicação DOU: 04/05/2005;
- Resolução CONAMA nº 396/2008: Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências
- Resolução CONAMA nº 04, de 09 de outubro de 1.995, que estabelece as Áreas de Segurança Portuária – ASAs.
- Resolução CONAMA nº 416 - Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências - Data da legislação: 30/09/2009 - Publicação DOU: 01/10/2009.

### **ÂMBITO ESTADUAL**

- Decreto nº 44.844, de 25 de junho de 2008, que estabelece normas para licenciamento ambiental e autorização ambiental de funcionamento, tipifica e classifica infrações às normas de proteção ao meio ambiente e aos recursos hídricos e estabelece procedimentos administrativos de fiscalização e aplicação das penalidades.
- Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências;
- Deliberação Normativa COPAM nº 105, de 18 de novembro de 2006, que altera prazos estabelecidos pelas Deliberações Normativas COPAM nº 75, de 20 de outubro de 2004 e nº 92, de 5 e janeiro de 2006, e dá outras providências;
- Deliberação Normativa COPAM nº 11, de 16 de dezembro de 1986, que estabelece normas e padrões para emissões de poluentes na atmosfera e dá outras providências;

- Deliberação Normativa COPAM nº 118, 27 de junho de 2008, que altera os artigos 2º, 3º e 4º da Deliberação Normativa 52/2001, estabelece novas diretrizes para adequação da disposição final de resíduos sólidos urbanos no Estado, e dá outras providências;
- Deliberação Normativa COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001, que convoca os municípios para o licenciamento ambiental de sistema adequado de disposição final de lixo e dá outras providências;
- Deliberação Normativa COPAM nº 67, de 18 de novembro de 2003, que prorroga prazos estabelecidos pelos artigos 1º e 2º da Deliberação Normativa 52, de 14 de dezembro de 2001 e altera a redação do inciso V do artigo 2º;
- Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de setembro de 2004, que estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências;
- Deliberação Normativa COPAM nº 75, de 20 de outubro de 2004, que convoca os municípios com população entre trinta e cinquenta mil habitantes ao licenciamento ambiental de sistema adequado de destinação final de resíduos sólidos urbanos e altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001;
- Deliberação Normativa COPAM nº 81, de 11 de maio de 2005, que altera prazos estabelecidos pela Deliberação Normativa COPAM nº 52, de 14 de dezembro de 2001;
- Deliberação Normativa nº 126, de 09 de outubro de 2008, que convoca os municípios com população entre vinte e trinta mil habitantes ao licenciamento ambiental de sistemas adequados de tratamento ou destinação final de resíduos sólidos urbanos.
- Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as Políticas Florestal e de Proteção à Biodiversidade no Estado.
- Lei nº 18.031, de 12 de janeiro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos.
- Nota técnica DIMOG 003/2005, 16 de dezembro de 2005. Estabelece critérios para o monitoramento dos efluentes líquidos, águas superficiais e águas subterrâneas associadas a aterros sanitários, permitindo a verificação dos possíveis impactos ambientais e a efetividade das ações de controle adotadas.

## **NORMAS TÉCNICAS**

### **NORMAS REGULAMENTADORAS DO MTE**

- NR 04: Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho – SESMT
- NR 06: Equipamentos de Proteção Individual – EPIs
- NR 07: Programa de Controle Médico de saúde Ocupacional – PCMSO.
- NR 09: Programa de Prevenção de Riscos Ambientais – PPRA.
- NR 15: Atividades e Operações Insalubres
- NR 17: Ergonomia
- NR 23: Proteção contra Incêndios
- NR 24: Condições Sanitárias e de Conforto nos Locais do Trabalho
- NR 32: Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde.

### **NORMAS DA ABNT**

- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 10.152 Níveis de ruído para conforto acústico. Ruídos. 1987;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 15.112 – Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Área de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 15.113 – Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 15.114 – Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: 2004;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 6457 - Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. 1986.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 6459 - Solo - Determinação do limite de liquidez. 1984
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 6508 - Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm - Determinação da massa específica. 1984.

- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 7180 - Solo - Determinação do limite de plasticidade. 1984.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 7181 - Solo - Análise granulométrica. 1984.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 7182 - Solo - Ensaio de compactação. 1986.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR 9952 - Manta asfáltica para impermeabilização. Rio de Janeiro, 2007. 31 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR12.980. Coleta, varrição e acondicionamento de resíduos sólidos urbanos - Terminologia. Rio de Janeiro: 1991, 67 p;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR-13.412. Material particulado em suspensão na atmosfera – determinação da concentração de partículas inaláveis pelo método do amostrador de grande volume acoplado a um separador inercial de partículas. 1995;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR15495 – 1. Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares - Parte 1: Projeto e construção. 2007;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR15495-2 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares Parte 2: Desenvolvimento. 2008.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR6.484 – Solo - Sondagens de simples reconhecimentos com SPT - Método de ensaio. Rio de Janeiro: 2001, 17 p;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR-9547. Material particulado em suspensão no ar ambiente – determinação da concentração total pelo método do amostrador de grande volume. 1986;
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBRNM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003a. 6 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBRNM 46 - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 micrometro, por lavagem. Rio de Janeiro, 2003b. 6 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. Norma Brasileira NBR 11.174 - Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes – Procedimento. Rio de Janeiro, 1990. 7 p.

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Resíduos Sólidos: classificação. NBR 10.004 - 1992;
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. NBR 8419 - 04/1992;
- ABNT - Associação Brasileira de Normas. Projeto de aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação – Procedimento. NBR 13.896 - 06/1997;