

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA SALIBA DE PAULA

**INVESTIGAÇÃO DAS TÉCNICAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE
ATERROS UTILIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2017

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA SALIBA DE PAULA

**INVESTIGAÇÃO DAS TÉCNICAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE
ATERROS UTILIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão
de Curso 2, do Curso Superior em Engenharia Civil
do Departamento Acadêmico de Construção Civil –
DACOC - da Universidade Tecnológica Federal do
Paraná - UTFPR para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Roberto Widerski
Coorientador: Prof. D.Sc. Ewerton Clayton Alves da
Fonseca

CAMPO MOURÃO

2017



TERMO DE APROVAÇÃO

INVESTIGAÇÃO DAS TÉCNICAS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS UTILIZADAS NO ESTADO DO PARANÁ

por

Gabriela Saliba de Paula

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 16h30min do dia 21 de junho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL, pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Me. Roberto Widerski

(UTFPR)

Orientador

**Prof. D.Sc. Ewerton Clayton Alves da
Fonseca**

(UTFPR)

Coorientador

Prof. Dr^a. Paula Cristina De Souza

(UTFPR)

Prof. Me. Osvaldo Valarini Junior

(UTFPR)

Responsável pelo TCC: **Prof. Me. Valdomiro Lubachevski Kurta**

Coordenador do Curso de Engenharia Civil:

Prof. Dr. Ronaldo Rigobello

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me deu forças para prosseguir em meu caminho. A minha família, principalmente meu pai Paulo, minha mãe Ana Lucia e minha irmã Giovana, e amigos, em especial meu namorado Lucas, que me deram todo o suporte necessário, me incentivando para alcançar meus objetivos.

Ao meu orientador Roberto Widderski e coorientador Ewerton Clayton Alves da Fonseca pelo conhecimento compartilhado, paciência e dedicação. Ao professor Eudes José Arantes por todo o apoio. Aos professores do curso de Engenharia Civil pelo aprendizado durante o curso.

E, por fim, a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, que possibilitou a formação profissional e pessoal para me tornar Engenheira Civil.

RESUMO

PAULA, Gabriela S. **Investigação das técnicas de impermeabilização utilizadas no estado do Paraná**. 2017. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2017.

Os aterros sanitários podem se tornar um grande problema para o meio ambiente, com a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, e para a saúde pública, com a propagação de doenças. Estes problemas geralmente estão associados à falta de gerenciamento e à má execução dos mesmos. Uma das etapas da execução dos aterros sanitários que, se realizada de maneira inadequada, acarretará em sérios danos, tanto ambientais quanto a população, é a impermeabilização. Ao se observar a problemática do gerenciamento dos resíduos sólidos nos países em desenvolvimento e, unindo a ela, a preservação ambiental, este trabalho estuda possíveis soluções quanto à impermeabilização de aterros e os prejuízos provocados pela inadequada execução da mesma. Além da pesquisa bibliográfica, foram realizadas visitas técnicas em aterros sanitários no Paraná, para avaliação qualitativa dos empreendimentos por meio de entrevistas. Dessa maneira, o aterro sanitário 2 foi considerado mais adequado. No aterro sanitário 1, foi encontrado algumas inadequações relacionadas a inexistência do Plano Municipal de Resíduos Sólidos, cercas danificadas, inexistência de sistema de drenagem de água da chuva e ocorrência de resíduos descobertos fora da frente de serviço. O aterro 3, que ainda é considerado um Aterro Controlado, também possui cercas danificadas e resíduos descobertos fora da frente de serviço, além de presença de catadores e inexistência de um sistema de drenagem de gases como pontos negativos.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos. Aterros sanitários. Tipos de impermeabilização.

ABSTRACT

PAULA, Gabriela S. **Investigation of the waterproofing techniques used in the state of Paraná.** 2017. 59 f. Course Completion Work - Civil Engineering, Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão, 2017.

Landfills can become a major problem for the environment, with contamination of surface water and groundwater, and for public health, with the spread of disease. These problems are often associated with poor management and poor execution. One of the steps in the implementation of landfills which, if carried out in an inadequate manner, will cause serious damage, both environmental and population, is waterproofing. When considering the problem of solid waste management in developing countries and, together with environmental preservation, this work studies possible solutions regarding the sealing of landfills and the damages caused by the inadequate execution of it. In addition to the bibliographical research, technical visits were carried out in sanitary landfills in Paraná, for the qualitative evaluation of the projects through interviews. In this way, landfill 2 was considered more appropriate. In sanitary landfill 1, some inadequacies were found related to the absence of the Municipal Solid Waste Plan, damaged fences, lack of a rainwater drainage system and the occurrence of residues discovered outside the service front. Landfill 3, which is still considered a Controlled Landfill, also has damaged fences and debris discovered outside the service front, in addition to the presence of waste pickers and the absence of a gas drainage system as negative points.

Keywords: Solid residues. Sanitary landfills. Types of waterproofing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de lixão ou vazadouro.	16
Figura 2 – Exemplo de aterro controlado.	17
Figura 3 – Exemplo de Aterro Sanitário.	17
Figura 4 – Evolução disposição final de resíduos sólidos no Brasil.	20
Figura 5 – Impermeabilização da fundação de um aterro sanitário.	33
Figura 6 – Aplicação do Geocomposto Bentonítico em um aterro sanitário.	34
Figura 7 – Aplicação da Geomembrana PEAD sobre o Geocomposto Bentonítico.	35
Figura 8 – Aterro Sanitário impermeabilizado com Geomembrana PEAD.	36
Figura 9 – Aterro Sanitário do município 1.	42
Figura 10 – Aterro Sanitário do município 2.	43
Figura 11 – Aterro Controlado do município 3.	43
Figura 12 – Cerca do entorno do Aterro Sanitário do município 2.	44
Figura 13 – Cerca danificada do entorno do Aterro Controlado do município 3.	45
Figura 14 – Sistema de drenagem de água da chuva no Aterro Sanitário do município 2.	46
Figura 15 – Lagoa de tratamento de chorume no Aterro Sanitário do município 1. ...	46
Figura 16 – Lagoa de tratamento de chorume no Aterro Sanitário do município 2. ...	47
Figura 17 – Sistema de drenagem de gases no Aterro Sanitário do município 1.	47
Figura 18 – Sistema de impermeabilização do Aterro Sanitário do município 2.	48
Figura 19 – Sistema de impermeabilização do Aterro Controlado do município 3. ...	48
Figura 20 – Resíduos descobertos fora da frente de serviço do Aterro Sanitário do município 1.	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3. JUSTIFICATIVA	12
4. REFERENCIAL TEÓRICO	13
4.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	13
4.2. DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	14
4.2.1 Lixão ou Vazadouro	15
4.2.2 Aterro Controlado	16
4.2.3 Aterro Sanitário	17
4.3. BREVE HISTÓRICO DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	20
4.4. ASPECTOS INTERVENIENTES DOS ATERROS SANITÁRIOS.....	23
4.4.1. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.....	23
4.4.2. Localização e Caracterização Topográfica.....	24
4.4.3. Caracterização Climatológica.....	25
4.5. PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS DE ATERROS SANITÁRIOS	26
4.5.1. Estruturas Componentes dos Aterros Sanitários.....	26
4.5.2. Impermeabilização da Fundação	26
4.5.3. Sistema de Drenagem e Tratamento do Chorume.....	27
4.5.4. Sistema de Drenagem Superficial	28
4.5.5. Disposição dos Resíduos	29
4.5.6. Impermeabilização Superior.....	30
4.6. MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS	30
4.6.1. Solo Compactado.....	31
4.6.2. Geossintéticos.....	32

4.6.2.1. Aplicação da geomembrana PEAD	34
4.6.3. Solo cimento.....	36
4.6.4. Bentonita	36
4.7. PROBLEMAS GERADOS PELA INCORRETA IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES	37
4.7.1. Quanto a Saúde Pública.....	37
4.7.2. Quanto ao Meio Ambiente.....	38
5. METODOLOGIA.....	40
5.1. COLETA DE DADOS.....	40
5.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	41
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
7. CONCLUSÕES.....	51
APÊNDICE: QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	57

1. INTRODUÇÃO

Existe grande preocupação com o meio ambiente e, no âmbito da construção civil, esse cenário não é diferente. Isso se deve ao nível elevado de informações disponíveis, fazendo com que as exigências do mercado, a conscientização e preocupação da população aumentem. Quando se trata de aterros sanitários a precaução deve ser redobrada, pois é uma atividade que causa grande impacto ambiental.

Uma das maneiras de disposição final de resíduos sólidos urbanos que garante maior segurança e menor custeio é o Aterro Sanitário. A técnica reduz a poluição ambiental e protege a população através de princípios de engenharia civil e normas técnicas. Porém, o ineficiente gerenciamento, tanto na implantação quanto na operação, além de provocar significativos prejuízos financeiros e sérios danos ao meio ambiente, pode comprometer a saúde e o bem-estar da população (LANZA; CARVALHO, 2006).

A impermeabilização da base dos aterros sanitários tem como finalidade básica separar os resíduos do subsolo dificultando, dessa forma, a contaminação do solo e das águas subterrâneas através de infiltrações de substâncias tóxicas presentes no chorume.

Apesar de inúmeros estudos realizados na área, como mestrados, doutorados, dissertações e ensaios, e da indicação da impermeabilização em aterros sanitários imposta pela ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), pode-se afirmar que a etapa ainda não está presente em todos os aterros ou é feita de modo inadequado, pois é vista como dispensável.

Tendo em base a degradação ambiental e os riscos à saúde causada pela ausência ou falha na execução da impermeabilização de aterros sanitários, este trabalho traz pesquisas bibliográficas relacionadas as principais formas de disposição final de resíduos sólidos disponíveis no Brasil, dos produtos e processos utilizados na prática de impermeabilização de aterros e, além disso, apresenta alguns problemas que podem ser causados devido a inadequada impermeabilização com suas possíveis soluções.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar as técnicas de disposição de resíduos sólidos urbanos utilizadas nos aterros visitados todos no estado do Paraná, por meio de um questionário, com enfoque na impermeabilização dos mesmos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a classificação e os tipos e técnicas de disposição de resíduos sólidos urbanos mais comuns;
- Identificar os tipos de impermeabilização e os produtos utilizados para esse fim;
- Avaliar os problemas que podem ser gerados devido à ausência ou à inadequada impermeabilização de aterros sanitários;
- Indicar as metodologias de projeto disponíveis, a fim de solucionar ou, pelo menos, minimizar os impactos causados ao meio ambiente, por conta da inadequada impermeabilização de aterros sanitários.

3. JUSTIFICATIVA

A maioria dos países em desenvolvimento vem enfrentando uma grande problemática com o gerenciamento de resíduos sólidos. O acelerado crescimento populacional faz com que a geração de resíduos pela mesma se dê de maneira indiscriminada. Isso leva a busca de soluções para o aumento da quantidade de resíduos sólidos, seu tratamento e disposição final (NASCIMENTO, 2007).

Mesmo com a quantidade elevada de informações e exigências, ainda ocorrem falhas na execução de aterros sanitários que geram consequências graves para a humanidade. Uma das falhas comuns ocorre na impermeabilização dos aterros. A disposição dos resíduos sólidos feita de maneira inadequada pode levar a sérias consequências ambientais, como a contaminação das águas superficiais e subterrâneas pelo chorume, acarretando graves problemas a saúde pública (LANZA; CARVALHO, 2006).

Segundo a ABNT NBR 8419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992) chorume é o líquido gerado pela decomposição dos elementos presentes nos resíduos sólidos. Possui cor escura, mau cheiro e alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), dessa maneira, vê-se a importância da impermeabilização para a não contaminação do solo.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo estudar as principais formas de impermeabilização de aterros sanitários, destacando os problemas gerados pela falta ou incorreta execução desta etapa, preocupando-se sempre com a questão ambiental.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Este item aborda aspectos básicos relativos a resíduos sólidos urbanos, aterros sanitários de resíduos sólidos, aspectos intervenientes, execução de aterros sanitários, materiais utilizados para a impermeabilização e problemas gerados pela inadequada impermeabilização dos mesmos.

4.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A palavra lixo vem do latim e significa “cinzas”, ou seja, tudo o que sobra de determinada atividade. Porém, o termo mais utilizado para designar estes subprodutos é Resíduo Sólido Urbano (NASCIMENTO, 2007).

Segundo a ABNT NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), resíduos sólidos são materiais que podem estar nos estados sólido e semissólido, e são resultados de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Além disso, também são englobados os lodos originados em sistemas de tratamento de água, oriundos de equipamentos e instalações de contenção de poluição e certos líquidos cujas propriedades tornem inadequado o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou necessitem, para isso, de soluções técnicas economicamente impraticáveis.

Ainda segundo a ABNT NBR 10004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004), os resíduos sólidos se classificam em: resíduos sólidos classe I, II, II A e II B.

- Resíduos classe I – Perigosos: Resíduos que apresentam periculosidade, ou seja, acarretam em riscos à saúde pública (causando mortalidade e incidência de doenças) ou, se gerenciados de maneira inadequada, danos para o meio ambiente.
- Resíduos classe II – Não Perigosos: Segue, no Quadro 1, exemplos de alguns resíduos classificados como não perigosos e suas respectivas codificações.

Código de Identificação	Descrição do Resíduo
A001	Resíduos de restaurante
A004	Sucata de metais ferrosos
A005	Sucata de metais não ferrosos
A006	Resíduos de papel e papelão
A007	Resíduos de plástico polimerizado
A008	Resíduos de borracha
A009	Resíduos de madeira
A010	Resíduos de materiais têxteis
A011	Resíduos de minerais não metálicos
A016	Areia de fundição
A024	Bagaço de cana
A099	Outros resíduos não perigosos

Quadro 1 - Codificação de alguns exemplos resíduos classificados como não perigosos.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 10004, 2004.

- Resíduos classe II A – Não inertes: Os que não se enquadram na classificação dos resíduos classe I e II e possuem alguma das propriedades, tais como, biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduos classe II B – Inertes: Resíduo que quando, e submetidos a um contato, dinâmico e estático, com água destilada não tiverem nenhum de seus elementos solubilizados a níveis superiores aos padrões de potabilidade de água.

Os resíduos sólidos também podem ser classificados de acordo com a sua origem: Resíduos sólidos urbanos, industriais, radioativos e agrícolas. Os resíduos sólidos urbanos ainda se classificam em domiciliar, comercial, de varrição e de serviços (NASCIMENTO, 2007).

4.2. DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A preocupação não deve basear-se apenas na remoção dos resíduos do espaço público, mas também na correta destinação do mesmo. O assunto merece atenção, pois, por não se tratar de uma operação totalmente visível, não gera descontentamento da população e, dessa forma, os municípios a deixam em segundo

plano. Por essa razão, é comum encontrar em alguns centros urbanos maneiras de disposição de resíduos inadequadas. (PAIVA *et al.*, 2012)

4.2.1 Lixão ou Vazadouro

Também definida como descarga a “céu aberto”, esta técnica inadequada se caracteriza por um descarregamento dos resíduos sobre o solo sem critérios técnicos ou medidas de proteção ambiental.

É uma forma de disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos, na qual estes são lançados sobre o solo, sem qualquer medida de proteção ao meio ambiente ou a saúde pública. Não existem controles sobre tipo, volume ou grau de periculosidade dos resíduos depositados. Os resíduos são simplesmente lançados sobre o solo natural sem receber qualquer tipo de tratamento mecânico para a redução de seu volume. (NASCIMENTO, 2007, p. 40).

O uso deste método acarreta em danos para a saúde pública como proliferação de doenças através de vetores como moscas, mosquitos entre outros, produção de odores desagradáveis e, principalmente, poluição das águas superficiais pelo chorume (NASCIMENTO, 2007). Além do dano ambiental, outro aspecto preocupante dos Lixões é a questão social. Os catadores, geralmente, não usam os equipamentos necessários para a proteção e, dessa maneira, ficam expostos a doenças (PAIVA *et al.*, 2012).

Pode-se observar na Figura 1 um lixão em funcionamento, a figura mostra a presença de urubus e catadores na área.



Figura 1 – Exemplo de lixão ou vazadouro.
Fonte: g1.globo.com (2016).

4.2.2 Aterro Controlado

Aterro controlado pode ser definido como um lixão aprimorado (PAIVA *et al.*, 2012). Confina os resíduos e cobre-os com uma camada de material inerte no fim de cada jornada de trabalho, quase sempre sem o uso do processo de compactação (NASCIMENTO, 2007).

Diferentemente do aterro sanitário, neste método nem sempre é utilizado à impermeabilização da base, o que compromete a qualidade das águas subterrâneas e superficiais. Além disso, também não é exigido um sistema de tratamento do percolato e queima dos gases gerados (LANZA; CARVALHO, 2006).

Pode-se ressaltar como pontos positivos dos aterros controlados em comparação com o lixão o cobrimento dos resíduos, diminuição da poluição visual, distância mínima de centros urbanos respeitada, área isolada, proibição da permanência de animais e pessoas não autorizadas e necessidade de um responsável técnico (PAIVA *et al.*, 2012).

Esse método é mais aconselhável que o lixão, porém devido aos problemas ambientais que pode acarretar também deve ser evitado. É uma técnica admissível em pequenos municípios sem compactadores ou com verba insuficiente para terceirizar o trabalho (NASCIMENTO, 2007). A Figura 2 mostra um exemplo de aterro controlado.



Figura 2 – Exemplo de aterro controlado.
Fonte: <http://www.dinamicambiental.com.br> (2014).

4.2.3 Aterro Sanitário

O método denominado Aterro Sanitário é, mundialmente, a principal forma de destinação final de resíduos sólidos urbanos por fazer com que a saúde pública e ambiental obtenha o menor impacto possível (NASCIMENTO, 2007).

Segundo a ABNT NBR 8419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é o método usado para a disposição final de resíduos sólidos urbanos, que não causa problemas à saúde pública, de forma a diminuir os danos ambientais. A técnica utiliza conceitos da engenharia para confinar os resíduos dispostos à menor área e volume possível. E, no fim de cada jornada de trabalho, são cobertos com uma camada de solo. A Figura 3 representa um exemplo de aterro sanitário.



Figura 3 – Exemplo de Aterro Sanitário.
Fonte: www.teraambiental.com.br (2014).

De acordo com Lanza e Carvalho (2006, p. 10), o método deve contar com os elementos de segurança ambiental listados a seguir:

- Impermeabilização da base e laterais;
- Cobrimento diário e cobertura final;
- Coleta e drenagem de líquidos percolados;
- Coleta e tratamentos dos gases;
- Drenagem superficial;
- Tratamento de líquidos percolados;
- Sistema de monitoramento.

Ainda segundo a ABNT NBR 8419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), norma brasileira que rege a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, o mesmo deve ser constituinte das seguintes etapas:

- Memorial descritivo;
- Memorial técnico;
- Cronograma de execução e estimativa de custos;
- Desenhos;
- Anexos e apêndices.

De acordo com a referida norma, o projeto deve ser de autoria de um profissional devidamente habilitado no CREA (Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura). No memorial descritivo deve haver inúmeras informações e, dentre elas, é especificada a impermeabilização. Além disso, recomenda-se a construção de aterros sanitários com vida útil de, no mínimo, 10 anos.

Os aterros sanitários podem ser classificados de acordo com o material a ser aterrado e o método de aterramento: (NASCIMENTO, 2007).

- De acordo com o material:

Existem os aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos, resíduos sólidos triturados e ainda aterros para resíduos designados especiais (NASCIMENTO, 2007).

Os aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos são aqueles convencionais com técnicas de compactação. Já os aterros para resíduos sólidos triturados recebem resíduos fragmentados, o método aumenta a vida útil. Já os aterros para resíduos especiais são conhecidos como “monoaterros” por receberem exclusivamente um único material, como, por exemplo, os aterros de resíduos hospitalares (NASCIMENTO, 2007).

- De acordo com o método construtivo:

Podem ser classificados como trincheira, de superfície e de depressão (NASCIMENTO, 2007).

O método da trincheira ou célula escavada é indicado para pequenas comunidades onde a geração de resíduos não ultrapasse 10 toneladas. É aplicado quando o local do aterro for plano ou com pouca inclinação, além disso, o lençol freático não deve ser elevado (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1993 *apud* NASCIMENTO, 2007)¹.

O método de superfície ou área é usado quando não se julga adequada a utilização de células ou trincheiras. Após compactados, os mesmos ficam com um formato de “tronco-pirâmide” e, no fim do dia, é colocada a cobertura. O método é considerado dispendioso por ser necessários cuidados como constante bombeamento do lençol freático (NASCIMENTO, 2007).

Como a topografia local, disposição de materiais para a cobertura, hidrologia e geologia são fatores que influenciam nas técnicas de disposição e compactação dos resíduos, em locais com topografia acidentada é indicado o uso dos aterros de depressão (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1993 *apud* NASCIMENTO, 2007)¹.

¹TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT ENGINEERING PRINCIPLES AND MANAGEMENT ISSUES**. McGraw-Hill, Inc., 1993, 978 p.

4.3. BREVE HISTÓRICO DE DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Em geral, observa-se uma melhora na postura do país com relação aos cuidados relativos ao tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Isso fica claro ao se observar a redução no número de lixões e um aumento no número de aterros controlados e sanitários no período de 1991 e 2000. Também é importante o acréscimo nos tratamentos como reciclagem, compostagem e incineração, como mostrado na Figura 4 (JUCÁ, 2002).

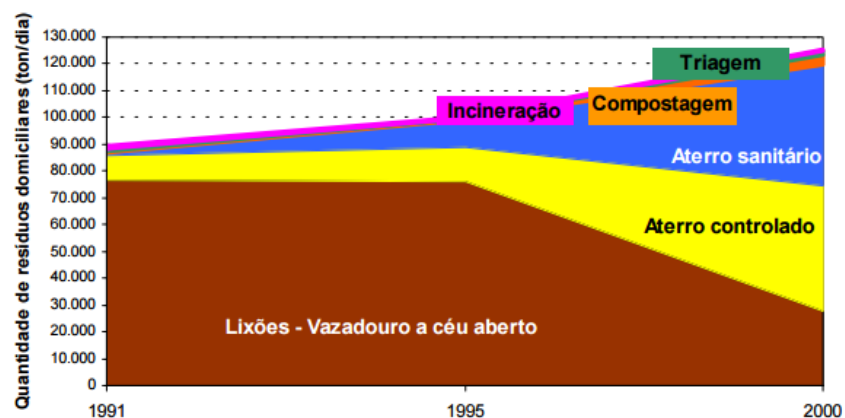


Figura 4 – Evolução disposição final de resíduos sólidos no Brasil.
Fonte: JUCÁ (2002).

Baseado na Pesquisa Nacional de Saneamento Básico mais recente, realizada em 2008, a Tabela 1 apresenta o quantitativo das unidades de destinação para resíduos sólidos domiciliares e públicos de acordo com o tamanho e a densidade populacional dos municípios. Ao se analisar o total referente a tabela 1, ainda se pode constatar um número de lixões ou vazadouros (2810 unidades) superior ao número de aterros sanitários (1540 unidades). Porém, ao se verificar isoladamente os grupos, o número destes com destinação para os resíduos sólidos de forma correta (mais aterros sanitários do que lixão) supera o número com destinação incorreta (JUCÁ, 2002).

Tabela 1 – Municípios, total e com serviço de manejo de resíduos sólidos, por unidades de destino dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos, segundo os grupos de tamanho dos municípios e a densidade populacional.

Grupos de tamanho dos municípios e densidade populacional	Municípios					
	Total	Com serviço de manejo de resíduos sólidos				
		Total	Unidade de destino dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos			
			Vazadouro a céu aberto (lixão)	Vazadouro em áreas alagadas ou alagáveis	Aterro controlado	Aterro sanitário
Total	5 564	5 562	2 810	14	1 254	1 540
Até 50 000 hab. e densidade menor que 80 hab./km ²	4 511	4 509	2 402	11	1 005	1 098
Até 50 000 hab. e densidade maior que 80 hab./km ²	487	487	241	-	91	159
Mais de 50 000 a 100 000 hab. e densidade menor que 80 hab./km ²	148	148	84	2	43	39
Mais de 50 000 a 100 000 hab. e densidade maior que 80 hab./km ²	165	165	41	-	41	92
Mais de 100 000 a 300 000 hab. e densidade menor que 80 hab./km ²	39	39	19	-	11	14
Mais de 100 000 a 300 000 hab. e densidade maior que 80 hab./km ²	135	135	15	1	35	85
Mais de 300 000 a 500 000 hab.	43	43	4	-	16	24
Mais de 500 000 a 1 000 000 hab.	22	22	3	-	7	16
Mais de 1 000 000 hab.	14	14	1	-	5	13

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008.

Ao se comparar o percentual de destinação final por municípios no Brasil em 2002 (Gráfico 1) e 2008 (Gráfico 2), ainda se percebe uma melhora significativa com o passar dos anos. Em ambos os gráficos a porcentagem de lixão ou vazadouro é maior, no entanto, a porcentagem de aterro sanitário aumentou 14% e a de lixão diminuiu 13% em apenas 8 anos.

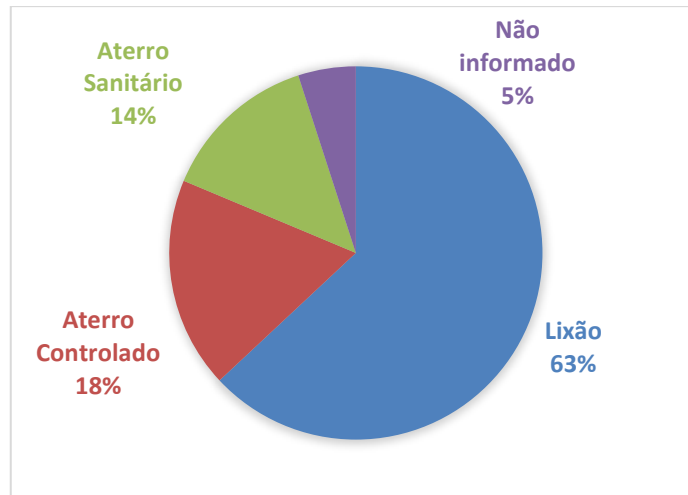


Gráfico 1 – Percentual de destinação de resíduos sólidos por grupos de tamanho dos municípios no Brasil (2000).

Fonte: Adaptado de JUCCÁ (2002).

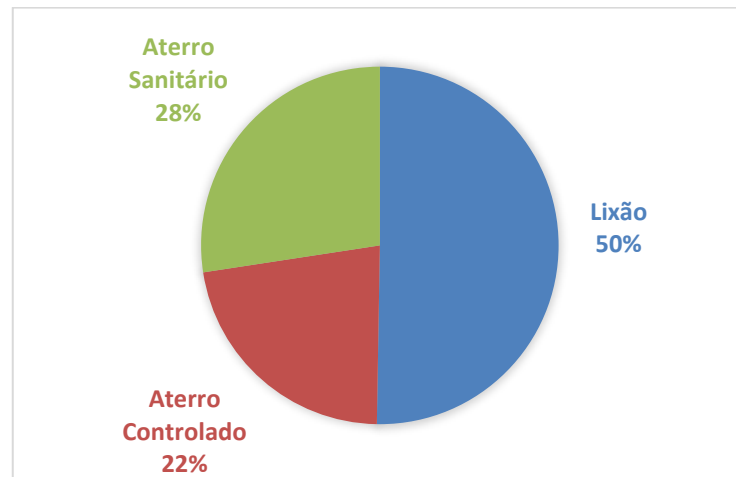


Gráfico 2 – Percentual de destinação de resíduos sólidos por grupos de tamanho dos municípios no Brasil (2008).

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008.

A Lei Federal nº 12.305, publicada em 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos proíbe, no capítulo V, o lançamento dos resíduos a céu aberto. A mesma definiu um prazo de 4 anos para que todos os municípios destinem seus resíduos para os aterros sanitários, porém, a maioria deles não o fez. Dessa forma, através da medida provisória 651/14, houve um adiamento do prazo em 4 anos, ou seja, 2018 é a data máxima para que não existam mais lixões ou aterros controlados (ALVES, 2015).

Mesmo diante das leis e inúmeras informações disponíveis em livros, revistas, teses, cartilhas, e também na internet, percebe-se ainda que a situação da destinação dos resíduos sólidos urbanos é preocupante. O que se constata é o cuidado em apenas retirar os resíduos da zona urbana e, muitas vezes, deposita-los em locais totalmente inapropriados (SEDU, 2001).

4.4. ASPECTOS INTERVENIENTES DOS ATERROS SANITÁRIOS

Os aspectos mais importantes e que influenciam, direta ou indiretamente, na implantação de aterros sanitários, são:

4.4.1. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

Ainda segundo a Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010, o Plano Municipal de Resíduos sólidos abrange as atitudes a serem realizadas pela administração pública, visando o uso consciente dos recursos ambientais, de maneira a conter o desperdício e diminuir a produção de resíduos. É a condição mínima para que o município tenha acesso aos fundos da União destinados a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Para os municípios com até vinte mil habitantes, o plano pode ser simplificado.

No artigo 19º da referida lei, está especificado o conteúdo mínimo do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos:

- Reconhecimento dos resíduos gerados no empreendimento (origem, volume, caracterização dos resíduos e formas de destinação final);
- Escolha de áreas favoráveis para disposição final dos rejeitos, focando na questão ambiental;
- Possibilidades de uma solução consorciada ou compartilhada com outros municípios;

- Caracterização dos resíduos e dos produtores submetidos ao plano de gerenciamento;
- Processos operacionais e requisitos mínimos a serem seguidos nos serviços públicos de limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos;
- Parâmetros de desempenho operacional e ambiental dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos;
- Regras para o transporte e outras fases do gerenciamento de resíduos;
- Exposição das responsabilidades em relação a sua implementação e operacionalização a cargo do poder público;
- Plano de ações de capacitação técnica focados na operacionalização e implementação;
- Plano de ações de conscientização ambiental;
- Procedimentos para fontes de negócios, empregos e renda;
- Forma de cálculo dos custos da prestação de serviços da limpeza urbana;
- Objetivos de diminuição na quantidade de rejeitos por meio da reutilização, coleta seletiva e reciclagem;
- Maneira e limite da participação do poder público;
- Mecanismos a serem utilizados para o controle e fiscalização dos planos de gerenciamentos de resíduos sólidos;
- Atitudes preventivas e corretivas a serem colocadas em práticas, dentre elas estão o plano de monitoramento;
- Reconhecimento dos passivos ambientais relativos aos resíduos sólidos;
- Regularidade de revisão do plano.

4.4.2. Localização e Caracterização Topográfica

Um dos primeiros procedimentos para a implantação de um aterro sanitário é a escolha do local. Devido à grande ocupação do solo pela população, essa tarefa se torna complicada, pois são limitadas as áreas disponíveis com as características necessárias de acordo com os parâmetros e normas vigentes (SEDU, 2001).

De acordo com a ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), o local destinado à construção de aterros de resíduos sólidos deve atender as seguintes premissas:

- Mínimo impacto ambiental devido a instalação do aterro;
- Grande aceitação por parte da população;
- Em conformidade com o zoneamento da região;
- Utilizado a longo prazo e ser necessário apenas uma quantidade mínima de obras para início da operação.

Além disso, a referida norma recomenda que a distância mínima entre a área do aterro sanitário até núcleos habitacionais seja de, no mínimo, 500 metros.

Na caracterização topográfica do aterro:

Deve ser apresentada investigação geológica e geotécnica do terreno envolvido no aterro sanitário, que contribua objetivamente para a avaliação dos riscos de poluição das águas e das condições de estabilidade dos maciços. (ABNT NBR 8419, 1992, p. 3).

4.4.3. Caracterização Climatológica

Um dos fatores que mais influem no comportamento do aterro sanitário são os aspectos climáticos do local em que é implantado, por isso é tão importante a consideração das mesmas no projeto de implantação do aterro sanitário. A caracterização climatológica interfere em inúmeros elementos, como a geração e tratamento de percolato, taxa de produção, qualidade, propriedades químicas e biológicas do chorume, geração de gases, recalques e temperatura dos resíduos. Por influenciar diretamente no chorume, é um dos fatores de grande importância para a caracterização da impermeabilização do aterro (FELDKIRCHER, 2008).

Para a caracterização climatológica deve ser analisado os valores mensais equivalentes aos máximos valores de precipitação e evapotranspiração (ABNT NBR 8419, 1992).

4.5. PROCEDIMENTOS EXECUTIVOS DE ATERROS SANITÁRIOS

4.5.1. Estruturas Componentes dos Aterros Sanitários

Os principais componentes da infraestrutura básica de um aterro sanitário são portaria, balança, isolamento (fechamento com cerca ou portão), sinalização de segurança, cerca viva, vias de acesso, iluminação e comunicação, abastecimento de água, prédio administrativo, área de disposição dos resíduos, sistema de tratamento de chorume e alguns instrumentos de monitoramento (LANZA; CARVALHO, 2006).

4.5.2. Impermeabilização da Fundação

O principal problema que se tenta solucionar por meio da impermeabilização é a poluição das águas subterrâneas e superficiais. Para isso, deverão ser dispostos elementos que dificultem a passagem destes líquidos através dos poros do solo. As principais funções da impermeabilização de aterros sanitários é garantir a estabilidade e permitir a remoção dos líquidos percolados para fora da estrutura do aterro, de modo a encaminhá-lo para o sistema de tratamento (TRÍGONO ENGENHARIA S/C L.T.D.A, 1999).

Segundo a ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), deve existir a impermeabilização do aterro sanitário quando as circunstâncias hidrogeológicas do local de implantação do empreendimento não seguirem as seguintes especificações: depósito natural extenso e homogêneo com coeficiente de permeabilidade menor que 10^{-6} cm/s e zona não saturada com espessura superior a 3 metros.

A referida norma indica que o material da camada impermeabilizante deve ser quimicamente compatível com os resíduos. Além disso, deve possuir espessura e resistência de maneira que não rompa por pressões hidrostáticas e hidrogeológicas, contato com o líquido percolado ou condições climáticas. A ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro também tem que ser evitada colocando a

impermeabilização sobre uma base capaz de suporta-la e resistir os gradientes de pressão. Outra recomendação importante é que a camada impermeabilizante esteja presente em toda a base, evitando assim o contato entre o solo e o líquido percolado.

A ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) ainda impõe que o sistema de impermeabilização deve ser verificado em relação a seu desempenho durante todo o período de funcionamento do aterro. Para isso, deve existir um sistema de detecção de vazamentos de percolados e, caso o vazamento venha a acontecer, deve-se notificar o Órgão de controle ambiental, fazer uma análise do efluente e recuperar o sistema de impermeabilização danificado.

4.5.3. Sistema de Drenagem e Tratamento do Chorume

É necessário um sistema para drenar e remover os líquidos que percolam através dos poros dos resíduos dispostos. Para atender os padrões de lançamentos de efluentes em curso de água, deve-se realizar um sistema de tratamento dos líquidos percolados do aterro e, para diminuir a contaminação atmosférica, os gases produzidos podem ser queimados ou explorados como fonte de energia. Além da proteção ambiental, outro fator que está ligado com o bom funcionamento do sistema de drenagem de percolados é a estabilidade do aterro sanitário (LANZA; CARVALHO, 2006).

Segundo a ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), o sistema de drenagem do chorume deve ser: instalado acima da impermeabilização, calculado de modo a evitar uma lâmina de chorume superior a 30 cm sobre a camada impermeabilizante, constituído de material resistente e dimensionado para suportar o período de vida útil do aterro.

A coleta do chorume será realizada através de drenos localizados sobre a camada de impermeabilização. Os drenos para o chorume são projetados em forma de “espinha de peixe”, ou seja, são constituídos por drenos secundários que encaminham o chorume para um dreno principal que o leva até um poço de reunião onde são bombeados, finalmente, para a estação de tratamento (SEDU, 2001).

A ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) destaca que o sistema de tratamento do líquido percolado deve ser projetado

de maneira que seus efluentes atendam os padrões para lançamento no corpo receptor e ser monitorados quatro vezes ao ano, no mínimo.

A diversidade na composição do chorume torna complexo a escolha do procedimento de tratamento que seja eficiente para determinado local. Além disso, um tratamento efetivo em determinado aterro pode não ser em outro (SERAFIM *et al.*, 2003).

Os efluentes podem ser direcionados para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou, se possível o tratamento do chorume no local, a forma mais utilizada é por meio das lagoas de estabilização (LANZA; CARVALHO, 2006).

O sistema de lagoas é composto de lagoa anaeróbia e facultativa. A lagoa anaeróbia basicamente faz a digestão anaeróbia que degrada a matéria orgânica. Na lagoa facultativa, ocorre a estabilização do material orgânico contido no percolado por meio de processos naturais que envolvem bactérias e algas (LANZA; CARVALHO, 2006).

O sistema de lagoas é considerado de tecnologia simples e possui custo muito baixo. Além disso apresenta grande eficiência no tratamento, justificando a sua utilização com grande frequência. Após o tratamento, o efluente deverá ser encaminhado para uma lagoa de acumulação e, passado certo tempo, poderá ser lançado em curso natural de água para, dessa forma, iniciar a autodepuração, que é a capacidade de um curso d'água natural, após incorporar uma carga poluidora, recuperar-se por meio de processos naturais (LANZA; CARVALHO, 2006).

Se optado por encaminhar o percolado para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), o líquido deve ser levado para um tanque de armazenamento e transportados até o local. Para isso, um acordo deve ser firmado entre os empreendimentos (LANZA; CARVALHO, 2006).

4.5.4. Sistema de Drenagem Superficial

Além do sistema de drenagem do chorume, nota-se a necessidade de um sistema de drenagem das águas superficiais. O mesmo é utilizado para impedir o escoamento das águas superficiais e daquelas que se precipitam para a área do aterro sanitário (ABNT NBR 8419, 1992).

Segundo a ABNT NBR 8419 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), a descrição do sistema de drenagem superficial deve conter, no mínimo:

- Vazão de dimensionamento do sistema;
- Situação dos canais em planta (escala não inferior a 1:1000);
- Designação das seções transversais e declividade do fundo dos canais em todos os trechos;
- Tipo de revestimento, se existente, dos canais, especificando o material;
- Indicação dos locais de descarga da água coletada pelos canais;
- Detalhamento de todas as singularidades existentes (alargamentos ou estrangulamentos de seção, curvas, degraus, obras de dissipação de energia e outros).

Com uma drenagem ineficiente da água da chuva, ocorrerá uma maior infiltração no aterro. Isso faz com que aumente a quantidade de chorume gerado e também influencia na instabilidade do mesmo (LANZA; CARVALHO, 2006)

É preferível que a drenagem de águas pluviais seja realizada por meio de valas escavadas evitando, dessa maneira, a utilização de tubulações enterradas (SEDU, 2001).

Todos os dispositivos de drenagem de águas pluviais devem ser mantidos desobstruídos para que o sistema funcione como o previsto. Em períodos de intensa pluviosidade é necessária maior fiscalização. E, caso não sofram nenhuma contaminação durante o percurso, as águas de chuva podem ser dirigidas para cursos d'água localizadas dentro da área do aterro (LANZA; CARVALHO, 2006).

4.5.5. Disposição dos Resíduos

O recebimento dos resíduos no aterro sanitário deverá seguir um plano operacional elaborado antes do início da operação do mesmo. Com o auxílio de ferramentas simples, como um trator de esteiras, deve-se espalhar, nivelar os

resíduos e realizar a compactação. Ao fim de cada dia de trabalho, é indicado o cobrimento dos resíduos (SEDU, 2001).

4.5.6. Impermeabilização Superior

Após a finalização da vida útil do aterro, uma das possibilidades adotadas para impermeabilização superior é a criação de área verde. O selamento poderá ser feito com argila e, após isso, uma camada de terra. O uso de canaletas é indicado a fim de conter a formação de poças de água na superfície, o que prejudica o crescimento da vegetação (TRÍGONO ENGENHARIA S/C L.T.D.A, 1999).

4.6. MATERIAIS UTILIZADOS NA IMPERMEABILIZAÇÃO DE ATERROS SANITÁRIOS

Os sistemas de impermeabilização dos aterros sanitários são utilizados para evitar que contaminantes produzidos se espalhem e atinjam o subsolo e águas subterrâneas. No passado, era utilizado apenas solo compactado para o sistema de impermeabilização, porém, com o avanço tecnológico surgiram outros materiais, tais como: concreto; emulsões asfálticas; solo-cimento; membranas de bentonita; misturas de areia e bentonita; polietileno clorosulfurado; cloreto polivinílico (PVC); polietileno (PE); polietileno clorado e borracha butílica (BOFF, 1998 *apud* LOCASTRO; ANGELIS, 2016) ².

Existem ainda outras alternativas para serem utilizadas como barreiras impermeabilizantes, porém as mesmas ainda estão com estudos em andamento. Podemos citar o exemplo de tiras de pneus ou a junção de solo e cal hidratada. “A realidade é que os sistemas impermeabilizantes trabalhados buscam, cada vez mais,

² BOFF, F. E. **Estudo da seletividade iônica na interação solo-contaminante aplicado a liners**. São Carlos: EESC/USP. Seminário (Seminários Gerais em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998.

atender as necessidades existentes a um menor custo possível e, as variedades cumprem justamente com este objetivo. ” (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

Ainda não existe uma norma específica no país com relação a construção das barreiras impermeabilizantes, porém, uma das opções é utilizar a normas internacionais como europeias ou americanas. É importante adaptar os sistemas internacionais aos solos brasileiros (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

Segundo Recesa (2008, p. 44) para que o sistema de impermeabilização funcione corretamente e realize suas funções, são necessárias algumas características, tais como: estanqueidade, durabilidade, resistência mecânica, resistência a intempéries e compatibilidade físico-químico-biológica com os resíduos a serem aterrados. Como característica mais importante temos a baixa permeabilidade, pois é ela que garante segurança e qualidade ao sistema (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

4.6.1. Solo Compactado

De acordo com Locastro e Angelis (2016, p. 204), mesmo com coeficiente de permeabilidade superior aos dos outros materiais, as camadas impermeabilizantes compostas apenas por solo compactado são utilizadas como impermeabilizantes por apresentarem significativa redução de custos devido a possibilidade de utilização de solos encontrados nas proximidades dos aterros.

Ao se adotar solo compactado como impermeabilização do aterro é necessário a realização de um diagnóstico do mesmo, analisando a composição granulométrica, limite de liquidez e plasticidade, além de ensaios de massa específica (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

Para melhorar a performance dessa barreira impermeabilizante pode-se aumentar a espessura da camada de solo ou melhorar a compactação para, dessa maneira, reduzir o índice de vazios (ALMEIDA *et al.* 2010).

4.6.2. Geossintéticos

Segundo a norma ABNT NBR 12553 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003), geossintéticos é a denominação genérica dos geotêxteis, desenvolvidos para utilização em obras geotécnicas, para desempenhar funções dentre as quais se destacam: drenagem, filtração, proteção, reforço, separação e impermeabilização.

A utilização de geossintéticos como barreira impermeabilizante tem crescido nas últimas décadas devido às vantagens como: facilidade de construção, durabilidade, controle de qualidade e, em alguns casos, custo (BUENO *et al.*, 2004). Com os estudos feitos na área, temos a disposição inúmeros geossintéticos comumente aplicados, como: geomembranas, geotêxteis, geocompostos argilosos e georredes (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

Locastro e Angelis (2016, p. 205) afirmam que embora existam diversos geossintéticos, cada um tem funções específicas. Este tipo de impermeabilizante oferece segurança, por disponibilizar baixa permeabilidade e boa capacidade drenante.

De modo geral, um material que possui todas as características principais para a função e vem sendo amplamente utilizadas como impermeabilizante de aterros sanitários é a Geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD). São mantas poliméricas flexíveis, com baixa permeabilidade. As mesmas atuam como impermeabilizantes do solo e protegem os mananciais e lençol freático. A geomembrana PEAD possui densidade de 0,941 g/cm³ a 0,959 g/cm³, o que ajuda na resistência química por dificultar a entrada de líquidos e gases, e permeabilidade em torno de 10⁻¹⁰ cm/s, podendo ser considerada impermeável (FELDKIRCHER, 2008).

A fim de se obter sistemas mais restritivos, é interessante a combinação de geossintéticos e solos compactados. A junção diminui consideravelmente a permeabilidade (10⁻¹² cm/s) e minimiza a possibilidade de desastres ambientais. Com o propósito de diminuir ainda mais a permeabilidade, pode-se realizar uma dupla camada de geomembrana e solo, dessa forma, o coeficiente de permeabilidade chega a 10⁻¹⁴ cm/s (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

A geomembrana é produzida em forma de bobina, com comprimento variando de 50 a 300 metros, e largura de 5 a 10 metros. Sua espessura varia de 0,5 mm até

3,00 mm de acordo com o fabricante. A fim de garantir maior durabilidade, são acrescentadas em sua composição aditivos anti UV, termoestabilizantes e antioxidante (FELDKIRCHER, 2008). A Figura 5 mostra parte da fundação de um aterro sanitário impermeabilizada pela geomembrana.



Figura 5 – Impermeabilização da fundação de um aterro sanitário.

Fonte: FELDKIRCHER (2008).

Meucci (2004, p. 5) afirma que o uso de Geomembrana PEAD para a impermeabilização da base do aterro sanitário acarreta em inúmeros benefícios, os quais se destacam:

- Ganho de volume no aterro para a disposição de resíduos sólidos devido a troca do solo compactado pela membrana;
- Permeabilidade praticamente nula;
- Não contaminação do solo e nem do lençol freático pelo percolado;
- Alta resistência mecânica, química e contra raios UV;
- Vida útil elevada;
- Controle na qualidade por se tratar de um produto manufaturado;
- Facilidade de instalação.

4.6.2.1. Aplicação da geomembrana PEAD

Antes do uso, é adequado que o produto fique guardado dentro da embalagem original para que se evite qualquer tipo de contato com outros materiais como lama, óleo e outros. Alguns cuidados na instalação são necessários para se evitar o acúmulo, depósito e formação de laminais d'água e detritos prejudiciais ao funcionamento da geomembrana (TRÍGONO ENGENHARIA S/C L.T.D.A, 1999).

É indicado o uso de solo compactado, Geocomposto Bentonítico, ou uma combinação de ambos para proteção da camada impermeabilizante. Visando diminuir a permeabilidade, é interessante optar por Geocomposto Bentonítico. A Figura 6 mostra a aplicação da camada de Geocomposto Bentonítico (MEUCCI, 2004).



Figura 6 – Aplicação do Geocomposto Bentonítico em um aterro sanitário.
Fonte: MEUCCI (2004).

Acima da camada de proteção compactada, é implantado o sistema de drenagem de segurança, que controla o nível do aquífero e também funciona como dreno testemunho. Os drenos podem ser feitos com brita e Geotêxtil não tecido RT - 16 que filtra os sólidos finos que podem vir a prejudicar a drenagem (MEUCCI, 2004).

A próxima etapa é a aplicação da Geomembrana PEAD, previamente ao lançamento da mesma, é indicada uma vistoria para correções de possíveis irregularidades. Além de presente em toda a base do aterro, as laterais do mesmo também devem estar totalmente impermeabilizadas (TRÍGONO ENGENHARIA S/C L.T.D.A, 1999). A Figura 7 mostra a aplicação da Geomembrana.

A fim de conferir proteção mecânica, deverá ser colocada uma camada de solo escavado e/ou Geotêxtil não tecido RT - 31 sobre a geomembrana, evitando o contato direto com os resíduos dispostos no aterro. Finalmente, sobre o sistema de impermeabilização, é executado a drenagem do percolado (MEUCCI, 2004).



Figura 7 – Aplicação da Geomembrana PEAD sobre o Geocomposto Bentonítico.
Fonte: MEUCCI (2004).

Para a proteção da geomembrana nos taludes podem ser utilizados pneus, amarrados e colocados na rampa. Além disso, sempre que possível deve-se minimizar o número de emendas entre geomembrana, porém, caso necessário, a união das mesmas é feita através de soldagem (TRÍGONO ENGENHARIA S/C L.T.D.A, 1999).

É comum a necessidade de emendas entre geomembranas, o procedimento é crucial no desempenho final da camada impermeabilizante. Devido à baixa permeabilidade garantida pelo material, a ocorrência de vazamentos é um dos aspectos determinantes em seu bom funcionamento. Os vazamentos geralmente ocorrem em emendas mal executadas, por isso é indicado a realização de emendas em corpos de prova que serão testados, garantindo assim o bom desempenho do sistema (BUENO *et al.*, 2004).

A Figura 8 exibe um aterro sanitário com o sistema de impermeabilização já pronto.



Figura 8 – Aterro Sanitário impermeabilizado com Geomembrana PEAD.
Fonte: MEUCCI (2004).

4.6.3. Solo cimento

Solo cimento é basicamente a mistura de solo, cimento Portland e água. A partir de uma compactação do solo e mistura em proporções estabelecidas, adquire as características de resistência e durabilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2004).

Estudos estão em andamento para a utilização da mistura na impermeabilização de aterros sanitários. Juntamente ao solo argiloso compactado, é adicionado uma porcentagem de 2% de cimento. O mesmo é constituído de 95% de clínquer e o restante por adições minerais (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

4.6.4. Bentonita

Outra junção com solo que tem se mostrado interessante é bentonita. A mesma permite uma considerável redução no coeficiente de condutividade hidráulica, o que diminui a permeabilidade, dificultando assim a passagem dos percolados do aterro sanitário (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

Bentonita, de acordo com Lemos (2006, p. 109), pode ser definido como material composto por argilo-minerais. A bentonita sódica é a mais utilizada para materiais de impermeabilização e aplicações de selagem.

Ao se acrescentar uma porcentagem de 4% de bentonita ao solo compactado, consegue-se alcançar um coeficiente de permeabilidade considerado aceitável (10^{-7} cm/s) de acordo com a ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) (LOCASTRO; ANGELIS, 2016).

4.7.PROBLEMAS GERADOS PELA INCORRETA IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

A disposição dos resíduos sólidos urbanos vem sendo um dos maiores problemas enfrentados pelos países em desenvolvimento. A principal problemática é que, os resíduos quando dispostos de maneira imprópria acarretam em poluição e contaminação dos recursos naturais (PAIVA *et al.*, 2012).

4.7.1.Quanto a Saúde Pública

Sem a adequada impermeabilização superior, é possível o aparecimento de vetores, representados por animais como ratos, baratas e moscas. Os mesmos, ao entrar em contato com os resíduos sólidos, podem vir a transmitir uma série de doenças ao homem como leptospirose, salmonelose, peste bubônica, malária, entre outras. Por essa razão, é indicado o cobrimento dos resíduos, no fim de cada jornada de trabalho e, após a conclusão da vida útil do sistema, fazer o uso da impermeabilização superior (COSTA, 2004).

4.7.2.Quanto ao Meio Ambiente

Além da poluição do ar, a inadequada impermeabilização pode acarretar em poluição das águas subterrâneas e superficiais e também do solo pelo chorume (COSTA, 2004).

O líquido, que possui em sua composição matéria química orgânica decomposta, produtos tóxicos que provem do lixo e substâncias altamente solúveis, alcança as águas subterrâneas ou superficiais se a impermeabilização da fundação for inadequada. Ao alcança-las, devido a movimentação do lençol freático, atingem os rios, que geralmente são os mesmos que abastecem a população (SERAFIM *et al.*, 2003).

A fim de verificar falhas no funcionamento do aterro sanitário é necessário um Plano de Monitoramento, o mesmo tem a função de analisar a eficiência das medidas ambientais e sanitárias do sistema através de medições em campo e ensaios laboratoriais. É indicado a realização durante a vida útil e no período de 10 anos após cessar as atividades do local (LANZA; CARVALHO, 2006).

Lanza e Carvalho (2006, p. 26) afirmam ainda que, o Plano de Monitoramento deve contemplar:

- Análise das águas superficiais da área, através da coleta de amostras em pontos determinados;
- Avaliação das águas subterrâneas, com a coleta de amostras nos poços de monitoramento;
- Constante verificação da qualidade do chorume e do efluente tratado;
- Caracterização dos resíduos da massa aterrada;
- Monitoramento geotécnico do maciço do aterro;
- Fiscalização da saúde dos trabalhadores envolvido na operação do aterro.

O monitoramento das águas subterrâneas e superficiais são feitos por meio de, no mínimo, 4 poços (ABNT NBR 13896, 1997). Na resolução CONAMA nº430/2011 estão estabelecidas as condições e padrões de lançamento de efluentes. Além disso, na ABNT NBR 9898 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS, 1987) é indicado as condições exigíveis para a coleta e a preservação das amostras de águas. Dentre as análises da água indicadas pela resolução estão cor, alcalinidade, pH, turbidez, entre outras.

O controle do chorume baseia-se na avaliação, quantitativa e qualitativa, do líquido gerado. Feitos através da aferição da vazão e análise físico-químico dos componentes (LANZA; CARVALHO, 2006).

Mesmo com um controle de qualidade na construção e funcionamento, é possível a ocorrência de eventualidades. Diante das mesmas, a ABNT NBR 13896 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997) indica um Plano de Emergência que evite, ao máximo, danos ambientais e à população. Além do Plano, a equipe de gerencia também deve estar preparada para as tomadas de decisões, propiciando uma resposta eficaz para minimizar os riscos (QUADRANTE ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2014).

No caso de vazamento nos drenos são necessárias medidas emergenciais que visem diminuir a quantidade de percolados. Dentre elas podem se destacar: implantação de mais drenos, redução da permeabilidade no topo do aterro e bombeamento de chorume em poços (QUADRANTE ENGENHARIA E CONSULTORIA, 2014).

5. METODOLOGIA

5.1. COLETA DE DADOS

Tendo em vista o grande impacto ambiental causado pela inadequada disposição final de resíduos sólidos, o trabalho evidenciou, primeiramente, os métodos de disposição final de resíduos sólidos urbanos e as técnicas construtivas de aterros sanitários. A partir disso, o foco da pesquisa foi identificar os tipos de impermeabilização dos mesmos, com destaque nos produtos utilizados, os problemas gerados pela incorreta impermeabilização e suas possíveis soluções.

Primeiramente foi realizado o levantamento bibliográfico através de consulta a cartilhas, normas, leis, mapas, dissertações de mestrado e páginas eletrônicas de interesse científico que revelaram dados sobre a disposição de resíduos sólidos com enfoque na região Sul do Brasil, especificamente no estado do Paraná.

Posteriormente, foi feito o contato com as instituições responsáveis pelos aterros sanitários a serem avaliados com o objetivo de obter permissão para efetuar visitas técnicas nestes locais. Por meio das visitas, foi possível complementar as pesquisas bibliográficas relacionadas e também rever os possíveis erros cometidos e os danos acarretados ao meio ambiente.

A pesquisa nos aterros sanitários ocorreu por meio de uma entrevista a partir de um questionário (em anexo) apresentado ao responsável pelo aterro relacionados à disposição final dos resíduos, aspectos intervenientes e procedimentos executivos dos aterros sanitários, com enfoque na impermeabilização.

Devido a impossibilidades, relacionadas a questões de segurança, na ocorrência da visita técnica no Aterro Controlado do município 3, o questionário foi respondido baseando-se em um artigo chamado “Avaliação de um aterro controlado de resíduos sólidos urbanos através do método IQR – valas” publicado no Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista em 2015.

A partir das informações adquiridas com as pesquisas e visitas, foram analisados os problemas gerados pela inadequada execução da impermeabilização de aterros sanitários e estudadas as possíveis soluções que podem ser adotadas para

correção dos problemas encontrados como, por exemplo, a contaminação do lençol freático e propagação de doenças.

Finalmente, com a conclusão do estudo ficou evidente a necessidade de uma maior conscientização da população e administradores com relação à impermeabilização de aterros sanitários. Etapa esta que, ainda hoje não recebe a devida atenção, e, dessa forma, acarreta em diversos malefícios à população e ao meio ambiente.

5.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho possuiu como área de estudo três municípios localizados no estado do Paraná. O aterro sanitário 1 está localizado na região centro-ocidental do estado, aterro sanitário 2 na região noroeste e aterro controlado 3 no centro-oeste.

O aterro sanitário do município 1 se encontra a uma altitude de 585 metros, com população estimada de aproximadamente 93.547 habitantes e área territorial de 757,875 km² (IBGE, 2016). O empreendimento se localiza a 12 km do centro da cidade.

O aterro sanitário do município 2 está localizado a uma altitude de 543 metros, possui população de aproximadamente 78.553 habitantes e área territorial de 811,666 km² (IBGE, 2016). O aterro encontra-se a 7 km do centro da cidade.

Já o aterro controlado do município 3 se localiza a uma altitude de 763 metros, com população de aproximadamente 13.961 habitantes e área territorial de 788,1 km² (GALDINO *et al.*, 2015). Situa-se a 5 km da área urbana.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das visitas técnicas e estudos sobre os aterros 1, 2 e 3, foi respondido o questionário com perguntas objetivas a respeito da disposição dos resíduos no solo, aspectos dos aterros sanitários e impermeabilização dos mesmos. Foram feitas um total de 18 perguntas com vocabulário de fácil compreensão, para simplificar e não causar desconforto aos entrevistados. A fim de complementar o questionário, foram incluídos registros fotográficos.

Apesar deste trabalho não possuir finalidade estatística, por serem analisados um número pequeno de aterros sanitários, pôde-se obter as seguintes porcentagens:

- 66,67% dos aterros investigados foram classificados como aterros sanitários;

Para um aterro ser classificado como sanitário, são necessários alguns requisitos mínimos relacionados a proteção ambiental como a impermeabilização da base, cobertura diária dos resíduos, coleta, drenagem e tratamento de percolados, coleta e tratamento de gases, drenagem superficial e sistema de monitoramento (LANZA; CARVALHO, 2006). Devido a inexistência de alguns dos itens citados, o aterro do município 3 ainda é classificado como aterro controlado.

A Figura 9 mostra o aterro sanitário do município 1.



**Figura 9 – Aterro Sanitário do município 1.
Fonte: Acervo pessoal (2017).**

A Figura 10 mostra o aterro sanitário do município 2.



Figura 10 – Aterro Sanitário do município 2.
Fonte: ALVES (2015).

A Figura 11 mostra o aterro controlado do município 3.



Figura 11 – Aterro Controlado do município 3.
Fonte: cidadedestaque.com.br (2016).

- 100% dos aterros foram construídos com o método de trincheira;

O método em questão é considerado adequado para pequenos municípios quando o local a ser implantado o aterro for considerado plano ou com inclinação baixa (TCHOBANOGLIOUS *et al.* 1993 *apud* NASCIMENTO, 2007)³.

³TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. **INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT ENGINEERING PRINCIPLES AND MANAGEMENT ISSUES.** McGraw-Hill, Inc., 1993, 978 p.

- 66,67% dos aterros possuem Plano Municipal de Resíduos Sólidos;

O Plano Municipal de Resíduos Sólidos, segundo a Lei Federal nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, engloba as práticas a serem tomadas pela administração do município de maneira a usar conscientemente os recursos ambientais a fim de minimizar o desperdício e a geração de resíduos. O aterro sanitário do município 1 ainda não o possui.

- 100% dos aterros estão distanciados adequadamente dos núcleos habitacionais;

A distância mínima de centros urbanos até aterros considerada adequada segundo a ABNT NBR 13896 (1997) é 500 metros.

- 100% dos aterros possuem vida útil de projeto adequada;

Segundo a ABNT NBR 8419 (1992), a vida útil projetada de um aterro sanitário deve ser de, no mínimo, 10 anos.

- Apenas 33,33% dos aterros possuem cercas adequadas em todo seu entorno;

As cercas do entorno dos empreendimentos dos municípios 2 e 3 são consideradas inadequadas por estarem danificadas.

A Figura 12 mostra a cerca do aterro sanitário do município 2.



Figura 12 – Cerca do entorno do Aterro Sanitário do município 2.

Fonte: ALVES (2015).

A Figura 13 mostra a cerca, danificada, do aterro controlado do município 3.



Figura 13 – Cerca danificada do entorno do Aterro Controlado do município 3.

Fonte: GALDINO *et al.* (2015).

- Foi constatada a presença de catadores em 33,33% dos empreendimentos;

No aterro controlado do município 3 foi constatada a presença de pessoas não autorizadas. Essas pessoas são denominadas catadores e, por não utilizarem os equipamentos de proteção necessários, ficam expostas a doenças (PAIVA *et al.*, 2012).

- Em nem um dos aterros são dispostos resíduos hospitalares e industriais;

- 33,33% não possui sistema de drenagem da água da chuva;

Considera-se necessário um sistema para drenar as águas que se precipitam sobre o maciço do aterro (ABNT NBR 8419, 1992). Não foi constatada a existência deste no aterro sanitário do município 1.

A Figura 14 mostra o sistema de drenagem de águas da chuva no aterro sanitário do município 2.



Figura 14 – Sistema de drenagem de água da chuva no Aterro Sanitário do município 2.
Fonte: ALVES (2015).

- Todos os aterros possuem sistema de drenagem de chorume e tratamento para o mesmo;

É necessário um sistema para drenar e remover os líquidos percolados que se localizam entre os resíduos aterrados. A fim de respeitar um padrão de lançamento de efluentes em corpos de água, também se considera necessário um sistema de tratamento para esse líquido (LANZA; CARVALHO, 2006).

A Figura 15 mostra a lagoa de tratamento de chorume no aterro sanitário do município 1.



Figura 15 – Lagoa de tratamento de chorume no Aterro Sanitário do município 1.
Fonte: Acervo pessoal (2017).

A Figura 16 mostra a lagoa de tratamento de chorume no aterro sanitário do município 2.



Figura 16 – Lagoa de tratamento de chorume no Aterro Sanitário do município 2.
Fonte: Acervo pessoal (2017).

- 33,33% dos aterros ainda não possuem sistema de drenagem de gases;

Além do sistema de drenagem e tratamento do chorume, também é necessário um sistema de queima dos gases gerados a fim de reduzir a poluição ambiental (LANZA; CARVALHO, 2006). Esse sistema não foi constatado no aterro do município 3.

A Figura 17 mostra o sistema de drenagem de gases no sanitário do município 1.



Figura 17 – Sistema de drenagem de gases no Aterro Sanitário do município 1.
Fonte: Acervo pessoal (2017).

- 100% dos empreendimentos possuem um sistema de impermeabilização que funciona corretamente e é feito com a Geomembrana de espessura de 2 mm;

O material Geomembrana PEAD vem se mostrando eficiente para a realização da impermeabilização de aterros sanitários e acarreta em inúmeras vantagens (FELDKIRCHER, 2008). A Figura 18 mostra o sistema de impermeabilização sendo colocado no aterro sanitário do município 2.



Figura 18 – Sistema de impermeabilização do Aterro Sanitário do município 2.
Fonte: ALVES (2015).

A Figura 19 mostra o sistema de impermeabilização sendo colocado no aterro do município 3.



Figura 19 – Sistema de impermeabilização do Aterro Controlado do município 3.
Fonte: goionews.com.br (2011).

- 100% dos aterros analisados possuem monitoramento de águas subterrâneas;

Devido a impossibilidades, não foi possível a ocorrência da visita técnica no aterro controlado do município 3, logo, o questionário do local foi baseado em um artigo e, no mesmo, não há dados sobre o monitoramento de águas subterrâneas. Dessa forma, o item foi analisado baseando-se apenas nos aterros sanitários dos municípios 1 e 2.

- 66,67% dos aterros possuem resíduos descobertos fora da frente de serviço;

Além do aterro sanitário do município 1, também foi constatado a presença de resíduos descobertos fora da frente de serviço no aterro controlado do município 3.

A figura 20 mostra resíduos descobertos na entrada do aterro sanitário do município 1.



Figura 20 – Resíduos descobertos fora da frente de serviço do Aterro Sanitário do município 1.

Fonte: Acervo pessoal (2017).

Após a análise do questionário e dos registros fotográficos, foi possível avaliar qualitativamente os Aterros em questão.

Com relação ao aterro sanitário do município 1, foram encontradas algumas inadequações relacionadas a não existência do Plano Municipal de Resíduos Sólidos, cercas danificadas, inexistência de sistema de drenagem para água da chuva e ocorrência de resíduos descobertos. As adequações do empreendimento estão

relacionadas a ser classificado como Aterro Sanitário, distância mínima de núcleos habitacionais e vida útil de projeto estabelecidos pela norma respeitada, inexistência de pessoas não autorizadas no local, possuir um sistema de drenagem e tratamento do chorume, além de drenagem de gases, impermeabilização do aterro realizado por meio da Geomembrana PEAD e monitoramento de águas subterrâneas.

O aterro sanitário 2, foi considerado em uma condição adequada, ou seja, é classificado como aterro sanitário, utiliza-se de um Plano Municipal de Resíduos Sólidos, distância mínima de núcleos habitacionais e vida útil de projeto estabelecidos pela norma respeitada, cercas adequadas no local, inexistência de pessoas não autorizadas, com sistema de drenagem de água da chuva, drenagem e tratamento do chorume, além de sistema de drenagem de gases, impermeabilização do aterro por meio da Geomembrana PEAD, monitoramento de águas subterrâneas e inexistência de resíduos descobertos fora da frente de serviço. Ou seja, todas as respostas estão adequadas com a situação modelo estudada.

Por fim, o aterro controlado do município 3 foi o que mais se apresentou em desacordo com a situação considerada adequada. O empreendimento ainda é considerado um Aterro Controlado, com cercas danificadas, presença de catadores, sem sistema de drenagem de gases e com resíduos descobertos fora da frente de serviço. Podemos citar como adequações do local a utilização do Plano Municipal de Resíduos Sólidos, distância mínima de núcleos habitacionais e vida útil de projeto estabelecidos pela norma respeitada, com sistema de drenagem de água da chuva, drenagem e tratamento do chorume e impermeabilização do aterro por meio da Geomembrana PEAD.

7. CONCLUSÕES

Por meio da aplicação do questionário foi possível analisar a situação dos aterros dos municípios. De acordo com os aspectos analisados no questionário, foi possível perceber diferentes situações e gravidades em que cada empreendimento se enquadra.

É relevante ressaltar que, por ser um questionário baseado em respostas de funcionários, as mesmas podem se tornar subjetivas ou sem critérios técnicos o que afeta, diretamente, os resultados finais. Além disso, a visita ao aterro do município 3 não foi realizada devido a aspectos de segurança, logo, o questionário do local foi baseado no artigo “Avaliação de um aterro controlado de resíduos sólidos urbanos através do método IQR – valas” publicado no Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista em 2015, ou seja, a situação do local pode ter sofrido algumas alterações durante esse período de tempo.

Sabe-se que, a forma de disposição de resíduos sólidos considerada mais eficiente, tanto ambiental quanto relacionada à saúde da população, são os aterros sanitários. Um fator limitante que impede a utilização de um projeto sustentável e adequado de aterros sanitários é seu custo elevado, principalmente na implantação do empreendimento. Por esta razão, ainda se encontram métodos inadequados como aterros controlados ou até mesmo lixões.

Com relação à impermeabilização dos aterros, o resultado foi positivo: a totalidade dos aterros analisados possuem um sistema de impermeabilização por meio de geossintéticos do tipo Geomembrana de PEAD (Polietileno de alta densidade). O material tem se mostrado o mais adequado para a função devido às inúmeras vantagens como a maior segurança tanto à população quanto ao meio ambiente. Porém, é importante ressaltar que não só o uso material adequado basta, também é necessário uma adequada aplicação e controle técnico durante a execução.

Portanto, percebe-se que a disposição dos resíduos sólidos ainda não recebe a devida atenção e é tratada com desprezo tanto pelo poder público, como pela população. Estas atitudes contribuem para a degradação dos recursos do meio ambiente e prejudicam a saúde dos cidadãos. Fica evidente, então, a relação direta entre qualidade de vida populacional e saneamento básico. Ou seja, é necessário uma

conscientização e mudança na postura de todos para que, dessa forma, haja uma evolução tanto no âmbito ambiental, quanto no social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Francisco T. R.; SANTOS, Gemmelle O.; SILVA, Roberto A. C.; GOMES, Carísia C. **Caracterização física do solo utilizado em camadas de cobertura no aterro sanitário de Caucaia-Ceará**, Congresso Nortenordeste de Pesquisa e Inovação, 5., 2010, Maceió. Anais... Maceió: CONNEPI.

ALVES, João E. P. **Índice de qualidade de aterros de resíduos: um estudo de caso nos municípios de Campo Mourão e Cianorte – Paraná**. 2015. 67f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Dosagem das misturas de solo-cimento**. São Paulo, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12553**: Geossintético – Terminologia. Rio de Janeiro, 2003.

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

BRASIL. Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2 ed. Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em 07 abril 2017.

BUENO, Benedito S.; BENVENUTO, Clóvis; VILAR, Orencio M. **Aplicações em Barreiras Impermeabilizantes: Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 384 p.

CONAMA, Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº430**, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 08 abril 2017.

COSTA, Walter D. **Contaminação da água subterrânea por resíduo sólido no município de Belo Horizonte – MG**, XIII Congresso Brasileiro de águas Subterrâneas, 2004.

FELDKIRCHER, Wendel. **Impermeabilização de aterro sanitário com geomembrana**. 2008. 62f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade São Francisco, Itatiba, 2008.

GALDINO, Silvana J.; MARTINS, Carlos H.; SILVA, Eraldo S. **Avaliação de um aterro controlado de resíduos sólidos urbanos através do método de IQR-valas**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista. V.7, n.9, 2015. Disponível em: <https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/articloe/viewFile/1176/1199>. Acesso em: 25 de abril 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Campo Mourão Cidades**. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=410430>>. Acesso em: 07 abril 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cianorte Cidades**. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=410550>>. Acesso em: 07 abril 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/defaulttabpdf_man_res_sol.shtm>. Acesso em: 07 abril 2017.

JUCÁ, José F. T. **Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectiva**. In: 10º SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2002, Portugal.

LANZA, Vera C. V.; CARVALHO, André L. **Orientações Básicas para Operação de Aterro sanitário**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2006. 34 p.

LEMOS, Rosemar G. **Estudo do Comportamento Hidráulico mecânico e químico de barreiras hidráulicas verticais, compostas por solos residual, bentonita e cimento sob ação de substâncias agressivas**. 2006. 310 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

LOCASTRO, João K.; ANGELIS, Bruno L. D. **Barreiras de impermeabilização: configurações aplicadas em aterros sanitários**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v.20, n.1, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19963/pdf>>. Acesso em: 25 abril 2017.

MEUCCI, Daniel M. **Impermeabilização de aterro sanitário com geomembrana PEAD Neoplastic**. Santo André, 2004.

NASCIMENTO, Júlio C. F. **Comportamento Mecânico de resíduos sólidos urbanos**. 2007. 160 f. Tese (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo, 2007.

PAIVA, Cecília; RODRIGUES, Denise; SOUZA, Diego G.; PEREIRA, Igor; CERULI, Leonardo. **Estudo de análise comparativa entre lixão, aterro controlado e aterro sanitário**. 2012. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária), Faculdade Presidente Antônio Carlos de Bom Despacho, Bom Despacho, 2012.

QUADRANTE ENGENHARIA E CONSULTORIA. **Plano de ação emergencial – Licença ambiental de instalação e operação**. Indaial, 2014.

RECESA, **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p.

SEDU - Secretaria Especial de Desenvolvimento urbano da Presidência da República. **Manual de Gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. 2001. Disponível em: <<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 25 abril 2017.

SERAFIM, Aline C. GUSSAKOV, Karim C. SILVA, Fabiano. CONEGLIAN, Cassiana M. R. BRITO, Núbia N. SOBRINHO, Geraldo D. TONSO, Sandro. PELEGRINI, Ronaldo. **Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos.** III Fórum de Estudos Contábeis, 2003. Disponível em: <ftp://ftp-acd.puc-campinas.edu.br/pub/professores/ceatec/demanboro/Material10(05Out)/Tratamento_Chorume.pdf>. Acesso em: 25 abril 2017.

TRÍGONO ENGENHARIA S/C L.T.D.A. **Projeto Executivo Aterro Sanitário de Campo Mourão – PR.** Campo Mourão, 1999.

APÊNDICE: QUESTIONÁRIO DE PESQUISA

1. Quanto a infraestrutura do empreendimento, como o mesmo é classificado?
 - Lixão
 - Aterro controlado
 - Aterro sanitário

2. Em caso de aterro sanitário, qual a técnica construtiva?
 - Trincheira
 - Superfície
 - Depressão

3. Existe algum Plano Municipal de Resíduos Sólidos?
 - Sim
 - Não

4. A proximidade de núcleos habitacionais é considerada adequada (maior que 500 metros)?
 - Sim
 - Não

5. Qual é a vida útil de projeto?
_____ anos.

6. O local de disposição final de rejeitos conta com ferramentas tais como cercas, portão com cadeado, seguranças ou outros mecanismos capazes de dificultar o acesso de pessoas não autorizadas à esta área?
 - Cercas
 - Portão com cadeado
 - Seguranças
 - Outros: _____.

7. Pessoas não autorizadas, tais como catadores frequentam a área? Em caso afirmativo, qual é a estimativa do número de indivíduos. A presença do mesmo é diária?
- Sim. Quantos? Presença diária? _____.
- Não
8. Há disposição de resíduos de serviço hospitalar ou industrial na área?
- Sim
- Não
9. Existe sistema de drenagem da água da chuva? Em caso afirmativo, como se dá o mesmo?
- Sim. Como? _____.
- Não
10. Existe sistema de drenagem de chorume? Em caso afirmativo, como se dá o mesmo?
- Sim. Como? _____.
- Não
11. Existe sistemas algum tipo de sistema para tratamento de chorume? Qual?
- Sim. Qual? _____.
- Não
12. Existe sistema de drenagem de gases? Em caso afirmativo, como se dá o mesmo?
- Sim. Como? _____.
- Não
13. As células possuem impermeabilização? Em caso afirmativo, resíduos são dispostos fora da área impermeabilizada?
- Sim
- Não

14. O sistema de impermeabilização funciona adequadamente?

Sim

Não

15. Qual o tipo de material foi usado para a impermeabilizar o solo?

Solo Compactado

Geomembrana

Solo cimento

Bentonita

16. Qual é a espessura da camada impermeabilizante?

_____ mm.

17. Existe monitoramento de águas subterrâneas? Em caso positivo, como se dá a mesma?

Sim. Como? _____.

Não

18. Há resíduos descobertos além da frente de serviço?

Sim

Não