



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ALLAN PEREIRA DE MEDEIROS**

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE  
SEROPÉDICA/RJ**

**JOÃO PESSOA**

**2019**

ALLAN PEREIRA DE MEDEIROS

**ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE  
SEROPÉDICA/RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado à coordenação do curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento às exigências institucionais para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes

JOÃO PESSOA

2019

M488a Medeiros, Allan Pereira de.

ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO ATERRO  
SANITÁRIO DE SEROPÉDICA/RJ / Allan Pereira de Medeiros.

- João Pessoa, 2019.

68 f. : il.

Orientação: Aline Flávia Nunes Remígio Antunes.

Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Resíduos Sólidos. 2. Aterro Sanitário. 3.  
Geossintéticos. I. Antunes, Aline Flávia Nunes Remígio.  
II. Título.

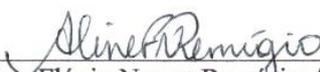
UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

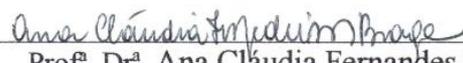
**ALLAN PEREIRA DE MEDEIROS**

### **ANÁLISE DA APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE SEROPÉDICA/RJ**

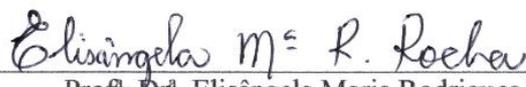
Trabalho de Conclusão de Curso em 13/05/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Aline Flávia Nunes Remígio Antunes (Orientadora)  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

\_\_\_\_\_  
APROVADO

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

\_\_\_\_\_  
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Elisângela Maria Rodrigues Rocha  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

\_\_\_\_\_  
Aprovado

  
\_\_\_\_\_  
Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Andrea Brasiliano Silva  
Matrícula Siape: 15495571  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico este trabalho à memória de meu avô, Francisco Silvino (Marinheiro). Pequeno ruralista que com muita fé, esforço, simplicidade e respeito venceu uma série de dificuldades típicas dos pequenos agricultores e superou as adversidades de seu tempo. Não são poucos os admiradores que deixou.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Adiel e Sônia, pelo incentivo e pelo apoio incondicional durante o curso. Eu jamais serei capaz de retribuir todo carinho, amor e conforto que recebi de vocês.

Aos meus familiares, pela nossa união e por sempre terem feito de tudo para tornar os momentos difíceis mais brandos. Obrigado Adélcio, irmão querido, por ser tão companheiro.

Agradeço também à minha namorada Laís, que esteve presente em boa parte dessa caminhada, me estimulando e me dando forças para correr atrás e nunca desistir dos meus sonhos.

A todos os meus amigos. Àqueles formados durante a vida universitária, os quais foram essenciais nos momentos mais difíceis da graduação; e aos mais antigos, que me acompanham desde sempre, meus agradecimentos. As risadas, que vocês compartilharam comigo nessa etapa da vida acadêmica, fizeram toda a diferença.

Meus agradecimentos a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente à professora Aline Flávia Nunes Remígio Antunes, responsável pela orientação do meu trabalho. Obrigado pela confiança.

À Universidade Federal da Paraíba, que ao longo da minha formação ofereceu um ambiente de estudo agradável, motivador e repleto de oportunidades.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, pessoal e profissional.

*“Duas estradas se bifurcaram no meu caminho  
Peguei a menos usada,  
E isso fez toda a diferença.”*

- Robert Frost

## RESUMO

Esse trabalho apresenta uma análise da aplicação de materiais geossintéticos no aterro sanitário do município de Seropédica/RJ. Esse aterro é locado em uma área de mais de dois milhões de metros quadrados, sendo este o maior aterro sanitário da América Latina. Além disso, esse terreno está localizado sob o aquífero de Piranema, a principal fonte de água subterrânea da região. Dada essa importância, o objetivo desse trabalho é descrever as propriedades, funções e as vantagens do uso de geossintéticos em relação aos materiais convencionalmente usados nesse tipo de infraestrutura. Destacam-se as tecnologias empregadas como a tripla camada de impermeabilização do solo feita com mantas geossintéticas e uma rede de sensores interligados a um software que indica qualquer anormalidade no solo. Conclui-se que os geossintéticos constituem uma solução racional, segura, econômica e prática para impermeabilização do aterro e os recursos de controle de qualidade ambiental com a aplicação desses materiais no aterro de Seropédica tende a se tornar referência para empresas privadas e até para os órgãos ambientais.

**Palavras-chave:** Resíduos Sólidos. Aterro Sanitário. Geossintéticos.

## **ABSTRACT**

This work presents an analysis of the application of geosynthetic materials in the sanitary landfill of the municipality of Seropédica / RJ. This landfill is located in an area of more than two million square meters, which is the largest landfill in Latin America. In addition, this land is located under the aquifer of Piranema, the main source of underground water in the region. Thus, the objective of this work is to describe the properties, functions and advantages of the use of geosynthetics in relation to materials conventionally used in this type of infrastructure. We highlight the technologies used as the triple layer of soil waterproofing made with geosynthetic blankets and a network of sensors interconnected with software that indicates any abnormality in the soil. It is concluded that geosynthetics constitute a rational, safe, economical and practical solution for waterproofing the landfill and the resources of environmental quality control with the application of these materials in the landfill of Seropédica tends to become reference for private companies and even for the organs environmental impacts.

**Keywords:** Solid Waste. Landfill Sanitary. Geosynthetics.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ASTM - American Society for Testing and Materials

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CNM - Confederação Nacional de Municípios

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente

GCL - Geocomposto de argila geossintética

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGS - Sociedade Internacional de Geossintéticos

INEA - Instituto Estadual do Ambiente

ISO - Organização Internacional para Padronização

NBR - Norma Brasileira

NP EN ISO - Normas Portuguesas

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PVC - Policloreto de Vinila

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SEA - Secretaria do Estado do Ambiente

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lixão do Róger mantém uma série dos mesmos problemas.....	19
Figura 2 - Aterro Controlado.....	20
Figura 3 - Estrutura de um aterro sanitário.....	22
Figura 4 - Tipos predominantes de disposição do lixo no Brasil em 2019 .....	24
Figura 5 - Tipos predominantes de disposição do lixo na Paraíba em 2019 .....	24
Figura 6 - Funções associadas ao uso de geossintéticos.....	27
Figura 7 - Geotêxtil não-tecido utilizado como proteção mecânica da geomembrana .....	37
Figura 8 - Uso de geogrelhas para aumentar a capacidade de suporte do solo .....	38
Figura 9 - Visual dos geossintéticos .....	39
Figura 10 - Aplicação de geomembrana de PEAD em aterro sanitário.....	40
Figura 11 - Detalhe esquemático do uso de biomanta.....	41
Figura 12 - Argila bentonítica agulhada em geotêxtil .....	42
Figura 13 - Geocomposto drenante, associação de geotêxtil com georrede.....	43
Figura 14 - Benefícios da aplicação de geocélulas.....	44
Figura 15 - Esquema no fundo da área de disposição de resíduos .....	46
Figura 16 - Drenos horizontais na construção de aterro sanitário .....	48
Figura 17 - Esquema de drenagem de gases.....	49
Figura 18 - Seções típicas de camadas de proteção de solo em aterros sanitários .....	51
Figura 19 - Geossintéticos aplicados em aterro de resíduos.....	52
Figura 20 - Localização geográfica do município de Duque de Caxias .....	54
Figura 21 - Vista aérea do aterro municipal de Seropédica/RJ .....	55
Figura 22 - Aterro sob Aquífero Piranema.....	58
Figura 23 - Fluxo de Resíduos no Rio de Janeiro.....	59
Figura 24 - Camadas de proteção no aterro sanitário de Seropédica/RJ .....	60

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quantidade de municípios brasileiros por tipo de destinação final dos RSU em 2010 .....	25
Quadro 2 - Quantidade de municípios brasileiros por tipo de destinação final dos RSU em 2017 .....	25
Quadro 3 - Propriedades Físicas e normas referentes.....	30
Quadro 4 - Propriedades mecânicas e normas referentes .....	32
Quadro 5 - Propriedades hidráulicas e normas referentes .....	33
Quadro 6 - Principais tipos de geossintéticos usados em aterros e suas aplicações .....	45

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
1.1 A CTR de Seropédica/RJ .....	15
2 OBJETIVOS .....	16
2.1 Objetivos gerais .....	16
2.2 Objetivos específicos .....	16
3 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
4.1 Considerações sobre Resíduos Sólidos e Aterros Sanitários .....	18
4.1.1 Modos de Disposição dos RSU .....	19
4.1.1.1 Depósito a céu aberto (Lixão) .....	19
4.1.1.2 Aterro Controlado .....	20
4.1.1.3 Aterro Sanitário .....	21
4.1.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos .....	23
4.1.3 Situação atual de disposição dos RSU no Brasil .....	23
4.2 Considerações sobre Geossintéticos .....	26
4.2.1 Funções .....	26
4.2.1.1 Proteção .....	27
4.2.1.2 Separação .....	27
4.2.1.3 Filtração .....	28
4.2.1.4 Drenagem .....	28
4.2.1.5 Reforço .....	28
4.2.1.6 Controle de Erosão Superficial .....	29
4.2.2 Propriedades e Ensaios .....	29
4.2.2.1 Propriedades Físicas .....	30
4.2.2.2 Propriedades Mecânicas .....	30
4.2.2.3 Propriedades Hidráulicas .....	32
4.2.3 Normas Brasileiras vigentes sobre Geossintéticos .....	33
5 APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS SANITÁRIOS .....	35
5.1 Vantagens da aplicação de geossintéticos em aterros sanitários .....	35
5.2 Principais geossintéticos aplicados em aterros sanitários .....	36
5.2.1 Geotêxteis .....	37
5.2.2 Geogrelhas .....	38

5.2.3 Georredes .....	39
5.2.4 Geomembranas .....	39
5.2.5 Geomantas .....	41
5.2.6 Geocompostos .....	42
5.2.6.1 Geocomposto argilosos para barreira impermeabilizante (GCL) .....	42
5.2.6.2 Geocompostos para drenagem.....	42
5.2.7 Geocélulas .....	43
5.2.8 Geotubos.....	44
5.3 Sistemas de proteção em aterros sanitários .....	45
5.3.1 Impermeabilização da base.....	46
5.3.2 Sistema de drenagem do chorume .....	47
5.3.3 Sistema de drenagem de águas pluviais .....	48
5.3.4 Sistema de drenagem de gases.....	48
5.3.5 Camada de cobertura .....	50
5.4 Seções típicas das camadas de proteção .....	50
6 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE SEROPÉDICA/RJ .....	54
6.1 Caracterização da região de estudo .....	54
6.2 CTR Seropédica.....	55
6.3 Soluções e tecnologias adotadas.....	56
6.3.1 A escolha do local e o aquífero de Piranema.....	57
6.3.2 Estações de Transferência de Resíduos (ETRs) .....	58
6.3.3 A proteção do solo .....	59
6.3.4 Tratamento do biogás .....	62
6.3.5 Tratamento do chorume.....	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de resíduos é um problema relacionado à vivência do homem em comunidade, sendo este de difícil resolução. A evolução da sociedade e conseqüente crescimento da população corroborou para o crescimento da quantidade e variedade de resíduos produzidos, levando, por sua vez, à necessidade de um maior cuidado na sua gestão e tratamento.

Com a Revolução Industrial, a problemática do tratamento de resíduos agrava-se devido à intensificação da quantidade e variedade destes. A partir de 1800, iniciou-se uma fase de “conscientização ambiental” pelos governantes, levando ao início da coleta do lixo depositado nas ruas, tendo como destinação final a sua deposição em lixeiras, incineração ou apenas o seu lançamento ao mar. No final deste século, associado aos avanços tecnológicos, teve início a criação de sistemas municipais de saneamento, estando incluídos nestes, a limpeza de ruas e coleta de esgoto (MARTINHO; GONÇALVES, 2000).

Até ao início do século XX, os métodos para disposição de resíduos consistiam no lançamento sobre o solo ou em valas, em descargas para linhas de água, ou na sua queima. Na década de 20, surgem na Inglaterra os primeiros aterros sanitários. Este tipo de construção, inovador para a época, já incluía alguns princípios e preocupações, tais como a cobertura das células onde eram depositados os resíduos, de forma a evitar odores e outros fatores prejudiciais à saúde pública (DUARTE, 2009).

Atualmente, os aterros sanitários têm se mostrado o método mais eficiente e mais utilizado em países desenvolvidos como Estados Unidos e Japão. Entretanto, segundo o panorama de resíduos sólidos no Brasil, realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no que se refere à distribuição final dos resíduos coletados, em 2017 aproximadamente 42,3 milhões de toneladas de RSU, foram dispostos em aterros sanitários, correspondendo a 59,1% do coletado. O restante, que corresponde a 40,9% dos resíduos coletados, foi despejado em locais inadequados por 3.352 municípios brasileiros, totalizando mais 29 milhões de toneladas de resíduos em lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente contra danos e degradações, com danos diretos à saúde de milhões de pessoas (ABRELPE, 2017).

Segundo o gerente de resíduos sólidos do Departamento de Ambiente Urbano do Ministério do Meio Ambiente, Eduardo Rocha, apesar da eficiência dos aterros sanitários, esse tipo de disposição final ainda encontra muitas barreiras para sua disseminação, como o alto

custo do processo, a falta de recursos destinadas ao setor e a dificuldade de manutenção e operação desses aterros. Com isso, parte das cidades brasileiras que construíram seus aterros sanitários, estão vendo suas obras praticamente transformadas em novos lixões.

Dada essa problemática, o uso de materiais geossintéticos em obras de aterro sanitário surge como excelente solução para o problema, diminuindo os custos do processo de instalação dos aterros e tornando mais fácil a manutenção e operação desses sistemas de disposição de resíduos. Proporcionando a implementação de melhores sistemas de impermeabilização, drenagem de gases e líquidos e, conseqüentemente, melhor tratamento e aproveitamento dos resíduos. Além disso, esses materiais têm importante função em obras de engenharia, por agregarem desempenho, rapidez, segurança e tecnologia industrial às obras, além de serem soluções que possibilitam a redução na utilização de recursos naturais, função fundamental na engenharia moderna.

## **1.1 A CTR de Seropédica/RJ**

Desde a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010, o avanço da destinação final adequada do lixo, no Estado do Rio de Janeiro, decorre dos esforços da Secretaria do Estado do Ambiente (SEA) e do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), em conjunto com as prefeituras, no encerramento e remediação de lixões, assim como na construção de novos aterros sanitários para recebimento dos resíduos sólidos urbanos produzidos pela população fluminense (INEA, 2017). Neste sentido, temos o caso da implantação da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTR) de Seropédica, que permitiu o encerramento do antigo Aterro Controlado de Jardim Gramacho.

As Centrais de Tratamento de Resíduos são uma modalidade de aterro sanitário, dotada de maiores refinamentos no procedimento de disposição final dos resíduos sólidos. Consistem, portanto, em um complexo industrial que reúne tecnologias integradas capazes de promover o gerenciamento dos resíduos, evitando a poluição e minimizando os impactos ambientais e sociais.

O aterro sanitário de Seropédica, objeto dessa análise, é o maior da América Latina, situado numa área de mais de dois milhões de metros quadrados, e é referência na tecnologia adotada na aplicação de materiais geossintéticos para impermeabilização das camadas de base do aterro.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Analisar o uso dos materiais geossintéticos aplicados na construção do aterro sanitário do município de Seropédica/RJ.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar a utilização e aplicação dos geossintéticos em obras de aterro sanitário;
- Apresentar algumas das vantagens e desvantagens dos geossintéticos em relação aos materiais granulares usualmente aplicados nesse tipo de infraestrutura.

### 3 ESTRUTURA DO TRABALHO

De forma a atingir os objetivos definidos, procedeu-se a uma exaustiva pesquisa bibliográfica referente a assuntos que abordassem a gestão dos resíduos sólidos urbanos, aterros sanitários, e uso de materiais geossintéticos em obras de carácter ambiental e em projeto e construção de aterros de resíduos. Entretanto, para desenvolvimento do estudo, fez-se necessário conhecer a realidade de um aterro sanitário em operação, com o objetivo de analisar quais geossintéticos são aplicados na sua fase de construção, as funções que cada um deles exercem e suas vantagens e desvantagens em relação aos materiais convencionalmente usados nos aterros.

Dessa forma, esse trabalho é constituído de 7 capítulos, organizados da seguinte maneira:

O Capítulo 1 é a introdução que traz um levantamento geral sobre a situação dos resíduos sólidos urbanos hoje, especialmente no Brasil sob a forma de alguns dados quantitativos. A introdução inicia também a questão dos aterros sanitários, dos geossintéticos e faz uma breve descrição da Central de Tratamento de Resíduos de Seropédica. O Capítulo 2 traz os objetivos gerais e os objetivos específicos da dissertação.

O Capítulo 3 define a forma como o trabalho está organizado. O Capítulo 4 é referente à Revisão Bibliográfica, no qual são abordados os temas mais relacionados com a proposta da dissertação, especialmente resíduos sólidos urbanos, aterros sanitários e materiais geossintéticos. Os principais autores que trabalham com os temas são apresentados neste capítulo.

O Capítulo 5 aborda a aplicação de materiais geossintéticos em aterros sanitários de uma forma geral, descrevendo vantagens, processos de instalação e impactos ambientais atrelados ao processo. O Capítulo 6 é um estudo de caso, onde é feita considerações à respeito do centro de tratamento de resíduos (CTR) e o aterro de Seropédica/RJ, apresentando a descrição da obra e da área de estudo, a situação atual do aterro e feita uma análise dos geossintéticos aplicados. Essas considerações foram feitas a partir de dados extraídos do Relatório de Impacto Ambiental da CTR de Seropédica, do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro, e do site da empresa responsável pela operação da CTR, a Ciclus Ambiental. Por fim, no Capítulo 7 são apresentadas as considerações finais à respeito do tema estudado.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Considerações sobre Resíduos Sólidos e Aterros Sanitários

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituído pela Lei Nº 12.305 (2010), Resíduo Sólido é definido como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível;

O aumento do uso de produtos industrializados trouxe consigo um acréscimo na geração de resíduos, tanto no processo produtivo quanto no consumo em si. Esse aumento do consumo não é acompanhado pela natureza na velocidade de decomposição dos resíduos, o que gera um montante de lixo, que muitas vezes não tem uma destinação apropriada.

Assim, a gestão de resíduos assume um papel fundamental, pois objetiva intervir nos processos de geração, transporte, tratamento e disposição final desses materiais, buscando garantir a curto, médio e longo prazo, a sustentabilidade ambiental, bem como a recuperação das áreas degradadas.

A ABNT/NBR 10.004/04 também classifica os resíduos sólidos em:

- Classe I ou perigosos: São aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade ou da morbidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada.
- Classe II ou não perigosos:
  - Classe II A ou não-inertes: São os resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe II B – Inertes.
  - Classe II-B ou inertes: São os resíduos que não se solubilizam ou que não têm componentes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de

potabilidade de água, quando submetidos a um teste-padrão de solubilização segundo a norma ABNT/NBR 10006/97 - Solubilização de Resíduos.

#### 4.1.1 Modos de Disposição dos RSU

Existem diversas formas de tratamento dos resíduos sólidos, como a compostagem, a incineração, esterilização, aterro sanitário, aterro industrial e o aterro controlado, porém se não forem bem executadas, podem acarretar problemas à saúde pública, como a proliferação de doenças, gerando também a poluição dos solos e das águas através do chorume.

No Brasil, as principais formas de destinação dos RSU são os lixões, aterros controlados e aterros sanitários. De acordo com Silva (2016), o aterro sanitário representa a forma que implica em menores repercussões negativas no que tange ao aspecto socioambiental e de saúde da população, desde que este seja instalado de maneira correta.

##### 4.1.1.1 Depósito a céu aberto (Lixão)

O lixão consiste em uma forma inadequada e ilegal, segundo a legislação brasileira de disposição de RSU, caracterizado pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. Não há preparação prévia do solo e inexistente um sistema de tratamento sobre o chorume. Essa deficiência faz com que ocorra a contaminação do lençol freático e do solo, por meio da percolação do referido líquido (ALVES, 2008).

De acordo com pesquisa realizada por Athayde et al (2009), até o ano de 2003, a cidade João Pessoa apresentava o lixão a céu aberto como a única forma de disposição de resíduos adotado.

Figura 1 - Lixão do Róger mantém uma série dos mesmos problemas



Fonte: Ascom, 2016.

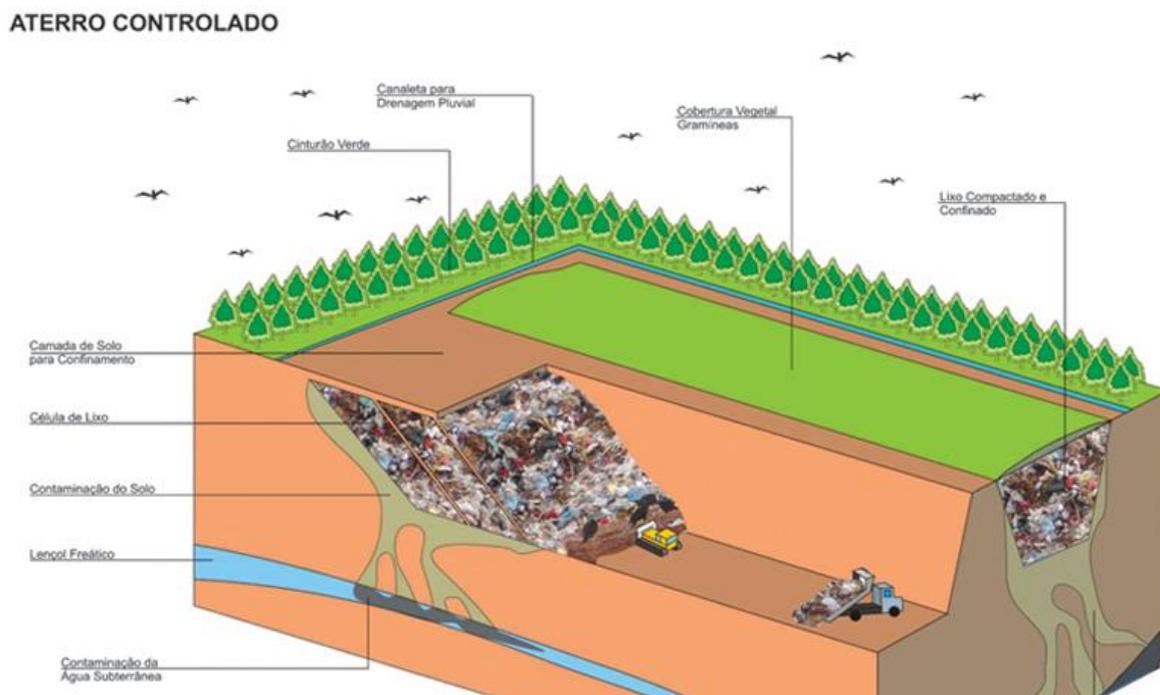
#### 4.1.1.2 Aterro Controlado

O aterro controlado é outra forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, na qual precauções tecnológicas adotadas durante o desenvolvimento do aterro, como o recobrimento dos resíduos com argila (na maioria das vezes sem compactação), aumentam a segurança do local minimizando os riscos de impacto ao meio ambiente e à saúde pública. (BIDONE, 2001).

Esse tipo de destinação também não trata o chorume e os gases que emanam da decomposição do lixo. Nele, os resíduos são dispostos com algum tipo de controle, mas ainda assim contra as normas ambientais brasileiras. Geralmente, têm o mínimo de gestão ambiental, como isolamento, acesso restrito, cobertura dos resíduos com terra e controle de entrada de resíduos, mas não atendem às recomendações da Política Nacional de Resíduos Sólidos (GIMENES, 2017).

Conforme pode ser analisado na Figura 2, esse tipo de sistema também não propicia a impermeabilização da base, o que pode gerar contaminação do lençol freático e das camadas de solo. Entretanto, destaca-se como vantagens do referido sistema a melhora no impacto visual e na diminuição do mau cheiro, assim como se evita a proliferação de animais e insetos.

Figura 2 - Aterro Controlado



Fonte: Regional News, 2015

#### 4.1.1.3 Aterro Sanitário

A ABNT, através da NBR 8419/92, define aterro sanitário como sendo o processo é realizado através de princípios de engenharia para confinar o resíduo na menor área possível, reduzindo-os ao menor volume permissível e cobrindo-os com solo, minimizando os impactos ambientais negativos e sem causar danos à saúde pública.

Para tanto, o aterro conta com sistemas de controle de poluição, que reduzem, por exemplo, o risco de contaminação do solo e das águas. Desta forma, necessita de licenciamento ambiental, a fim de segurar e certificar que a unidade está apta a realizar a disposição final do resíduo (ROSA, 2008).

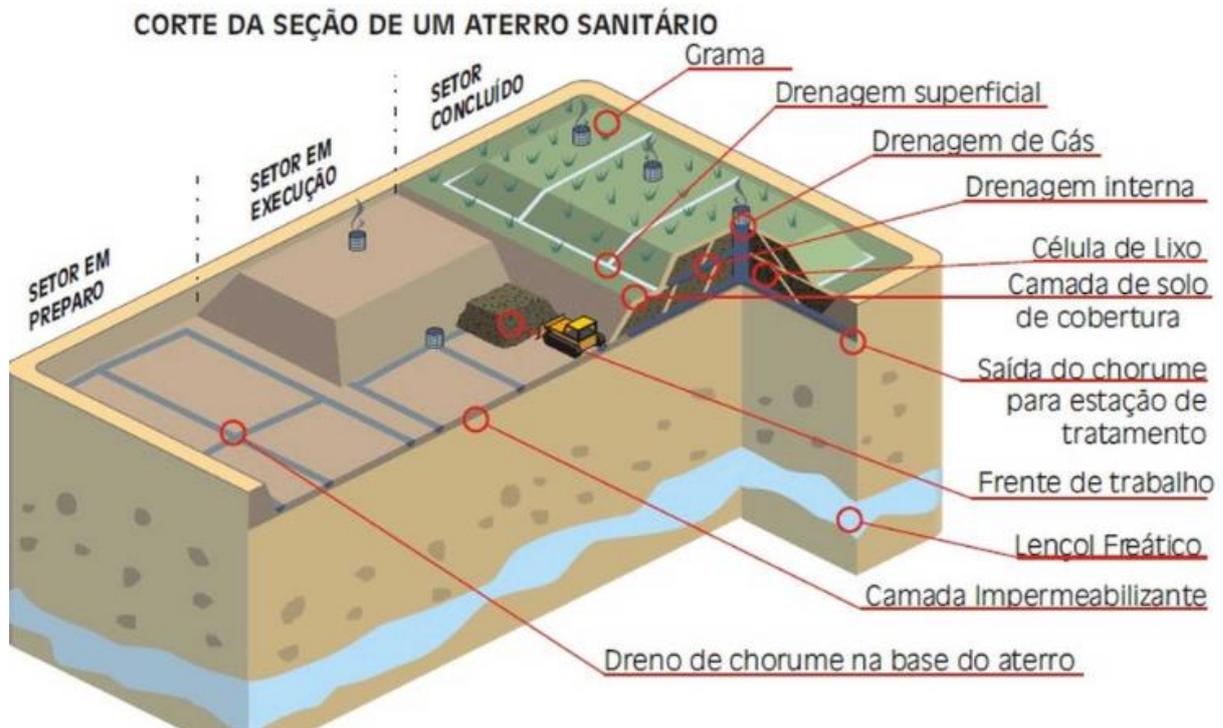
Os critérios de engenharia materializam-se no projeto de sistemas de drenagem periférico e superficial para afastamento de águas de chuva, e drenagem de fundo para coleta do lixiviado, de tratamento para o lixiviado drenado e de drenagem e queima dos gases gerados durante o processo de bioestabilização da matéria orgânica.

De acordo com Leite (1991), o aterro sanitário deve ser organizado de forma que não comprometa a qualidade das águas subsuperficiais e do solo, devendo conter os seguintes elementos:

- Conjunto de células recobertas por uma camada de solo, a fim de se evitar a proliferação de vetores e espalhamento pelo vento de papéis e poeira;
- Sistema de drenagem de gás e de líquido percolado;
- Sistema de tratamento dos líquidos percolados;
- Sistema de drenagem de águas superficiais e nascentes e;
- Utilização de liners de fundo, que são dispositivos utilizados quando se deseja reter ao máximo possível a percolação de um líquido, de forma que ele não atinja as águas e solo natural.

Em estudo realizado por Carvalho (1999), demonstra-se os fatores necessários para o estudo, implantação e execução dos aterros sanitários. Estes têm como elementos estruturais básicos os componentes ilustrados na Figura 3.

Figura 3 - Estrutura de um aterro sanitário



Fonte: <https://portalresiduossolidos.com/aterro-sanitario/>

De acordo com Maia (2001), estes componentes podem ser descritos a seguir:

- Células de resíduos: corresponde ao volume de resíduos depositados, num período aproximado de 24 horas, incluindo o material de recobrimento.
- Tratamento de Fundação: apresenta como principal papel o de proteção do subsolo e aquíferos adjacentes da contaminação pela migração de percolados e dos gases provenientes do aterro, por meio de sistemas de captação e drenagem de todas as nascentes e cursos d'água que existam na área e da impermeabilização do terreno de fundação.
- Drenagem de líquidos e gases percolados: permitem a dissipação dos gases e a captação e condução dos líquidos percolados aos sistemas de reserva e tratamento. Para isso são utilizados drenos de fundação, drenos horizontais e drenos verticais.
- Recobrimento diário: corresponde ao recobrimento das células com solo ou materiais alternativos, com o objetivo de evitar o espalhamento do resíduo e o aparecimento de vetores, como moscas e insetos, que possam causar problemas de saúde pública.
- Sistemas de impermeabilização da cobertura dos aterros: tem como objetivo diminuir a formação de percolado através da camada de superfície, assim como controlar a saída de gases e funcionar como suporte para eventuais construções no local.

- Drenagem e proteção superficial: a drenagem superficial das águas provenientes de precipitação direta sobre o aterro, bem como as de escoamentos superficiais das áreas adjacentes, são fundamentais para minimizar a geração de percolado e evitar que processos erosivos provoquem instabilidade nos taludes e descobrimento dos resíduos.

#### **4.1.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos**

A Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) contém instrumentos importantes para permitir o avanço que o Brasil necessita no que tange ao enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Essa lei prevê a redução na geração de resíduos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (aquilo que não pode ser reciclado ou reutilizado).

A PNRS também cria metas importantes que irão contribuir para a eliminação dos lixões e institui instrumentos de planejamento nos níveis nacional, estadual, microrregional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de impor que as empresas privadas elaborem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

Através desse instrumento, o Brasil é posto em patamar de igualdade aos principais países desenvolvidos no que concerne ao marco legal.

#### **4.1.3 Situação atual de disposição dos RSU no Brasil**

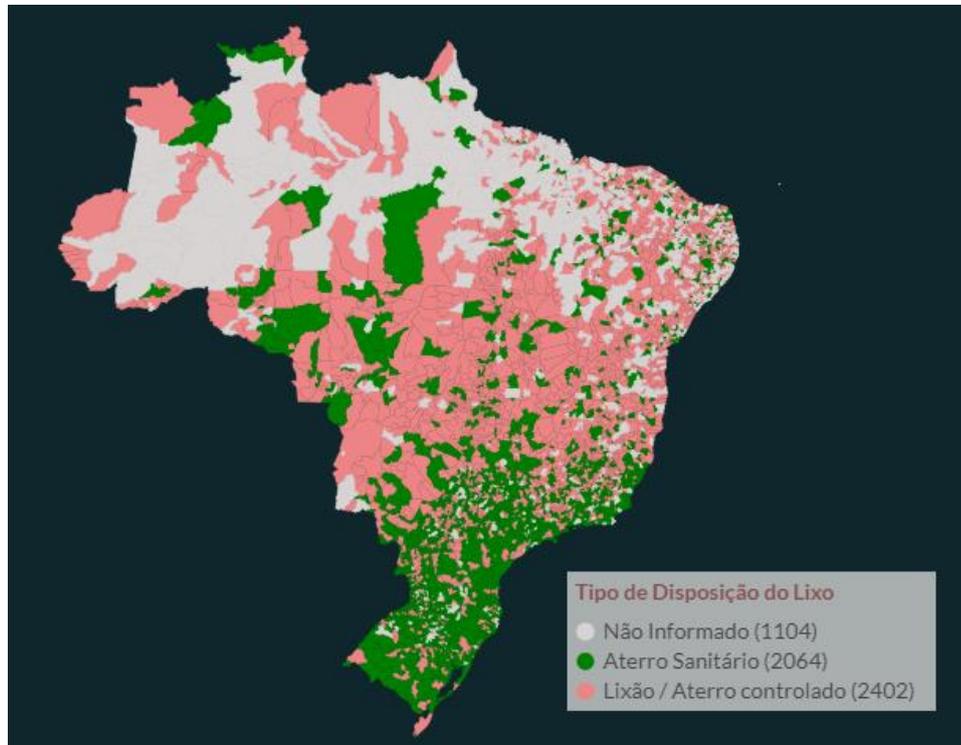
O prazo final para encerramento dos lixões, conforme a PNRS estava previsto para até agosto de 2014. Portanto até essa data os rejeitos urbanos deveriam estar dispostos de forma ambientalmente correta.

Porém como muitos municípios estão com dificuldades para cumprir o prazo, a data se estendeu para o intervalo entre 2018 e 2021, segundo o tamanho da população municipal, de acordo com o Projeto de Lei 2289/15.

Pesquisas realizadas pela Confederação Nacional de Municípios (CNM) revelam o diagnóstico das formas de disposição do lixo no país e nos estados brasileiros. As Figuras 4 e 5 trazem mapas do Brasil e do estado da Paraíba, respectivamente, os quais descrevem o atual cenário de destinação final do lixo domiciliar e público no país e a nível regional, especialmente

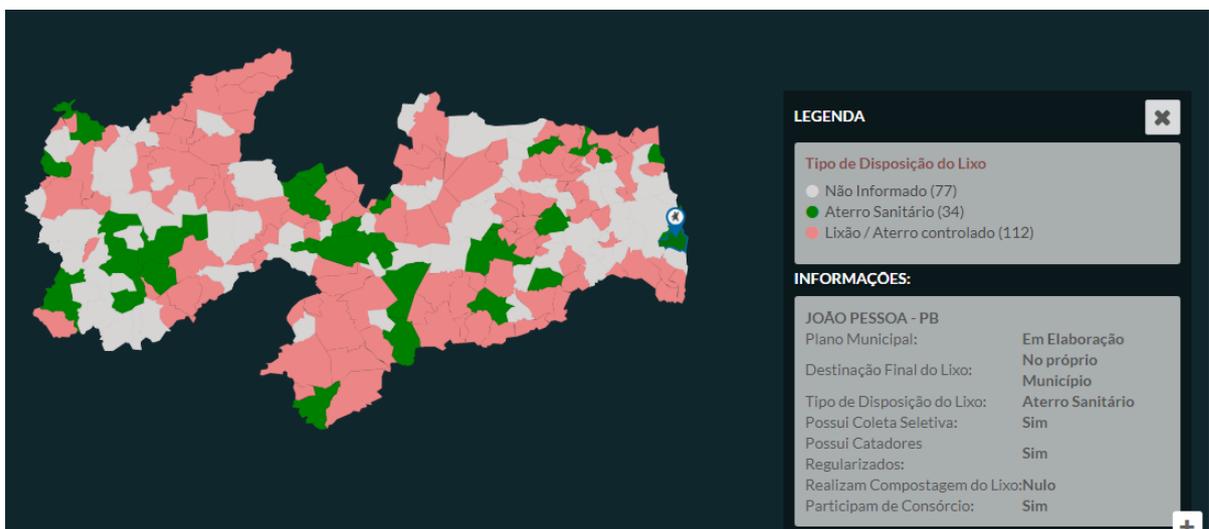
para os casos de aterro controlado, aterro sanitário e lixão. Segundo análise das referidas imagens, destaca-se que há um predomínio significativo dos aterros sanitários e controlados nas regiões Sul e Sudeste, enquanto que nas demais regiões prevalece os lixões como via de disposição final dos resíduos, assim como destinação inadequada destes.

Figura 4 - Tipos predominantes de disposição do lixo no Brasil em 2019



Fonte: Confederação Nacional de Municípios (CNM), 2019.

Figura 5 - Tipos predominantes de disposição do lixo na Paraíba em 2019



Fonte: Confederação Nacional de Municípios (CNM), 2019.

Conforme pode ser visto nos Quadros 1 e 2 fornecidos pela ABRELPE, após o decreto da PNRS, o número de municípios dispendo seus resíduos em aterros sanitários aumentou de 2.164, em 2010, para 2.218, em 2017. O número de municípios dispendo seus resíduos em lixões diminuiu de 1.641, em 2010, para 1.610, em 2017. Essa pequena variação nos números e a grande quantidade de lixões ainda existente revelam que o decreto da PNRS ainda está longe de ser cumprido.

Quadro 1 - Quantidade de municípios brasileiros por tipo de destinação final dos RSU em 2010

DISPOSIÇÃO FINAL	2010 - REGIÕES E BRASIL					
	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL	BRASIL
Aterro Sanitário	85	439	150	798	692	2.164
Aterro Controlado	107	500	145	639	369	1.760
Lixão	257	855	171	231	127	1.641
<b>BRASIL</b>	<b>449</b>	<b>1.794</b>	<b>466</b>	<b>1.668</b>	<b>1.188</b>	<b>5.565</b>

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2010

Quadro 2 - Quantidade de municípios brasileiros por tipo de destinação final dos RSU em 2017

DISPOSIÇÃO FINAL	2017 - REGIÕES E BRASIL					
	NORTE	NORDESTE	CENTRO-OESTE	SUDESTE	SUL	BRASIL
Aterro Sanitário	90	449	159	817	703	2.218
Aterro Controlado	108	484	159	634	357	1.742
Lixão	252	861	149	217	131	1.610
<b>BRASIL</b>	<b>450</b>	<b>1.794</b>	<b>467</b>	<b>1.668</b>	<b>1.191</b>	<b>5.570</b>

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2017

## 4.2 Considerações sobre Geossintéticos

Segundo a Sociedade Internacional de Geossintéticos (IGS), define-se geossintético como sendo um material plano, fabricado a partir de polímeros, naturais ou sintéticos, utilizado em contato com o solo ou outros materiais em obras de engenharia.

De acordo com Vertematti (2004), os geossintéticos são classificados como produtos industrializados, poliméricos, sintéticos ou naturais, o quais podem ter utilidade em inúmeras aplicações, sobre variados tipos de solo, assim como combinações de solo e rocha como parte de projetos e soluções de engenharia.

Conforme a IGS Brasil, algumas das vantagens da utilização dos geossintéticos são:

- Sustentabilidade ambiental, já que constituem uma alternativa a materiais granulares e solos;
- Facilidade de execução da obra e fácil instalação dos geossintéticos, sendo que na maioria das aplicações não é requerida mão-de-obra especializada e nem exige equipamentos de grande porte;
- Conhecimento e controle tecnológico, associado ao acesso a produtos com propriedades hidráulicas, mecânicas e físicas de boa capacidade de suporte;
- Versatilidade de aplicações.

A combinação dos fatores acima, reflete em um custo menor da obra com materiais geossintéticos aplicados em comparação com soluções convencionais.

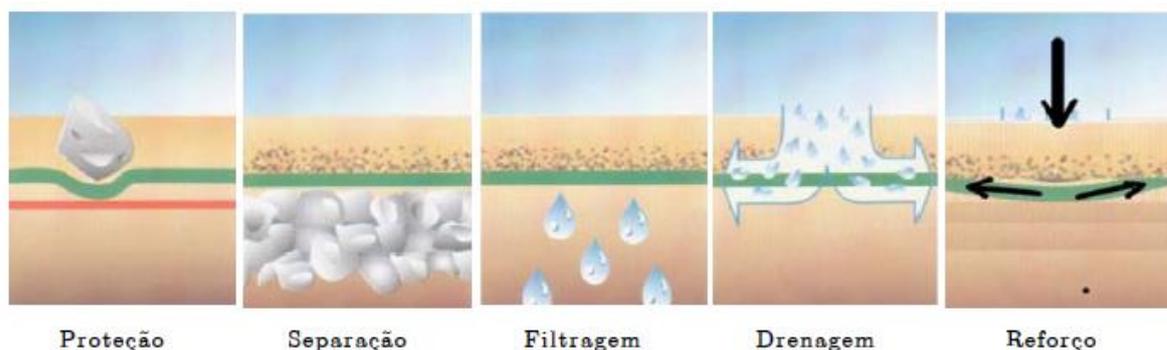
### 4.2.1 Funções

A grande diversidade de geossintéticos existente está associada à versatilidade desses tipos de materiais, podendo estes assumir diversas funções. Essa multifuncionalidade está diretamente relacionada com a sua composição.

A diversidade dos materiais geossintéticos pode comprometer o seu dimensionamento e utilização. De forma a que tal não aconteça, deve inicialmente definir-se as funções associadas a cada tipo de geossintético e hierarquiza-las, de forma a que posteriormente se escolha o mais indicado para o tipo de funções a que se destina.

Segundo Vidal (1992), a presença de um geossintético como inclusão em solo tem por objetivo basicamente cumprir uma ou mais das seguintes funções ilustradas na Figura 6:

Figura 6 - Funções associadas ao uso de geossintéticos.



Fonte: Duarte, 2009.

#### 4.2.1.1 Proteção

Essa função pode ser descrita como o uso de geossintéticos de modo a evitar ou limitar a danificação de elementos ou materiais sujeitos ao efeito de ações localizadas sobre as suas superfícies.

O mecanismo de funcionamento da barreira protetora, constituída por geossintéticos, consiste essencialmente na absorção e distribuição das tensões e deformações a transmitir à camada de material a proteger (YIN & SHUKLA, 2006). Tal fato é conseguido através da colocação de geossintéticos entre dois materiais permitindo a proteção de um deles, face às cargas e deformações induzidas pelo outro.

#### 4.2.1.2 Separação

A combinação de camadas de solos diversos pode acarretar em alterações em suas propriedades e, conseqüentemente, comprometimento da qualidade do projeto. Diante disso, deve-se manter a espessura do projeto da camada de solo e, assim, buscar a prevenção da entrada de finos para as camadas granulares. A introdução de uma camada sacrifício de agregado constitui uma possibilidade de solução. Entretanto, de acordo com a IGS Brasil (2007), essa camada leva a um aumento com custos adicionais na obra, além de não garantir a integridade das camadas de solo. Torna-se conveniente o uso de geossintéticos como barreira de separação, com objetivo de separar camadas de materiais de diferentes tipos ou granulometrias, de forma a evitar a mistura e interpenetração destes (KOERNER, 2005).

#### **4.2.1.3 Filtração**

A função de filtração consiste na utilização de um geossintético como uma barreira (filtro), que permite o fluxo de fluidos no seu interior ou através deste, retendo as partículas de solo sujeitas a forças hidrodinâmicas (NP EN ISO 10318, 2016).

A distinção entre as funções de Separação e Filtração pode ser de difícil percepção, residindo a diferença apenas na quantidade de fluxo de fluido que atravessa o geossintético.

A quantidade de fluxo de fluido é um dos fatores que condicionam o dimensionamento dos geossintético a aplicar. Para tal, o material a utilizar deverá apresentar características hidráulicas, dimensão de aberturas da sua malha e flexibilidade apropriadas. (LOPES, 2010).

#### **4.2.1.4 Drenagem**

De acordo com a NP EN ISO 10318 (2016), a função de drenagem, associada à utilização de um geossintético, consiste na recolha e transporte de fluidos, como águas pluviais e águas freáticas, através de um plano de drenagem. O geossintético assegura um fluxo adequado do fluido e garante uma migração limitada das partículas de solo.

Diante disso, o geossintético tem capacidade de atuar como um dreno que pode coletar ou facilitar os movimentos dos fluidos por meio de solos com permeabilidade menor. Os drenos de agregados naturais têm a possibilidade de substituir, por exemplo, pelas georredes, as quais promovem benefícios no que se relaciona à rápida execução e economia de espaço, uma vez que uma georrede de 5 mm de espessura pode mudar uma camada drenante de areia grossa de 30 cm (NORTÈNE, 2012).

#### **4.2.1.5 Reforço**

A função de reforço baseia-se no uso de um geossintético com o objetivo de proporcionar uma melhoria das propriedades mecânicas de uma estrutura geotécnica ou material de construção (NP EN ISO 10318, 2016).

A utilização de geossintéticos em funções de reforço surge com a necessidade de complementar as capacidades resistentes de alguns materiais. Estes materiais, normalmente sedimentos ou argilas, possuem uma boa resistência à compressão, apresentando no entanto fraca capacidade de resistência a tensões de tração (KOERNER, 2005).

Segundo Vertematti (2004), o uso de geossintéticos tem como objetivo reforçar a realização de aterros e fundações sobre solos moles, reforço e contenções de taludes, associado

ao seu uso em obras de pavimentação, promovendo aumento na capacidade de suporte mecânico das camadas do pavimento.

Logo, esse incremento permite que estruturas resistam a esforços de corte mais elevados, ou que estes possam apresentar maiores inclinações.

#### **4.2.1.6 Controle de Erosão Superficial**

A NP EN ISO 10318 (2016) afirma que o uso de geossintéticos na função de controle de erosão permite evitar ou minimizar o movimento de partículas de solo da superfície de taludes ou margens de rios.

Essa técnica consiste na colocação destes sobre o solo, exercendo assim uma proteção aos agentes erosivos, como agentes atmosféricos e tráfego de veículos, e exercendo também, uma função de reforço, no caso de solos não coesivos, com a finalidade de minimizar ou evitar a migração de partículas de solo. A execução desse controle pode ter caráter permanente ou temporário. Normalmente, em casos de proteção temporária, são utilizados geossintéticos biodegradáveis, de forma a promover posteriormente o crescimento de vegetação.

#### **4.2.2 Propriedades e Ensaio**

Segundo Bueno (2009), as propriedades dos geossintéticos representam critérios na seleção do material que melhor se adequa a determinada situação.

Posto isto, torna-se de vital importância identificar as propriedades físicas, mecânicas e hidráulicas desses materiais, de forma a que se proceda a um correto dimensionamento para que ao longo da sua vida útil, proporcione um bom desempenho do mesmo.

Para identificar essas propriedades, os geossintéticos devem ser submetidos à ensaios de campo ou de laboratório, que traduzam os aspectos importantes da interação do geossintético com o meio em que será inserido. Além disso, esses materiais devem apresentar vida útil compatível com as das obras onde serão empregados.

Segundo Vertematti (2004), recomenda-se que os ensaios de recebimento devem ser realizados com o intuito de que o produto que seja entregue na obra detenha as características técnicas especificadas pelo projetista.

#### 4.2.2.1 Propriedades Físicas

As propriedades físicas mais importantes para a aplicação desse tipo de material são: porcentagem de área aberta, gramatura e espessura nominal. Conforme Bueno & Vilar (2004), descreve-se a seguir as propriedades desses materiais:

- Gramatura é a relação de massa por unidade de área da manta, expressa em g/m<sup>2</sup>, entendendo-se como um índice utilizado como elemento de comparação entre geossintéticos com semelhante processo de fabricação, uma vez que, a depender deste processo, o material pode apresentar características hidráulicas e mecânicas diferentes;
- A espessura, expressa em milímetros, é caracterizada por meio da medição entre duas placas rígidas que comprimem um corpo de prova, com uma força de 2kPa. A norma da ABNT NBR ISO 9863-1 (2013), descreve a determinação da espessura de geotêxteis. Os ensaios utilizam as normas norte-americanas ASTM D 5199/01 e ASTM D 6525/00 como parâmetro de execução;
- A porcentagem de área aberta equivale aos espaços vazios resultantes do processo de fabricação.

O Quadro 3 apresenta as principais propriedades dos geossintéticos e as normas a elas relacionadas.

Quadro 3 - Propriedades Físicas e normas referentes

<b>Ensaio realizado em geotêxteis e produtos correlatos</b>		
<b>Propriedades</b>	<b>Norma</b>	<b>Observações</b>
<b>Físicas</b>		
Massa por unidade de área	NBR 12568, ISSO 9864, ASTM D 3776;	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Espessura nominal	NBR 12569, ISSO 9863, ASTM D5199	Procedimentos similares são utilizados em todas as normas
Porosidade	-	Determinação analítica

Fonte: Bueno, 2009. Adaptado.

#### 4.2.2.2 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas descrevem correlações entre a carga imposta ao material e as deformações sofridas por este, assim como fornece dados utilizados no dimensionamento de projetos (BUENO; VILAR, 2004). As principais propriedades são descritas a seguir:

- Compressibilidade: Definida por meio de medida da espessura do geossintético através de diferentes tipos de carregamento em corpos de prova.
- Resistência à tração: Descrita como a pressão gerada entre o contato das partículas de solo sobre o geossintético, causando uma tensão de tração lateral sobre o material. Recomenda-se que se estime a máxima deformação que esse material sintético pode sofrer. A norma da ABNT, NBR ISO 10319 de 2013 determina as condições de aplicação do ensaio de tração por meio da aplicação de uma força crescente num corpo de prova, até que ocorra sua ruptura;
- Resistência à punção: Quando submetidos a esforços de compressão causados pelo contato com grãos isolados, o material geossintético pode sofrer perfurações. A norma da ABNT, NBR ISO 12236 de 2013 descreve as recomendações sobre o ensaio para definir a resistência ao puncionamento tipo CBR, sendo este realizado por meio da aplicação de pressões em corpos de prova através de um cilindro metálico, com o objetivo de tentar perfurar o material ensaiado. Constitui uma importante propriedade no que tange à instalação do geossintético no canteiro de obras, já que esse material tem como finalidade resistir ao processo de aplicação intacto, garantindo suas propriedades de utilização;
- Resistência ao rasgo: Quando realizada a instalação ou manuseio do geossintético, pode levar ao surgimento de um corte, o qual tem a possibilidade de se propagar e levar a perda da integridade física desse material. O ensaio de propagação do rasgo trapezoidal é responsável por medir a resistência entre a propagação de um rasgo pelas fibras do geotêxtil e materiais correlatos;
- Resistência ao estouro: Em situações particulares, existe a probabilidade que o geossintético penetre nos espaços entre as partículas granulares onde foi aplicado e venha a assumir uma forma esférica. Então, este fornece um índice de classificação qualitativa dos geossintéticos em relação a esse tipo de deformação;
- Fluência em tração: Quando submetidos a esforços de tração, compressão ou cisalhamento por longos períodos, os geossintéticos podem fluir ou escoar. Esse fato dependerá da magnitude do esforço, além da temperatura que estará submetido. O ensaio responsável por avaliar este fato possui como resultado curvas que correlacionam carga e deformação para um determinado tempo, assim como uma curva de fluência, por meio da qual se estabelece tempos de ruptura para os tipos de carregamento (VERTEMATTI, 2004).

O Quadro 4 apresenta as principais propriedades mecânicas dos geossintéticos e as normas a elas relacionadas.

Quadro 4 - Propriedades mecânicas e normas referentes

<b>Mecânicas</b>		
Compressibilidade	Norma relacionada	Tensões usuais, de 10 a 200 kPa
Resistência à tração: - Faixa larga - Faixa restrita ou grab - Elementos de Geogrelha - Multidirecional	NBR 12824, ATM D 4595, ISO 10319 ATM D 4632 GG1 e GG4 ASTM D 5716	Verificar dimensão de corpos de prova para cada ensaio, de acordo com norma
Resistência ao puncionamento - Estático (CBR) - Dinâmico (queda do cone)	NBR 13359, ISO 12236 NBR 14971, ISSO 133433, EN 918	Pistão com diâmetro de 50mm Cone de 500g, altura de queda de 500mm
Resistência a propagação de rasgo	ATM D 4533	-
Resistência a estouro	ASTM D 3786	-
Fluência sob tração	ISO 13431, ASTM D 5262	-

Fonte: Bueno, 2009. Adaptado.

#### 4.2.2.3 Propriedades Hidráulicas

Com relação as propriedades hidráulicas, os ensaios mais importantes são os destinados a determinar o coeficiente de permeabilidade, o qual identifica a facilidade que o fluido tem para percolar, e determinação da abertura de filtração. As principais propriedades são descritas a seguir:

- Permissividade: constitui um parâmetro que correlaciona a permeabilidade do geossintético e a sua espessura. No ensaio utilizado para determinar essa propriedade, são feitas leituras de diferentes cargas de fluido, que passam por um corpo de prova com dimensões normatizadas (MACCAFERRI, 2008);
- Transmissividade: descrito como uma correlação entre a permeabilidade do geossintético e a sua espessura sobre uma tensão normal de confinamento, isto é, a quantidade de água que passa por um corpo de prova em um intervalo de tempo sobre uma carga normal e um gradiente hidráulico específico (NORTÈNE, 2012);

- Abertura de Filtração: descrita como a abertura do geotêxtil correspondente ao maior diâmetro do agregado granular que por ele pode passar (MUÑOZ, 2005). Constitui o índice mais usado na definição do potencial de filtração e para o dimensionamento de filtros.

O Quadro 5 apresenta as principais propriedades hidráulicas dos geossintéticos e as normas a elas relacionadas.

Quadro 5 - Propriedades hidráulicas e normas referentes

<b>Hidráulicas</b>		
Permissividade	ISO 11058	-
Transmissividade	ISO 12958	-
Filtração:		
- Abertura de filtração	ISO 12956	Peneiramento úmido de solo bem graduado
- Abertura aparente	AFNOR G 38 087; ASTM D 4751	Peneiramento a seco com esferas de vidro

Fonte Adaptada: Bueno, 2009

#### 4.2.3 Normas Brasileiras vigentes sobre Geossintéticos

Em 1990, foi criado o Comitê Brasileiro de Geossintéticos/ABNT, com a finalidade de criar normas adequadas às nossas condições climáticas, geológico-geotécnica, tecnológicas e econômicas. (VERTEMATTI, 2004).

A seguir, são listadas as NBRs em vigor que constam na coletânea de Normas de Geossintéticos, disponíveis para aquisição na ABNT.

- ABNT NBR ISO 10318-1:2018 - Geossintéticos Parte 1: Termos e definições.
- ABNT NBR ISO 10318-2:2018 - Geossintéticos Parte 2: Símbolos e pictogramas.
- ABNT NBR ISO 10321:2013 - Geossintéticos — Ensaio de tração de emendas pelo método da faixa larga.
- ABNT NBR ISO 25619-1:2013 - Geossintéticos — Determinação do comportamento em compressão Parte 1: Propriedades na fluência à compressão.
- ABNT NBR ISO 12957-2:2013 - Geossintéticos — Determinação das características de atrito Parte 2: Ensaio de plano inclinado.

- ABNT NBR ISO 12957-1:2013 - Geossintéticos — Determinação das características de atrito Parte 1: Ensaio de cisalhamento direto.
- ABNT NBR ISO 10319:2013 - Geossintéticos — Ensaio de tração faixa larga.
- ABNT NBR ISO 12236:2013 - Geossintéticos — Ensaio de puncionamento estático (punção CBR)
- ABNT NBR ISO 13433:2013 - Geossintéticos — Ensaio de perfuração dinâmica (ensaio de queda de cone).
- ABNT NBR ISO 9862:2013 - Geossintéticos — Amostragem e preparação de corpos de prova para ensaios.
- ABNT NBR ISO 9863-1:2013 - Geossintéticos — Determinação da espessura a pressões especificadas Parte 1: Camada única.
- ABNT NBR ISO 9864:2013 - Geossintéticos — Método de ensaio para determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos.
- ABNT NBR 15226:2005 - Geossintéticos - Determinação do comportamento em deformação e na ruptura, por fluência sob tração não confinada.
- ABNT NBR 15856:2010 - Geomembranas e produtos correlatos — Determinação das propriedades de tração.
- ABNT NBR ISO 11058:2013 - Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação das características de permeabilidade hidráulica normal ao plano e sem confinamento.
- ABNT NBR ISO 12958:2013 - Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação da capacidade de fluxo no plano.
- ABNT NBR ISO 12956:2013 - Geotêxteis e produtos correlatos — Determinação da abertura de filtração característica.
- ABNT NBR ISO 10320:2013 - Geotêxteis e produtos correlatos — Identificação na obra.

## **5 APLICAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS SANITÁRIOS**

Na impossibilidade de instalar os aterros sanitários apenas em locais que reúnam as características ideais de um ponto de vista geológico e geotécnico, atualmente projetam-se sistemas de confinamento para garantir que os mesmos não sejam uma fonte contaminação (DUARTE, 2009).

Um dimensionamento incorreto deste sistema de proteção, a sua construção deficiente, o emprego de materiais menos adequados ou de fraca durabilidade, ou a ocorrência de fenômenos externos que possam danificar as barreiras impermeabilizantes e drenantes pode provocar um efeito desastroso, ao possibilitar a percolação do chorume para os terrenos de fundação, com as consequentes contaminações de solos e de aquíferos (DUARTE, 2009).

Tradicionalmente, os aterros sanitários têm sido construídos com os mais diferentes materiais, contudo, diante de crescentes pressões por parte da legislação, a concepção e construção desses sistemas tem evoluído nos últimos 10 anos, exigindo-se cada vez mais a otimização das técnicas de projeto e construção, visando conciliar os aspectos geotécnicos e ambientais envolvidos. Trata-se de uma oportunidade para o mercado de geossintéticos, visto que são produtos amplamente recomendados para obras de infraestrutura e saneamento.

Os geossintéticos, por sua versatilidade de funções e facilidade de aplicação, contribuíram decisivamente para o desenvolvimento de novas metodologias, que possibilitaram o cumprimento das atuais exigências legislativas relativas à deposição de resíduos em aterro (MAIA, 2016).

A utilização de geossintéticos em aterros sanitários é atualmente uma prática corrente e indispensável. Tal fato deve-se, sobretudo, às vantagens que apresentam comparativamente aos materiais tradicionais como argilas e similares (LOPES, 1999).

### **5.1 Vantagens da aplicação de geossintéticos em aterros sanitários**

- Facilidade de transporte e armazenamento em relação aos agregados naturais, que exigem equipamentos de grande porte (IGS,2007);
- Ampla versatilidade de funções, dada as características impermeabilizantes, drenantes, de separação, proteção e contenção que esses materiais possuem (IGS,2007);
- Os drenos e os sistemas de impermeabilização geossintéticos ocupam volumes muito menores na área de disposição de resíduos que os ocupados por camadas de areia, brita

e argila compactada, promovendo uma maximização do volume útil da área de disposição do resíduo (IGS,2007);

- São produtos sintéticos e homogêneos, permitindo um melhor controle tecnológico de qualidade;
- Possibilidade de utilizar materiais de aterro de baixa qualidade (DUARTE,2009);
- Redução da quantidade necessária de materiais naturais (FEMA, 2008);
- Fácil instalação em camadas drenantes e de impermeabilização, em comparação com similares naturais, diminuindo muito o tempo de execução da obra e redução da mão de obra (FEMA, 2008).
- Possibilidade de aumentar o declive final do perfil do aterro sanitário, permitindo assim aumentar o volume de resíduos armazenados (DUARTE,2009);
- Permite o controle do nível do lençol freático, através de geodrenos (DUARTE,2009);
- Podem apresentar elevadas resistências mecânica e ao ataque de substâncias químicas. (Resistentes ao chorume).

## **5.2 Principais geossintéticos aplicados em aterros sanitários**

De acordo com Andrade (2018), existe uma infinidade de geossintéticos no mercado, porém, os mais importantes a serem considerados na concepção de um aterro sanitário, devem atender a critérios de:

- Drenagem de percolado;
- Drenagem de gases;
- Impermeabilização e;
- Camadas de separação.

Esse trabalho apresenta a classificação desses materiais segundo a ABNT NBR ISO 10318:2013 – Geossintéticos – Termos e definições, essa norma classifica os geossintéticos de acordo com seu processo de fabricação. De acordo com a IGS, os principais geossintéticos que podem ser utilizados em obras de aterros sanitários são:

### 5.2.1 Geotêxteis

Definidos como materiais têxteis e permeáveis com capacidade de filtração, os quais possuem qualidades hidráulicas e mecânicas, possibilitando sua atividade em diversas obras geotécnicas.

Em virtude da imensa diversidade de geotêxteis fabricados pelas indústrias, duas classes principais podem ser destacadas: os geotêxteis tecidos e não tecidos.) O geotêxtil tecido é obtido por meio de entrelaçamento de filamentos, enquanto que os geotêxteis não-tecidos constituem produtos permeáveis compostos por fibras orientadas direcional ou aleatoriamente e ligadas a uma estrutura plana (GOMES, 2001).

Os geotêxteis não-tecidos são amplamente aplicados em obras de aterro sanitário com variadas funções dentre elas: separação de materiais com diferentes granulometrias, proteção de geomembranas, filtração e drenagem do chorume, controle de erosão superficial, entre outras aplicações. Os geotêxteis possuem grandes vantagens se forem verificados fatores importantes para sua correta especificação, assim é obrigatório avaliar em quais situações ele estará sujeito, pois devido a uma gama de variações nos processos de fabricação dos geotêxteis não-tecidos, eles se comportam de maneiras distintas aos critérios de resistência a perfurações, a deformação absorvida, a sua flexibilidade, a resistência à passagem de líquidos, sensibilidade aos solos finos em suspensão e resistência à agressividade do meio ambiente. A Figura 7 retrata a aplicação do geotêxtil como proteção mecânica de geomembranas.

Figura 7 - Geotêxtil não-tecido utilizado como proteção mecânica da geomembrana



Fonte: Carneiro, 2009

Geralmente para funções de reforço são utilizados geotêxteis tecidos, pois tendem a ser mais resistentes as tensões aplicadas. Os geotêxteis não tecidos são mais utilizados como filtros, meios de separação entre materiais e proteção (LAGREGA; BUCKINGHAM; EVANS, 2001)

### 5.2.2 Geogrelhas

A principal característica desse tipo de geossintético é a sua abertura de malha, grande o bastante para viabilizar a interação do material granular em contato com a mesma, proporcionando uma bom entrosamento do conjunto.

As geogrelhas podem ser usadas como reforço de taludes abaixo dos resíduos e também como reforço dos solos de cobertura sobre geomembranas visando aumentar a sua capacidade de armazenamento. Segundo Suzuki (2012), o reforço dentro do maciço eleva significativamente o coeficiente de segurança para qualquer altura do aterro. Em sua tese de mestrado, esse autor defende o uso de reforços com geogrelhas na verticalização dos aterros sanitários.

Figura 8 - Uso de geogrelhas para aumentar a capacidade de suporte do solo



Fonte: Diprotec (2019)

### 5.2.3 Georredes

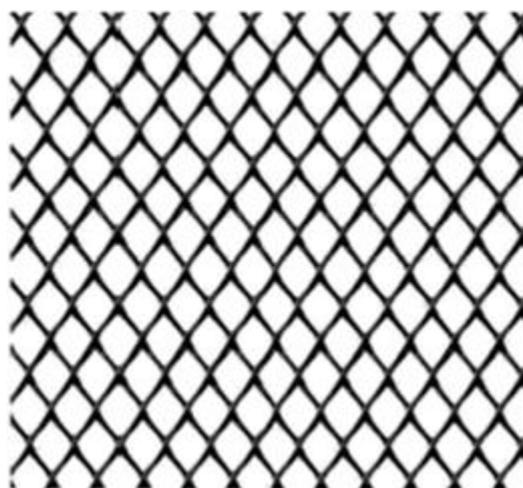
As georredes possuem uma estrutura aberta (semelhante às geogrelhas), constituída por conjuntos de barras paralelas sobrepostas e ligados a outros conjuntos idênticos, segundo ângulos variáveis formando uma malha densa e regular (IGS Brasil).

Enquanto que as geogrelhas têm como funções primordiais baseadas no reforço, as georredes destinam-se às funções de drenagem (CARNEIRO, 2009). A diferença entre elas é mostrada na Figura 9.

Figura 9 - Visual dos geossintéticos



a) Geogrelhas



b) Georredes

Fonte: Geofoco, 2016

### 5.2.4 Geomembranas

As geomembranas, também designadas de barreiras geossintéticas poliméricas, são telas contínuas e flexíveis fabricadas a partir de um ou mais materiais sintéticos, que se caracterizam pela sua baixa permeabilidade (YIN; SHUKLA, 2006).

Esse tipo de geossintético é utilizado nos aterros sanitários como barreiras para líquidos, gases e/ou vapores, controlando a migração de fluidos no sistemas. A geomembrana permite o aumento do volume de estoque de resíduos nos aterros e conseqüentemente seu tempo de utilização.

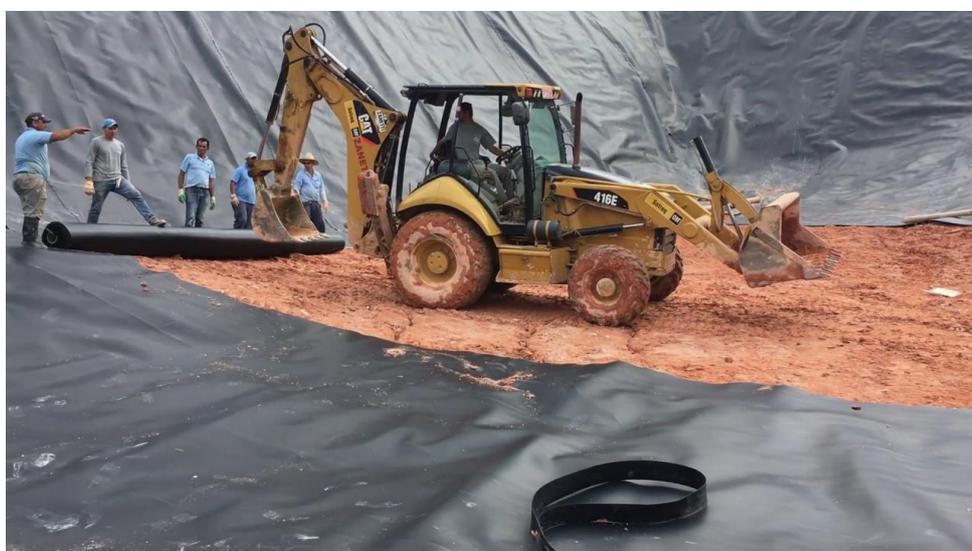
Geomembranas de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), quando aplicadas em aterros, impedem que o chorume, substância líquida altamente agressiva produzida pela decomposição do lixo urbano, entre em contato com o subleito e venham a contaminar o lençol freático. O

chorume então é coletado pelos sistemas de drenagem e destinado às estações para que receba tratamento adequado.

Já as geomembranas de PVC, são mais aplicadas em coberturas finais dos aterros, pois apresentam excelentes qualidades mecânicas quanto à elasticidade, flexibilidade e facilidade de instalação, porém tem uma resistência menor quanto alguns elementos químicos

As geomembranas podem ser divididas em dois tipos, de acordo com a sua superfície, sendo lisas ou rugosas. As geomembranas rugosas podem ter origem em geomembranas lisas, onde podem ser aplicados processos como pulverização, impressão ou laminação, de forma a conferir-lhes uma textura rugosa (KOERNER, 2005). A finalidade da aplicação destes processos de forma a conferir uma textura rugosa, prende-se com a necessidade de proporcionar um aumento do atrito na ligação da geomembrana a outros materiais (CARNEIRO, 2009).

Figura 10 - Aplicação de geomembrana de PEAD em aterro sanitário.



Fonte: Pancini, 2017.

- Emendas em geomembranas

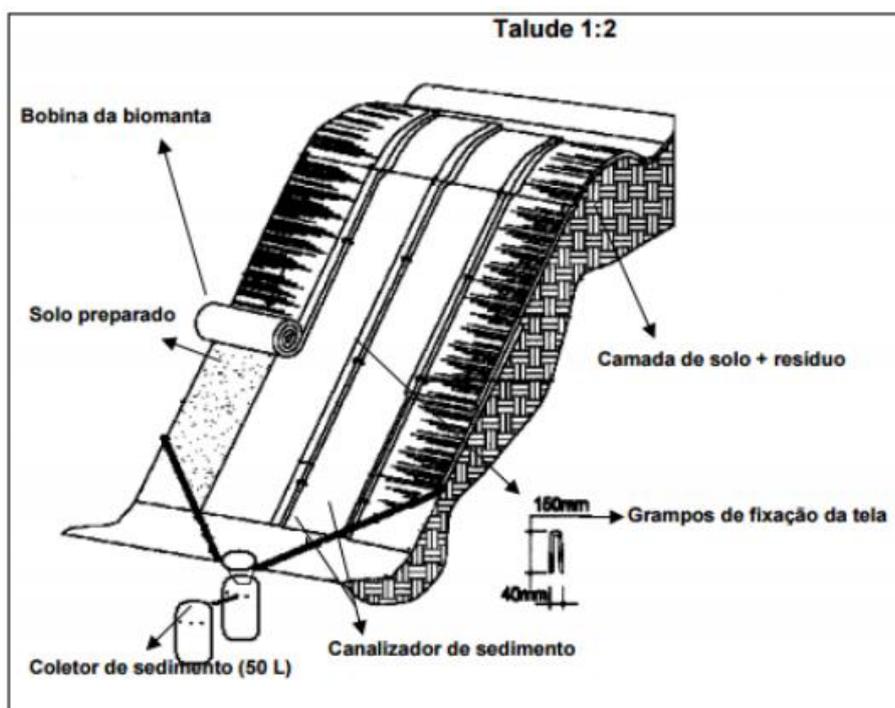
Um aspecto comum na instalação de geomembranas é a necessidade de emendas em campo, mesmo daquelas fornecidas em painéis. Trata-se de uma operação delicada e fundamental para um bom desempenho da geomembrana em qualquer sistema de impermeabilização. Na verdade, em função da reduzida permeabilidade desses materiais, os aspectos determinantes de seu comportamento serão as fugas e os vazamentos e não a permeabilidade. Vazamentos podem ocorrer através de emendas malfeitas, tanto em campo quanto em fábrica (COLMANETTI, 2006).

Todas as emendas devem ser inspecionadas visualmente e equipamentos de teste também devem ser empregados para verificação da estanqueidade das emendas. Recomenda-se ainda a retirada de amostras para ensaios de resistência ao cisalhamento e ao descolamento. Geomembranas translúcidas vêm sendo inseridas no mercado e têm a vantagem de permitir uma checagem visual à medida que são executadas (COLMANETTI, 2006).

### 5.2.5 Geomantas

A Geomanta é um produto com estrutura tridimensional permeável que tem grande utilidade no controle da erosão superficial de taludes. Pode ser produzido de forma biodegradável, quando assim, é chamado de “biomanta”. Esse material tem a função de impedir o carreamento de partículas sólidas em períodos de chuva, se apresentando como uma solução ecologicamente sustentável, auxiliando o desenvolvimento e manutenção de uma cobertura vegetal, evitando a ocorrência de processos erosivos onde ele for aplicado. A Figura 11 a seguir detalha uso de biomanta.

Figura 11 - Detalhe esquemático do uso de biomanta.



Fonte: Magalhães, 2005.

A aplicação da geomanta é uma excelente solução para os problemas de erosão superficial decorrente de chuvas nos taludes dos aterros sanitários, podendo ser utilizadas associadas ao sistema de drenagem desses sistemas de deposição de resíduos.

## 5.2.6 Geocompostos

Estes são constituídos pela associação de dois ou mais tipos de materiais, sendo que pelo menos um desses materiais se trata de um geossintético (CARNEIRO, 2009). A associação destes materiais surge com a finalidade de combinar as melhores características que cada um apresenta, de forma a que estes possam ser utilizados de uma maneira mais eficiente nas funções a que se destinam, com outro fator relevante, um menor custo (KOERNER, 2005).

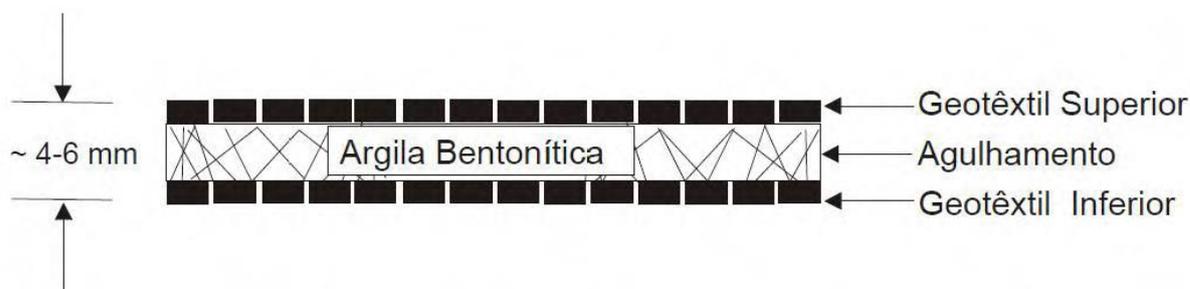
Os geocompostos podem ser classificados de acordo com a função a que se destinam. Normalmente podem ser encontrados geocompostos bentoníticos ou argilosos, geocompostos de drenagem e geocompostos de reforço (LOPES, 2010).

Segundo Pimentel (2003), os tipos de geocompostos que mais se destacam no mercado com aplicação em aterros sanitários são os geocompostos argilosos e os geocompostos para drenagem.

### 5.2.6.1 Geocomposto argilosos para barreira impermeabilizante (GCL)

São constituídos por uma camada de argila bentonítica, envolta em geotêxteis ou geomembranas. Os geotêxteis que compõem este geocomposto são normalmente ponteados ou agulhados, proporcionando um aumento da resistência ao corte do geocomposto. Os geossintéticos bentoníticos tem grande uso como barreira hidráulica em aterros sanitários. A Figura 12 mostra o geocomposto de bentonita.

Figura 12 - Argila bentonítica agulhada em geotêxtil



Fonte: Duarte, 2009.

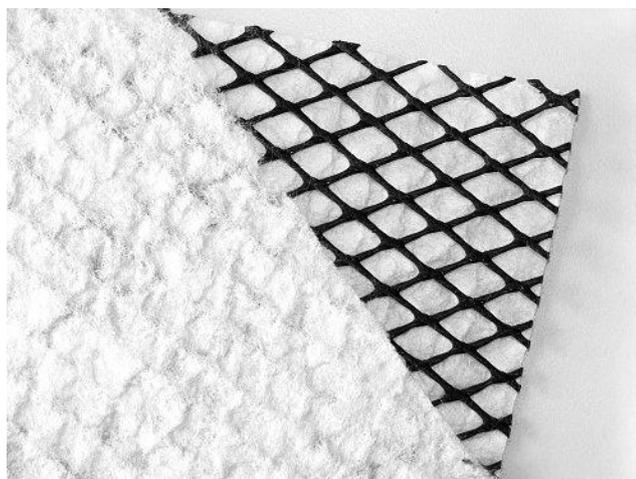
### 5.2.6.2 Geocompostos para drenagem

Geocompostos drenantes são constituídos pela georrede de PEAD, os quais atuam como ferramenta para drenagem, justaposta em uma ou nas duas faces a um geotêxtil não tecido, que

tem como finalidade atuar como filtro, assim como unida em um lado por um geotêxtil não tecido e no outro por um filme impermeável de Polietileno.

Esse sistema é utilizado em obras de engenharia, atuando principalmente na retenção de partículas de solo e resíduos, na proteção mecânica e drenagem de líquidos e gases, (INOVAGEO, 2014). Por ser formado por dois geotêxteis com função de filtração e um núcleo, esse material permite a percolação dos fluidos. Quando aplicado à obras de aterro sanitário, se apresentam uma alternativa ao sistema convencional de drenagem com materiais granulares. Um exemplo de geocomposto é mostrado na Figura 13.

Figura 13 - Geocomposto drenante, associação de geotêxtil com georrede

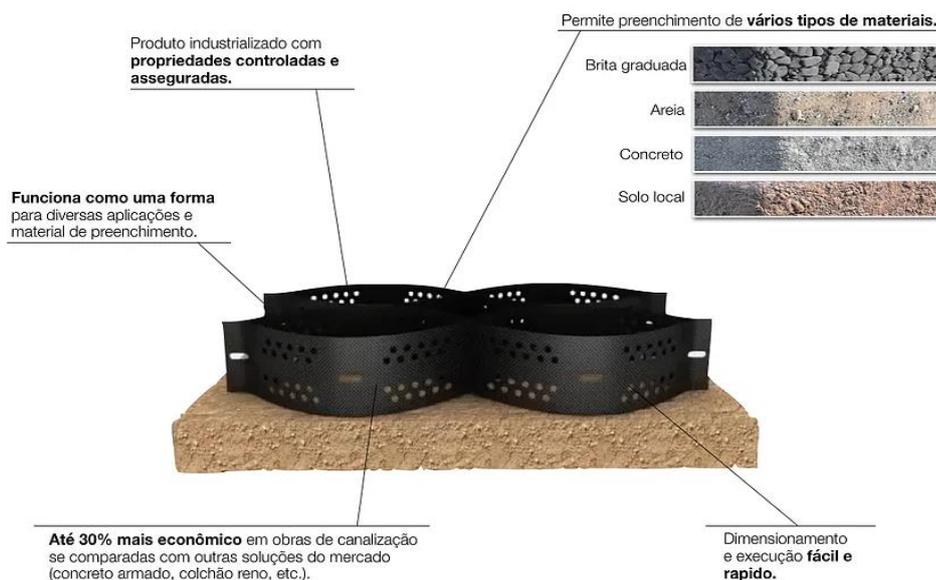


Fonte: Koerner, 2005.

### 5.2.7 Geocélulas

As geocélulas são estruturas tridimensionais, em forma de favo, formadas por tiras de poliéster ou polietileno de alta densidade, ligadas em determinados pontos (YIN & SHUKLA, 2006). As células formadas pelas ligações podem ser preenchidas com solo, areia ou brita, dependendo da disponibilidade e finalidade a que se destina. Esse tipo de geossintético é aplicado na camada de fechamento de aterros sanitários, devido a suas características de durabilidade, soldas de alta resistência e estabilidade anti-rajões UV, garantindo uma superfície verde e estável sobre a geomembrana, preservando sua integridade. A Figura 14 mostra outros benefícios da aplicação desses materiais.

Figura 14 - Benefícios da aplicação de geocélulas



Fonte: Geosoluções, 2019.

### 5.2.8 Geotubos

Os geotubos são tubos poliméricos, normalmente utilizados para a drenagem de fluidos ou gases. Estes podem ser lisos ou corrugados, perfurados ou não, e podem ser utilizados envoltos em geotêxtil (YIN & SHUKLA, 2006).

Estes podem ser aplicados para facilitar a coleta e drenagem do chorume nos aterros sanitários, encaminhando-os para um local de tratamento. Este material pode também ser utilizado para a recolha e transporte de biogás, e para drenagem de águas residuais e pluviais.

De acordo com a Engepol (2012), em relação ao ferro, concreto e outros materiais convencionais, as principais vantagens dos geotubos de PEAD são:

- O PEAD não sofre agressão de produtos químicos que se encontrem na água, esgoto ou chorume;
- O PEAD tem alta resistência mecânica, podendo ser submetido a elevados impactos;
- Capacidade de conservar suas propriedades hidráulicas por muitos anos sem modificação. Os materiais convencionais são suscetíveis a depósito no interior do tubo, fato este que leva a diminuição do diâmetro da tubulação com o tempo, enquanto que os geotubos apresentam baixa possibilidade de ocorrer incrustações;
- Rápida instalação, reduzindo o tempo de execução da obra em aproximadamente 30%;
- Os tubos de PEAD são leves e podem ser facilmente transportados para locais altos ou de difícil acesso;

- Uma vez soldados, as perdas de líquido transportado são mínimas, levando a redução utilização de juntas.
- As emendas são feitas fora da vala, possibilitando que a largura da vala seja o suficiente par acomodar o tubo e o material de reaterro;

No Quadro 6 a seguir, estão indicados de forma resumida os principais tipos de geossintéticos usados em aterros sanitários, apresentando as principais funções associadas a cada um deles.

Quadro 6 - Principais tipos de geossintéticos usados em aterros e suas aplicações

Geossintético	Aplicação						
	Reforço	Filtração	Drenagem	Proteção	Separação	Impermeabilização	Controle de Erosão
Geotêxtil	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Geogrelhas	✓						
Georredes			✓				
Geomembrana					✓	✓	
Geomantas						✓	✓
Geocompostos	✓		✓			✓	
Geocélula	✓						✓
Geotubos			✓				

Fonte: Adaptado de Koerner, 1998.

Dentre esses geossintéticos, não há um tipo que seja considerado superior ao outro, o que realmente conta na hora de escolher qual utilizar, são as propriedades, características e funções que melhor se enquadram no tipo de estrutura onde a aplicação será realizada.

### 5.3 Sistemas de proteção em aterros sanitários

Nesse estudo, os sistemas de proteção em aterros sanitários foram divididos em cinco: Impermeabilização da base, drenagem do chorume, drenagem dos gases, drenagem de águas pluviais e camada de cobertura. Esta proteção é de fundamental importância para assegurar a durabilidade e garantir a proteção necessária em obras de aterro sanitário. Entre os geossintéticos utilizados nestes sistemas de proteção, destacam-se: os geocompostos drenantes e bentoníticos, geotêxteis não-tecidos e tecidos, geomembranas PEAD e geotubos.

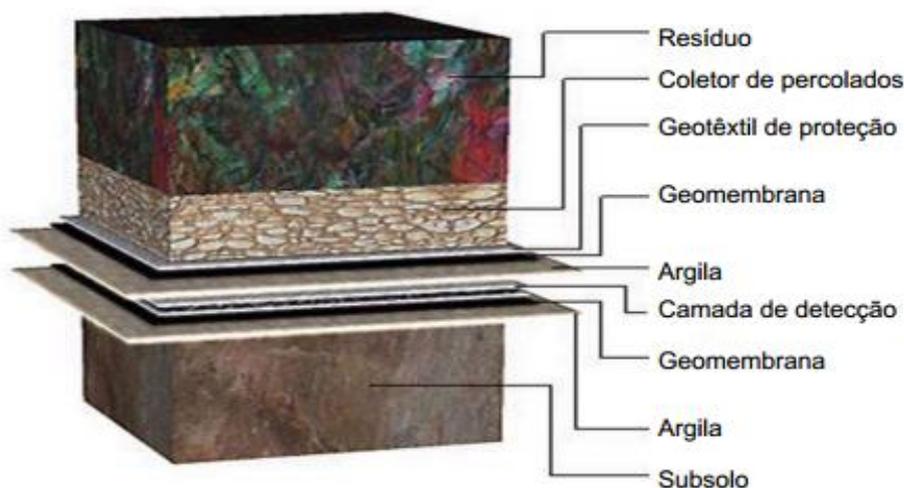
### 5.3.1 Impermeabilização da base

O sistema de impermeabilização de fundo do aterro deve apresentar características como estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica e às intempéries, compatibilidade física, química e biológica com os resíduos a serem depositados no aterro (CEMPRE, 2010).

A Fundação Estadual do Meio Ambiente, FEAM (2006), afirma que é fundamental que a camada de impermeabilização da base garanta a separação entre as células de disposição dos resíduos e as camadas de subsolo. Impedindo a infiltração e percolação das substâncias tóxicas. A FEAM descreve que para o desempenho dessa função de forma eficiente, a camada de impermeabilização de materiais deve ser composta de solo argiloso de baixa permeabilidade ou geomembrana sintética com espessuras adequadas.

O esquema de materiais aplicados na impermeabilização de base de aterro sanitário para o confinamento de resíduos é apresentado na Figura 15. Observa-se que é utilizada uma camada dupla de proteção.

Figura 15 - Esquema no fundo da área de disposição de resíduos



Fonte: PIMENTEL (2003).

Esse sistema objetiva minimizar a infiltração de chorume e gases tóxicos no solo de fundação do aterro. Diminuindo a concentração desses materiais à níveis que não prejudiquem a saúde humana e o meio ambiente.

Dependendo do porte do aterro sanitário, para garantir a impermeabilização da base pode ser necessário apenas a compactação do solo; pode ser necessário a aplicação de geossintéticos com finalidades impermeabilizantes ou pode-se optar pela combinação de ambos

se o aterro for maior. Os solos argilosos são os mais utilizados para esta finalidade. No caso dos geossintéticos, as geomembranas de PEAD são as mais utilizadas.

### **5.3.2 Sistema de drenagem do chorume**

De acordo com a Fundação Estadual do Meio Ambiente de Belo Horizonte (FEAM, 2006), a performance do sistema de drenagem interna de líquidos e de gases é de significativa importância para confirmar a estabilidade do aterro sanitário. Esse órgão afirma ainda que o sistema de drenagem de chorume pode ser interligada ao sistema de drenagem de gases, devendo ambos estarem inseridos entre os resíduos.

O sistema drenante deve ser composto por tubos perfurados e drenos de material filtrante. Cempre (2010), cita que os materiais mais usualmente empregados com função filtrante são as areias, britas e pedra rachão. Além destes, os seixos de quartzo de origem fluvial, por serem homogêneos e estáveis, são mais indicados do que a brita para evitar que as camadas de solo abaixo sejam atacadas pelo chorume.

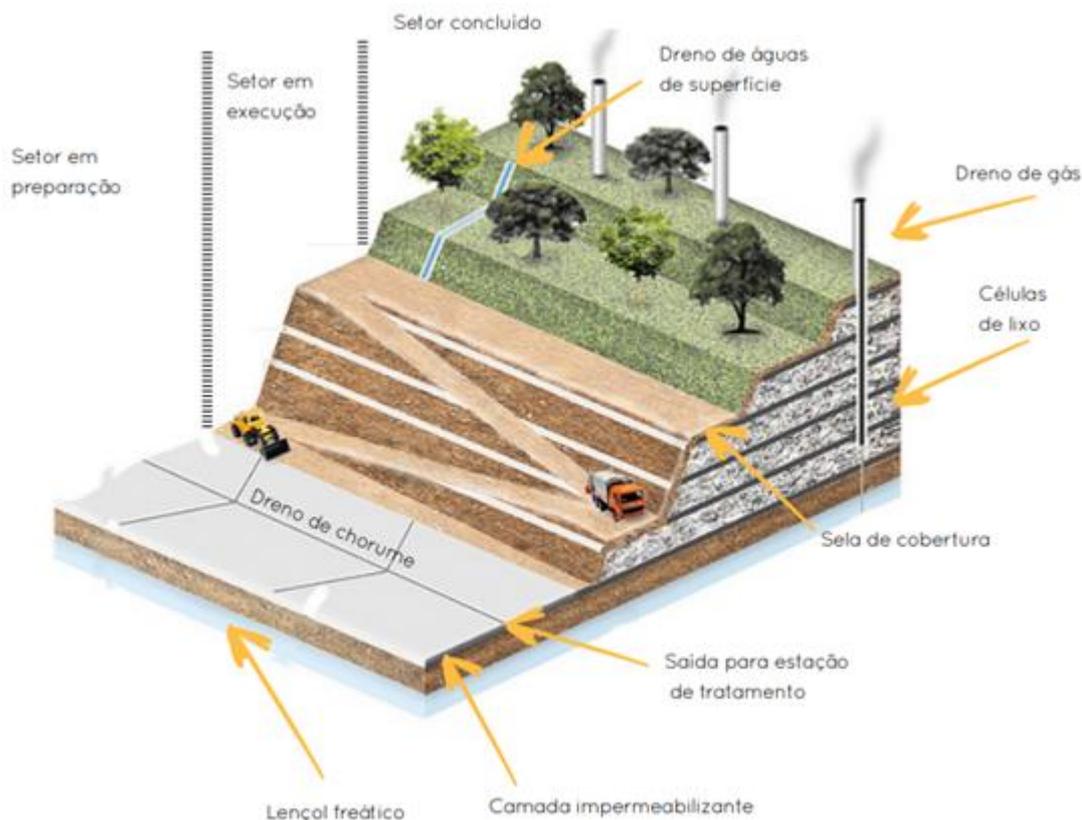
A ABNT, através da NBR 15849/2010 que trata de aterros sanitários de pequeno porte, recomenda que se utilize material rochoso ou materiais que permitam espaços livres, para que o sistema de drenagem de fundo seja mais eficaz.

Segundo Silva (2016), a carga hidráulica na base do aterro na maioria das vezes é eficaz no que se relaciona à manutenção do próprio sistema, além de evitar colmatação nos dutos de drenagem. Contudo, a introdução de filtros geossintéticos sobre a camada para drenagem aumenta a eficiência do sistema e ajuda a impedir a colmatação física ou biológica do próprio geossintético.

A Figura 16 ilustra a divisão das etapas construtivas num aterro sanitário. No setor de preparação pode-se identificar a instalação dos drenos horizontais de chorume dispostos em “espinha de peixe”.

Os drenos devem ser escavados no solo e preenchidos com material para drenagem ou podem dispor-se sobre a camada de base impermeabilizada do aterro. Além disso, para evitar a colmatação dos drenos, estes devem ser recobertos com material capaz de permitir a passagem dos líquidos e reter as partículas finas.

Figura 16 - Drenos horizontais na construção de aterro sanitário



Fonte: Adaptado de BRAGA, et al, 2005

### 5.3.3 Sistema de drenagem de águas pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais tem como objetivo a proteção do corpo do aterro da infiltração da água de chuva, assim como evita a erosão da camada de cobertura. A inadequada drenagem das águas da chuva implica em maior infiltração no maciço do aterro, assim como maior instabilidade deste com aumento do volume de chorume (FEAM, 2006).

A aplicação de geotêxtil nos sistemas de drenagem implicam em diversas vantagens na coleta e destinação do líquido percolado. Alves (2008) afirma que é preciso que haja a preparação do solo por meio do processo de limpeza e terraplenagem, para assim receber a camada de geomembrana de PEAD, material impermeável que bloqueia a percolação do chorume, evitando que este atinja o lençol freático.

### 5.3.4 Sistema de drenagem de gases

O sistema de coleta do biogás deve ser instalado abaixo da camada de resíduos. Os produtos de maior uso são os granulares em geral, solos e geossintéticos de elevada

permeabilidade, isto é, os produtos similares aos da camada de drenagem. Caso seja necessário a utilização do solo para construir esta camada, a espessura mínima deve ser de 30 cm. Os geossintéticos mais utilizados são os geotêxteis, georredes ou geocompostos para drenagem (KOERNER, 2005).

Usualmente, a coleta de biogás inicia posteriormente a uma porção do aterro ser fechada. Cada uma das pontas do tubo deve ser conectada a uma tubulação lateral, responsável por transportar o gás para um coletor principal. Deve-se planejar o sistema de coleta a fim de que o operador possa acompanhar e modificar o fluxo de gás se necessário (MUYLAERT, 2000).

Segundo MaccaFerri (2008), para realizar a implementação do sistema, pode-se fazer uso de geodrenos ou geocompostos para a drenagem do gás e geomembrana de PEAD para impermeabilização e estanqueidade do sistema de coleta. O biogás deve ser coletado por um sistema de drenagem e direcionado para ser queimado em um aparelho chamado flare, um cilindro que queima o biogás e transforma o metano em dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que é 25 vezes menos poluente, gerando uma redução significativa de emissões de gases do efeito estufa.

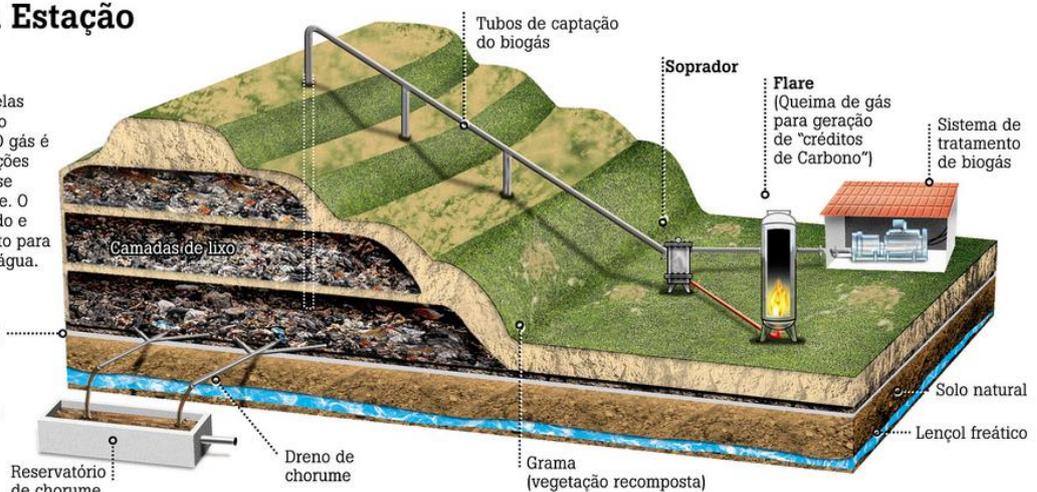
A Figura 17 apresenta o esquema de drenagem de gases. De acordo com estudos realizados por Faria (2010) e Figueiredo (2007), a criação de um sistema de captação do gás gerado por aterros sanitários de modo a promover e aproveitar o potencial energético deste fluido. Além disso, destacam a aplicação de materiais geossintéticos com uma ótima eficiência na instalação desse sistema.

Figura 17 - Esquema de drenagem de gases

### Conheça a Estação de Biogás

Ao ser decomposto pelas bactérias, o lixo gera o biogás e o chorume. O gás é conduzido por tubulações para ser queimado e se tornar menos poluente. O chorume é armazenado e destinado a tratamento para ser transformado em água.

**Manta plástica PEAD** (Polietileno Alta Densidade) para impermeabilização, que protege o solo e o lençol freático



Fonte: ABLP - Associação Brasileira de Resíduos Sólidos e Limpeza Pública, 2018.

### **5.3.5 Camada de cobertura**

Essa camada tem como objetivo principal a proteção da superfície das células de lixo, buscando-se evitar a proliferação de odores e permitir o acesso de máquinas e veículos coletores, evitando-se a presença de catadores. De acordo com Silva (2016), no caso de aterro de resíduos sólidos urbanos, há camadas de cobertura durante a vida útil do aterro sanitário (coberturas diária e intermediária) e após encerramento das atividades do aterro (camada final).

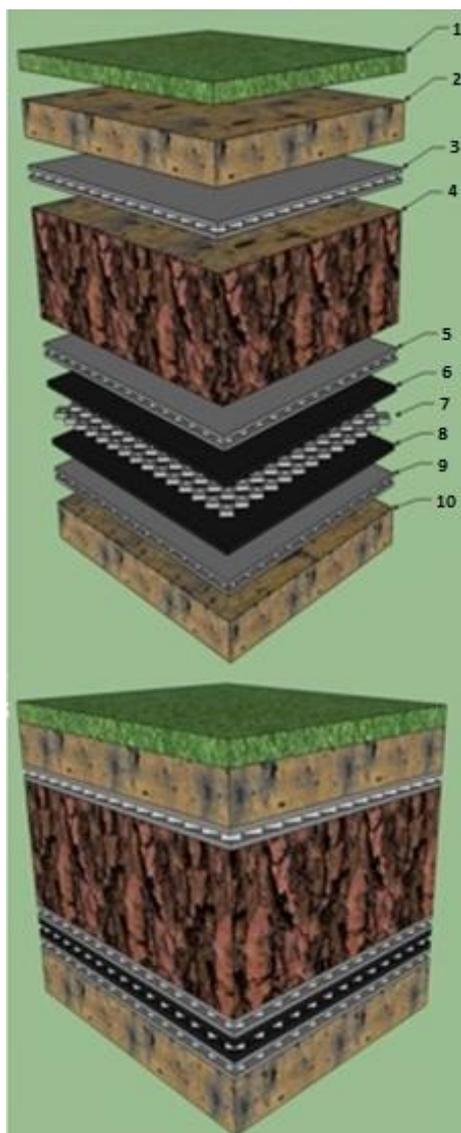
Conforme Cempre (2010), a cobertura dos resíduos apresenta importância significativa evitando a dispersão de materiais leves, além de mitigar a presença de vetores propagadores de doenças, como insetos e animais roedores. A camada diária é responsável pela utilização de solo ou outro material geossintético, por exemplo, para cobertura dos resíduos no final de cada jornada de trabalho. O mesmo raciocínio serve para a camada intermediária, que ocorre, no encerramento de cada célula do aterro (SILVA, 2016).

O sistema de cobertura final deve ser resistente à erosão de forma a diminuir a infiltração de águas de chuva, além de se adequar à utilização da área. Consoante Zornberg (2013), a implementação de camada de vegetação do local mostra-se significativamente eficaz, uma vez que favorece a evapotranspiração e, conseqüentemente, promove diminuição do potencial de água infiltrado no aterro, contribuindo na prevenção de erosão e deslizamento do solo. A IGS (2008) recomenda implementação de reforço de geogrelha ou geotêxtil geotêxtil acima da barreira para aumentar a estabilidade da cobertura vegetal (camada de solo de cobertura para plantio).

## **5.4 Seções típicas das camadas de proteção**

A Figura 18 apresenta o padrão internacional de seções típicas de camadas de proteção de solo adotadas no revestimento dos aterros sanitários.

Figura 18 - Seções típicas de camadas de proteção de solo em aterros sanitários

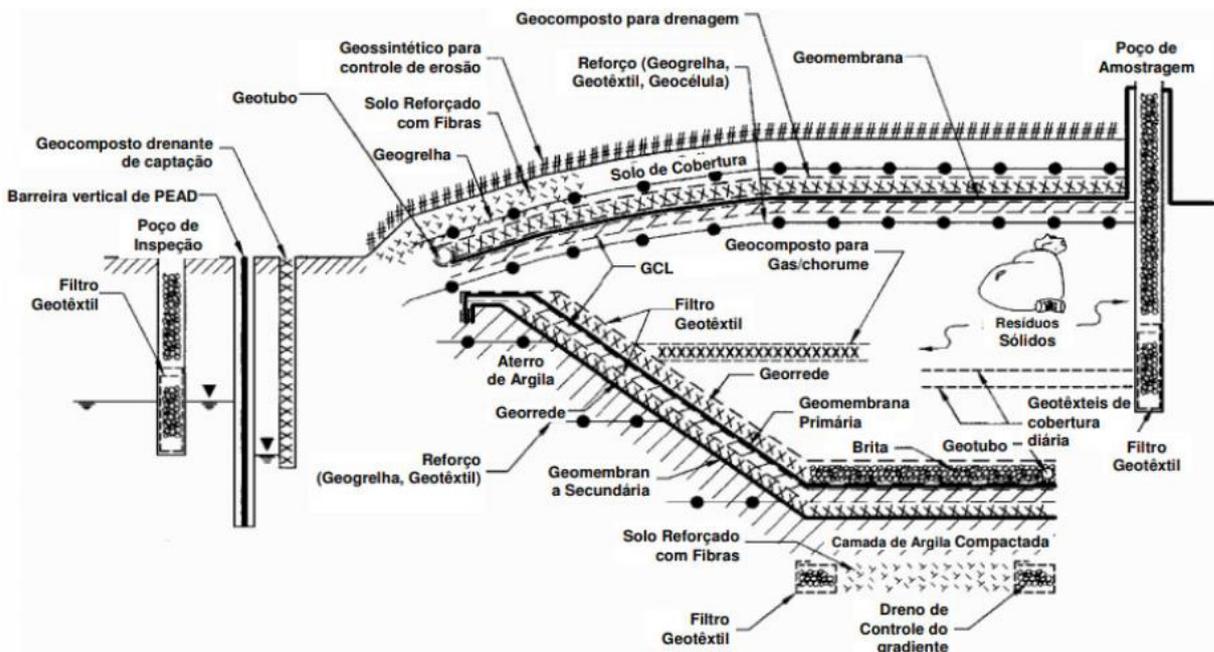


Fonte: Geofoco Brasil

- 1- Plantio de vegetação para proteção contra erosão utilizada após a última camada do aterro.
- 2- Recobrimento com camada de terra.
- 3- Sistema de drenagem de gases com Geocomposto Drenante.
- 4- Depósito de resíduos.
- 5- Sistema de drenagem de chorume e percolados com Geocomposto drenante.
- 6- Impermeabilização primária com Geomembrana de PEAD.
- 7- Sistema de “Dreno testemunho” para a detecção de vazamentos com Georrede.
- 8- Impermeabilização secundária com Geomembrana de PEAD.
- 9- Sistema de rebaixamento de lençóis freáticos quando necessário com Geocomposto drenante.
- 10- Solo natural.

Para ilustrar as múltiplas aplicações de geossintéticos em sistemas de aterro sanitário veja-se, por exemplo, o esquema mostrado na Figura 19 de um aterro de disposição de resíduos moderno.

Figura 19 - Geossintéticos aplicados em aterro de resíduos



Fonte: modificado de KOERNER (1998).

O estudo de Zornberg et al. (2010) relata que a barreira contra fluxo no fundo da área de disposição apresentada na Figura 19 trata-se de um sistema duplo. Como barreira primária, é instalado uma combinação GCL/ geomembrana. Como barreira secundária, aplica-se uma combinação solo compactado com geomembrana.

No espaço entre essas duas barreiras que compõem o sistema duplo de proteção, é instalado um sistema de detecção de vazamentos, constituído por uma aplicação de geotêxtil combinado à georrede.

Uma rede de geotubos perfurados é instalada juntamente à um colchão de brita sobre a barreira primária, na base do sistema, constituindo o sistema de coleta do chorume produzido. Já nos taludes laterais, esse chorume é coletado usando-se um geocomposto drenante (georrede/geotêxtil) ligado à camada de brita na base.

A proteção da geomembrana primária contra puncionamento por partículas do solo subjacentes é garantida através da instalação de uma camada de geotêxtil.

Uma das questões mais pertinentes em relação à geotêxteis e geocompostos drenantes é a possibilidade dos mesmos sofrerem colmatção e tornarem-se inaptos a realizarem os trabalhos de filtração e drenagem.

A colmatção física de um geotêxtil ocorre quando os vazios existentes entre os fios poliméricos que compõe o material, são preenchidos por partículas sólidas (geralmente solo), entupindo as aberturas do material e impedindo o fluxo de líquidos, reduzindo assim sua permeabilidade. Para evitar esse problema no sistema de captação e remoção do chorume, aplica-se filtros geotêxteis.

Esses mesmos filtros são utilizados na construção de drenos de controle de gradientes para contenção do nível do lençol freático na base do aterro. Também pode haver a necessidade do solo de fundação abaixo da base do aterro ser estabilizado e reforçado, para isso utiliza-se uma mistura de solo com fibras distribuídas aleatoriamente, já os taludes laterais sob a barreira devem ser reforçados com geogrelhas, como mostra a Figura 19.

O sistema de cobertura contém uma barreira composta por GCL/geomembrana. Sobreposta a essa camada, é aplicado um geocomposto drenante (geotêxtil/georrede). O sistema de cobertura de solo ainda inclui reforços de geotêxteis, geocélulas e geogrelhas sob a barreira, com a função de conter infiltrações e minimizar as possíveis deformações induzidas nas barreiras devido a recalques diferenciais dos resíduos ou pela futura expansão vertical do aterro.

Ainda pode-se ver na Figura 19, a utilização de geocompostos para controle de erosão sobre o solo vegetal, promovendo a proteção contra erosões laminar e em ravinas e assegurando a estabilidade da cobertura vegetal. Fibras para reforço também podem ser usadas para a estabilização do trecho inclinado do solo vegetal.

Ao longo do perímetro do aterro, pode ser visto o uso de uma barreira vertical de PEAD e um geocomposto drenante de captação. Por fim, a Figura 19 ilustra a aplicação de geotêxteis como filtros nos poços de inspeção e amostragem de água subterrânea e chorume.

Segundo a IGS, embora nem todos os componentes mostrados na Figura 19 sejam necessários em todos os aterros sanitários, a figura ilustra as várias aplicações de geossintéticos que podem ser consideradas em projetos deste tipo de obra.

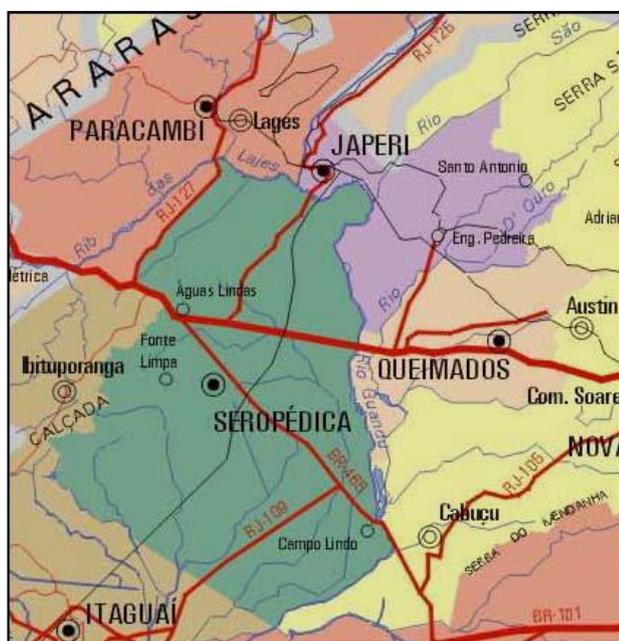
## 6 ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS NO ATERRO SANITÁRIO DE SEROPÉDICA/RJ

Realizou-se um estudo de caso com o objetivo de analisar as aplicações dos geossintéticos no aterro sanitário do município de Seropédica. Esse foi um projeto da prefeitura do Rio de Janeiro, decorrente de contrato de concessão com a COMLURB para transferência e destinação final adequada dos resíduos do município, o CTR foi implantado e é operado pela empresa Ciclus. Além de receber e tratar adequadamente os resíduos sólidos do município do Rio de Janeiro, o CTR tornou possível o fechamento do Aterro de Gramacho e de três lixões a céu aberto: Seropédica, Itaguaí e Mangaratiba. Hoje, a Central recebe cerca de 9 mil toneladas de resíduos destes municípios e de clientes particulares.

### 6.1 Caracterização da região de estudo

O município de Seropédica, que possui uma área de aproximadamente 270 km<sup>2</sup>, está localizado na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, situado na região da Baixada Fluminense (figura 20). Pela sua configuração e posição geográfica, Seropédica faz limites com os municípios de Itaguaí, Paracambi, Japeri, Queimados e Nova Iguaçu. Sua população atual é estimada em aproximadamente 78 mil habitantes, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011).

Figura 20 - Localização geográfica do município de Duque de Caxias



Fonte: Cruz, 2011.

## 6.2 CTR Seropédica

O aterro sanitário do município de Seropédica/RJ iniciou suas operações em abril de 2011, em um terreno com mais de 2 milhões de metros quadrados, sendo o maior aterro sanitário da América do Sul. O projeto ambiental foi planejado e executado para garantir que o solo e o ar não fossem contaminados. A implantação possui tecnologia de ponta, sendo um dos centros de tratamento mais avançados de toda a América Latina. A Figura 21 mostra a vista aérea desse aterro.

Figura 21 - Vista aérea do aterro municipal de Seropédica/RJ



Fonte: Ciclus (2017)

A Central de Tratamento de Resíduos em Seropédica é uma concessão da Companhia de Limpeza Urbana (COMLURB) à empresa Ciclus e, além dos resíduos do Rio, receberá os detritos dos municípios de Itaguaí e Seropédica. A empresa foi responsável por projetar o empreendimento, realizar as obras e pela operação da CTR.

Atualmente, esse aterro recebe uma média de 14 mil toneladas por dia de resíduos dos municípios de Seropédica, Itaguaí e Rio de Janeiro, tudo tratado com técnicas e equipamentos modernos e obedecendo às normas internacionais de respeito ao meio ambiente no processamento de resíduos sólidos (CICLUS, 2019).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos gerados no município do Rio de Janeiro é formada por matéria orgânica putrescível (55%), materiais plásticos (18%) e papéis e papelões

(16%), que constituem cerca de 90% do lixo domiciliar. Os outros 10% são compostos principalmente de vidro, metais e folhas (RIO DE JANEIRO, 2012).

Com infraestrutura e conhecimento, o aterro sanitário de Seropédica promove a transformação de resíduos em energia limpa e renovável e soluciona um dos maiores problemas ambientais do estado do Rio de Janeiro com o encerramento do aterro metropolitano de Gramacho, além do fechamento e recuperação ambiental dos lixões de Seropédica e Itaguaí. Sua busca constante por soluções inovadoras atrai investimentos na ampliação das indústrias já existentes e na chegada de outras, gerando mais empregos, valorização do município e crescimento sustentável (CICLUS, 2019).

### **6.3 Soluções e tecnologias adotadas**

Atualmente, a CTR é a solução mais segura adotada no Brasil. É uma maneira moderna e eficiente para tratar resíduos sólidos, domiciliares e de grandes geradores. É formada por um conjunto de tecnologias integradas a diferentes unidades de tratamento capazes de promover o gerenciamento completo dos diversos tipos de resíduos, evitando a poluição e minimizando os impactos ambientais e sociais.

A CTR de Seropédica é composta por: aterro sanitário bioenergético, estação de tratamento de chorume para transformação em água de reuso, unidades de beneficiamento de entulho de construção civil e de podas de árvore, viveiros de mudas, laboratórios, centro de educação ambiental. Com destaque para estação de captação e tratamento de biogás para geração de energia limpa, de combustível e insumos para indústrias (CICLUS, 2019).

Sua construção, como a de qualquer aterro para disposição de resíduos, requer alguns cuidados, como a escolha do local, que deve estar a uma distância mínima de um curso d'água ou região populosa. Para evitar qualquer tipo de contaminação do ecossistema local, o aterro sanitário de Seropédica conta com camadas extras de proteção de solo, reforçado pelo uso de materiais geossintéticos e sensores para detectar possíveis vazamentos. O local também dispõe de uma unidade de tratamento de chorume e uma unidade de tratamento do biogás.

Ademais, a camada de cobertura colocada diariamente sobre os resíduos deve contar com sistema de drenagem das águas pluviais que evite a infiltração para o interior do aterro. São necessários, ainda, um sistema de monitoramento ambiental (topográfico e hidrogeológico) e um pátio de estocagem de resíduos. Após atingir seu limite de capacidade de armazenagem, a CTR pode se transformar em um espaço verde ou mesmo num parque de lazer, eliminando

assim o efeito estético negativo, desde que reunidas certas condições após monitoramento específico e encerramento (CICLUS, 2019).

### **6.3.1 A escolha do local e o aquífero de Piranema**

Diante da decisão do fechamento do aterro controlado de Jardim Gramacho, tornou-se necessária a escolha de outra localidade para receber o lixo do município do Rio de Janeiro. Com isso, a Companhia Municipal de Limpeza Urbana da Cidade do Rio de Janeiro (COMLURB), em 2003, lançou um edital de licitação para a construção de um aterro sanitário no qual o licitante seria o responsável pela indicação do local para a implantação, assim como pela construção do aterro sanitário.

A escolha da área para implantação da CTR exigiu o envolvimento de uma equipe multidisciplinar e considerou desde parâmetros relacionados aos meios físico e biológico, até aspectos sociais, econômicos e imobiliários, além da elaboração de um estudo de impacto ambiental (EIA).

Inicialmente, quatro áreas foram levantadas no EIA, duas no município de Seropédica e duas em Itaguaí. Comparando-se aspectos positivos e negativos, optou-se pela área localizada no município de Seropédica, com 2.226.000 m<sup>2</sup>, a dez quilômetros de distância do centro urbano e que, além de estar desocupada, servia, eventualmente, para a concessão de pastagem. O terreno em questão apresentava características topográficas favoráveis à operação do aterro, como presença de grandes áreas planas, além de uma grande área com disponibilidade natural de solos argilosos, que podem ser utilizados na cobertura diária dos resíduos. Embora fora do domínio urbano, esse local se encontra próximo aos centros geradores de resíduos, o que diminui os custos com o transporte dos resíduos (CICLUS, 2019).

Entretanto, como aspecto negativo, esse terreno está localizado sob a região geológica da Bacia Sedimentar de Sepetiba (INEA, 2017). A Figura 22 mostra a localização do aterro sob o aquífero, que tem boas condições de armazenamento e transmissão de água subterrânea (boa porosidade e permeabilidade), constituindo o sistema aquífero denominado Aquífero Piranema. De modo geral, um aquífero é uma formação geológica subterrânea que funciona como reservatório de água, sendo alimentado pelas chuvas que se infiltram no subsolo. São rochas com características porosas e permeáveis, capazes de reter e ceder água. Os aquíferos podem fornecer água para poços e nascentes em proporções suficientes, servindo como fontes de abastecimento.

O Aquífero Piranema, especificamente, constitui a principal fonte de água subterrânea da região, e apresenta importantes características, podendo ser considerada uma reserva estratégica. Por se tratar de um aquífero essencialmente livre, o Piranema pode ser caracterizado por grandes flutuações de nível da superfície freática ao longo dos períodos sazonais (diferentes regimes de chuva). Além disso, suas dinâmicas física e química são modificadas também pelas diversas atividades humanas existentes na região (Portal Seropédica, 2011).

Figura 22 - Aterro sob Aquífero Piranema



Fonte: Audiência Pública do CTR RIO (2008)

### 6.3.2 Estações de Transferência de Resíduos (ETRs)

As Estações de Transferência de Resíduos consistem em uma operação logística de recebimento e transferência dos resíduos. Nas ETRs ocorre a transferência dos resíduos para veículos com maior capacidade de transporte. Na Figura 23, pode ser observado como se dá o fluxo de resíduos no Rio de Janeiro.

Na cidade do Rio de Janeiro, antes de chegar ao CTR de Seropédica, o lixo passa pelos caminhões que o recolhem na cidade e pelas estações de transferência. Das estações, carretas carregadas levam os resíduos até o centro. Chegando lá, o lixo é pesado e classificado antes de

alcançar o destino final. Por segurança, todo o conteúdo reunido no CTR deve ser coberto em no máximo 24h, evitando a proliferação de insetos e de roedores e a presença de urubus.

Vantagens das ETRs:

- Otimização da coleta de resíduos domiciliar;
- Melhoria do tráfego nas vias públicas;
- Redução do consumo de combustível;
- Redução dos impactos ambientais, pois são menos veículos liberando gases de efeito estufa na atmosfera;
- Geração de empregos diretos.

Figura 23 - Fluxo de Resíduos no Rio de Janeiro



Fonte: Ciclus Ambiental

### 6.3.3 A proteção do solo

Durante a operação da CTR de Seropédica, a cobertura diária das células de resíduos é realizada com uma camada de solo de 50 cm de espessura. O solo utilizado como camada de cobertura intermediária foi classificado como areia siltosa, contendo 60,0% de areia, 30,0% de silte e 10,0% de argila, com índice de plasticidade de 22,1% (JOAQUIM JR. et al., 2015).

A proteção do solo é garantida por um sistema de impermeabilização completo. Entre o solo e o resíduo, há várias camadas de proteção. A Figura 24 mostra as seções de camadas

adotadas no Centro de Tratamento de Resíduos de Seropédica. Analisando essa figura, destaca-se que as tecnologias empregadas, como a tripla camada de impermeabilização do solo feita com mantas geossintéticas reforçadas de polietileno de alta densidade (PEAD) e sensores ligados a um software que indica qualquer anormalidade no solo (CICLUS, 2019).

Figura 24 - Camadas de proteção no aterro sanitário de Seropédica/RJ



Fonte: Ciclus Ambiental, 2019.

As camadas de proteção no aterro sanitário de Seropédica serão descritas a seguir:

1. Plantio de vegetação para proteção contra erosão utilizada após a última camada do aterro.
2. As células de lixo compactado, recebem diariamente uma camada de cobertura sobre os resíduos de 30 cm de argila que impedem a proliferação de vetores e

espalhamento de papéis e poeira, pelo vento; e diminuem a infiltração de líquidos para o interior do aterro, drenando as águas pluviais superficiais.

3. Depósito de resíduos
4. Sistema de drenagem de gases e líquidos com Geodrenos colocados nas células de resíduos para captação do chorume e gases formados. Através de drenos horizontais e verticais, permite-se a dissipação dos gases e a condução dos líquidos percolados aos sistemas de reserva e tratamento.
5. Impermeabilização primária com Geomembrana de PEAD de 2mm de espessura, que impede que o chorume entre em contato com o solo e, conseqüentemente, contamine o lençol freático. O PEAD não sofre ataque de produtos químicos encontrados na água, esgoto ou chorume; além de possuir alta resistência mecânica.
6. Rede de sensores ligados a um software que indica qualquer anormalidade no solo. Os dados são analisados por esse software específico de computador, que gera gráficos e relatórios a partir dos resultados do monitoramento. Por causa de sua alta sensibilidade, os eletrodos são capazes de detectar qualquer perfuração da Geomembrana. Essa tecnologia, que é inédita na América Latina, foi trazida dos Estados Unidos e está sendo instalada por técnicos americanos.
7. Aplicação da Manta Geotêxtil que atua como elemento filtrante. O filtro geotêxtil evita a colmatação dos drenos de emergência de captação e remoção do chorume.
8. Sistema de Geodrenos de emergência, para detectar e drenar eventuais vazamentos que possam ocorrer no sistema de impermeabilização. Este sistema de drenagem será formado por geotubos perfurado de PEAD e envelopados com manta geotêxtil dentro de uma camada de areia de 20 cm, que também atua como elemento filtrante.
9. Impermeabilização secundária com Geomembrana de PEAD de 1,5mm de espessura.
10. Aplicação de Geocompostos Argilosos para barreira impermeabilizante (GCL), usado como barreira hidráulica. Instalado em baixo da geomembranas de PEAD, no fundo e nos taludes do aterro, pois caso haja uma perfuração na geomembrana, o fluxo do vazamento é bem inferior.
11. Camada de argila compactada de 50 cm de espessura.

12. Locação de Geodrenos de controle de gradiente no terreno natural, com o intuito de controlar o nível do lençol freático na base do aterro.
13. Lençol freático.

Além disso, o CTR conta com uma rede de poços de monitoramento que permite avaliar as propriedades das águas subterrâneas, verificando se há contaminação. Os recursos de controle de qualidade ambiental aplicados no aterro de Seropédica tendem a se tornar referência até para os órgãos ambientais.

#### **6.3.4 Tratamento do biogás**

Composto por cerca de 50% de metano, gás altamente poluente, o biogás é um dos principais poluentes gerados pela decomposição do lixo, colaborando com o efeito estufa. No Centro de Tratamento de Resíduos de Seropédica, o metano liberado é utilizado para geração de energia. Onde o gás captado no aterro é levado para seis rotogeradores com capacidade de absorver dois mil metros cúbicos do gás por hora. Como o biogás é altamente inflamável, ele é usado como combustível para os equipamentos, que geram energia. O aproveitamento bioenergético previsto para ser desenvolvido na CTR terá capacidade de gerar 30 MW de energia quando o empreendimento estiver em pleno funcionamento, o que corresponde à iluminação de uma cidade de 200 mil habitantes.

O biogás que não for aproveitado na geração de energia ou no processamento é drenado e direcionado para ser queimado em um aparelho chamado flare, um cilindro que queima o biogás e transforma o metano em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que é 25 vezes menos poluente, gerando uma redução significativa de emissões de gases do efeito estufa.

#### **6.3.5 Tratamento do chorume**

O tratamento do chorume, um dos principais passivos da má gestão de resíduos, também ganha tecnologia inovadora com a implantação da CTR. O fim do problema é dado através da Estação de Tratamento de Chorume (ETC), que transforma o líquido tóxico em água de reuso. Ao todo, quando estiver em pleno funcionamento, dois mil metros cúbicos do efluente serão tratados por dia. Depois de tratado, o líquido clarificado se torna um produto: a água de reuso, que pode ser usada de diversas formas pela empresa ou até como água de serviço em processos industriais. Já o concentrado obtido nas etapas de filtração passa por um processo de oxidação avançada. Todo o lodo tratado, após a desidratação, retorna para o aterro como resíduo sólido.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise realizada possibilitou o entendimento de que a aplicação de geossintéticos constitui atualmente uma solução racional, econômica e prática na configuração dos sistemas de deposição de resíduos.

A facilidade de aplicação, o baixo custo e a versatilidade desses materiais, torna-os bastante atraentes quando comparados com os materiais granulares tradicionalmente usados para impermeabilização e proteção dos aterros sanitários, como argilas, areia e brita.

Além disso, a utilização de geossintéticos no aterro de Seropédica veio conferir também uma maior confiança na população em relação à deposição e armazenamento dos resíduos na região, visto que o aterro está posicionado sobre o aquífero de Piranema, a principal fonte de água subterrânea da região. Visto que a aplicação desses materiais nas camadas de proteção do aterro proporcionam menores chances de contaminação das águas subterrâneas e do solo. E isso vem protagonizando mudanças ambientais de impacto positivo na região.

Destacam-se ainda as tecnologias empregadas, como a tripla camada de impermeabilização do solo feita com mantas geossintéticas reforçadas de polietileno de alta densidade (PEAD) e sensores ligados a um software que indica qualquer anormalidade no solo. Os recursos de controle de qualidade ambiental com a aplicação desses materiais no aterro de Seropédica tende a se tornar referência para empresas privadas e até para os órgãos ambientais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-8419: Apresentação de Projetos de Aterros Sanitários de Resíduos Sólidos - Procedimento**. Rio de Janeiro, p. 13, 1992
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10.006: Solubilização de Resíduos - Procedimentos**. São Paulo, p. 63, 1997.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10.004: Resíduos Sólidos**. São Paulo, p. 71, 2004.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-9863: Geossintéticos – método de ensaio para a determinação da massa por unidade de área de geotêxteis e produtos correlatos**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-10319: Geossintéticos – Ensaio de tração faixa larga**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR-12236: Geossintéticos – Ensaio de puncionamento estático (punção CBR)**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2010. São Paulo, 2010.
- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2014. São Paulo, 2014.
- ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais**. Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil- 2017. São Paulo, 2017.
- ALVES, M. C. M.; BELTRÃO, K.G.Q.B.; JUCÁ, J.F.T **Resíduos Sólidos: Projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: Guia do profissional em treinamento: Nível 2**, ReCESA, Salvador, 2008.
- ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; NÓBREGA, C. C.; GADELHA, C. L. M.; SOUZA, I. M. F.; FAGUNDES, G. S. **Efeito do Antigo Lixão do Róger. João Pessoa, Brasil, na qualidade da água subterrânea local**. *Amibi-Agua*, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 142-155 2009
- BIDONE, F. R. A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coletas Especiais**. Rio de Janeiro: Rima, p. 45, 2001.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, p. 313, 2015.
- BRASIL. Câmara dos deputados, **PL 2289/2015**, Brasília, 2015. Disponível em:<<http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/fichadetramitacao?idProposicao=1555331>>. Acesso em: 28 fev. 2019.

BUENO, B. S. **Propriedades, Especificações e Ensaio**s. Anais IV Congresso Brasileiro de Geossintéticos e V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental. Porto Alegre, 2009.

BUENO, B. S.; BENVENUTO, C.; VILAR, O. M. **Aplicações em barreiras impermeabilizantes**. Em: Manual Brasileiro de Geossintéticos [S.l: s.n.], 2004.

CARVALHO, M. F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) -Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

CEMPRE. **Lixo municipal**. Manual de gerenciamento integrado. 3ª edição, São Paulo, 2010.

CICLUS AMBIENTAL. **Sistemas de proteção ambiental em um aterro sanitário**. Disponível em: < [http://www.ciclusambiental.com.br/ciclus\\_ctr.php](http://www.ciclusambiental.com.br/ciclus_ctr.php) >. Acesso em 24 de Abril de 2019.

CNM. **Confederação Nacional de Municípios**. Observatório dos Lixões. 2016. Disponível em: <[www.lixoes.cnm.org.br](http://www.lixoes.cnm.org.br)>. Acesso em: 16 de março de 2019.

COMLURB - **Companhia Municipal de Limpeza Urbana**. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb/exibeconteudo?article-id=2408276>>. Acesso em 24 de abril de 2019.

DUARTE, A.S. **Aplicação de Geossintéticos na Impermeabilização e Selagem de Aterros**. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2009.

ENGEPOL. **Manual de Geossintéticos**. 4 ed. Barueri/SP: Engepol Geossintéticos Ltda, 2012. Disponível em: <<http://www.engepol.com/resources/pdf/catalogo/manual-geossinteticos-engepol.pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

FARIA, M. **Biogás produzido em aterros sanitários, aspectos ambientais e aproveitamento do potencial energético**. Monografia de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético do Instituto de Eletrotécnica e Energia). Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil., 2010.

FEAM. FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações Básicas para a Operação de Aterro Sanitário**. Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte, 2006.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, Brasil, 2007

GEOFOCO. **Reforço de solo com geogrelha**. Disponível em: <http://geofoco.com.br/reforco-de-solo-com-geogrelha-2/>. Acesso em: 20 de abril de 2019.

GOMES, L. M. F. Geotêxteis e suas aplicações. Artigo científico apresentado em seminário – Universidade da Beira Interior. Covilhã, Portugal, 2001.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Monitoramento de Qualidade da Água**. Disponível em:

[http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter\\_vpres\\_geiat/documents/document/zwew/m tq4/~edisp/inea0148993.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_vpres_geiat/documents/document/zwew/m tq4/~edisp/inea0148993.pdf). Acesso em: 23 de abril de 2019

INOVAGEO. **Geocomposto Drenante**. São Paulo, 2014 Disponível em:

<http://inovageo.eng.br/produtos/geocomposto-drenante/>. Acesso em: 03 de mar. 2019.

JOAQUIM JR., G.O.; RITTER, E.; CAMPOS, J.C.; FIGUEIREDO, G.C. **Curva de Retenção de Água e Condutividade Hidráulica Saturada em Solos Compactados para Cobertura Final de Resíduos Sólidos em Aterros Sanitários**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 7. 2015.

KOERNER, R. M. **Designing with Geosynthetics**, 4th Ed., Prentice Hall Inc., New Jersey, p. 775, 1998.

KOERNER, R. M. **Designing with Geosynthetics** (5ª Edição Ed.). Pearson Education, Inc. New Jersey, 2005.

LAGREGA, M.D.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J.C. **The environmental resources management group**. Hazardous waste management. 1 ed. Singapore: McGraw-Hill International Editions, p. 1146, 2001.

Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos**. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF: Imprensa Nacional. Disponível em:

[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 22 fev. 2019.

LEITE, W. C. A. **Estudo do comportamento da temperatura, pH e teor de umidade na decomposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários**. São Paulo, 1991. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1991.

LOPES, M. P.; LOPES, M. L. A. **Durabilidade dos Geossintéticos**. FEUP Edições, p. 294, Porto, 2010.

MAIA, I. S. **Avaliação da degradação de propriedades mecânicas de geomembranas de PEAD e PVC**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

MACCAFERRI. Manual Técnico: **Critérios gerais para projeto, especificação e aplicação de geossintéticos**. São Paulo, Brasil, 2008

MARTINHO, M. G. M.; GONÇALVES, M. G. P. **Gestão de resíduos**. Lisboa: Universidade Aberta, p. 281, 2000.

MUNOZ, C. S. **Desempenho de geotêxteis na filtração de solos internamente instáveis**. Tese de mestrado – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, p. 119, 2005.

NP EN ISO 10318. **Geossintéticos - Termos e definições**. Porto, 2016.

NORTENE. Disponível em: <<https://nortene.com.br/geossinteticos/>>. Acesso em: 19 março. 2019

PARANHOS H. **Notas de Aula de Geotecnia Ambiental** – Universidade Católica de Brasília. Geossintéticos. Brasília, Brasil, 2013

PIMENTEL, K.C.A. **Tubulações Pressurizadas em Aterros Reforçados com Geossintéticos**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, p. 213, 2003.

Relatório de impacto ambiental: **Central de Tratamento de Resíduos Santa Rosa – Seropédica – RJ**. Rio de Janeiro, 2007.

RIO DE JANEIRO. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro (PMGIRS/RJ)**. Diagnóstico. Rio de Janeiro: Prefeitura, 2012.

SILVA, K. T. **Projeto de um Aterro Sanitário de Pequeno Porte**. Projeto de conclusão de curso de graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (International Geosynthetic Society – IGS) Disponível em: <<http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/4.pdf>>. Acesso em 10 mar. 2019.

SUZUKI, D. K. **Verticalização de aterros sanitários por meio de reforço com geogrelhas e diques periféricos alteados pelo método de montagem**. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

VERTEMATTI, J. C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. ABINT. São Paulo, Brasil, 2004

VIDAL, D. **Geossintéticos: Terminologia e Normalização de Geossintéticos**. Seminário Sobre Aplicações de Geossintéticos em Geotecnia, GEOSSINTÉTICOS, UnB, Brasília, DF, p. 21-34, 1992

YIN, J. H., SHUKLA, S. K. **Fundamentals of Geosynthetic Engineering**. Taylor & Francis, 2006.

ZORNBERG, J. G.; BOUAZZA, A., MCCARTNEY, J. S. **Geosynthetic capillary barriers: current state of knowledge**. *Geosynthetics International*. Vol. 17, p. 273-300. 2010.