



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO**

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE GEOMEMBRANAS NAS OBRAS  
DE ATERROS SANITÁRIOS EM DETRIMENTO DAS ARGILAS**

**RAFAEL DE OLIVEIRA COUTINHO**

**JOÃO PESSOA – PB**

**2020**

RAFAEL DE OLIVEIRA COUTINHO

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE GEOMEMBRANAS NAS OBRAS  
DE ATERROS SANITÁRIOS EM DETRIMENTO DAS ARGILAS**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Engenheiro Civil.

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

João Pessoa – PB

2020

## FICHA CATALOGRÁFICA

C871a Coutinho, Rafael de Oliveira.

Avaliação da utilização de geomembranas nas obras de aterros sanitários em detrimento das argilas./ Rafael de Oliveira Coutinho - João Pessoa: UFPB, 2020.

53f.: il.

Orientador: Profa. Dra. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – CT/UFPB.

1. Geomembranas 2. Argilas 3. Aterro Sanitário 4. Liners I. Título.

UFPB/CT/BS

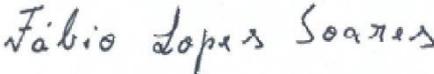
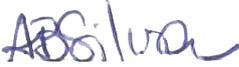
CDU: 679.861(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

RAFAEL DE OLIVEIRA COUTINHO

### AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE GEOMEMBRANAS NAS OBRAS DE ATERROS SANITÁRIOS EM DETRIMENTO DAS ARGILAS

Trabalho de Conclusão de Curso em 04/12/2020 perante a seguinte Comissão Julgadora:

 <hr/> <p>Prof.ª. Dr.ª. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes (Orientadora) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB</p>	<hr/> <p>APROVADO</p>
 <hr/> <p>Prof. Dr. Clóvis Dias Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB</p>	<hr/> <p>APROVADO</p>
 <hr/> <p>Prof. Dr. Fábio Lopes Soares Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB</p>	<hr/> <p>APROVADO</p>
 <hr/> <p>Prof.ª. Andrea Brasiliano Silva Matrícula Siape: 1549557 Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil</p>	

*Dedico este trabalho à memória de meu avô, José Francisco. Responsável por diversas “engenharias” ao longo de sua vida, deixou vários ensinamentos e uma saudade imensurável nos diversos amigos e familiares. Também dedico este trabalho aos meus pais pelo empenho e determinação que me permitiram chegar até aqui.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade de ingressar e concluir esse curso tão fantástico e difícil, bem como pela força a mim dada em tantas oportunidades onde tudo parecia estar perdido. Agradeço, também, pelas inúmeras bênçãos que me foram concedidas e por ser meu refúgio em vários momentos tanto de tristeza quanto de alegria.

Aos meus pais, Simone Maria e Reginaldo Coutinho, por todo o amor, cuidado, dedicação, por me apoiarem em todos os meus sonhos e ajudarem a conquistar todos eles, por serem exemplos de honestidade e justiça, por batalharem e não desistirem do meu sonho de me graduar após momentos difíceis logo no início do curso. Sem vocês eu não teria chegado até aqui.

À minha avó, Maria José (Dona Zita), e ao meu avô, José Francisco (Seu Zequinha – *in memoriam*), pelos ensinamentos e todo carinho que os avós têm por seus netos. Também sou grato aos demais parentes que contribuíram direta ou indiretamente para a minha formação pessoal e profissional.

Aos meus amigos, principalmente Emanuel, ombro amigo em várias situações adversas. Àqueles que fizeram parte diretamente da minha vida universitária e foram essenciais nos momentos mais difíceis da graduação; rir dos nossos próprios tropeços após os ocorridos fizeram muita diferença. Aos “Russos”, grupo formado por amigos desde a época do ensino médio, que são praticamente minha segunda família e, com certeza, fazem parte de um seleto grupo de amigos que tenho. Vocês foram imprescindíveis ao longo dessa trajetória.

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 e aos professores Clóvis Dias e Fábio Lopes Soares por aceitarem a participação na banca examinadora. Obrigado pelos ensinamentos acadêmicos e lições de vida.

À Universidade Federal da Paraíba que, apesar dos empecilhos, me ofereceu um ambiente de estudo agradável, onde considerei como minha segunda casa.

*“A viga é feita de momentos, sim, a vida”.*

*- Estudantes de Engenharia*

## RESUMO

Esse estudo avalia a possibilidade de se utilizar geomembranas em aterros sanitários substituindo, em partes, as argilas que são frequentemente utilizadas. Geomembranas são tipos de geossintéticos, que por sua vez, são produtos poliméricos, sintéticos ou naturais, desenvolvidos para desempenhar funções como reforço, filtração, impermeabilização, etc. A principal função das geomembranas é a impermeabilização, ou seja, a capacidade de prevenir ou bloquear a migração de fluidos, sejam eles líquidos ou gases, para fora ou para dentro de um determinado sistema ou obra. As geomembranas atuam como liners 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. Na fundamentação teórica é feito um estudo sobre os geossintéticos, os tipos e suas respectivas funções, resíduos sólidos urbanos, bem como sua geração e coleta no país, além da destinação adotada pelos municípios brasileiros. O estudo também aborda, de forma mais aprofundada, os aterros sanitários, o que são e os tipos de liners, as argilas e as geomembranas. Em suma, o estudo é feito avaliando-se as vantagens e desvantagens tanto das argilas quanto das geomembranas, bem como a análise de dois casos de obras. Por fim, observou-se que as geomembranas são, quando manuseadas com cuidado, bastante eficientes. Além disso, fica evidente que o emprego de geomembranas é mais que necessário para um aterro sanitário mais seguro e ambientalmente adequado.

**Palavras-chave:** Geomembranas. Argilas. Aterro sanitário. Liners.

## **ABSTRACT**

This study aims to evaluate the possibility of using geomembranes in landfill sites partially replacing the clays that are frequently used. Geomembranes are types of geosynthetics, which in turn are polymeric, synthetic or natural products, developed to perform functions such as reinforcement, filtration, waterproofing and so forth. The main function of geomembranes is waterproofing, which is the ability to prevent or block the migration of fluids, whether liquids or gases, out or into a given system or building. Geomembranes act as liners which are devices used to retain the percolation of liquid as much as possible so they do not reach the waters and natural soil. On the theoretical basis, a study is made based on geosynthetics, types and their respective functions, urban solid waste, as well as their generation and collection in the country, in addition to the destination adopted by Brazilian municipalities. The study also addresses, in more detail, landfills, what they are and the types of liners, clays and geomembranes. In short, the present study was done by evaluating the advantages and disadvantages of both clays and geomembranes, as well as the analysis of two building cases. Finally, it was observed that geomembranes are quite efficient when handled carefully. Besides, it is evident that the use of geomembranes is more than necessary for safer and more eco-friendly landfill sites.

**Keywords:** Geomembranes. Clays. Landfill. Liners.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Exemplo de alguns tipos de geotêxteis .....	18
Figura 02 - Exemplo de geogrelhas .....	18
Figura 03 - Exemplo de georrede .....	19
Figura 04 - Exemplo de geomanta.....	19
Figura 05 - Exemplo de geocélula.....	20
Figura 06 - Exemplo de geoespaçador .....	20
Figura 07 - Exemplo de geocomposto.....	21
Figura 08 - Exemplo de geomembrana.....	21
Figura 09 - Participação das regiões no total de RSU coletados .....	26
Figura 10 - Estrutura de um aterro sanitário.....	27
Figura 11 - Aterro sanitário de Chapecó/SC .....	29
Figura 12 - Aterro sanitário de Curitiba/PR .....	29
Figura 13 - Sistemas de liners de base para aterros de RSU segundo alguns países.....	34
Figura 14 - Configuração do sistema de cobertura.....	34
Figura 15 - Configuração do sistema basal .....	35
Figura 16 - Sistemas de contenção para resíduos não perigosos.....	36
Figura 17 - Sistemas de contenção para resíduos perigosos.....	36
Figura 18 - Diversas aplicações das geomembranas .....	40
Figura 19 - Aplicações de geomembranas na área ambiental .....	41
Figura 20 - Aplicações de geomembranas na área geotécnica .....	42
Figura 21 - Foto aérea do Aterro Bandeirantes .....	44
Figura 22 - Disposição dos geradores e flares .....	44
Figura 23 - Detalhe do local de instalação da geomembrana .....	45
Figura 24 - Obra após instalação da geomembrana.....	46
Figura 25 - Colocação da geomembrana sobre o aterro .....	49
Figura 26 - Geomembrana já instalada sobre o aterro.....	49
Figura 27 - Vista lateral do resultado final .....	49

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 - Principais geossintéticos e suas respectivas funções.....	22
---	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 - Geração de RSU no Brasil .....	24
Gráfico 02 - Coleta de RSU no Brasil .....	25
Gráfico 03 - Disposição final de RSU, por tipo de destinação (toneladas/dia) .....	30
Gráfico 04 - Disposição final de RSU coletados no Brasil (toneladas/ano).....	30
Gráfico 05 - Resultados obtidos após instalação da geomembrana .....	46

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 01 - Quantidade de RSU coletada nas regiões e no Brasil .....	25
Tabela 02 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada .....	31
Tabela 03 - Alguns valores típicos de coeficiente de permeabilidade .....	38

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

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

CCL - Camada de Argila Compactada

CTG - Comitê Técnico de Geossintéticos

CTR - Central de Tratamento de Resíduos

FST - Fissuramento Sob Tensão

GCL - Geocomposto argiloso

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ISO - Organização Internacional para Padronização

NBR - Norma Brasileira

PE - Polietileno

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PVC - Policloreto de Vinila

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SISNAMA - Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SRHU - Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

USEPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

UV - Ultravioleta

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	17
2.1 Objetivo Geral .....	17
2.2 Objetivos Específicos .....	17
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	17
3.1 Geossintéticos .....	17
3.2 Resíduos Sólidos .....	23
3.3 Aterros Sanitários .....	27
3.4 Sistemas de impermeabilização ( <i>liners</i> ) .....	32
3.5 Argilas .....	37
3.6 Geomembranas .....	39
<b>4. CASOS DE OBRAS</b> .....	43
4.1 Caso 1 .....	43
4.1.1 Descrição da obra .....	43
4.1.2 Metodologia aplicada .....	45
4.1.3 Resultados .....	46
4.2 Caso 2 .....	47
4.2.1 Descrição da obra .....	47
4.2.2 Metodologia aplicada .....	48
4.2.3 Resultados .....	48
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	50
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	50

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia, materiais convencionais em obras da Engenharia Civil estão perdendo espaço para materiais alternativos, como, por exemplo, os geossintéticos. A NBR ISO 10318-1:2018 define os geossintéticos como produtos poliméricos (sintéticos ou naturais) desenvolvidos para desempenhar funções como reforço, filtração, drenagem, separação, proteção, impermeabilização e controle de erosão superficial.

Os geossintéticos são formados basicamente por polímeros e, em menor quantidade, por aditivos cuja função é melhorar o processo de fabricação ou modificar aspectos do comportamento do polímero base. Os geossintéticos podem desempenhar várias funções em um projeto de engenharia, como separação entre materiais distintos, drenagem de líquidos e gases, reforço, impermeabilização, etc. (VERTEMATTI, 2004).

Os geossintéticos surgiram como materiais de engenharia interessantes em uma ampla gama de aplicações como transporte, geotécnica, meio ambiente e hidráulica, embora todas as atividades relacionadas ao solo, rocha e água subterrânea caiam no escopo geral das várias aplicações. Além disso, a rapidez com que os produtos relacionados estão sendo desenvolvidos e usados é simplesmente surpreendente. (KOERNER, 2005).

A aplicação de geossintéticos é recente na Engenharia Civil, sendo atualmente bastante estudada na área geotécnica. Destaca-se, desse modo, a importância da aplicação de materiais inovadores na solução de problemas geotécnicos, ressaltando a necessidade de estudos de custo-benefício e eficácia. (COSTA, B.; COSTA, M.; GONZAGA, 2019).

A utilização de geossintéticos é recente na engenharia geotécnica, tendo se iniciado em meados dos anos de 1960. A partir daí vem apresentando um crescimento contínuo, com destaque para os últimos anos. (KOERNER; SOONG, 1997).

No Brasil, o primeiro geossintético foi introduzido em 1971 e, apesar do contexto socioeconômico pouco estável, o desenvolvimento de pesquisas acadêmicas, a aplicação e mercado dos geossintéticos, a formação de profissionais, bem como o desenvolvimento de novos produtos têm superado as expectativas. (VERTEMATTI, 2015).

Atualmente os geossintéticos têm sido utilizados em diversos tipos de obras na engenharia. A facilidade no processo de instalação junto à versatilidade em poder desempenhar várias funções, além do elevado controle de qualidade de fabricação do produto têm propiciado sua utilização em obras de engenharia desde a década de 50. (COSTA et al., 2015).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste trabalho é estudar os geossintéticos, suas respectivas funções, seu contexto histórico e os tipos de obras onde são aplicados.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Avaliar a utilização de geomembranas nas obras de aterros sanitários para substituir parcialmente as argilas que são empregadas em tais obras;
- Avaliar as vantagens e desvantagens de cada material em questão;
- Analisar os resultados de dois casos de obras onde as geomembranas foram utilizadas.

## **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **3.1 Geossintéticos**

Segundo Palmeira (2018) entende-se por geossintético, de forma resumida, o produto constituído por polímeros utilizado em obras geotécnicas e de proteção ambiental. Geotecnia, por sua vez, é a aplicação de métodos científicos e princípios de engenharia para a aquisição, interpretação e uso do conhecimento dos materiais terrestres para a solução de problemas de engenharia. (SANTOS; DAIBERT, 2014).

Existem vários tipos de geossintéticos e várias funções desempenhadas por eles. A seguir são listados alguns exemplos de geossintéticos, conforme denominações da NBR ISO 10318-1:2018. São eles:

- Geotêxtil: material têxtil plano, permeável, polimérico, sendo sintético ou natural, podendo ser não-tecido, tricotado ou tecido, utilizado em contato direto com o solo ou outros materiais em aplicações das engenharias geotécnica e civil (Figura 01);

Figura 01 - Exemplo de alguns tipos de geotêxteis



Fonte: Adaptado de Vertematti, 2004

- Geogrelha: estrutura polimérica plana, constituída por uma malha aberta e regular de elementos de tração totalmente conectados, que podem ser unidos por extrusão, solda ou entrelaçamento, e cujas aberturas apresentadas são maiores do que suas partes constituintes (Figura 02);

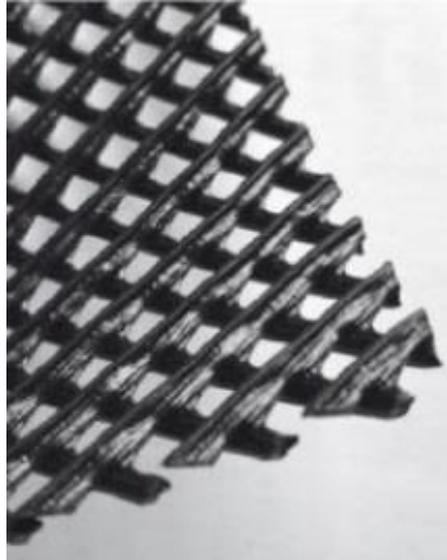
Figura 02 - Exemplo de geogrelhas



Fonte: Palmeira, 2018

- Georrede: material constituído por conjuntos de elementos paralelos, em superposição, e completamente conectados a outros elementos similares a vários ângulos (Figura 03);

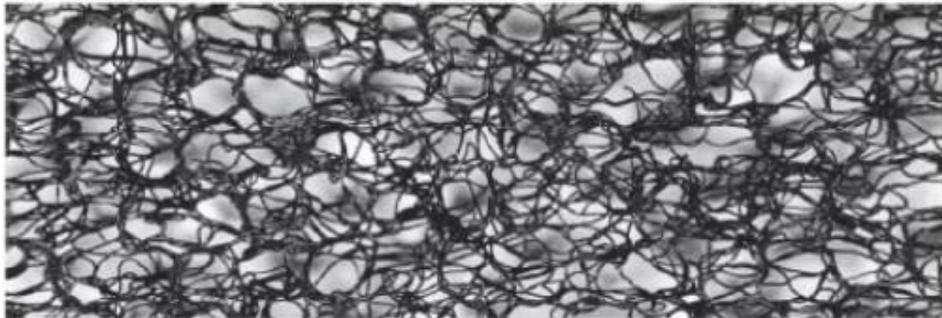
Figura 03 - Exemplo de georrede



Fonte: Adaptado de Palmeira, 2018

- Geomanta: estrutura tridimensional permeável, composta por filamentos únicos e poliméricos e/ou outros elementos, sintéticos ou naturais, ligados entre si mecanicamente, termicamente, quimicamente, etc. (Figura 04);

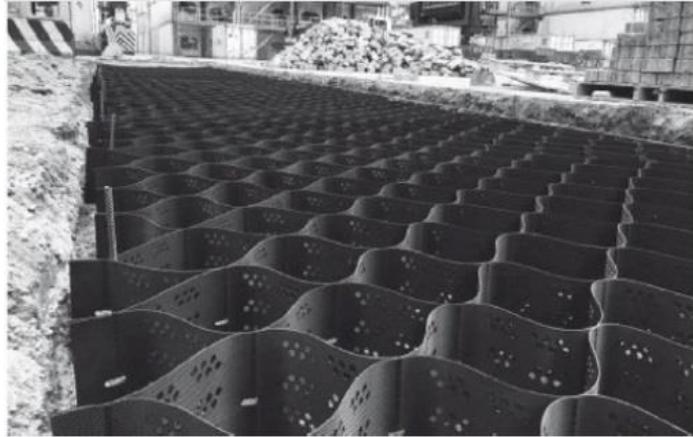
Figura 04 - Exemplo de geomanta



Fonte: Palmeira, 2018

- Geocélula: fibra tridimensional, permeável, polimérica (sintética ou natural), ou estrutura celular semelhante; feita de ligações entre geossintéticos (Figura 05);

Figura 05 - Exemplo de geocélula



Fonte: Palmeira, 2018

- Geoespaçador: estrutura formada por polímeros, tridimensional e com espaços de ar que se interconectam, sendo utilizada em contato com o solo e/ou outros materiais em aplicações da engenharia geotécnica e civil (Figura 06);

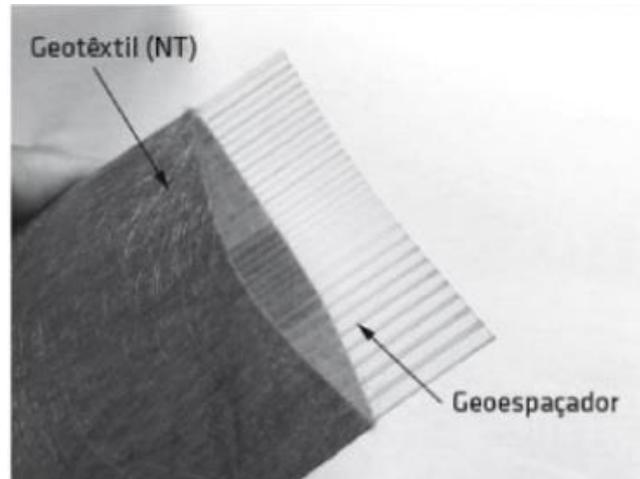
Figura 06 - Exemplo de geoespaçador



Fonte: Adaptado de Palmeira, 2018

- Geocomposto: material fabricado e montado onde, ao menos, um de seus constituintes é um produto geossintético (Figura 07);

Figura 07 - Exemplo de geocomposto



Fonte: Palmeira, 2018

- Geomembrana: estrutura constituída de materiais geossintéticos, produzida de forma industrial com o formato de uma lâmina, na qual a função barreira é essencialmente desempenhada pelos polímeros que a constituem (Figura 08).

Figura 08 - Exemplo de geomembrana

Fonte: <https://www.passeidireto.com/arquivo/68097458/aula-1-geossinteticos>

Os geossintéticos podem desempenhar, além de suas funções primárias, funções secundárias e, até mesmo, terciárias. Por exemplo, um geotêxtil colocado em solo mole normalmente será projetado com base em sua capacidade de reforço, mas a separação e a filtração podem, certamente, ser considerações secundárias e terciárias. Uma geomembrana é, obviamente, usada por sua capacidade de contenção, mas a separação sempre será uma função secundária. (KOERNER, 2005).

As principais funções desempenhadas pelos geossintéticos são descritas a seguir. São elas:

- **drenagem:** coleta e condução de águas pluviais e subterrâneas, além de outros fluidos no plano de um material geossintético (NBR ISO 10318-1:2018);
- **filtração:** o geossintético funciona como filtro de um sistema drenante em obras geotécnicas e geoambientais, de forma semelhante a filtros granulares convencionais. O mesmo também pode ser utilizado como elemento filtrante para a redução do potencial poluente de lixiviados e resíduos (PALMEIRA, 2018);
- **impermeabilização:** a camada de geossintético tem a função de barrar ou minimizar a passagem de fluidos ou gases. Tal aplicação é de extrema importância em obras de proteção ambiental e em obras hidráulicas (PALMEIRA, 2018);
- **separação:** colocação de um têxtil poroso flexível entre materiais diferentes de modo que a integridade e o funcionamento de ambos possam permanecer intactos ou serem melhorados (KOERNER, 2005);
- **proteção e controle de erosão:** o geossintético é utilizado para proteger uma camada de solo contra a erosão ou para proteger outra camada de geossintético contra danos mecânicos, por exemplo (PALMEIRA, 2018);
- **reforço:** utilização de um geossintético para melhorar o comportamento mecânico do solo ou de outros materiais de construção (NBR ISO 10318-1:2018).

Os principais geossintéticos, bem como suas funções, estão indicados no Quadro 01.

Quadro 01 - Principais geossintéticos e suas respectivas funções

Geossintético	Aplicação						
	Reforço	Filtração	Drenagem	Proteção	Separação	Impermeabilização	Controle de erosão
Geotêxtil	✓	✓	✓	✓	✓		✓
Geogrelhas	✓						
Geomembrana					✓	✓	
Geocélula	✓						✓
Geomantas						✓	✓
Geocompostos	✓		✓			✓	
Geobarras	✓						
Geoespaçadores			✓				
Geotiras	✓						
Georredes			✓				
Geotubos			✓				

Fonte: Adaptado de Koerner, 2005

### 3.2 Resíduos Sólidos

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei 12.305/10, 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.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, classifica os resíduos sólidos de duas formas. São elas:

I. quanto à origem:

- a) **resíduos domiciliares:** os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) **resíduos de limpeza urbana:** os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) **resíduos sólidos urbanos:** os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) **resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) **resíduos dos serviços públicos de saneamento básico:** os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) **resíduos industriais:** os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) **resíduos de serviços de saúde:** os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
- h) **resíduos da construção civil:** os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) **resíduos agrossilvopastoris:** os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) **resíduos de serviços de transportes:** os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) **resíduos de mineração:** os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;

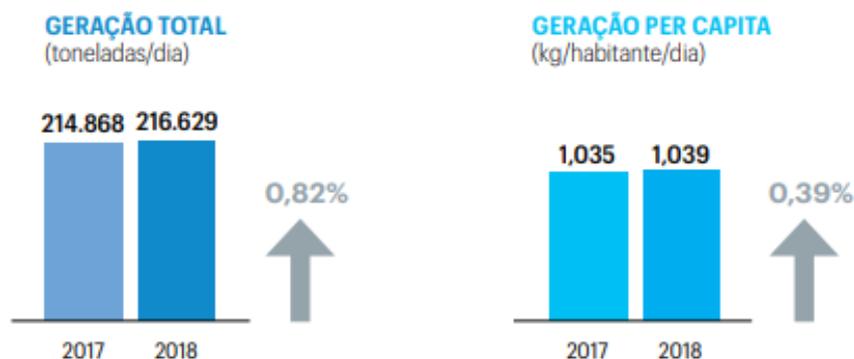
II. quanto à periculosidade:

- a) **resíduos perigosos:** aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) **resíduos não perigosos:** aqueles não enquadrados na alínea “a”.

Em 2018 foram geradas no Brasil 79 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), um aumento de pouco menos de 1% em relação ao ano anterior. Desse montante, 92% (72,7 milhões) foi coletado. Por um lado, isso significa uma alta de 1,66% em comparação a 2017, por outro, evidencia que 6,3 milhões de toneladas de resíduos não foram recolhidas junto aos locais de geração. A destinação adequada em aterros sanitários recebeu 59,5% dos resíduos sólidos urbanos coletados: 43,3 milhões de toneladas. O restante (40,5%) foi despejado em locais inadequados por 3.001 municípios. Ou seja, 29,5 milhões de toneladas de RSU acabaram indo para lixões ou aterros controlados que não contam com sistemas necessários para proteger a saúde das pessoas e o meio ambiente contra danos e degradações. (ABRELPE, 2019).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), entre 2017 e 2018, a geração de RSU no Brasil aumentou quase 1% e chegou a 216.629 toneladas diárias. Como a população também cresceu no período (0,40%), a geração per capita teve elevação um pouco menor (0,39%). Isso significa que, em média, cada brasileiro gerou pouco mais de 1 quilo de resíduo por dia. O Gráfico 01 ilustra essa situação.

Gráfico 01 - Geração de RSU no Brasil

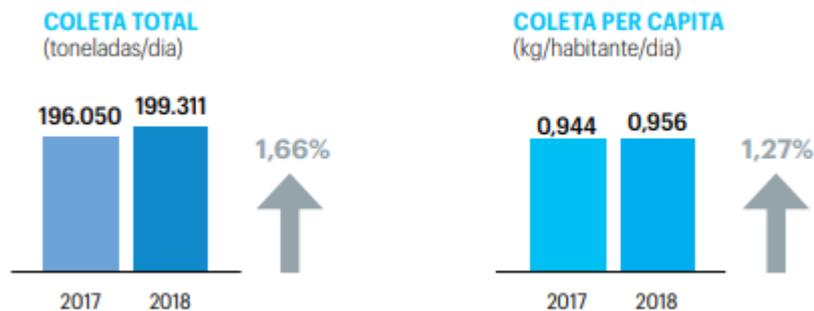


Fonte: ABRELPE, 2019

Sobre a coleta dos RSU, o volume coletado cresceu mais que a geração, atingindo 199.311 toneladas por dia. Houve expansão em todas as regiões do Brasil, com exceção do Nordeste (a única em que a população encolheu entre 2017 e 2018, segundo as estimativas do IBGE). (ABRELPE, 2019).

O Gráfico 02 ilustra a situação da coleta dos RSU no Brasil nos anos de 2017 e 2018.

Gráfico 02 - Coleta de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE, 2019

A Tabela 01 mostra a quantidade de resíduos coletada nas regiões do Brasil e no próprio país como um todo.

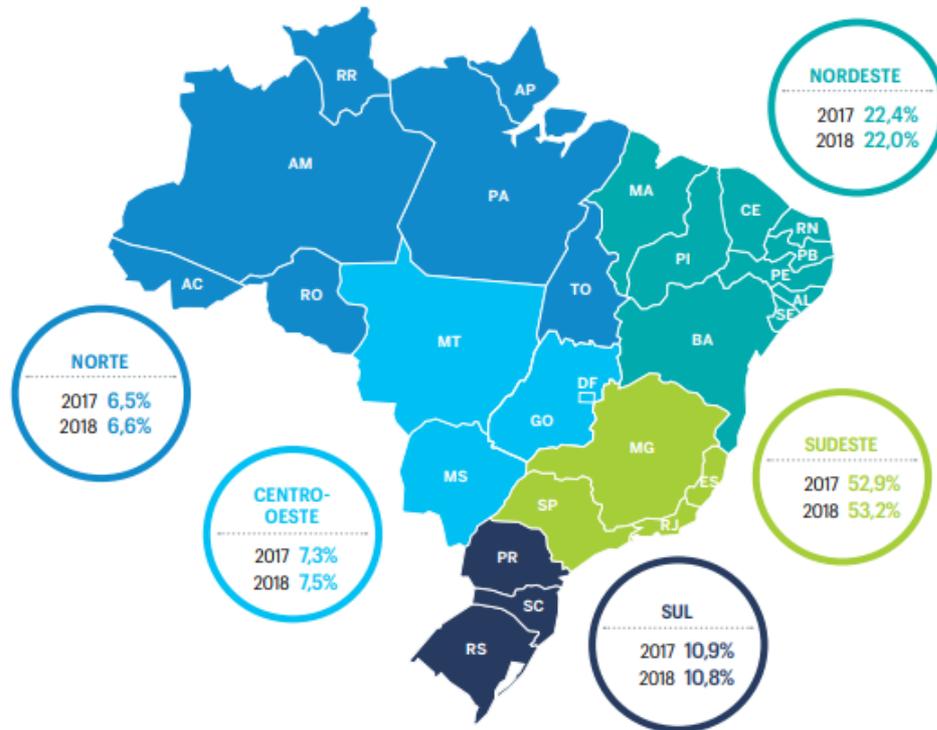
Tabela 01 - Quantidade de RSU coletada nas regiões e no Brasil

Regiões	2017	População 2018	2018
	RSU Total (toneladas/dia)		RSU Total (toneladas/dia)
Norte	12.705	18.182.253	13.069
Nordeste	43.871	56.760.780	43.763
Centro-Oeste	14.406	16.085.885	14.941
Sudeste	103.741	87.711.946	105.977
Sul	21.327	29.754.036	21.561
<b>BRASIL</b>	<b>196.050</b>	<b>208.494.900</b>	<b>199.311</b>

Fonte: ABRELPE, 2019

Por fim, a Figura 09 apresenta, através do mapa do Brasil, a participação das regiões no total de Resíduos Sólidos Urbanos coletados.

Figura 09 - Participação das regiões no total de RSU coletados



Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2019

Segundo a ABRELPE (2019) existem no Brasil diferentes formas de disposição final de RSU, como lixões, aterros controlados e aterros sanitários. A forma mais antiga e a que gera mais impacto à população e ao meio ambiente, segundo o IBGE (2011), é o lixão. Os aterros controlados também são considerados formas inadequadas de disposição final dos resíduos. (ABRELPE, 2019).

A diferença básica entre um aterro sanitário e um aterro controlado é que este último prescinde, ou seja, dispensa a coleta e tratamento do chorume, assim como da drenagem e queima do biogás. Especialistas alegam que um aterro controlado nada mais é do que um lixão melhorado, não sendo, portanto, a alternativa mais correta de disposição final de resíduos, sendo o aterro sanitário a forma mais adequada quando não há mais alternativas viáveis de revalorização. (GUARNIERI, 2011).

A formação de consórcios intermunicipais para solucionar a questão dos lixões foi impulsionada, em 2009, pela Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (SRHU) que ofereceu aos municípios brasileiros a implantação do Plano de Gestão Integrada de Manejo de Resíduos Sólidos, cujo objetivo era indicar as melhores soluções tecnológicas para o correto descarte do lixo doméstico. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2010).

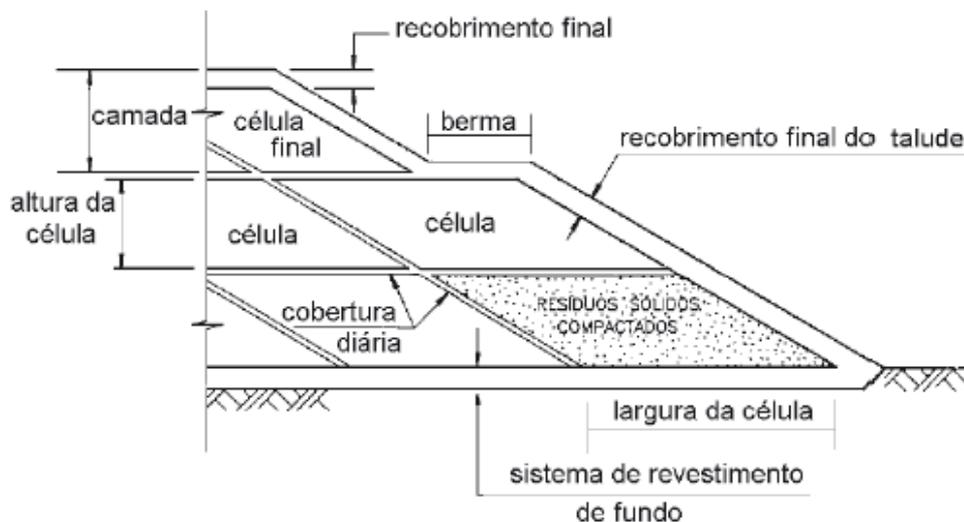
Com este cenário, é preciso uma gestão dos resíduos sólidos que busque a eliminação de seus impactos negativos no ambiente e na saúde da população. Para tanto, já é possível contar com um marco legal, uma vez que foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) através da Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010, com diretrizes para o planejamento e a gestão dos resíduos no país, tais como a obrigatoriedade da preparação de planos municipais de gerenciamento de resíduos, o estabelecimento de prazos para a erradicação dos lixões e a implantação da coleta seletiva. (GOUVEIA, 2012).

### 3.3 Aterros Sanitários

A obra alvo de estudo, como dito anteriormente, é o aterro sanitário. Segundo a norma da ABNT NBR 8419/1992 (versão corrigida: 1996), aterro sanitário é uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde e à segurança, minimizando os impactos ambientais, usando princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área e ao menor volume possíveis, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou em intervalos menores, caso necessário.

Os aterros sanitários têm como elementos estruturais básicos os componentes ilustrados na Figura 10.

Figura 10 - Estrutura de um aterro sanitário



Fonte: apud Lodi, Zornberg e Bueno, 2009

Lodi, Zornberg e Bueno (2009 apud MAIA, 2001) descrevem brevemente estes componentes, são eles:

- **células de resíduos:** volume de resíduos depositados num período que compreende, geralmente, 24 horas, incluindo o material de recobrimento;
- **tratamento de fundação:** tem a função de proteger o subsolo e aquíferos adjacentes da contaminação pela migração de percolados e/ou dos gases através de sistemas de captação e drenagem e da impermeabilização do terreno de fundação. Dentre os materiais comumente empregados em tratamento de fundação de aterros, destacam-se as argilas compactadas, os geocompostos argilosos (GCLs) e as geomembranas;
- **drenagem de líquidos e gases percolados:** estes sistemas de drenagem devem permitir a dissipação dos gases e a remoção, captação e condução dos líquidos percolados aos sistemas de reservação e tratamento. São usados para isso drenos de fundação, drenos horizontais e drenos verticais;
- **recobrimento diário:** corresponde ao recobrimento das células durante as operações executivas com solo ou materiais alternativos, com o objetivo de evitar o espalhamento do resíduo, o aparecimento de vetores que possam causar problemas de saúde pública e, de controlar a entrada de água no maciço;
- **sistemas de impermeabilização da cobertura dos aterros:** esgotada a capacidade do aterro deve-se efetuar a impermeabilização da cobertura com a função de diminuir a formação de percolado através da camada de superfície, controlar a saída de gases e servir de 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. São geralmente constituídos de canaletas, bermas e descidas d'água no talude e são constituídas por elementos flexíveis como mantas, gabião, brita, rachão, etc., separadas da camada de recobrimento por geotêxteis.

As figuras 11 e 12 mostram exemplos de aterros sanitários.

Figura 11 - Aterro sanitário de Chapecó/SC



Fonte: Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos

Figura 12 - Aterro sanitário de Curitiba/PR



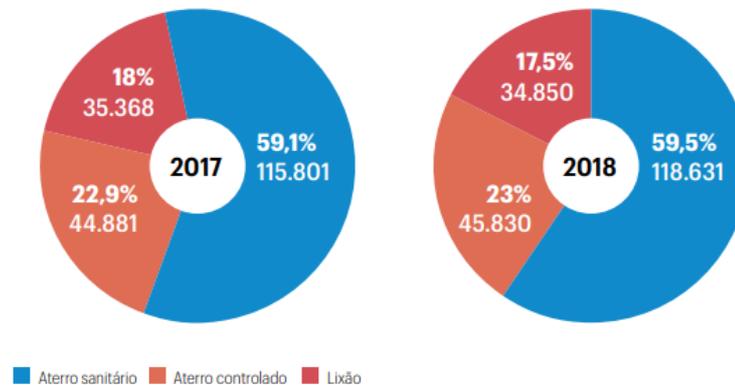
Fonte: Prefeitura Municipal de Curitiba

A Lei nº 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), é um importante instrumento na busca de soluções para um grave problema ambiental do Brasil: o mau destino dado aos resíduos sólidos. Nesse contexto, a PNRS impõe a necessidade de substituir os lixões a céu aberto por aterros sanitários como medida de proteção ambiental.

Embora das 72,7 milhões de toneladas coletadas no Brasil em 2018, 59,5% tiveram disposição final adequada e foram encaminhadas para aterros sanitários – uma expansão de 2,4% em relação ao valor total do ano anterior, unidades inadequadas como lixões e aterros controlados ainda têm participação significativa (23% e 17,5%, respectivamente). (ABRELPE, 2019).

O Gráfico 03 ilustra essa situação nos anos de 2017 e 2018.

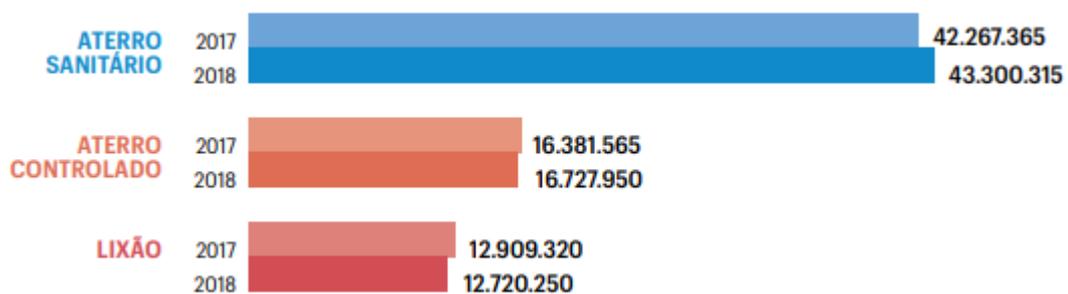
Gráfico 03 - Disposição final de RSU, por tipo de destinação (toneladas/dia)



Fonte: ABRELPE, 2019

Já o Gráfico 04 mostra a disposição final dos resíduos coletados no Brasil em toneladas por ano.

Gráfico 04 - Disposição final de RSU coletados no Brasil (toneladas/ano)



Fonte: ABRELPE, 2019

A Tabela 02 traz a quantidade de municípios por tipo de destinação adotada.

Tabela 02 - Quantidade de municípios por tipo de disposição final adotada

Disposição Final	Brasil 2017	Regiões e Brasil - 2018					
		Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	Brasil
Aterro Sanitário	2.218	93	454	162	820	1.040	2.569
Aterro Controlado	1.742	110	496	152	641	109	1.508
Lixão	1.610	247	844	153	207	42	1.493
<b>BRASIL</b>	<b>5.570</b>	<b>450</b>	<b>1.794</b>	<b>467</b>	<b>1.668</b>	<b>1.191</b>	<b>5.570</b>

Fonte: ABRELPE, 2019

Disposição final ambientalmente adequada é definida como a distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais. (PNRS, 2010).

Muitos estudos têm sido feitos sobre os impactos ambientais provocados pelas áreas de disposição final dos RSU. Segundo Beli et al. (2005) estas áreas não têm infraestrutura adequada para evitar os danos causados por essa atividade. Ainda segundo os autores, os principais impactos são vistos no solo, água e ar.

Um grave problema que ocorre nos aterros sanitários é a formação de chorume, que é o líquido produzido pela massa orgânica do lixo durante o processo de degradação biológica desse. (NASCIMENTO FILHO et al., 2001).

O chorume é um líquido escuro gerado pela degradação dos resíduos em lixões. O mesmo pode advir de três formas diferentes, são elas: da umidade natural do lixo, aumentando no período chuvoso; proveniente da água de constituição da matéria orgânica, que escorre durante o processo de decomposição; e, por último, pode ser gerado a partir das bactérias existentes no lixo, que expõem enzimas que dissolvem a matéria orgânica com a formação de líquido. (SERAFIM et al., 2003).

Para resolver o problema do chorume deve-se construir um aterro sanitário seguro, ou seja, que não permita a passagem de chorume, ou outros contaminantes presente na matriz de resíduos, capazes de afetar a qualidade de águas superficiais e subterrâneas. Portanto, o aterro sanitário deve contar, por exemplo, com (1) uma ou mais mantas de impermeabilização (como as geomembranas), (2) sistema de coleta de chorume sobre e entre as camadas, (3) sistema de drenagem superficial para coletar e controlar o escoamento, (4) poços de monitoramento e (5) uma cobertura. (DAVIS; MASTEN, 2016).

Segundo Lodi, Zornberg e Bueno (2009), o aterro sanitário deve ser executado de tal forma que não comprometa a qualidade das águas subsuperficiais e do solo.

O aterro sanitário é o método de disposição mais difundido em todo o mundo uma vez que, em relação aos processos de compostagem e de incineração, é a solução mais econômica. Hoje, no Brasil, o aterro sanitário é o principal sistema de destino final dos resíduos sólidos domésticos. (CARVALHO, 1999).

Apesar de surgirem técnicas alternativas como os métodos de reciclagem e incineração para a disposição dos Resíduos Sólidos Urbanos, o aterro sanitário ainda será o principal método de disposição para tais resíduos por um longo período de tempo. (WOJNAROWICZ; KNOCHENMUS; VAN IMPE, 1998).

### **3.4 Sistemas de impermeabilização (*liners*)**

Os liners 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. Assim, devem apresentar estanqueidade, durabilidade, resistências mecânica e a intempéries e compatibilidade com os resíduos a serem aterrados. Existem vários tipos de liners, dentre eles destacam-se os naturais, os de argila compactada e as geomembranas. A escolha de um tipo ou de outro é influenciada pelo uso a que se destina, pelo ambiente físico, pela química do percolado e pela taxa de infiltração. (CARVALHO, 1999).

Os liners naturais são normalmente compostos por solos argilosos com condutividade hidráulica na faixa de  $10^{-6}$  a  $10^{-7}$  cm/s e devem fornecer a base protetora quase ideal para algumas situações, onde a argila pode atenuar alguns contaminantes por processos de sorção e precipitação. (DANIEL, 1993). Apesar da eficiência dos liners de argila compactada e de sua resistência adequada em longo prazo, estes podem apresentar contração das camadas argilosas, resultando em trincas e, conseqüentemente, diminuição de sua eficiência. (LODI; ZORNBERG; BUENO, 2009).

A proteção das águas subterrâneas e superficiais é uma consideração importante no projeto de instalações de contenção de resíduos em muitos países. Os geossintéticos desempenham um papel importante nesta tarefa de proteção devido à sua versatilidade, custo-benefício, facilidade de instalação e boa caracterização de suas propriedades mecânicas e hidráulicas. Além disso, eles podem oferecer uma vantagem técnica em relação aos sistemas tradicionais de revestimento ou outros sistemas de contenção. (BOUAZZA; ZORNBERG; ADAM, 2002).

Em face disso, sistemas de impermeabilização de aterros sanitários têm sido empregados associando-se materiais sintéticos a solos naturais minimizando, assim, a percolação dos líquidos e gases provenientes do aterro, evitando que estes atinjam o solo e águas subterrâneas. Esses liners podem ser constituídos por geomembrana intercalada nas camadas de argila compactada, formando estruturas compostas, onde cada camada tem uma finalidade (drenagem, proteção e impermeabilização). (LODI; ZORNBERG; BUENO, 2009).

Ressalta-se, entretanto, que as geomembranas não são utilizadas isoladas, devido a problemas de puncionamento, rasgos, imperfeições e/ou defeitos que possam apresentar, resultando em aumento de fluxo e diminuição da eficiência do liner. (LODI; ZORNBERG; BUENO, 2009).

Barreiras compostas correspondem ao sistema de barreira mais utilizado na impermeabilização de aterros. A sua principal vantagem é que apresenta baixa permeabilidade (menor que  $10^{-9}$  cm/s). (BOUAZZA; ZORNBERG; ADAM, 2002).

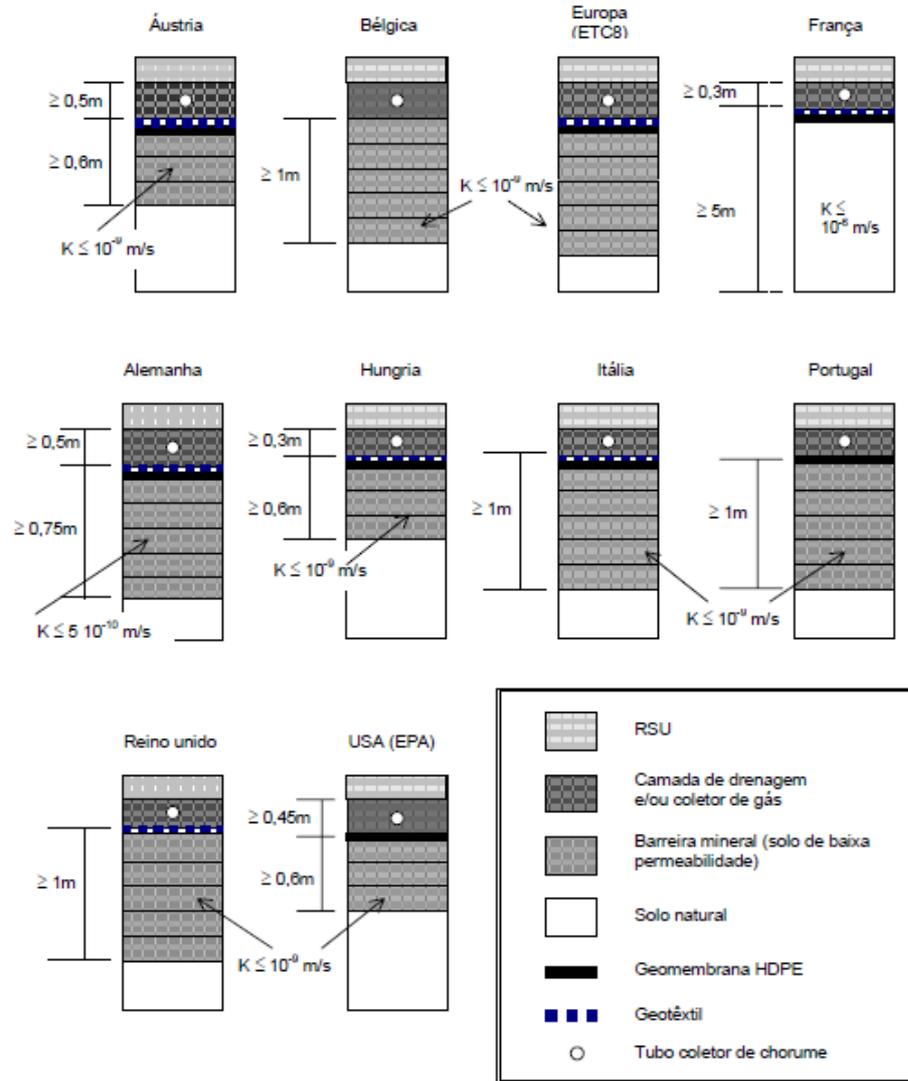
Os sistemas geossintéticos são hoje em dia um componente aceito e bem estabelecido da indústria de aterros sanitários. Os sistemas de contenção para aterros geralmente incluem geossintéticos e componentes de material de terra, por exemplo, argilas compactadas para revestimentos, meios granulares para drenagem camadas e vários solos para camadas protetoras e vegetativas. (BOUAZZA; ZORNBERG; ADAM, 2002).

A impermeabilização, ou função barreira exercida por um geossintético, consiste na capacidade de prevenir ou bloquear a migração de fluidos, sejam eles líquidos ou gases, para fora ou para dentro de um determinado sistema ou obra. (VERTEMATTI, 2015).

A Figura 13 apresenta alguns sistemas de liners de base para aterros propostos segundo recomendações de diferentes países. Na figura observa-se que os diversos países adotam diferentes sistemas de liners e pode-se observar, também, uma tendência de emprego de liners compostos (argila compactada e geomembrana).

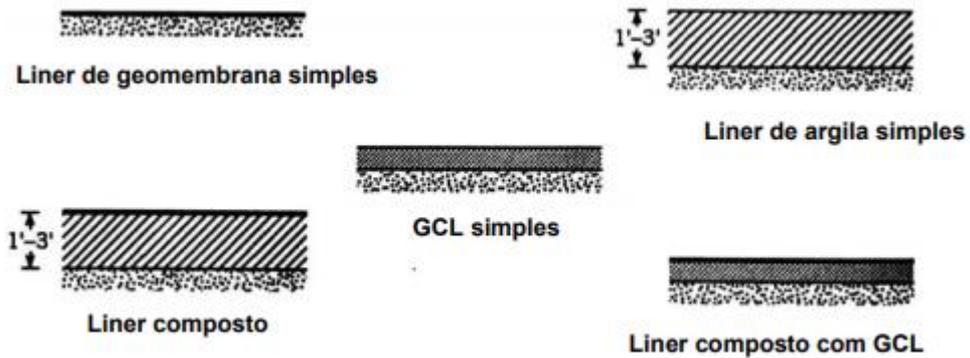
As Figuras 14 e 15 apresentam, respectivamente, algumas configurações típicas para cobertura e as possíveis formas de barreiras impermeabilizantes basais.

Figura 13 - Sistemas de liners de base para aterros de RSU segundo alguns países



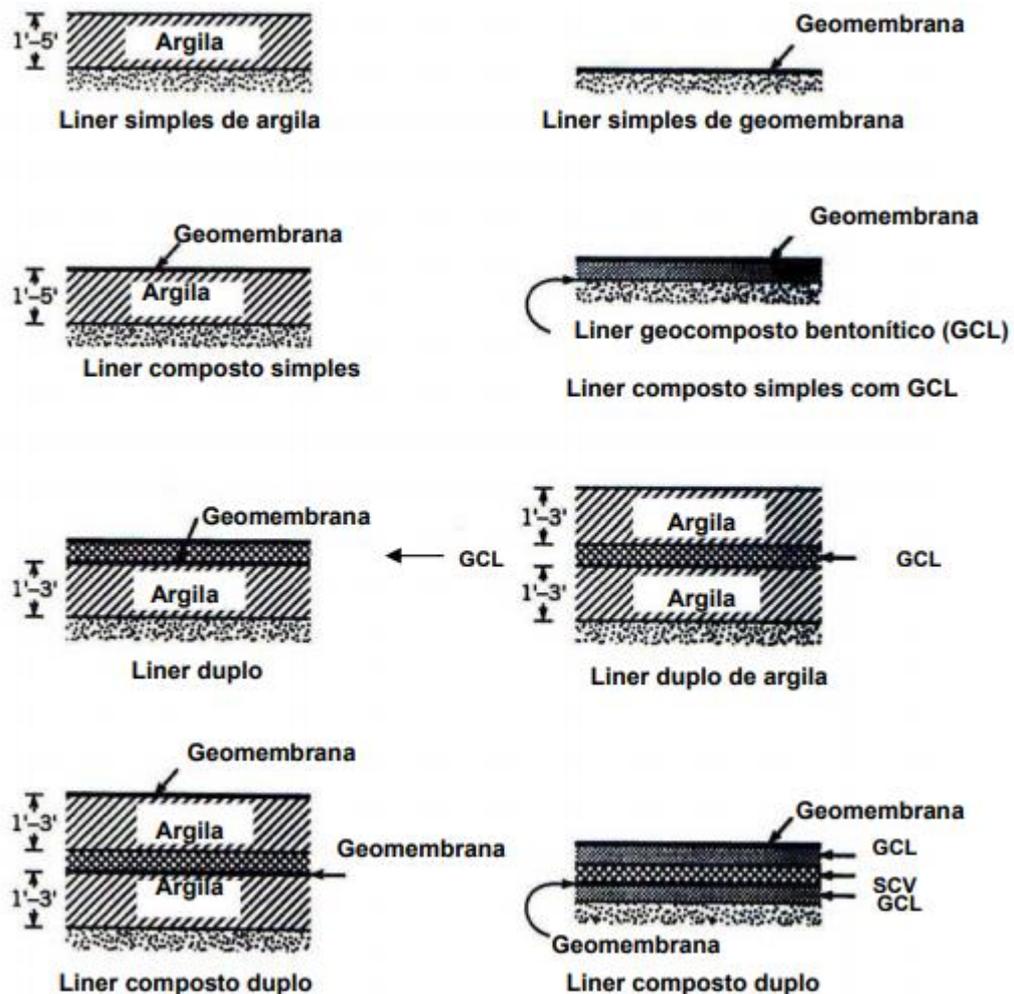
Fonte: apud Carvalho, 1999

Figura 14 - Configuração do sistema de cobertura



Fonte: apud Rebelo, 2003

Figura 15 - Configuração do sistema basal



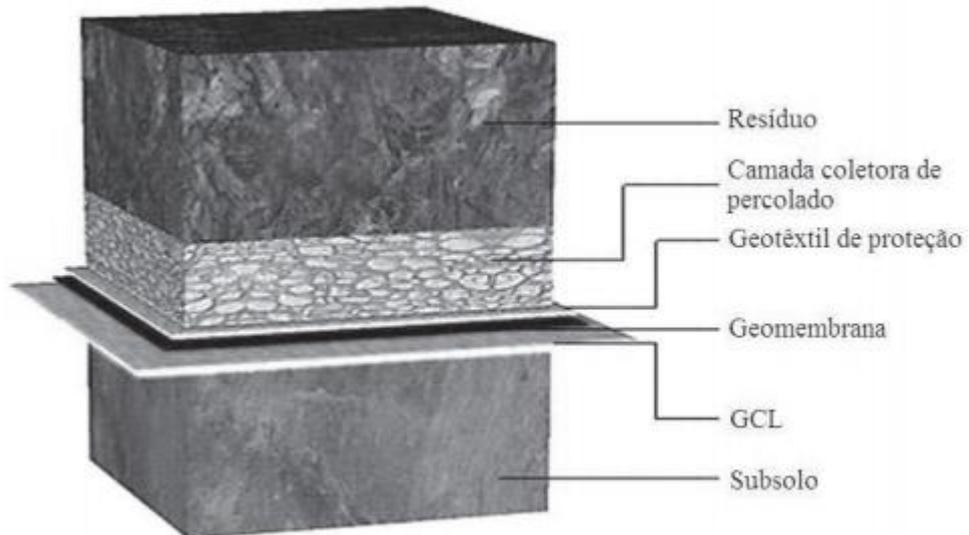
Fonte: apud Rebelo, 2003

Vale ressaltar que nas seções apresentadas estão omitidas as camadas drenantes no topo da barreira, eventuais camadas de proteção e separação.

Nos Estados Unidos a agência de proteção ambiental (USEPA) define os requisitos mínimos para os sistemas de impermeabilização em função do tipo de resíduo. A classificação do resíduo é feita em função do tipo de percolado específico do local, do tipo de substância química presente no resíduo e em função da concentração de substâncias químicas. A recomendação mínima da USEPA para resíduos sólidos não perigosos é um sistema de impermeabilização simples: geomembrana e uma camada de argila compactada (CCL) sob um sistema drenante para coleta de percolado; já a recomendação mínima para resíduos sólidos perigosos é um sistema de impermeabilização duplo composto por duas geomembranas e camada argilosa, camada de detecção de infiltração e por um sistema de coleta de percolado acima da geomembrana principal. (LODI; ZORNBERG; BUENO, 2009).

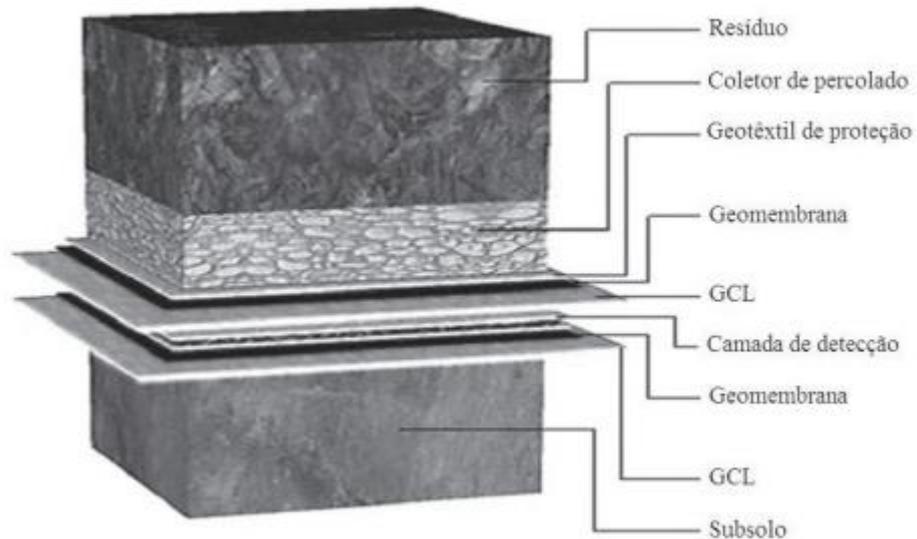
As figuras 16 e 17 a seguir ilustram de forma mais clara os geossintéticos utilizados para contenção de resíduos sólidos não perigosos e resíduos sólidos perigosos.

Figura 16 - Sistemas de contenção para resíduos não perigosos



Fonte: apud Lodi, Zornberg e Bueno, 2009

Figura 17 - Sistemas de contenção para resíduos perigosos



Fonte: apud Lodi, Zornberg e Bueno, 2009

### 3.5 Argilas

Argila não possui necessariamente uma conotação mineralógica, sendo aplicado a todas as partículas com granulização fina encontradas em sedimentos e solos. Este é um conceito de argila, baseado na granulometria, segundo o qual, independentemente da composição química ou mineralógica, compreende partículas com diâmetro inferior a 0,004 mm ou 0,002 mm. (SUGUIO, 2003).

Outra definição de argila é baseada na composição química. Segundo tal definição, as argilas compreendem silicatos de alumínio hidratados pertencentes aos grupos da caulinita, esmectita, illita e também clorita e vermiculita, de granulização fina. (SUGUIO, 2003).

As barreiras argilosas naturais são compostas por solos com baixa condutividade hidráulica e alto teor de argila, enquanto que as compactadas são predominantemente solos argilosos, sedimentos inconsolidados ou mesmo argilas que receberam beneficiamento industrial. (SOUZA, 2009).

Segundo Silva (2018 apud BRANDL, 1992) as funções da barreira de solo argiloso compactado são:

- minimização da migração de poluentes;
- alta capacidade de adsorção e retardamento dos poluentes;
- compatibilidade química;
- resistência à erosão;
- habilidade de autocorreção;
- flexibilidade (não-susceptibilidade a recalque diferencial);
- baixa capacidade de expansão e contração.

Vários critérios devem ser considerados para a seleção do material que será empregado como barreira selante, tais como: características granulométricas, índices físicos, parâmetros de compactação, condutividade hidráulica, etc. A viabilidade do uso dos materiais deve ser a análise dos sistemas de selagem como um todo. Além disso, é fundamental as simulações em laboratório e testes no campo para fornecer parâmetros na escolha e controle. (LEITE, 2001).

Pinto (2006) avalia que os valores do coeficiente de permeabilidade são menores quanto menores forem os vazios no solo. Porém, segundo o mesmo autor, esses valores representam só uma ordem de grandeza e o que determina os valores do coeficiente de permeabilidade são os finos do solo e não a predominância de tamanho dos grãos.

A Tabela 03 traz alguns valores de coeficiente de permeabilidade para alguns tipos de solos.

Tabela 03 - Alguns valores típicos de coeficiente de permeabilidade

<b>Tipo de solo</b>	<b>Coeficiente de permeabilidade (m/s)</b>
Argilas	$< 10^{-9}$
Siltes	$10^{-6}$ a $10^{-9}$
Areais argilosas	$10^{-7}$
Areias finas	$10^{-5}$
Areias médias	$10^{-4}$
Areias grossas	$10^{-3}$

Fonte: Adaptado de Pinto, 2006

As camadas de argila possuem algumas vantagens quando utilizadas como barreiras impermeabilizantes. Algumas delas são (MACEDO; CAMPOS; LIMA, 2010):

- utilizadas em casos de impermeabilização do solo para evitar contaminação;
- têm baixa permeabilidade;
- possuem elevada plasticidade;
- apresentam alta capacidade de absorção;
- são consideradas eficientes, a longo prazo, quando resistem aos ataques químicos dos percolados e apresentam alto potencial de retenção do contaminante;
- têm sido a solução utilizada com mais frequência na impermeabilização de grandes áreas, quando argila de boa qualidade é encontrada em jazidas próximas à obra e sem restrição de exploração;
- vêm sendo utilizadas por muitas décadas.

As camadas de argila também possuem algumas desvantagens quando utilizadas como tais barreiras. São elas (MACEDO; CAMPOS; LIMA, 2010):

- restrições em sua execução, na exploração desse elemento e custo elevado do processo de implantação;
- possível abertura de fendas e formação de trincas devido à expansão, podendo causar a formação de caminhos preferenciais de fluxo;
- espessuras relativamente altas comparada à outras alternativas;

- baixa velocidade de aplicação, além do material ser de difícil construção;
- exigem condições meteorológicas ideais;
- o controle e o asseguramento de qualidade exige um número relativamente sofisticado de ensaios e fiscalização e controle efetuados por profissionais habilitados;
- argilas adequadas para a execução da camada podem não estar disponíveis nas proximidades da obra, e muitas vezes são encontradas somente a distâncias consideráveis, onerando os custos da barreira;
- para a execução das camadas é necessário adicionar água à argila, para obter a condição de umidade ótima especificada, de modo a alcançar a baixa condutividade hidráulica desejada para a camada, podendo resultar na utilização de grandes quantidades de água que, nem sempre, tem disponibilidade local;
- contribuem para o aumento da poluição, uma vez que utiliza equipamentos pesados para escavação, transporte da argila, espalhamento e compactação;
- ciclos de umedecimento e secagem podem causar inchamento ou trincas na camada de CCL. Em tal camada a dissecação pode levar ao fissuramento e conseqüentemente ao aumento da condutividade hidráulica;
- a espessura da camada de CCL diminui a capacidade de armazenamento, ocupando um espaço que poderia ser usado para colocar lixo ou resíduo.

### 3.6 Geomembranas

As geomembranas podem ser definidas como materiais sintéticos ou reforços betuminosos (chapas) de baixa permeabilidade. As mesmas são utilizadas em aplicações ambientais e geotécnicas, assim como em aplicações de transporte. (ROLLIN; RIGO, 1991).

Também chamadas de “liners” ou “seals” (termo que designa um certo tipo de vedante), as geomembranas são materiais poliméricos ou betuminosos que possuem uma espessura de 0,5 a 5,0 mm. (KOERNER, 1991).

Apesar de serem consideradas impermeáveis, as geomembranas poliméricas não são absolutamente impermeáveis. No entanto, se comparadas aos geotêxteis ou aos solos (inclusive argilosos) apresentam valores de permeabilidade extremamente baixos. Em ensaios de transmissividade ao vapor de água, os valores típicos de permeabilidade das geomembranas situam-se na faixa de  $0,5 \times 10^{-10}$  a  $0,5 \times 10^{-13}$  cm/s. Dessa forma, sua função principal é sempre de atuar como barreira para líquidos ou vapores. (KOERNER, 1998).

A contenção e armazenamento de líquidos, sólidos e gases podem ser facilitados quando geomembranas são utilizadas. São exemplos de tais atividades (KOERNER, 1991):

- líquidos: água potável, industrial, resíduos de água industrial, de água municipal, líquidos de processos químicos, resíduos químicos líquidos;
- sólidos: lixo radioativo, perigoso, industrial, municipal, hospitalar e de mineração;
- gases: gases de produtos industriais, de lixo industrial, de aterros sanitários, de lixo radioativo e vapor d'água.

Nos aterros sanitários as geomembranas são tipicamente usadas na impermeabilização da base e também no fechamento dos mesmos, ou seja, na cobertura. (LODI, 2003).

Devido à sua alta resistência química e durabilidade, as geomembranas de Polietileno (PE) são mais utilizadas em sistemas de impermeabilização de base e cobertura de aterros sanitários. (SHARMA; LEWIS, 1994).

A Figura 18 ilustra várias aplicações das geomembranas.

Figura 18 - Diversas aplicações das geomembranas



a) Agricultura



b) Canais



c) Reservatórios



d) Impermeabilização



e) Silos

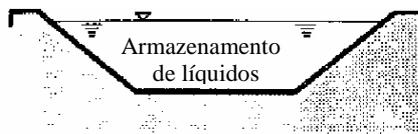


f) Lagoas

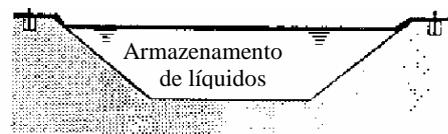
Fonte: Lodi, 2003

Já as Figuras 19 e 20 mostram aplicações de geomembranas nas áreas ambiental e geotécnica, respectivamente.

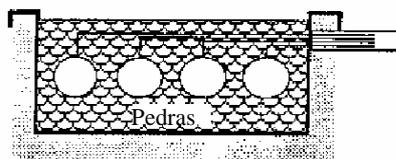
Figura 19 - Aplicações de geomembranas na área ambiental



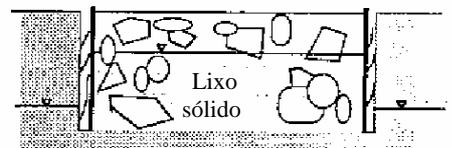
Liners para Reservatórios



Coberturas para Reservatórios



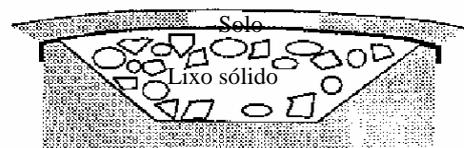
Liners para Tanques de Armazenamento Subterrâneo e Sistemas de Drenagens



Barreiras Separadoras de Paredes



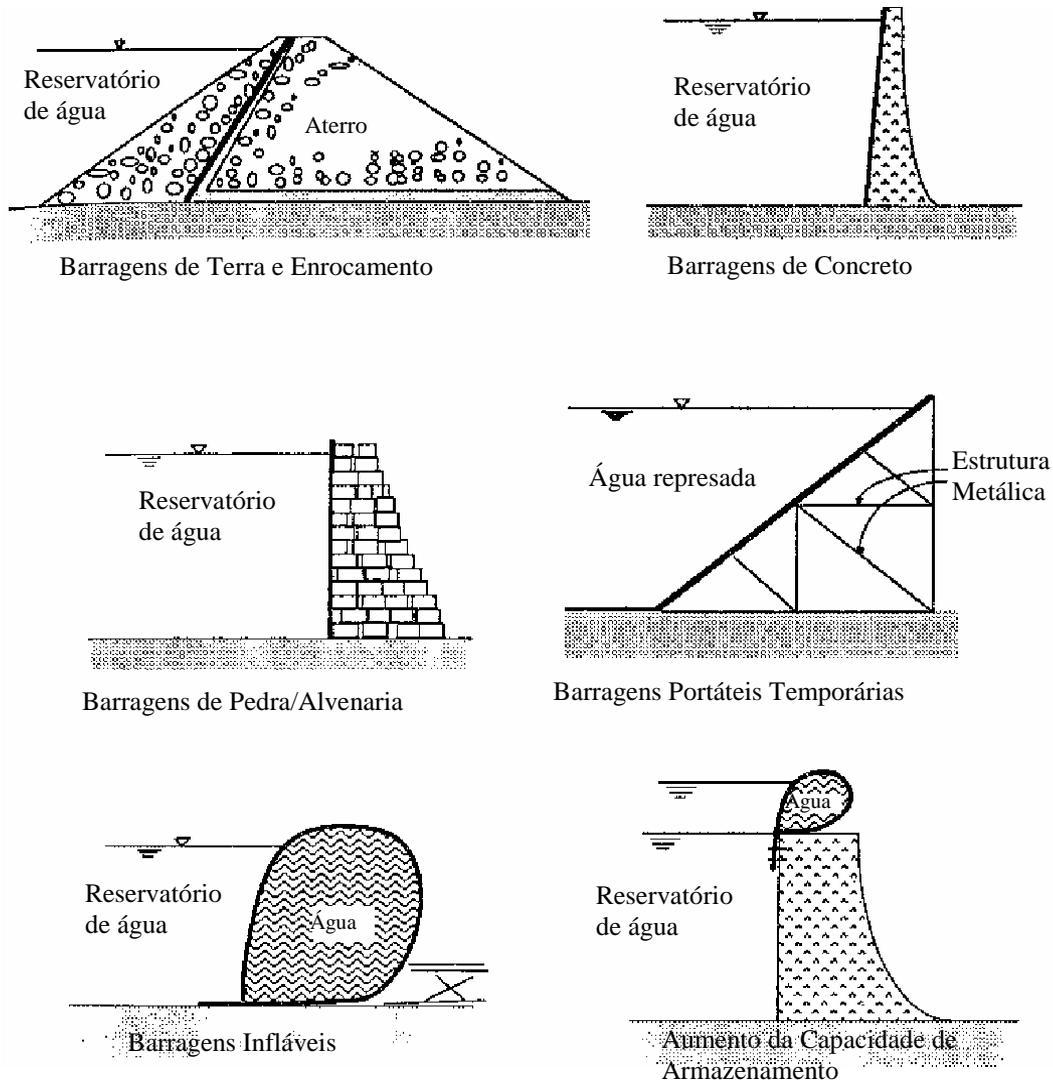
Liners de Aterros



Coberturas para Aterros

Fonte: Koerner, 1991

Figura 20 - Aplicações de geomembranas na área geotécnica



Fonte: Koerner, 1991

As geomembranas possuem algumas vantagens intrínsecas ou quando utilizadas como barreiras impermeabilizantes. As principais delas são:

- proporcionam redução da espessura das barreiras nos sistemas impermeabilizantes de fundo dos aterros (LODI, 2003);
- têm pequenas espessuras, na ordem de milímetros (KOERNER, 1991);
- apresentam valores de permeabilidade extremamente baixos (KOERNER, 1998);
- podem ser emendadas na fábrica, formando grandes painéis, assim reduzindo ou eliminando os trabalhos de emenda em campo (BUENO; BENVENUTO; VILAR, 2004);
- boas características de resistência mecânica (BUENO; BENVENUTO; VILAR, 2004).

As geomembranas também possuem algumas desvantagens intrínsecas ou quando utilizadas como tais barreiras. São elas:

- problemas de puncionamento, rasgos e imperfeições (LODI; ZORNBERG; BUENO, 2009);
- baixo atrito de interface, no caso das do tipo PEAD (BUENO; BENVENUTO; VILAR, 2004);
- estão sujeitas ao FST (*Stress Cracking*), no caso das do tipo PEAD (SHARMA; LEWIS, 1994);
- baixa resistência aos raios UV e a alguns elementos químicos, no caso das do tipo PVC (BUENO; BENVENUTO; VILAR, 2004);
- baixo desempenho a altas e baixas temperaturas, no caso das do tipo PVC (SHARMA; LEWIS, 1994).

#### **4. CASOS DE OBRAS**

Os casos de obras foram escolhidos levando em consideração critérios como resultados práticos e objetivos para além da impermeabilização para contenção do chorume que geralmente é o principal objetivo da aplicação das geomembranas.

##### **4.1 Caso 1**

###### **4.1.1 Descrição da obra**

Este caso, descrito por Feldkircher (2008), retrata o Aterro Bandeirantes, situado na cidade de São Paulo, onde tinha-se por objetivo primordial a captação de biogás, ou seja, o gás proveniente da decomposição dos resíduos, para geração de energia elétrica, bem como a queima do mesmo através de flare quando houvesse um excesso na produção proporcionando, desse modo, créditos de carbono implantados pelo Protocolo de Quioto. A Figura 21 mostra o Aterro Sanitário Bandeirantes.

O aterro possui vinte e quatro geradores para produção de eletricidade, fornecidos para a cidade de São Paulo. Para tal funcionamento e rendimento, o aterro devia fornecer cerca de 12.000 m<sup>3</sup>/h de biogás, o qual não estava acontecendo. A Figura 22 mostra um exemplo da disposição dos geradores e dos queimadores (flares).

A superfície do aterro estava coberta por uma camada de solo e vegetação, no caso, gramas, e, devido às altas temperaturas, estava ocorrendo trincas superficiais, proporcionando, dessa forma, um desperdício de biogás para a atmosfera e, conseqüentemente, não fornecendo a quantidade necessária para alimentação dos geradores de energia elétrica. A Figura 23 apresenta a cobertura do Aterro Bandeirantes.

Figura 21 - Foto aérea do Aterro Bandeirantes



Fonte: Feldkircher, 2008

Figura 22 - Disposição dos geradores e flares



Fonte: Feldkircher, 2008

Figura 23 - Detalhe do local de instalação da geomembrana



Fonte: Feldkircher, 2008

#### 4.1.2 Metodologia aplicada

Para solução de tal problema, teve-se a ideia de implantar um encapsulamento de parte da cobertura do aterro totalizando uma área de 10.000 m<sup>2</sup> com geomembrana PEAD, lisa em ambos os lados e com espessura nominal de 1,0 mm. A espessura e rugosidade ficaram responsáveis por uma empresa contratada para realizar os trabalhos de instalação do geossintético, baseados em experiências anteriores fora do Brasil, e quanto à definição de qual geomembrana instalar, optaram pelo PEAD devido a uma série de vantagens, dentre elas boa resistência contra diversos agente químicos, boas características de resistência e solda, boas características de resistência mecânica, etc.

Os procedimentos de instalação e métodos de controle de qualidade, foram seguidos de acordo com as normas vigentes naquela época. A Figura 24 apresenta a cobertura final do aterro.

Figura 24 - Obra após instalação da geomembrana



Fonte: Feldkircher, 2008

#### 4.1.3 Resultados

Após instalação da área de teste, se notou um elevado aumento na captação de biogás, conforme ilustração do Gráfico 05.

Gráfico 05 - Resultados obtidos após instalação da geomembrana



Fonte: Feldkircher, 2008

Antes da execução da impermeabilização de cobertura do aterro, foram testadas pequenas áreas, onde foi demonstrado, conforme gráfico, um aumento considerável na vazão de captação e uma melhora na concentração do gás metano o que despertou a ideia de cobrir uma área maior e, talvez no futuro, todo o conjunto do aterro.

Os resultados relatados no gráfico se obtiveram por valores de medições mensais, onde se nota um melhoramento na qualidade do gás, pois o nitrogênio (N<sub>2</sub>) caiu cerca de 18 pontos percentuais e o metano (CH<sub>4</sub>) aumentou 10 pontos, se notando um acréscimo na vazão de metano (vazão CH<sub>4</sub>) em 700 m<sup>3</sup>/h em três meses de análise, considerando medições antes e depois de feito a cobertura com geomembrana PEAD. Para que o gás tivesse uma boa qualidade na geração de energia elétrica era necessário que o metano apresentasse uma concentração de no mínimo 50 % e o nitrogênio 12 %, ou seja, atingiu-se o esperado quanto à qualidade, bem como ao aumento da vazão.

Ainda como resultado obteve-se um aumento na captação de gás em torno de 115 % em relação à primeira medição realizada em 05/08/2008. Vale salientar que esses valores foram obtidos para uma área de 10.000 m<sup>2</sup>, significando que se todo o conjunto do aterro fosse coberto com geomembrana PEAD os resultados poderiam chegar a um porcentual bem mais elevado, pois possíveis fugas que ainda estivessem havendo seriam extintas.

Vale ressaltar, neste caso de obra, que se porventura o aterro for totalmente coberto como previsto, cabe o estudo e implantação de um sistema de drenagem para águas superficiais, visto que toda a área do aterro estaria impermeabilizada.

## **4.2 Caso 2**

### **4.2.1 Descrição da obra**

Este caso, descrito pelo Comitê Técnico de Geossintéticos (CTG), trata-se do aterro sanitário da CTR Nova Iguaçu/RJ, onde uma geomembrana de 0,8 mm foi aplicada como cobertura temporária do aterro em meados do ano de 2014.

Por solicitação da Gerência de Operações do Aterro, foi desenvolvida uma geomembrana de PEAD na cor verde, com a finalidade de cobrir as células do aterro finalizadas com as funções e vantagens de:

- acabar com as roçadas dos taludes evitando mão de obra adicional na conservação e manutenção das células;
- diminuição das erosões nos taludes;

- remoção de resíduos;
- evitar arraste de sedimentos;
- ganhos em termos visuais;
- redução de aproximadamente 85% na geração de chorume limitando a infiltração de águas de chuva na superfície do maciço;
- melhoria no fator de segurança do aterro;
- diminuição no nível do piezômetro do aterro e conseqüente melhoria na estabilidade do mesmo.

#### **4.2.2 Metodologia aplicada**

Originalmente a técnica tradicional utilizada para o fechamento / cobertura do aterro era apenas com a utilização de solo, o que permitia a percolação das águas de chuva através do maciço gerando um volume adicional de chorume.

Uma das principais causas / vantagens da utilização da geomembrana PEAD Verde foi para evitar os problemas descritos no tópico anterior e, principalmente, melhorar o apelo visual da cobertura do aterro aos olhos da população no entorno do aterro.

A geomembrana foi instalada sobre as células com ancoragem na parte superior dos taludes e as peças foram termosoldadas com equipamento especial de solda para geomembranas.

#### **4.2.3 Resultados**

A geomembrana foi perfeitamente instalada pela própria equipe do Aterro de Nova Iguaçu e vem cumprindo perfeitamente suas funções de cobertura eficaz e econômica. A função do apelo visual foi bem-sucedida uma vez que houve uma perfeita integração da cor do produto com a vegetação local.

Como a geomembrana empregada vem cumprindo com aquilo que foi planejado inicialmente, conclui-se, dentre outros pontos, que a mesma executa bem sua função de barreira impermeabilizante e que a produção adicional de chorume, provocada pelas águas das chuvas, foi drasticamente diminuída.

As figuras 25, 26 e 27 ilustram o caso de obra descrito. O critério visual como mencionado anteriormente chama atenção devido, exatamente, à combinação de cores com o meio ambiente.

Figura 25 - Colocação da geomembrana sobre o aterro



Fonte: Comitê Técnico de Geossintéticos

Figura 26 - Geomembrana já instalada sobre o aterro



Fonte: Comitê Técnico de Geossintéticos

Figura 27 - Vista lateral do resultado final



Fonte: Comitê Técnico de Geossintéticos

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ter algumas desvantagens, as geomembranas quando utilizadas com o devido cuidado e precaução, trazem vários benefícios não só em aterros sanitários, mas em diversas obras onde são utilizadas. Tais desvantagens, entretanto, podem ser solucionadas com o tempo, visto que estudos e pesquisas, certamente, serão feitas a fim de melhorar as propriedades desse geossintético.

Além da questão ambiental, benefícios econômicos e no próprio aterro, como a questão do volume ocupado consideravelmente menor quando comparado ao volume que as argilas ocupam diminuindo a quantidade de RSU dispostos, fazem com que as geomembranas sejam cada vez mais utilizadas. Outra questão que faz esse último ponto abordado ser ainda mais importante é que áreas ambientalmente aptas a receberem um aterro sanitário estão cada vez mais escassas, aumentando a importância de se maximizar a utilização do maior volume útil possível.

Portanto, listadas todas as vantagens e desvantagens de cada material e visto a eficácia das geomembranas nos estudos de caso descritos, fica evidente que o emprego de geomembranas é mais que necessário para um aterro sanitário mais seguro e ambientalmente adequado.

## 6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil - 2018/2019**. São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8419:1992 Versão Corrigida: 1996. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. São Paulo, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10318-1: **Geossintéticos - Parte 1: Termos e definições**. Rio de Janeiro, 2018.

ATERRO SANITÁRIO DE CURITIBA. **Prefeitura Municipal de Curitiba**. Disponível em: <https://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/aterro-sanitario-de-curitiba/454>. Acesso em 28 de setembro de 2020.

BELI, Euzebio et al. **Recuperação da área degradada pelo lixão Areia Branca de Espírito Santo do Pinhal – SP**. Revista Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 2, n. 1, p. 135-148, jan/dez 2005.

BOUAZZA, A.; ZORNBERG, J.G.; ADAM, D. (2002). **Geosynthetics in Waste Containment Facilities: Recent Advances**. State-of-the-Art keynote paper, Proceedings of the Seventh International Conference on Geosynthetics, Nice, France, September 22-27, A.A. Balkema, Vol. 2, p. 445-510.

BUENO, B.S.; BENVENUTO, C. & VILAR, O. M. (2004). **Aplicações em Barreiras Impermeabilizantes**. Manual Brasileiro de Geossintéticos, Vertematti, José Carlos, (ed.) Edgar Blücher, São Paulo, Brasil, pp. 335-380.

CARVALHO, M.F. **Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 300 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

CTG ABINT – COMITÊ TÉCNICO DE GEOSSINTÉTICOS. **Casos de Obras**. Disponível em: <http://www.geossinteticos.org.br/obra16.html>. Acesso em: 21 de outubro de 2020.

DA COSTA, Amauri; LOPES, Gean; SOUSA, Luciana; PIMENTEL, Luiz; ARÊDES, Paulo. **Versatilidade dos geossintéticos aplicada à engenharia**. SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2015, Resende/RJ, p. 1-13.

DA COSTA, Bárbara; DA COSTA, Monaira; GONZAGA, Giordano. **Utilização de geossintéticos como elemento de contenção de taludes: estudo de caso do uso de geogrelhas na recuperação da encosta do Murilópolis, no bairro da Serraria, Maceió/AL**. CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2019, Palmas/TO, p. 1-5.

DANIEL, D. E. Clays liners. In: **Geotechnical practice for waste disposal**. London: Chapman & Hall, 1993. Chap. 7.

DAVIS, M.L; MASTEN, S.J. **Princípios de Engenharia Ambiental**. 3ªed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

FELDKIRCHER, Wendel. **Impermeabilização de Aterros Sanitários com Geomembrana**. 2008. 62 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

GOUVEIA, Nelson. **Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social**. Revista Ciência & Saúde Coletiva, 2012. Disponível em: <https://www.scielosp.org/article/csc/2012.v17n6/1503-1510/pt/>. Acesso em: 30 de setembro de 2020.

GUARNIERI, Patricia. **Logística reversa: Em busca do equilíbrio econômico e ambiental**. 1ªed. Recife: Clube de autores, 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Atlas saneamento**. 2011. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=253096>. Acesso em: 30 de setembro de 2020.

KOERNER, R. M. **Designing with Geosynthetics**. 5th Ed. New Jersey: Pearson Education Inc, 2005.



OBLADEN, Nicolau; OBLADEN, Neiva; BARROS, Kelly. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**. Paraná, CREA-PR, 64 p, 2009.

PALMEIRA, E.M. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. 1ªed. São Paulo: Oficina de textos, 2018.

PINTO, C.S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3º edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

REBELO, K. M. W. **Resistência de interfaces entre geomembranas e solos através do ensaio de ring shear**. 2003. 194 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ROLLIN, A.L.; RIGO, J.M. **Geomembranes: Identification and Performance Testing** - Report of Technical Committee 103 - MGH - Mechanical and Hidraulic Testing of Geomembranes - RILEM, Rollin, A.L. & Rigo, J.M., eds., Chapman and Hall, Cambridge, Great Britain, 1991.

SANTOS, R.C. dos; DAIBERT, D. **Análise dos Solos**. São Paulo: Érica, 2014.

SERAFIM; Aline Camillo et al. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos**. In: FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 3, 2003, São Paulo. Fórum. São Paulo: UNICAMP, 2003.

SHARMA, H.D.; LEWIS, S.P. **Waste Containment Systems, Waste Stabilization, and Landfills: Design and Evaluation**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1994.

SILVA, D. L. M. **Adsorção de metais tóxicos em liners de solo compactado em aterros sanitários**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2018.

SOUZA, R.F.C. **Migração de Poluentes Inorgânicos em Liners Compostos**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

VERTEMATTI, J.C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 1ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

VERTEMATTI, J.C. **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 2015.

WOJNAROWICZ, M.; KNOCHENMUS, G.; VAN IMPE, W. **Géotechnique de l'environnement - activités de L'ICSMFE (TC5)**. Revue Française de Géotechnique, Paris, n. 83, p.1-16, 1998.