INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS

CAMPUS PALMAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ELEOMAR FREITAS DA SILVA

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS E OPERACIONAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS DE PALMAS E PORTO NACIONAL - TO

PALMAS

2021

ELEOMAR FREITAS DA SILVA

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS E OPERACIONAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS DE PALMAS E PORTO NACIONAL - TO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Orientadora: Dra. Cláudia da Silva A. Rezende

PALMAS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

S586a Silva, Eleomar Freitas da
Avaliação dos Aspectos Estruturais e Operacionais dos Aterros Sanitários de Palmas e Porto Nacional - TO / Eleomar Freitas da Silva. – Palmas, TO, 2021.
98 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2021.

Orientadora: Dra. Cláudia da Silva Aguiar Rezende

1. Aterro Sanitário. 2. Estrutura. 3. Operação. I. Rezende, Cláudia da Silva Aguiar. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.
Elaborado pelo sistema de geração automatica de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

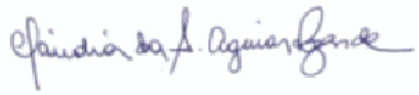
ELEOMAR FREITAS DA SILVA

AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS ESTRUTURAIS E OPERACIONAIS DOS ATERROS SANITÁRIOS DE PALMAS E PORTO NACIONAL - TO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal do Tocantins – Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: 23/04/2021

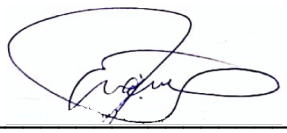
BANCA AVALIADORA



Profa. Dra. Cláudia da Silva A. Rezende
Orientadora
(Instituto Federal do Tocantins)



Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza
(Instituto Federal do Tocantins)



Eng. Civil Dr. João Evangelista Marques Soares
(Instituto Vinte de Maio)

Dedico

A minha mãe, que nunca mediu esforços para que eu pudesse alcançar meus sonhos e ao meu pai (in memoriam), que se faz presente em meu coração e pensamento.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me permitir compartilhar deste momento com aqueles que amo.

À minha mãe, pela dedicação, amor incondicional e incentivo aos estudos desde a infância. A minha família, em especial a minhas irmãs, avós maternos e tias; o apoio a mim prestado foi fundamental para a conclusão do curso.

Às minhas amigas Raissa e Amanda, que contribuíram para que esta jornada acadêmica fosse leve, mesmo em momentos difíceis. Sou imensamente grato pela vida de vocês!

Ao meu amigo Brenno, cuja ajuda foi crucial para o desenvolvimento deste trabalho. Muito obrigado por me auxiliar nas visitas e por estar ao meu lado.

À minha querida amiga e companheira fiel Gyselle, que me acompanhou na faculdade do início ao fim, a você tenho minha eterna admiração e gratidão.

Aos meus amigos Rodolfo, Irna e Kaio, pela parceria nos trabalhos acadêmicos, pelo acolhimento e paciência para me ensinar.

A minha orientadora professora Dra. Cláudia da Silva A. Rezende por acreditar neste trabalho e a minha banca pelas valiosas contribuições.

Por fim, agradeço a todos os professores que passaram por mim, que me fizeram acreditar e partilharam um bem tão valioso que é o conhecimento.

RESUMO

O crescimento populacional, impulsionado pela melhoria das condições econômicas e socias, estão provocando um aumento gradativo na geração de resíduos sólidos urbanos, fato agravado por fatores como a industrialização, poder de consumo superior e mudanças de hábitos. Neste contexto, os aterros sanitários possuem um papel fundamental no que tange a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos gerados. É uma obra de engenharia complexa e que demanda a adoção de estratégias estruturais e operacionais compatíveis com a função de evitar a poluição e contaminação do ecossistema em que é implantado. Em razão da importância do aterro sanitário para a sociedade, aliada as variadas técnicas adotadas no processo de funcionamento, este trabalho tem como objetivo a apresentação de um estudo contendo os resultados dos aspectos estruturais, de operação e monitoramento utilizados nos aterros sanitários dos municípios de Palmas e Porto Nacional, Tocantins. Para a delimitação dos parâmetros de avaliação foram estudadas as normas técnicas relativas ao tema, como a NBR 13896, além de manuais e publicações correlatas, em seguida, estes parâmetros foram apresentados mediante a utilização de um formulário aplicável na segunda etapa metodológica, correspondente as visitas. Foram documentadas, nas visitas técnicas monitoradas, as informações referentes a caracterização do local, dos projetos de impermeabilização, de emissões gasosas, drenagem de líquidos lixiviados e sistemas de tratamento, quanto ao funcionamento operacional e quanto ao plano de monitoramento. Os resultados obtidos com a aplicação dos formulários permitiram concluir que os aterros sanitários analisados estão em consonância com a grande maioria dos critérios estabelecidos, todavia, constatou-se também a ausência de importantes vertentes, como a realização de monitoramento ambiental e geotécnico no Aterro Sanitário de Palmas, a inexistência de projeto para drenagem pluvial das células e de alternativas para aproveitamento dos gases gerados, que foram situações encontradas em ambas as unidades. O trabalho acadêmico teve importância pois os parâmetros avaliados são os responsáveis pelo controle ambiental e de saúde pública, portando, devem ser aplicados de forma rigorosa.

Palavras-chave: Resíduos sólidos. Aterro sanitário. Aspectos Estruturais e Operacionais em obras sanitárias. Palmas – TO. Porto Nacional – TO.

ABSTRACT

Population growth, driven by improved economic and social conditions, is causing a gradual increase in the generation of solid urban waste, a fact aggravated by factors such as industrialization, higher consumption power and changing habits. In this context, landfills have a fundamental role in terms of the environmentally appropriate final destination of the waste generated. It is a complex engineering work that requires the adoption of structural and operational strategies compatible with the function of preventing pollution and contamination of the ecosystem in which it is implanted. Due to the importance of the landfill for society, combined with the various techniques adopted in the functioning process, this work aims to present a study containing the results of the structural, operation and monitoring aspects used in the landfills of the municipalities of Palmas and Porto Nacional, Tocantins. For the delimitation of the evaluation parameters, the technical standards related to the theme were studied, such as NBR 13896, in addition to manuals and related publications, then these parameters were presented using a form applicable in the second methodological stage, corresponding to visits. During the monitored technical visits, information regarding the characterization of the site, waterproofing projects, gaseous emissions, drainage of leachate liquids and treatment systems were documented in terms of operational functioning and the monitoring plan. The results obtained with the application of the forms allowed to conclude that the sanitary landfills analyzed are in line with the great majority of the established criteria, however, there was also the absence of important strands, such as the performance of environmental and geotechnical monitoring at the Palmas Sanitary Landfill, the lack of a project for rain drainage of the cells and alternatives to take advantage of the gases generated, which were situations found in both units. The Academic work was important because the parameters evaluated are responsible for environmental and public health control, therefore, they must be applied rigorously.

Keywords: Solid waste. Landfill. Structural and Operational Aspects in Sanitary Works**.** Palmas – TO. Porto Nacional - TO.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Hierarquia das ações Municipais 22
Figura 2: Aterro Sanitário e suas vertentes 26
Figura 3: Lixão a Céu Aberto 28
Figura 4: Método em Trincheiras 34
Figura 5: Método da Rampa 35
Figura 6: Método da Área 36
Figura 7: Esquema de um sistema de impermeabilização de base 37
Figura 8: Sistema de impermeabilização inferior de base 38
Figura 9: Componentes de uma camada de cobertura final 39
Figura 10: Sistemas de drenagem horizontal 40
Figura 11: Drenos de biogás em aterro sanitário 41
Figura 12: Sistema de Drenagem Pluvial 42
Figura 13: Operação em Aterros Sanitários 44
Figura 14: Procedimentos de descarga, espalhamento e compactação 46
Figura 15: Localização do Aterro Sanitário do Município de Palmas 49
Figura 16: Visita técnica realizada no Aterro Sanitário de Palmas 50
Figura 17: Localização do Aterro Sanitário do Município de Porto Nacional 51
Figura 18: Acesso ao Aterro Sanitário de Porto Nacional 54
Figura 19: Acesso ao Aterro Sanitário de Porto Nacional 55
Figura 20: Sistema de Impermeabilização inferior do Aterro Sanitário de Palmas 56
Figura 21: Impermeabilização da 5º célula do Aterro Sanitário de Palmas 57
Figura 22: Camada de tração da 5º célula do Aterro Sanitário de Palmas 57
Figura 23: Geomembrana de PEAD em célula do Aterro Sanitário de Porto Nacional 58
Figura 24: Sistema de Impermeabilização inferior do Aterro Sanitário de Porto Nacional 58
Figura 25: Sistema de Impermeabilização superior dos aterros sanitários estudados 59
Figura 26: Célula sem proteção de camada vegetal no Aterro Sanitário de Palmas 59
Figura 27: Gramas em talude do Aterro Sanitário de Porto Nacional 60
Figura 28: Sistema de tratamento de lixiviados do Aterro Sanitário de Palmas 61
Figura 29: Sistema de tratamento de lixiviados do Aterro Sanitário de Porto Nacional 62
Figura 30: Sistema de drenagem de lixiviados e emissões gasosas do Aterro Sanitário de Porto Nacional 63
Figura 31: Dreno vertical em Célula encerrada do Aterro Sanitário de Palmas 63
Figura 32: Barreira física para contenção de águas superficiais no Aterro Sanitário de Porto Nacional 65
Figura 33: Processo erosivo encontrado no Aterro Sanitário de Palmas 65

Figura 34: Guarita com balança rodoviária no Aterro Sanitário de Palmas 68
Figura 35: Operador de balança no Aterro Sanitário de Porto Nacional 68
Figura 36: Guarita com balança rodoviária no Aterro Sanitário de Porto Nacional 69
Figura 37: Cercamento e cobertura vegetal, localizados no Aterro Sanitário de Palmas..... 69
Figura 38: Barreira vegetal presente no Aterro Sanitário de Porto Nacional 70
Figura 39: Instalações do Aterro Sanitário de Palmas..... 70
Figura 40: Museu do Lixo, localizado no Aterro Sanitário de Palmas..... 71
Figura 41: Instalações do Aterro Sanitário de Porto Nacional 72
Figura 42: Instalações do Aterro Sanitário de Porto Nacional 72
Figura 43: Umectação de área em operação no Aterro Sanitário de Porto Nacional..... 73
Figura 44: Micro usina fotovoltaica em Porto Nacional..... 73
Figura 45: Esquema geral de operação identificado nos Aterros Sanitários..... 74
Figura 46: Descarregamento de resíduos em Porto Nacional 75
Figura 47: Compactação de resíduos em célula do Aterro Sanitário de Porto Nacional..... 76
Figura 48: Compactação de resíduos em célula do Aterro Sanitário de Palmas 76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil 27
Gráfico 2: Disposição final de RSU no Brasil 27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação entre a Geração e Coleta de RSU no Tocantins..... 30
Tabela 2: Estimativa de Geração de RSU nos principais municípios do Estado 30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Caracterização Preliminar dos Aterros Sanitários 52
Quadro 2: Apresentação dos critérios de caracterização local..... 53
Quadro 3: Aspectos gerais de infraestrutura dos Aterros Sanitários estudados..... 67

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 16
1.1. Problema de Pesquisa 17
1.2. Justificativa 17
1.3. Objetivos 18
1.3.1. Objetivo Geral 18
1.3.2. Objetivos Específicos 18
2. REFERENCIAL TEÓRICO 18
2.1. Resíduos Sólidos (RS) 18
2.1.1. Classificação e Caracterização 19
2.2. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos 21
2.3. Formas de Tratamento 22
2.3.1. Triagem e Reciclagem de RSU 23
2.3.2. Tratamento Biológico - Compostagem 23
2.3.3. Incineração 24
2.3.4. Aterro Sanitário 24
2.4. Desafios da Disposição Final 26
2.4.1. Lixão 28
2.4.2. Aterro Controlado (Lixão) 29
2.5. Panorama do Manejo de Resíduos Sólidos no Tocantins 29
2.6. Aterro Sanitário 30
2.6.1. Implantação 30
2.6.2. Aspectos Estruturais 33
2.6.2.1. Método Construtivo 33
2.6.2.2. Sistemas de Impermeabilização 36
2.6.2.3. Sistemas de Drenagem 39
2.6.3. Aspectos Operacionais 42
2.6.4. Monitoramento 46
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 48
3.1. Planejamento e levantamento dos aspectos de estrutura e operação dos Aterros Sanitários. 48
3.2. Localização 49
3.2.1. Aterro Sanitário de Palmas – TO 49

3.2.2. Aterro Sanitário de Porto Nacional – TO....50
3.3. Caracterização Preliminar....52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO....52
4.1. Caracterização Local....52
4.2. Projeto de Impermeabilização inferior e superior....56
4.3. Sistema de drenagem de lixiviados....60
4.4. Sistema de drenagem de gases....62
4.5. Sistema de drenagem de água pluvial....64
4.6. Aspectos Gerais de infraestrutura dos Aterros Sanitários....66
4.7. Descrição do Procedimento Operacional....74
4.8. Tipologia de material para cobertura diária....77
4.9. Plano de monitoramento ambiental e geotécnico....77
5. CONCLUSÃO....79
6. REFERÊNCIAS....81
7. APÊNDICES....85

1. INTRODUÇÃO

As cidades brasileiras estão apresentando altas no crescimento, ano após ano. No censo de 2010, somente 38 cidades tinham população superior a 500 mil habitantes, e 15 delas tinham mais de um milhão de moradores. Já em 2020, eram 49 os municípios brasileiros com mais de 500 mil habitantes, sendo 17 os que superavam a marca de um milhão de habitantes (GUIMARÃES, 2020).

O crescimento das cidades traz problemas desafiadores, um deles é o aumento da produção de resíduos sólidos urbanos, que também tem como causa as mudanças comportamentais e os perfis de consumos atuais. A população brasileira apresentou um crescimento de 0,75% entre 2016 e 2017, enquanto a geração per capita de RSU apresentou aumento de 0,48%. A geração total de resíduos aumentou 1% no mesmo período, atingindo um total de 214.868 toneladas diárias de RSU no país (ABRELPE, 2018).

Segundo dados fornecidos por Abrelpe (2020), no ano de 2019 mais de 40% dos resíduos sólidos gerados foram dispostos de forma inadequada, como em lixões e aterros controlados, situação indevida, que contribui para a contaminação dos solos, cursos d'água e lençóis freáticos. Os aterros sanitários, segundo dados fornecidos pela mesma revista, correspondem a fatia de 59,5 % da disposição final no Brasil, e embora estejam em número maior, ainda está longe de ser a situação ideal.

Os aterros sanitários constituem como a tecnologia mais utilizada no mundo para a disposição final, fato que se deve em razão de ser concebido com base em estudos que visam reduzir ao máximo os impactos causados no meio ambiente. Todavia, para que sejam eficientes, segundo Catapreta (2008), devem possuir acompanhamento e monitoramento adequado, além de serem projetados com base nas tecnologias e normas previstas para tal.

Segundo Jucá *et. al*. (2014) dentre os elementos do aterro a serem projetados estão: sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, de líquidos e gases gerados na decomposição da massa de resíduos, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados e outros.

A junção dos critérios adotados no projeto de um aterro, aliados a rotina de operação e de monitoramento são fundamentais para a garantia dos benefícios abordados, possuindo grande relevância de estudo, já que muitas vezes, por apresenta-

rem custos elevados para implantação, são negligenciados ou carecem de uma padronização. Neste contexto, a análise do presente trabalho tem foco na identificação e avaliação dos critérios de engenharia implantados nas etapas de construção e operação dos aterros sanitários de Palmas e Porto Nacional e como, estes, podem ser aprimorados.

1.1. Problema de Pesquisa

O trabalho busca apresentar informações suficientes para responder as problemáticas: Quais os critérios estruturais e procedimentos operacionais adotados nos aterros sanitários de Palmas e de Porto Nacional? Os mesmos estão conformidade com as técnicas e principais literaturas?

1.2. Justificativa

Para Lanza *et. al*. (2005), embora consistindo em uma técnica simples, os aterros sanitários exigem cuidados especiais, e procedimentos específicos devem ser seguidos desde a escolha da área até a sua operação e monitoramento. Deve-se buscar, ao projetar um aterro, uma vida útil superior a 10 anos, e o seu monitoramento deve prolongar-se, no mínimo, por mais 10 anos após o encerramento.

A operação dos aterros sanitários envolve inúmeras intervenções e atividades multidisciplinares, relacionadas à engenharia civil e sanitária e ao controle ambiental. Para Catapreta (2008) os critérios técnicos e operacionais hoje adotados são resultados de estudos voltados para consolidar o controle ambiental e prover a destinação correta dos resíduos.

IPT/Cempre (2018) salienta que a adoção de critérios corretos e do monitoramento em aterros sanitários é importante em razão das reações bioquímicas que ocorrem no resíduo orgânico em contato com o maciço e suas consequências, como os lixiviados e emissões gasosas.

Quando não existe nenhuma forma de tratamento operacional e de controle de proteção para o meio ambiente esse processo poderá acarretar enormes prejuízos para o meio ambiente e para a saúde pública (MARQUES & AZEVEDO, 2019).

Diante da complexidade do aterro sanitário torna-se necessária a adoção de técnicas estruturais e operacionais compatíveis com as tecnologias e normas técnicas

previstas, e ainda, que as medidas sejam voltadas a prevenção e mitigação de problemas ambientais e saúde pública. Os critérios envolvidos na estrutura e operação do aterro são determinantes e atestam a funcionalidade do mesmo.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar os critérios técnicos estruturais e os procedimentos operacionais utilizados nas etapas de construção e execução dos aterros escolhidos para estudo.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Estabelecer os parâmetros de avaliação de um aterro sanitário, segundo as normas e estudos correlatos;
- Apresentar a avaliação dos critérios estruturais utilizados nas etapas de implantação e construção dos aterros sanitários;
- Identificar e avaliar os procedimentos operacionais aplicados na etapa de execução e operação dos aterros sanitários;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Resíduos Sólidos (RS)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 10.004 (2004, p.1) define os resíduos sólidos como:

> "Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível".

Enquanto a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010, p. 3), que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos – PNRS, em seu artigo 3º, inciso XVI, define os resíduos sólidos 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".

2.1.1. Classificação e Caracterização

De acordo com Monteiro *et al*. (2001), são várias as maneiras de se classificar os resíduos sólidos. As mais comuns são quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos utiliza o Art. 13 para apresentar o enquadramento dos resíduos quanto à origem e o seu grau de periculosidade, que são:

> "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".

Ainda neste contexto, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT - NBR 10.004, 2004) apresenta a classificação dos resíduos sólidos em três grandes grupos, que seguem a lógica das definições anteriores, de modo a agrupar os tipos quanto à periculosidade, à origem e às propriedades físicas, químicas e biológicas. Assim sendo, apresentam-se em:

- **Resíduos Classe I – Perigosos**: são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas podem apresentar risco à saúde pública ou meio ambiente quando for gerenciado de forma inadequada. A norma apresenta as características que atestam a periculosidade dos resíduos nos itens 4.2.1.1 a 4.2.1.5.
- **Resíduos Classe II A – Não Inertes**: são aqueles que não fazem parte do grupo de resíduos perigosos, mas que podem apresentar propriedades singulares, tais como: a biodegrabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- **Resíduos Classe II B – Inertes**: são aqueles que ao serem submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Os resíduos sólidos possuem características físicas, químicas e biológicas, que se alteram, de acordo com o processo ou atividade, que origina o resíduo. A identificação e o estudo aprofundado destas características são fundamentais para o planejamento de todo o sistema de gerenciamento, pois eles influenciam no dimensionamento das instalações e equipamentos para coleta e transporte e na escolha das tecnologias de tratamento para destinação dos resíduos sólidos gerados (IPT/CEMPRE, 2018).

Segundo Monteiro *et al*. (2001), as características físicas são:

- **Geração per capita (kg/hab./dia):** relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerada diariamente e o número de habitantes de determinada região. A informação é de grande relevância pois permite o dimensionamento de elementos do sistema de tratamento, como a coleta e o transporte.

- **Composição gravimétrica:** informação fundamental para estudos de aproveitamento e tratamento, já que indica o percentual de cada componente em relação a uma amostra do resíduo coletado. As frações existentes podem ser: papel/papelão, plásticos, vidros, metais, matéria orgânica e outras.
- **Peso específico aparente:** é o peso do lixo solto em função do volume ocupado; relaciona massa e volume dos resíduos. No Brasil, na ausência de dados exatos, utiliza-se os seguintes dados: 230 kg/m³ para o peso específico do lixo domiciliar, de 280 kg/m³ para o peso específico dos resíduos de serviços da saúde e de 1300 kg/m³ para o de entulho de obras. Este dado é fundamental no dimensionamento da frota de coleta, assim como caçambas e containers.
- **Umidade:** dado apresentado em termos percentuais que indica a quantidade de água contida no lixo. Este dado influencia no cálculo de produção de chorume e no correto dimensionamento do sistema de coleta de percolados.
- **Compressividade:** é o grau de compactação/redução do volume de uma massa de lixo ao passar pelo processo de compactação. O dado é fundamental para o dimensionamento de veículos coletores.

As características químicas dos resíduos sólidos são definidas mediante a quatro fatores específicos: poder calorífico, potencial hidrogeniônico (pH), composição química, relação carbono/nitrogênio (MONTEIRO *et. al*., 2001).

As características biológicas são determinadas em função da população microbiana presente na massa de resíduo. Estas características influenciam diretamente na escolha do método de disposição final mais adequado e permite a prevenção da produção de odores e geração de moscas (TCHOBANOGLOUS et al., 1993 *apud* RIBEIRO, 2016).

2.2. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

O Brasil ainda possui diversos problemas quanto a disposição e gestão dos resíduos, portanto, diante da problemática existente, foi criada em 2010 a PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos, mediante o Decreto Nº 7404 de 23 de setembro de 2010 e Lei Nº 12.305. A PNRS reúne princípios, objetivos e instrumentos atreladas ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público. Em seu Art. 3º. inciso XI (BRASIL, 2010a) define a gestão integrada de resíduos sólidos como o conjunto de ações voltadas para a busca

de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

No capítulo II da PNRS, Art. 7º, é identificada a hierarquia dos processos e ações de gestão prioritárias aos municípios, estes que foram esquematizadas pela Figura 1, que são: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição.

Figura 1: Hierarquia das ações Municipais



Fonte: Adaptado de SEMA-PR (2016)

De acordo com IPT/Cempre (2018) as ações prioritárias para qualquer modelo de gerenciamento do lixo devem ser:

1. Coletar todo o lixo gerado de responsabilidade da prefeitura.
2. Dar um destino final adequado para todo o lixo coletado.
3. Buscar formas de segregação e tratamento para o lixo do seu município. Considerar que essas formas só darão resultados positivos e duradouros se responderem a claros requisitos ambientais e econômicos.
4. Fazer campanhas e implantar programas voltados à sensibilização e conscientização da população no sentido de manter a limpeza da cidade.
5. Incentivar medidas que visem diminuir a geração do lixo.

Zaneti e Sá (2002) reafirma que o sistema de gerenciamento dos resíduos deve ser trabalhado de forma ampla, considerando o ponto de vista individualizado e da responsabilidade compartilhada, que vão desde a busca pela prevenção (mudanças de hábitos de produção e consumo); responsabilização das empresas quanto ao destino de embalagens e resíduos; redução, reutilização e reciclagem; valorização orgânica e energética dos resíduos, eliminação (aterros e incineração).

2.3. Formas de Tratamento

Para Jucá *et. al*. (2014) o tratamento do RSU pode ser compreendido como uma série de procedimentos físicos, químicos e biológicos que têm por objetivo diminuir a carga poluidora no meio ambiente, reduzir os impactos sanitários negativos do homem e o beneficiamento econômico do resíduo.

O mesmo autor elucida em sua publicação que atualmente existem diversos tratamentos, que variam de acordo com a tipologia de resíduos, no Brasil, a prática amplamente aceita para tratamento é a disposição final em aterros sanitários, embora ainda exista no país uma enorme quantidade de aterros controlados e lixões, variando de acordo com a região geográfica e o tamanho das cidades.

De forma geral existem quatro sistemas básicos de tratamento e disposição de RSU que se baseiam na triagem e reciclagem, tratamento biológicos, incineração e aterros sanitários.

2.3.1. Triagem e Reciclagem de RSU

De acordo com Jucá *et. al*. (2014) o processo de segregação e triagem dos resíduos sólidos urbanos sucede as operações de coleta e transporte.

Portanto, após a coleta e o transporte dos resíduos, estes passam por unidades de triagem, que podem ser manuais ou mecanizadas e são responsáveis por fornecer às industrias recicladoras um resíduo segregado, limpo e beneficiado, aumentando a eficácia dos processos. Ainda segundo Jucá *et. al*. (2014b), é preferível, no momento da coleta, a realização da segregação diferenciada e prévia dos materiais potencialmente recicláveis, de tal forma que seja evitada perdas e retrabalho.

A reciclagem, etapa sucessora dos processos de triagem, segundo os termos da Lei Federal 12.305/10, é o processo de transformação dos resíduos envolvendo a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação destes em insumos ou novos produtos.

Jucá *et. al*. (2014) salienta que entre os vários aspectos positivos da reciclagem destacam-se a preservação de recursos naturais, economia de energia, geração de trabalho e renda, e conscientização da população para as questões ambientais.

2.3.2. Tratamento Biológico - Compostagem

De acordo com IPT/Cempre (2018, p. 89), a compostagem é a “decomposição aeróbica da matéria orgânica que ocorre por ação de agentes biológicos microbianos na presença de oxigênio, levando a formação de um produto de boa qualidade.” Em síntese, os resíduos orgânicos são transformados em substâncias húmicas.

Para a realização da compostagem deve-se amontoar os materiais na forma de pilha ou em uma composteira. Os materiais para compostagem não devem incluir plásticos, vidros, metais, óleos, tintas, laticínios, excesso de carnes e gorduras (SUÇUARANA, 2018).

IPT/Cempre (2018, p. 89) elucida as vantagens decorrente do processo de compostagem, que são:

> “Redução de 50% do lixo destinado ao aterro, economia do aterro sanitário, aproveitamento agrícola da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes para o solo, processo ambientalmente seguro, eliminação de patógenos, economia de tratamento de efluentes”.

2.3.3. Incineração

De acordo com Santaella *et al*. (2014) a incineração é um processo de queima dos resíduos sólidos, em temperaturas muito elevadas, até a sua transformação em cinzas, com o objetivo de reduzir massa e volume destes resíduos.

Dentre as vantagens da incineração, têm-se a redução do volume de lixo, a eliminação de características patogênicas dos resíduos de saúde, e a recuperação energética, que pode substituir as formas de geração energia tradicionais. Entretanto, o aproveitamento energético de resíduos sólidos através da incineração é pouco utilizado no Brasil (MONTESANTI, 2018).

Para Santaella *et. al*. (2014) as desvantagens de se utilizar a incineração como tratamento dos resíduos sólidos são:

- Elevados custos de instalação, de operação e de manutenção;
- Necessidade de aterro sanitário para disposição das cinzas;
- Exigência de pessoal especializado para operação e manutenção dos incineradores;
- Necessidade de controle da poluição atmosférica.

2.3.4. Aterro Sanitário

A ABNT NBR 8419 (1992) apresenta a definição de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, como:

> "Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário".

Como foi abordado, o aterro sanitário (Figura 2) utiliza princípios de engenharia, e ao ser comparado a outras estratégias de disposição, como os lixões e aterros controlados, apresenta vantagens, em razão disto, a PNRS (BRASIL, 2010) indica os aterros como a principal alternativa de disposição final.

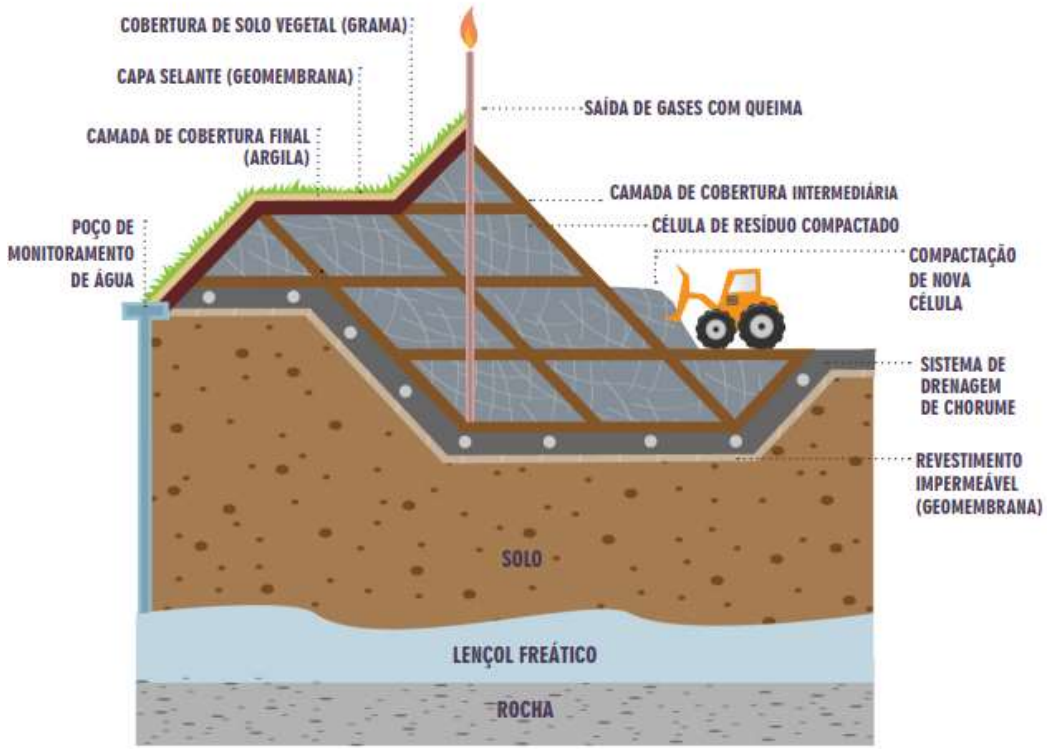
O aterro sanitário – sistema muito utilizado no Brasil para descarte dos resíduos sólidos urbanos – é uma área licenciada por órgãos ambientais, onde o lixo é descartado, espalhado, compactado e coberto por terra diariamente. Os aterros sanitários reduzem a poluição, colabora para a redução da emissão de gases de efeito estufa e evita odores desagradáveis (SIGNIFICADOS, 2016).

Em Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão, 2014, p. 63:

> "o aterro sanitário deve possuir elementos projetados e planejados com critérios de engenharia, como um sistema de impermeabilização de base, sistema de drenagem de águas superficiais, drenagem de líquidos e gases, sistema de cobertura dos resíduos, unidades de tratamento de lixiviados e outros".

Este conjunto de sistemas e unidades visa garantir a segurança do aterro, o controle de efluentes líquidos, a redução das emissões gasosas, bem como a redução de riscos à saúde da população, garantindo assim o correto recebimento e tratamento dos resíduos, com menor impacto ambiental e proteção da saúde pública (MONTEIRO *et. al*., 2001).

Figura 2: Aterro Sanitário e suas vertentes



Fonte: SEMA-PR (2016)

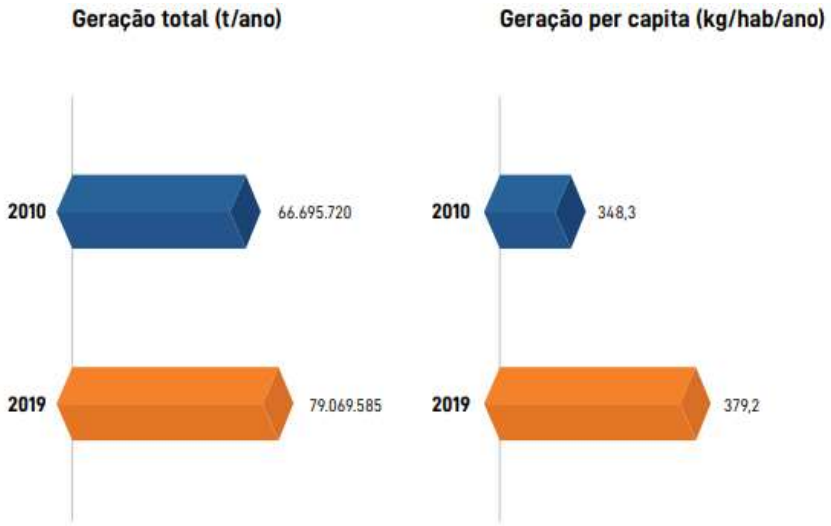
2.4. Desafios da Disposição Final

No Brasil são empregadas três formas principais para disposição final dos RSU gerados nos municípios, o lixão, o aterro controlado e o aterro sanitário, sendo que apenas o aterro sanitário se apresenta como uma solução técnica adequada. Segundo São Francisco (2010) ainda são comumente adotadas as disposições sem tratamento prévio, como lixão e aterro controlado.

A busca por novas áreas para disposição final dos resíduos tem se intensificado devido o volume dos resíduos gerados, que são maiores a cada ano (SÃO FRANCISCO, 2010).

Os dados que podem evidenciar a afirmação acima são os apresentados por Abrelpe (2020), através do panorama comemorativo que mostra a evolução dos resíduos sólidos na última década. O Gráfico 1 indica que a geração per capita de RSU no Brasil em 2019 foi de 379,2 kg/hab/ano, número que contrasta com os dados obtidos no ano de 2010, que foi de 348,3 kg/hab/ano.

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE (2020)

O Gráfico 2 indica a situação persistente da disposição final em locais inadequados, visto que ainda no ano de 2019 cerca de 40,5 % dos resíduos coletados são dispostos em aterros controlados e lixões.

Gráfico 2: Disposição final de RSU no Brasil



Fonte: ABRELPE (2020)

A Abrelpe (2020) apresenta também em seu relatório os seguintes dados:

> “No Brasil, a maior parte dos RSU coletados segue para disposição em aterros sanitários, tendo registrado um aumento de 10 milhões de toneladas em uma década, passando de 33 milhões de toneladas por ano para 43 milhões

> de toneladas. Por outro lado, a quantidade de resíduos que segue para unidades inadequadas (lixões e aterros controlados) também cresceu, passando de 25 milhões de toneladas por ano para pouco mais 29 milhões de toneladas por ano".

Alguns dos problemas envolvendo os resíduos sólidos e a disposição final nas cidades são relatados por IPT/Cempre (2018):

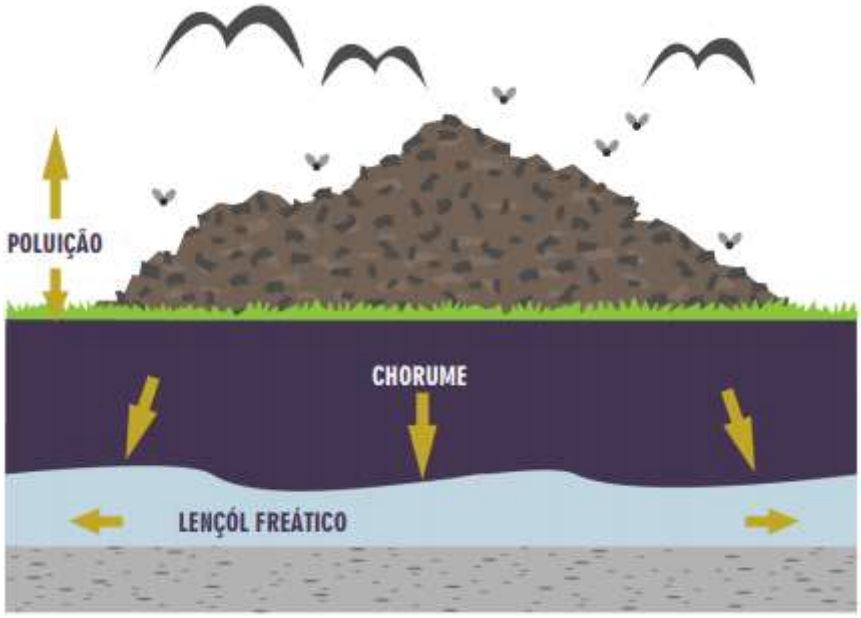
- Escassez ou inexistência de áreas para a disposição final do lixo;
- Conflitos de usos do solo, com a população estabelecida no entorno das instalações de tratamento, aterros e lixões;
- Exportação de lixo a municípios vizinhos, gerando resistências;
- Lixões e aterros operados de forma inadequada, poluindo recursos hídricos.

2.4.1. Lixão

Segundo Castilhos Júnior (2003) o lixão (Figura 3) é um depósito de resíduos sólidos a céu aberto de forma desordenada, sem compactação ou cobertura dos resíduos, o que propicia a poluição do solo, ar e água, bem como a proliferação de vetores e doenças.

Todo o resíduo é depositado e deixado exposto sem qualquer monitoramento ambiental. A existência dessas áreas para a legislação brasileira é considerada como crime ambiental (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2016).

Figura 3: Lixão a Céu Aberto



Fonte: SEMA-PR (2016)

A presença de vetores causadores de doenças, poluição dos solos e atmosfera, são algumas das consequências dos lixões. Agentes biológicos e químicos contidos no chorume, são os responsáveis pela contaminação do solo, dos reservatórios subterrâneos e ar atmosférico (PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS, 2016).

2.4.2. Aterro Controlado (Lixão)

De acordo com Monteiro *et. al*. (2001) os processos recomendados para a disposição adequada do lixo domiciliar é o aterro, existindo dois tipos: os aterros sanitários e os aterros controlados. Fogaça (2019) afirma que os aterros controlados são uma categoria intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, fato que se dá em razão dos aterros controlados utilizarem critérios de engenharia em sua concepção, mas ainda promoverem poluição.

IPT/Cempre (2018) corrobora a afirmação, uma vez que apresenta a lógica de que a poluição promovida pelos aterros controlados é minimizada pela aplicação dos critérios de confinamento, em contrapartida, não dispõem de impermeabilização de base, nem de sistemas de tratamento de percolados.

Apesar de ser preferível ao lixão, em razão dos custos de operação e os problemas ambientais causados, torna-se recomendado a adoção do aterro sanitário.

2.5. Panorama do Manejo de Resíduos Sólidos no Tocantins

O Estado do Tocantins possui uma extensão territorial de 277.466,763 km² e segundo o IBGE (2020) a população estimada é de 1.590.248 habitantes. Palmas, a capital do Estado, e o município de Porto Nacional, avaliados no presente trabalho, possuem respectivamente a população estimada de 306.292 e 53.316 habitantes para o mesmo ano.

Segundo o Panorama fornecido pela Abrelpe (2020), organizados na Tabela 1, entre os municípios tocantinenses foi gerado o montante de 449.480 toneladas de RSU no ano de 2019, em contrapartida, foi coletado apenas 375.220 toneladas, resultando em uma cobertura de 83,4%, valor inferior à média nacional, que é de 92%, segundo o mesmo panorama.

Tabela 1: Relação entre a geração e coleta de RSU no Tocantins

Estado	Geração Total 2019 (t/ano)	Coleta Total 2019 (t/ano)	Cobertura
Tocantins	449.480	375.220	83,40%

Fonte: Adaptado de ABRELPE (2020)

Conforme dados do PERS/TO (TOCANTINS, 2017), no Estado do Tocantins há três municípios com taxa de cobertura de coleta convencional inferior a 50%: Palmeirante (40,78%); Cachoerinha (41,91%); e Lizarda (35,01%), pertencentes às áreas-programa de Araguaína, Araguatins e Novo Acordo, respectivamente (IBGE, 2010a). As cidades de Palmas e Porto Nacional possuem cobertura de 99,01% e 95,36%, respectivamente.

PERS/TO (2017) relata ainda que dos 139 municípios do Estado, atualmente, a disposição final ocorre em 129 lixões, 7 aterros controlados e 3 aterros sanitários. Há apenas 7 licenças ambientais de operação ativas.

Em Palmas, capital do Estado, a quantidade de RSU gerados em 2016, segundo a empresa Ecotécnica, foi de 94.226,18 t/ano, enquanto Porto Nacional foi de 9.827,15 t/ano, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Estimativa de geração de RSU nos principais municípios do Estado

Municípios	2016 (Ano 0)	2026 (Ano 10)	2036 (Ano 20)
Palmas	94.226,18	134.428,43	191.783,24
Araguaína	47.197,17	60.319,59	77.200,36
Gurupi	17.935,24	28.180,64	33.540,56
Porto Nacional	9.827,15	11.070,91	12.489,87
Paraíso do Tocantins	10.316,26	12.585,53	15.375,19
Total do Estado	**287.599,45**	**382.859,57**	**489.911,78**

Fonte: Adaptado de ECOTÉCNICA (2016)

2.6. Aterro Sanitário

2.6.1. Implantação

Como abordado em formas de tratamento dos resíduos sólidos, Item 2.3, dentre as tecnologias de tratamento de RSU utilizadas no Brasil, o aterro sanitário é a opção de disposição final recomendada pela PNRS (BRASIL, 2010), fato que se deve aos problemas ambientais e critérios de engenharia ausentes/ineficientes dos lixões

e aterros controlados, conforme Item 2.4 (desafios da disposição final de Resíduos sólidos). A expectativa é de que os aterros sanitários sejam aplicados em todo o país, em substituição as outras formas de disposição inadequadas, tornando-se o único sistema em utilização.

Segundo Tchobanoglous *et. al*. (2002, p. 1.11) os aterros não somente apresentam vantagens quanto aos outros sistemas, como também são imprescindíveis, tendo em vista que alguns resíduos não podem ser reaproveitados nas opções de tratamento viabilizadas, devido ao seu pouco valor agregado.

O mesmo autor, em sua publicação, afirma que o desafio atualmente é garantir que os aterros em operação sejam projetados e monitorados de maneira adequada, ou seja, os benefícios são ligados a qualidade do projeto de engenharia, implantação e operação. Jucá *et. al*. (2014) corrobora esta teoria, afirmando da importância da aplicação de projetos com critérios de engenharia.

Os aterros sanitários são obras complexas e possuem concepções únicas que dependem das condições apresentadas para cada caso, todavia, Monteiro *et al*. (2001, p. 151) designa áreas comuns a maioria dos aterros, que são:

> **"Unidades operacionais:**
> Células de lixo domiciliar;
> Células de lixo hospitalar;
> Área para impermeabilização de fundo e superior;
> Sistema de coleta e tratamento dos líquidos percolados;
> Sistema de drenagem e afastamento das águas pluviais;
> Sistema de monitoramento ambiental, topográfico e geotécnico;
> Pátio de estocagem de materiais.
> **Unidades de apoio:**
> Cerca e barreira vegetal;
> Estradas de acesso e de serviço;
> Balança rodoviária e sistema de controle de resíduos;
> Guarita de entrada e prédio administrativo;
> Oficina e borracharia".

No que tange as condições gerais para a concepção de um aterro sanitário, Lino (2007) salienta que o primeiro passo para uma disposição final adequada se inicia com a seleção de locais favoráveis para a implantação do aterro sanitário.

Áreas adequadas, além de promoverem a proteção ao ambiente e à saúde pública, representam menores gastos com as etapas de implantação, operação e encerramento do empreendimento, proporcionando economia em todo o processo (LINO, 2007).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) por meio da NBR 13896 (1997, p.2) apresenta medidas de seleção para as áreas do aterro, que são:

> "a) O impacto ambiental a ser causado pela instalação do aterro seja minimizado;
> b) A aceitação da instalação pela população seja maximizada;
> c) Esteja de acordo com o zoneamento da região;
> d) Possa ser utilizado por um longo espaço de tempo, necessitando apenas de um mínimo de obras para início da operação".

Apresentadas as medidas de seleção, a mesma norma, no item 4.1.1 apresenta os critérios para a avaliação de adequabilidade do local de implantação dos aterros sanitários, que são:

- **Topografia:** característica importante na determinação do método construtivo e das obras de terraplanagem. Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%;
- **Geologia e tipos de solo:** considera-se desejável um depósito natural e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10-6cm/s;
- **Recursos hídricos:** deve ser avaliada a possível influência do aterro sanitário na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, além disso, deve-se manter a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água;
- **Vegetação:** deve-se avaliar a vegetação, tendo em vista que ela pode ser favorável a implantação do aterro, reduzindo-se processos de erosão, formação de poeira e odores;
- **Acessos:** é um fator importante, visto que os acessos serão utilizados durante toda a fase de operação do aterro;
- **Tamanho disponível e vida útil:** recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos;
- **Custos:** os custos de um aterro são variáveis, dependendo do método construtivo. É necessária, em razão disto, a elaboração de um cronograma físico financeiro para permitir a análise de viabilidade econômica do empreendimento;
- **Distância mínima de núcleos populacionais:** deve ser avaliada a distância do limite do aterro a núcleos populacionais, recomendada distância superior a 500 m.

Além destes critérios, em qualquer caso, obrigatoriamente, o aterro sanitário não pode ser implantado em área sujeita a inundação, em período de recorrência de

100 anos. Entre a superfície do aterro sanitário e o ponto mais alto do lençol freático deve haver uma camada natural de espessura mínima de 1,50 m de solo insaturado. O coeficiente de permeabilidade do solo, onde o aterro será executado, deve ser inferior a 5×10^{-5} cm/s. O aterro deve ser implantando em área, conforme a legislação local de uso do solo (ABNT, 1997).

Após a escolha da área de implantação baseada nos requisitos citados, têm-se a etapa de busca pelos requisitos legais para se iniciar a execução do projeto, que segundo Nucase (2008) são compreendidas pelas licenças ambientais, sendo estas: Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO).

As apresentações dos projetos de aterros sanitários são regidas por duas normas, a NBR 13896 (ABNT, 1997), que estabelece os critérios de projeto de aterros de resíduos não perigosos, e a NBR 8419 (ABNT, 1992), que determina as condições mínimas exigíveis para a apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

Portanto, segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992), os projetos de aterro sanitário devem ser apresentados obrigatoriamente das seguintes partes:

- **Memorial descritivo:** carrega as informações cadastrais, dos resíduos a serem dispostos, a caracterização do local, concepção e justificativa do projeto, descrição e especificações dos elementos do projeto, operação e uso futuro da área;
- **Memorial Técnico:** deve descrever o cálculo dos elementos do projeto, vida útil do aterro sanitário, sistema de drenagem superficial, sistema de drenagem, remoção e tratamento do líquido percolado, sistema de drenagem de gás e estabilidade dos maciços;
- **Estimativas de custo e cronograma:** relação de equipamentos utilizados, mão de obra empregada, materiais utilizados e instalação de serviços e apoio;
- **Desenhos e plantas:** localização geográfica do aterro, acessos e instalações de apoio, cursos d'água e existência de poços na região, usos do solo da região vizinha.

2.6.2. Aspectos Estruturais

2.6.2.1. Método Construtivo

De acordo com IPT/Cempre (2018) o processo de aterramento do lixo é executado tradicionalmente sob três formas: método das trincheiras ou células, método da rampa e método da área.

O método de execução é determinado pelo porte do aterro e pelas características topográficas, do tipo de solo e da profundidade do lençol freático do local escolhido para a disposição dos resíduos (NUCASE, 2008).

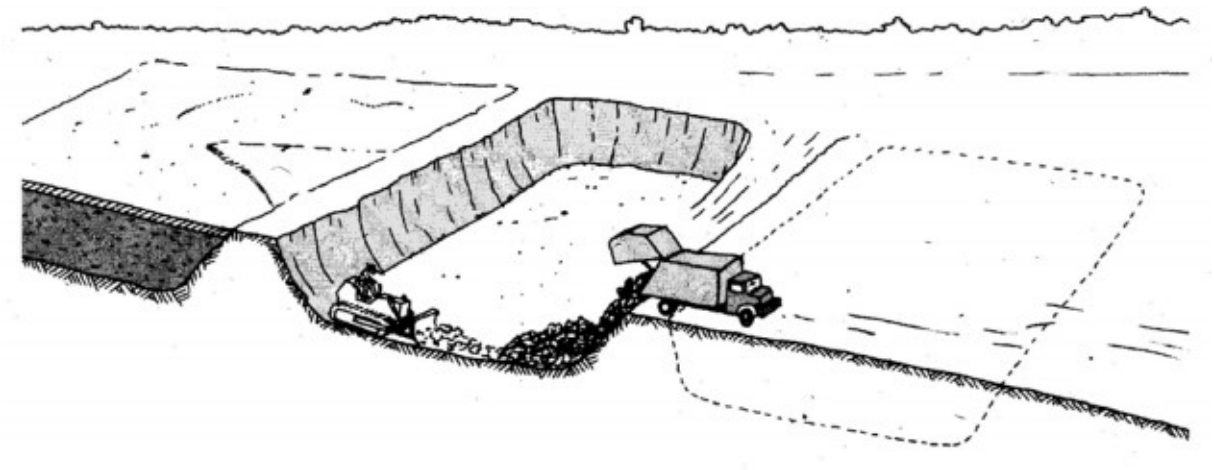
a) Método da Trincheira

De acordo com Jucá *et. al. (*2014) o método da trincheira (Figura 4) é geralmente utilizado em terrenos planos, ambiente em que são escavadas células de dois a três metros de profundidade, a depender da profundidade do lençol freático.

Na fase de operação os rejeitos devem ser descarregados e compactados dentro da célula e cobertos no final de cada dia com uma camada de 20 e 30 cm do solo que foi previamente escavado. A camada final de cobertura deve ter uma espessura mínima de 60 cm e elevada acima da superfície natural do terreno para compensar a acomodação do mesmo quanto a decomposição do lixo (JUCÁ *et. al*., 2014).

As dimensões da trincheira definem os métodos construtivos, a forma de operação e os equipamentos a serem utilizados. Os resíduos podem ser compactados de forma manual ou mecânica, dependendo das dimensões da trincheira. Aterros em trincheira mostram-se adequados a pequenas comunidades, pois podem ser operados de forma manual (NUCASE, 2008).

Figura 4: Método em Trincheiras



Fonte: Adaptado de IPT/Cempre (2018)

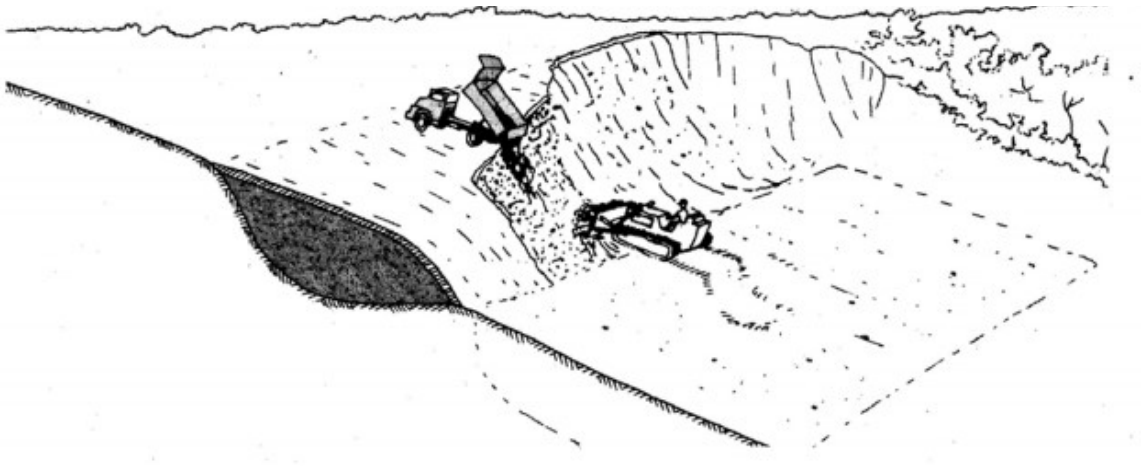
b) Método da Rampa

Para Jucá *et. al*. (2014) o método da rampa (Figura 5) é caracterizado pelo uso de taludes pré-existentes, usualmente implantados em áreas de ondulações ou depressões naturais, encostas de morros ou pedreiras e áreas de mineração desativadas.

Nucase (2008, p. 59) também apresenta a definição e a aplicação do método:

> "Geralmente são empregados em áreas relativamente secas e planas, de meia encosta, onde se modifica a topografia através de terraplanagem, construindo-se uma rampa cujos resíduos são dispostos, formando células. O método consiste no aterro feito com o aproveitamento de um talude, natural ou construído, onde os resíduos são compactados de encontro a esse talude".

Figura 5: Método da Rampa



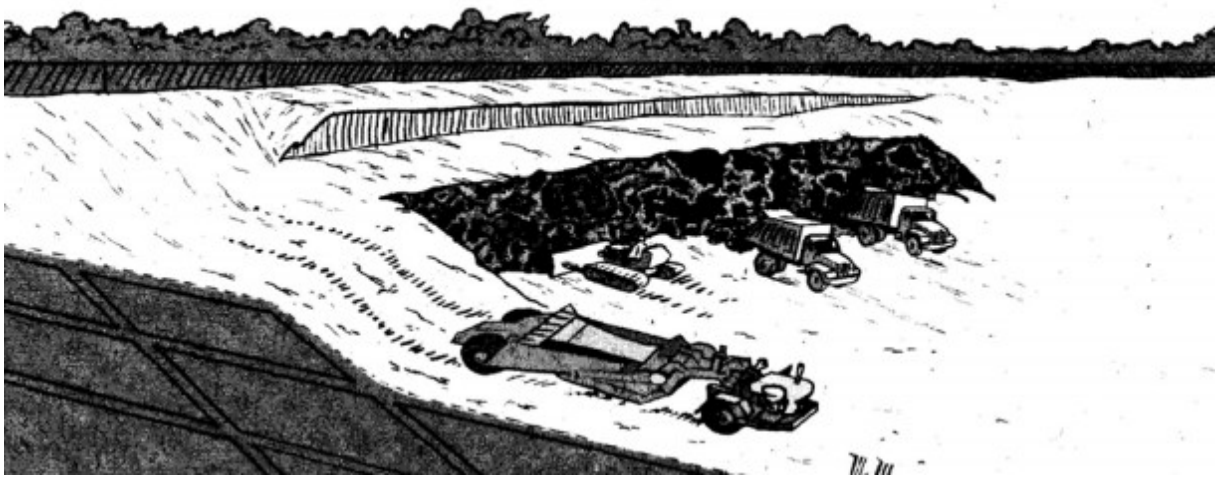
Fonte: Adaptado de IPT/Cempre (2018)

c) Método em Área

Segundo Pereira (2005), este método é empregado geralmente em locais de topografia plana e lençol freático raso, no qual o resíduo é descarregado, espalhado e compactado por um trator de esteira, formando uma elevação tronco-piramidal.

Monteiro *et. al*. (2001, p. 172) define o método (Figura 6), como uma técnica adequada para zonas baixas, onde dificilmente o solo pode ser utilizado como cobertura, devendo ser utilizada jazidas prioritariamente localizadas próximas ao local.

Figura 6: Método da Área



Fonte: Adaptado de IPT/Cempre (2018)

2.6.2.2. Sistemas de Impermeabilização

Segundo Obladen *et. al.* (2009, p.30) a decomposição dos resíduos sólidos produz um líquido malcheiroso, concentrado e com DBO da ordem de 10.000 a 20.000 mg/l, denominado chorume. Este líquido tem formação iniciada pelo contato de enzimas expelidas por micro-organismos na decomposição em contato com a água.

A água da chuva que cai sobre o aterro, percola através do mesmo e carreia o chorume e a matéria orgânica transformada, dando origem a um volume líquido que pode causar problemas à operação do aterro, contaminar o solo e os recursos hídricos da região (OBLADEON *et. al*., 2009).

Nucase (2008) em sua publicação salienta a necessidade de construir sistemas de impermeabilização em aterros, objetivando a redução da infiltração das águas advindas da chuva (impermeabilização superior) e garantir o confinamento dos resíduos e lixiviados gerados, não deixando este líquido infiltrar no solo e aquíferos (impermeabilização inferior).

A NBR 13896 (ABNT, 1997), no item 5.2.1, abordas as condições necessárias para a impermeabilização implantada no aterro sanitário, que são: ser construída com materiais de propriedades químicas compatíveis com o resíduo, com suficiente espessura e resistência, de modo a evitar rupturas devido as pressões hidrostáticas, condições climáticas e aquelas geradas pelas tensões de operação.

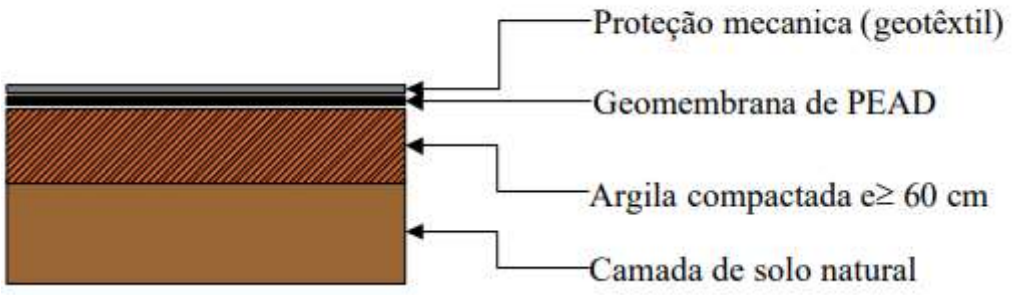
A área deve ser colocada sobre uma base capaz de suportá-la, para evitar sua ruptura por assentamento, compressão ou levantamento do aterro sanitário e deve ser instalada de forma a cobrir toda a sua área, para evitar que o resíduo ou o lixiviado entre em contato com o solo natural (ABNT, 1997).

a) Impermeabilização de Base

A impermeabilização de base, ou inferior, segundo Obladen *et. al*. (2009) pode ser feita através de camadas de solo impermeável, como a argila, ou através da aplicação de geomembranas sintéticas. Para a aplicação em Aterros Sanitários, as mantas impermeabilizantes mais utilizadas são as de PEAD (polietileno de alta densidade) na espessura de 2 mm, devido a sua durabilidade ao meio e capacidade de contenção.

Pereira (2005) apresenta em sua publicação, Figura 7, um sistema composto de impermeabilização de base, com omissão a camada drenante usualmente executada sobre a geomembrana. O mesmo autor, salienta que as geomembranas são mantas poliméricas flexíveis de baixa permeabilidade (da ordem de 10-12 cm/s), que são capazes de promover barreiras para líquido e vapores.

Figura 7: Esquema de um sistema de impermeabilização de base



Fonte: Adaptado de PEREIRA (2005)

Na Figura 8, retirada de Tchobanoglous *et. al*. (1993 *apud* Ribeiro 2016) é apresentada uma camada composta de argila e geomembrana, que tem a função de barreira para o lixiviado e biogás, gerados no aterro sanitário. A camada de areia é composta por uma instalação de tubos para coleta de lixiviado, já a de geotêxtil é usada

para minimizar a mistura entre as camadas de solo e areia, sendo a camada final de solo utilizada para proteger a estrutura durante a operação do aterro.

Figura 8: Sistema de impermeabilização inferior de base



Fonte: Adaptado de Tchobanoglous et. al.; 1993 *apud* Ribeiro (2016)

b) Impermeabilização Superior

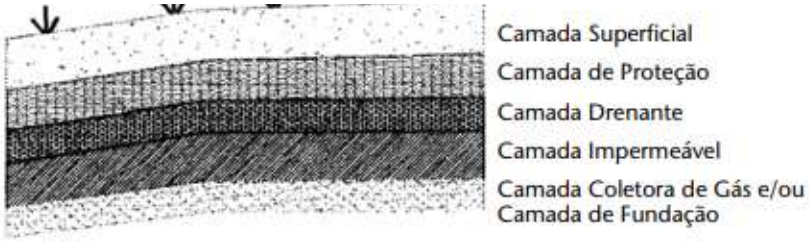
Segundo IPT/Cempre (2018) o sistema de impermeabilização superior, ou de cobertura (diária, intermediária e final), tem a função de proteger a superfície das células de lixo quanto os seguintes aspectos: proliferação de vetores e odores, percolação de água, tráfego de veículos sobre o aterro e a saída descontrolada do biogás. Todas as características citadas minimizam os impactos ao meio ambiente. Alguns componentes da cobertura final são apresentados na Figura 9.

Ainda segundo o mesmo autor (p. 275), o sistema de impermeabilização superior deverá possuir as seguintes características:

> - A cobertura diária ou intermitente deve ser realizada após o término de cada jornada de trabalho, com uma camada de cerca de 0,20 m de solo.
> - A cobertura intermediária é necessária naqueles locais em que a superfície de disposição ficará inativa por períodos mais prolongados (± 1 mês), aguardando, por exemplo, a conclusão de um patamar para início do seguinte.
> - No caso da cobertura final o uso de proteção vegetal é recomendado, procurando-se integrar o empreendimento ao meio ambiente local. A instalação de vegetação sobre a camada de cobertura final é ainda importante por

aumentar a evapotranspiração, diminuindo a quantidade de chuva que se infiltra e, consequentemente, a quantidade de percolado gerada.

Figura 9: Componentes de uma camada de cobertura final



Camada	Descrição	Materiais Típicos
1	Camada superficial	Solo; camada geossintética de controle de erosão; blocos rochosos
2	Camada de proteção	Solo; material residual recuperado ou reciclado; blocos rochosos
3	Camada drenante	Areia ou cascalho; georrede ou geocompósitos
4	Camada impermeável	Argila compactada; geomembrana; argila geossintética; rejeitos
5	Camada coletora de gás e/ou camada de fundação	Areia ou cascalho; solo; georrede ou geotêxtil; material residual recuperado ou reciclado

Fonte: IPT/CEMPRE (2018)

2.6.2.3. Sistemas de Drenagem

a) Lixiviados

Como referido no tópico **2.6.2.2**, o sistema de impermeabilização é concebido devido ao processo de formação do chorume, proveniente da decomposição dos resíduos em contato com a água.

De acordo com Nucase (2008, p. 73) os lixiviados possuem características que dependem do tipo de resíduo, idade do aterro, condições meteorológicas, geológicas e hidrológicas do local de disposição, todavia, de forma geral, possuem elevada carga orgânica, fontes de nitrogênio, metais pesados e grupos microbianos que podem contaminar as águas subterrâneas e superficiais.

Os lixiviados gerados com a degradação dos resíduos nas trincheiras devem ser canalizados para fora do sistema de disposição a fim de receberem o tratamento adequado (NUCASE, 2008).

Segundo a NBR 13896/1997, o sistema de drenagem para coleta e remoção do chorume do aterro sanitário deve ser:

a) Instalado imediatamente acima da impermeabilização inferior;
b) Dimensionado de forma a evitar a formação de uma lâmina de líquidos percolados superior a 30 cm sobre a impermeabilização;

c) Construído de material quimicamente resistente ao resíduo e ao líquido percolado, e também as pressões da estrutura total do aterro;
d) Projetado e operado de forma a não sofrer obstruções durante o período de vida útil e pós fechamento.

A composição do sistema de drenagem geralmente é constituída de drenos de material filtrante com tubo perfurado, normalmente de concreto ou de PEAD, que direcionam os percolados para o sistema de tratamento (PEREIRA, 2005).

Para Nucase (2008) há duas possibilidades para as estruturas de drenos horizontais, conforme apresentados na Figura 10. Para os sistemas tipo espinha de peixe, a rede de drenagem pode ter diversas configurações em planta e a escolha do melhor modelo aplicado, depende da topografia do local e a geometria do projeto do aterro sanitário (NUCASE, 2008).

Figura 10: Sistemas de drenagem horizontal

Sistemas	Configuração	Materiais	Vantagens	Desvantagens
Colchão drenante		Pedras de mão ou brita	Maior eficiência	Maior custo
Espinha de peixe		Pedras de mão ou brita	Menor custo	Menos eficiência

Fonte: NUCASE (2008)

b) Emissões Gasosas

O sistema de drenagem de lixiviados é constituído de uma estrutura horizontal e de uma estrutura vertical, que acompanha o sistema de drenagem de emissões gasosas. A decomposição dos resíduos orgânicos gera biogás, sendo o seu principal componente o metano (CH_4) que é um dos gases do efeito estufa (OBLADEN *et. al*., 2009).

Segundo o IPT/Cempre (2018), para minimizar os riscos associados à produção de biogás, é necessário que eles sejam drenados adequadamente, por meio de um sistema de drenagem de emissão gasosas.

Os drenos (Figura 11) são construídos com tubos de concreto, revestidos de brita nº 4 e diâmetro de 1,0 m, mas que dependem da vazão de gás a ser drenada, portando, em aterros menores (até 15 m), são utilizados tubos de diâmetro de 0,40m (PEREIRA, 2005).

Pereira (2005, p. 31) apresenta outros detalhes de concepção das drenagens de emissões gasosas:

> Nos aterros de alturas maiores são utilizados tubos armados de até 1,0 m de diâmetro, visando dar vazão aos gases gerados e suportar os recalques diferenciais e a movimentação sofrida pelos resíduos aterrados. Quando são utilizados tubos de até 0,40 m de diâmetro, costuma-se também preenchê-los com pedras britadas, de forma a conferir maior resistência à estrutura. Outra forma de drenagem do biogás é a utilização de tela metálica de formato cilíndrico, preenchidos com pedra, sem tubo condutor. Nesses casos, mesmo que ocorra a oxidação e consequente rompimento da tela, devido à ação corrosiva dos líquidos percolados, as pedras continuarão formando um canal drenante eficiente.

Para que a dispersão do gás seja feita de forma controlada, é comum a utilização de queimadores especiais na terminação dos drenos. Esses queimadores possibilitam a queima dos gases a uma altura segura.

Figura 11: Drenos de biogás em aterro sanitário



Fonte: Adaptado de FERREIRA (2017)

c) Águas Pluviais

O sistema de drenagem de águas pluviais tem como função minimizar a entrada de águas de chuva para o interior do aterro, reduzindo, dessa forma, a geração de líquidos lixiviados e o escoamento superficial, que pode provocar erosão nos taludes do aterro e comprometer o funcionamento das camadas de cobertura final (NUCASE, 2008).

Segundo IPT/Cempre (2018) o sistema de drenagem geralmente é constituído por estruturas drenantes de meias canas de concreto (canaletas) associadas a escadas d'água e tubos de concreto. Ainda segundo o autor, para o correto funcionamento e captação da água, busca-se conferir declividade aos drenos, utilizando as cotas do terreno para isso.

De acordo com a NBR 13896 (ABNT, 1997), o sistema de drenagem de águas superficiais de qualquer aterro sanitário deve ser projetado, construído e operado para ter capacidade de suportar uma chuva de pico de cinco anos. A Figura 12 mostra um sistema de drenagem composto por dreno escavado e canaletas de concreto.

Figura 12: Sistema de Drenagem Pluvial



Fonte: CIRSURES (2016)

2.6.3. Aspectos Operacionais

De acordo com Viana *et. al*. (2018) cada aterro sanitário, como toda obra de engenharia, tem suas especificidades, portanto, faz-se necessário o acompanhamento diário das atividades, inclusive com a execução de verificações e registros das etapas operacionais desenvolvidas.

A etapa de operação engloba a execução direta do aterro sanitário, incluindo o controle e a pesagem dos resíduos, a compactação dos mesmos, a execução dos sistemas de drenagem de águas pluviais, lixiviados e gases (NUCASE, 2008). O sucesso das etapas de operação traduz os benefícios da construção de aterros em detrimento das técnicas inadequadas, como o lixão a céu aberto e os aterros controlados. O mesmo autor, por fim, indica que mesmo um aterro bem projetado e implantado, caso seja mal operado, terá sérios problemas ambientais.

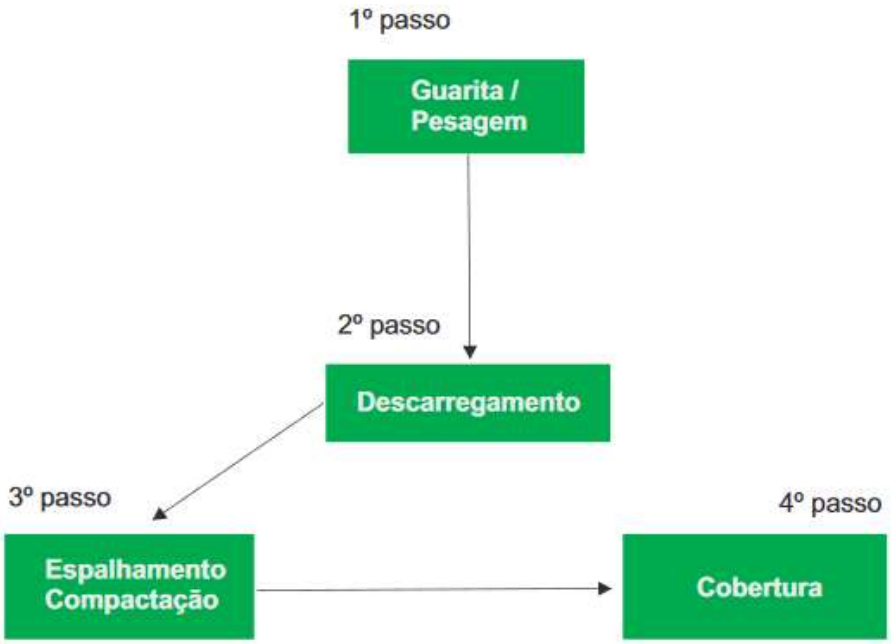
Entre os aspectos gerais de operação de aterros sanitários, estão:

- **Horário de funcionamento** – Nucase (2008) diz que o horário de funcionamento do aterro deve ser condicionado pelo sistema de coleta de resíduos, sendo de extrema importância que o funcionamento do aterro seja superior ao recebimento da última remessa de coleta, desse modo, os resíduos coletados serão compactados e cobertos antes do encerramento diário.
- **Recebimento de Resíduos** – Nesta etapa, segundo Seplantec (2010) ocorre as operações de recebimento dos caminhões, estes que devem estar identificados e autorizados; em seguida, com o auxílio de uma balança, realiza-se o controle da origem, qualidade e quantidade dos resíduos a serem dispostos;
- **Cercamento** - Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), o aterro sanitário deve possuir a cerca que circunde toda a área do aterro sanitário, o portão que garanta o controle de acesso ao local, a sinalização adequada nos acessos, a cerca viva arbustiva, conforme sua localização e condições especificas, e a faixa de proteção sanitária de no mínimo 10 metros de largura;
- **Instalações de Apoio** – A administração do aterro deve conter instalações mínimas para atendimento dos funcionários e usuários, como portaria, escritório, sanitário, vestiário, estacionamento para veículos leves e pesados, almoxarifado e depósito de equipamentos e ferramentas. Além disso, deve conter um pátio para estocagem de materiais tais como brita, pedras, materiais de cobertura, geomantas, tubos, drenos e outros (OBLADEN *et. al*., 2009).
- **Acessos** – As estradas de acesso que interligam o aterro e o sistema rodoviário da região devem ser mantidas em boas condições, já as estradas internas, que permitem a interligação entre os diversos pontos do aterro, devem suportar o trânsito dos veículos, mesmo em período de chuva, conforme apresentado por Obladen *et. al*. (2009).

Relatadas as características gerais de operação, a etapa sucessora é a execução das células. Segundo a NBR 15849 (ABNT, 2010) a operação de uma célula de resíduos sólidos consiste no descarregamento e espalhamento dos resíduos na frente de operação, sendo estes compactados.

De acordo com Nucase (2008) a operação envolve uma série de procedimentos técnicos, estes que devem ser executados com critério, uma vez serão fundamentais para a qualidade final do maciço. As operações posteriores a inspeção pela guarita são representadas na Figura 13, sendo elas: descarga, espalhamento, compactação e cobrimento diário dos resíduos.

Figura 13: Operação em Aterros Sanitários



Fonte: MARQUES & AZEVEDO (2019)

Como abordado, os acessos internos devem estar em boas condições para permitir a ligação entre as partes do aterro sanitário, viabilizando o manuseio, transporte e a descarga dos resíduos coletados. Para Nucase (2008) é necessário que estejam previstos em projeto pátios de manobra adequados para a solicitação decorrente dos veículos.

De acordo com Catapreta (2008), após duas ou três viagens descarregadas, os resíduos são espalhados na frente de trabalho e o processo de compactação se

inicia. Dentre os aspectos operacionais que envolvem a operação de aterros sanitários, a compactação dos resíduos sólidos é o principal parâmetro a ser controlado, devido a sua importância na otimização da disposição e na melhoria das propriedades geomecânicas dos resíduos.

Segundo Marques & Azevedo (2019), os resíduos devem ser depositados em pilhas imediatamente à frente de operação, sendo que o local de deposição deverá ser demarcado, para facilitar o trabalho diário e operação do tratorista. A etapa é realizada com auxílio da lâmina do trator de esteira, que em seguida procede com o espalhamento e compactação.

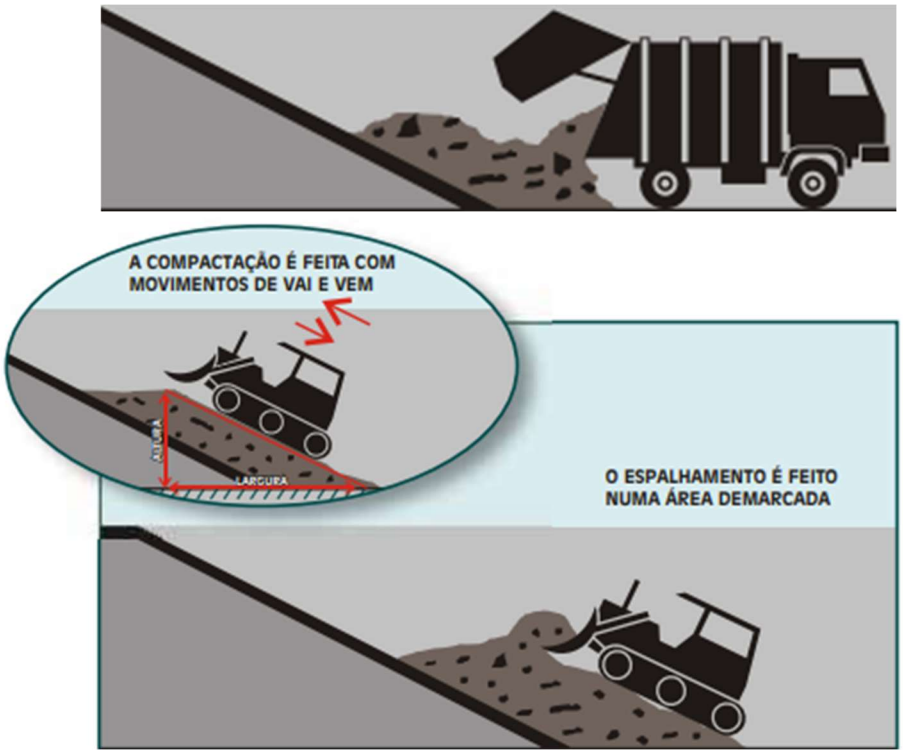
Para Seplantec (2010) o lixo deve ser espalhado em rampa, numa proporção de 1 na vertical para 3 na horizontal (1:3). O trator de esteira deve compactar o lixo com movimentos repetidos de baixo para cima (ascendente), de 3 a 5 vezes. Além disso, de acordo com o mesmo autor, é interessante a realização de eventuais testes de densidade do lixo, para atestar a qualidade de compactação empregada.

Nucase (2008) propõe que as camadas de compactação não devem ser muito espessas de cada vez, sugerindo de 30 a 50 cm, e a altura da célula deve ser de 2 a 3 metros, para melhor aproveitamento do equipamento compactador.

A NBR 15849 (ABNT, 2010), estabelece que ao final de um dia de trabalho, os resíduos compactados sejam recobertos com uma camada de solo, conforme especificação do projeto. Para Lanza (2005) a cobertura diária deve ser feita com uma camada de terra ou material inerte e com espessura de 15 a 20 cm, com o objetivo de impedir o arraste de materiais, disseminação de odores e proliferação de vetores. A cobertura final, segundo a mesma autora, deve ser uma argila compactada com cerca de 60 cm de espessura com o posterior plantio de gramíneas nos taludes definitivos, para proteção contra a erosão.

A Figura 14 ilustra os procedimentos operacionais de uma célula de aterro. Na primeira parte ocorre a descarga dos resíduos em uma área próxima ao talude, na segunda, os resíduos são espalhados de forma ascendente, com a camada de acordo com o referenciado. Por último é realizada a compactação, com a passagem do trator de esteiras de 3 a 5 vezes.

Figura 14: Procedimentos de descarga, espalhamento e compactação.



Fonte: SEPLANTEC (2010)

2.6.4. Monitoramento

Para Lanza *et. al*. (2005) o monitoramento do aterro sanitário consiste em um sistema de medições de campo e ensaios de laboratório realizados durante a fase de operação do aterro e prolongadas após o término de sua vida útil. Busca-se atestar a eficiência das medidas ambientais e sanitárias empregadas no sistema, identificando possíveis falhas e antecipando na tomada de decisões corretivas.

De maneira geral, os aterros sanitários se configuram como um tipo de empreendimento com grandes impactos ambientais potenciais, assim sendo, é indispensável a existência de programa de monitoramento permanente, sistemático e que envolva os aspectos ambientais e geotécnicos desta obra de engenharia civil (PEREIRA, 2005).

A NBR 15869 (2010), itens 6.3.7 e 6.3.8, apresenta os aspectos que devem ser previstos no plano de monitoramento quanto aos lixiviados, emissões gasosas, águas superficiais, águas subterrâneas, controle da qualidade do ar, do solo, ruídos e dos aspectos operacionais de manutenção.

Em relação ao monitoramento de lixiviados e emissões gasosas, devem ser previstos procedimentos de controle de vazão, caracterização, definição de pontos de coleta e a frequência realizada. Segundo Ribeiro (2016) as emissões gasosas devem ser analisadas nas fases de degradação dos resíduos sólidos aterrados, dando atenção a queima e saída do material nos drenos.

De acordo com Ribeiro (2016) o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas visa avaliar sua qualidade, detectar alterações e/ou contaminações nos corpos de água localizados na região do aterro sanitário. Segundo Marques & Azevedo (2019) o monitoramento desses componentes é fundamental para subsidiar as ações de controle de poluição ambiental e gestão dos recursos hídricos.

Para Seplantec (2010) o monitoramento do lençol freático deve ser feito através da coleta de amostras nos poços (pelo menos dois) a serem instalados no aterro, a montante e a jusante. Alguns dos parâmetros considerados são: pH, Condutividade, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou Demanda Química de Oxigênio (DQO), NO e coliformes fecais.

O monitoramento geotécnico nos aterros, segundo Viana *et. al.* (2018) consiste na verificação da conformação dos resíduos nas células de aterro, e tem o objetivo, dentre outros, de verificar a ocorrência de deslocamentos verticais e horizontais, bem como pressões internas provocadas pelo acúmulo indevido de gases no interior das células de aterro. Normalmente pode-se utilizar desde instrumentos mais simples como marcos superficiais, marcos fixos e outras ferramentas de auxílio topográfico, a instrumentos mais elaborados como piezômetros e inclinômetros.

Além disso, deve-se monitorar a qualidade do ar, que segundo Marques & Azevedo (2019) o monitoramento é importante pois está atrelado ao fato do aterro ter um fluxo grande de veículos, máquinas e equipamentos, que podem acarretar na propagação de fluidos devido a ação dos ventos. Já a pressão sonora, outro aspecto a ser monitorado, deve ser realizado em torno do empreendimento, buscando identificar possíveis impactos provocados pela operação do aterro em horários distintos.

É importante que sejam realizadas inspeções periódicas em campo para atestar o funcionamento adequado dos aspectos citados, assim como as outras partes do aterro, como as instalações.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Planejamento e levantamento dos aspectos de estrutura e operação dos Aterros Sanitários.

O trabalho de pesquisa teve como enfoque o estudo e descrição dos procedimentos técnicos adotados de estrutura, operação e monitoramento em dois aterros sanitários do Estado do Tocantins, que foram os dos municípios de Palmas e Porto Nacional.

A metodologia, operada em campo, se deu através da realização de visitas programadas nos aterros sanitários, acompanhadas pelos profissionais encarregados pelas respectivas unidades. Ocorreu-se a documentação, por meio de registros e fotografias, dos aspectos anteriormente citados, estes que serviram para a descrição dos resultados em formulários, embasados no modelo adaptado de Ribeiro (2016) (APÊNDICE A).

O formulário aplicado nas visitas técnicas foi concebido mediante análise bibliográfica das principais referências citadas no trabalho, com destaque para as seguintes normativas:

- NBR 8419 – Apresentação de projetos de Aterros Sanitários de resíduos sólidos Urbanos;
- NBR 13.896 – Aterros de Resíduos Não Perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação;
- NBR 15.849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação e encerramento.

No apêndice A os formulários foram apresentados em três concentrações: Descrição do empreendimento, que organiza as informações prévias e cadastrais, seguida os aspectos estruturais, que abriga os modelos adotados de impermeabilização, drenagem (lixiviado e gases) e tratamento, por último, os aspectos operacionais, relativas ao funcionamento geral do aterro sanitário.

Este trabalho possui caráter descritivo e qualitativo, uma vez que as informações exigidas pelo objeto de estudo foram descritas e avaliadas pelo pesquisador, em confronto com as informações coletadas.

3.2. Localização

3.2.1. Aterro Sanitário de Palmas – TO

Um dos aterros sanitários escolhidos para análise foi o de Palmas, capital do Estado do Tocantins. O mesmo é localizado, segundo o EIA (2002) na área rural da capital, na parte sul do município, distante cerca de 15 km do centro do Plano Diretor e a cerca de 6 km de Taquaralto, em uma área de 95,7784 ha de intervenção, cedida em forma de concessão para a Prefeitura Municipal de Palmas.

O Aterro Sanitário de Palmas – TO, Figura 15, opera de acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas (2014), por meio da coordenação e supervisão da prefeitura e mediante a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos (SEISP).

Figura 15: Localização do Aterro Sanitário do Município de Palmas



Fonte: Google (2019), organizado pelo autor (2020).

Atualmente, possui seis células para depósito dos resíduos sólidos urbanos, sendo que cinco já estão encerradas e a sexta está em processo de operação, tendo em vista que a quinta atingiu o limite de sua capacidade.

A visita no empreendimento foi realizada no dia 25 de março (Figura 16), momento oportuno para aplicação de uma entrevista com o Engenheiro Civil Dr. João Marques, responsável técnico da unidade. O mesmo conduziu um passeio pelas instalações do Aterro Sanitário, mostrando em campo as estratégias utilizadas de estrutura e operação, que foram documentadas e comparadas com as informações oficiais obtidas na Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas – TO (SEISP), Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO (2014) e as principais normas, que delimitam a boa prática de empreendimentos como este.

Figura 16: Visita técnica realizada no Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

3.2.2. Aterro Sanitário de Porto Nacional – TO

O Aterro Sanitário a disposição do Município de Porto Nacional (Figura 17) é localizado na Estrada TO 050, S/N, Lote 01 – Loteamento Fazenda Pingo. O mesmo funciona sob a responsabilidade da Empresa Base Fortins Soluções Ambientais LTDA

desde março de 2019, contratada pelo regime do tipo concessão, por período de 25 anos. Dentre as obrigações investidas pelo contrato estão as atividades referentes ao destino final dos resíduos sólidos urbanos, tais como o espalhamento, compactação, obras de drenagem, cobertura e monitoramento dos maciços e das águas subterrâneas.

Figura 17: Localização do Aterro Sanitário do Município de Porto Nacional



Fonte: Google (2019), organizado pelo autor (2020).

Segundo o Relatório de Impacto Ambiental apresentado para a obtenção da licença prévia de construção, a unidade de destinação final dos resíduos domiciliares e públicos tem uma área de 89.7696 hectares e foi dimensionada para uma vida útil superior a 20 anos.

A visita ao Aterro Sanitário de Porto Nacional – TO foi realizada no dia 31 de março de 2021, com acompanhamento do Responsável Técnico pela unidade Eng. Ambiental Tales Pereira, momento em que foi aplicado o formulário proposto (APÊNDICE C). Além das informações obtidas através do contato com a equipe administradora do aterro, levou-se em análise a pesquisa em documentos oficiais, como as licenças ambientais e do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (2014) da cidade.

3.3. Caracterização Preliminar

A norma NBR 15849 (ABNT, 2010) define aterro sanitário de pequeno porte como “aterro sanitário para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, até 20 t/dia ou menos”.

A definição do porte da unidade é importante, pois quanto maior o aterro sanitário, tende a ser maior a sua infraestrutura e complexidade, portanto, em um primeiro momento, reuniu-se dados para a caracterização inicial dos mesmos, com base no limite de aterro de pequeno porte da NBR 15849 e o proposto por Ribeiro (2016), que classifica um aterro sanitário de médio porte até o recebimento de 500 t/dia. O resultado da caracterização preliminar está apresentado através do Quadro 1.

Quadro 1: Caracterização Preliminar dos Aterros Sanitários

CRITÉRIOS	ATERRO MUNICIPAL DE PALMAS	ATERRO SANITÁRIO DE PORTO NACIONAL
Localização	Palmas – TO	Porto Nacional – TO
Abrangência	Palmas	Porto Nacional e Ipueiras
Quantidade diária de RSU	340 t/dia	70 t/dia
Porte	Médio	Médio
Método Construtivo	Trincheiras	Trincheiras
Responsável pela operação	SEISP (TO)	Empresa Privada

Fonte: Autor, 2021.

As informações iniciais obtidas foram verificadas mediante o contato com as unidades em pesquisa, tendo importância para relacionar o entendimento teórico e avaliar as considerações técnicas e critérios em função de sua capacidade e suporte. Foram avaliados, nos aterros sanitários, a existência de critérios de engenharia, a adequação das medidas quanto ao porte da unidade e o atendimento as normativas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização Local

Conforme apresentado no referencial teórico deste trabalho, a área escolhida para implantação e operação de um aterro sanitário deve seguir condições mínimas, estas que estão descritas no item 4.1.1. da NBR 13896 (ABNT, 1997). Portanto, para ponderar a avaliação inicial foram observados, na visita técnica realizada, o atendimento a tais critérios, sendo estes:

- **Geologia e tipos de solos:** a existência de um depósito natural de solo com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s;
- **Acessos:** a tipologia e qualidade dos acessos externos e internos, que impactam diretamente no sucesso da operação;
- **Vida útil:** a norma sugere a construção de aterros sanitários com vida útil mínima de 10 anos;
- **Distância de núcleos populacionais:** é recomendada uma distância mínima de 500 metros e máxima de 20 quilômetros.
- **Recursos Hídricos:** deve ser localizado a uma distância mínima de 200 m de qualquer coleção hídrica, além disso, entre a superfície inferior do aterro e o nível mais alto do lençol freático deve haver uma camada de solo natural com espessura mínima de 1,50 m.

O Quadro 2, apresentado a seguir, contempla os resultados dos aspectos de Caracterização Local dos aterros sanitários monitorados, conforme proposta de pesquisa acadêmica.

Quadro 2: Apresentação dos critérios de caracterização local

CRITÉRIOS	GEOLOGIA E TIPOS DE SOLOS	ACESSO	VIDA ÚTIL	DISTÂNCIAS MÍNIMAS	LENÇOL FREÁTICO
Aterro Municipal de Palmas	Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade	Acesso em estrada não pavimentada	40 anos	6 km (Taquaralto) – 822 m de moradores isolados	4,05 a 5,06 metros
Aterro Sanitário de Porto Nacional	Jazida própria de argila, de baixa permeabilidade	TO 050 (acesso principal) – Acesso em estrada não pavimentada	40 anos	25 km (Porto Nacional) – 1 km de moradores isolados	5,30 m

Fonte: Autor, 2021.

A avaliação de adequabilidade das áreas dos aterros sanitários estudados, quanto ao critério de geologia e tipos de solo, apresenta-se como enquadrado nas limitações definidas no referencial teórico. Em ambas as unidades, os solos são predominantemente compostos por argilas, sendo a superfície firme, coesa e relativamente plana. Segundo informações decorrentes dos relatórios ambientais, as unidades apresentam solos com baixo potencial erosivo.

Quanto aos acessos, em ambos os aterros sanitários é realizado por meio de via não pavimentada, conforme as Figuras 18 e 19. No momento da visita estavam em boas condições para operação e visitação. Foram apresentados ainda, que ambas as unidades passam por manutenções frequentes nos acessos, principalmente após o período chuvoso.

Figura 18: Acesso ao Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

Figura 19: Acesso ao Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Autor (2021)

No Aterro Sanitário de Palmas, eventualmente, realiza-se o complemento com rejeitos de pedreiras, conforme explicitado pelo Responsável Técnico Eng. Civil João Marques. Em Porto Nacional, realiza-se o complemento da camada final com cascalhos, estes que servem como um tratamento para o latossolo vermelho existente.

Outro aspecto, que influencia diretamente na viabilidade econômica deste tipo de obra de engenharia é a vida útil do aterro sanitário. Neste caso, encontramos projetos com vida útil estimada 4 vezes superior a recomendação normativa, garantindo a sustentabilidade econômica da obra.

O critério de distâncias mínimas e máximas é um requisito de localidade, que deve ser cumprido em razão dos custos com o monitoramento da comunidade, dos impactos inerentes a tipologia de obra e por último, ao transporte do resíduo coletado, de tal forma que a distância percorrida do sistema não seja muito grande. As distâncias mínimas são cumpridas em ambos os aterros sanitários analisados, já em relação as distâncias máximas, a norma sugere que seja de 20 quilômetros, portanto, neste aspecto, os aterros analisados não se enquadram no item.

No que tange aos recursos hídricos, o Aterro Sanitário de Palmas está inserido, segundo EIA-RIMA (2002) na microbacia do ribeirão São João, com os córregos Retiro e Pequizeiro num raio inferior a 2 km da área implantada. Ainda com os dados

obtidos pelo mesmo documento, refere-se que, na área de influência direta, o lençol freático encontra-se entre 4,05 e 5,06 metros, no período de chuvas.

Em relação ao Aterro Sanitário de Porto Nacional, existe, na área do empreendimento, o córrego Água suja, que atualmente está distante em 1,4 quilômetros da vala em operação, segundo dados fornecidos pelo Engenheiro Ambiental Tales Pereira. Nos locais mais próximos ao lago, o lençol freático encontra-se a localizado a 5,30 metros, aprofundando-se em sudoeste para 10 metros, em locais mais distantes.

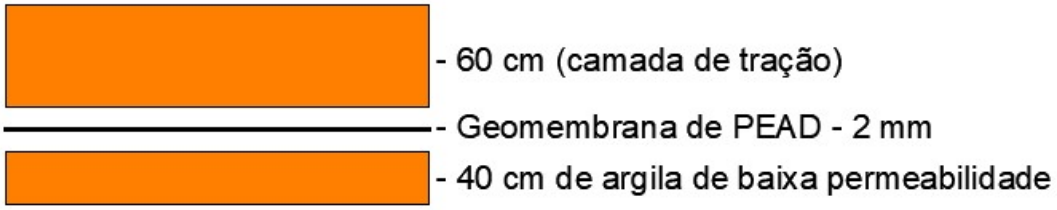
Com as informações acima é possível então concluir que os aterros sanitários estudados se encontram enquadrados, em relação aos critérios relacionados aos recursos hídricos.

4.2. Projeto de Impermeabilização inferior e superior

Os projetos dos sistemas de impermeabilização inferior e superior dos aterros sanitários estudados apresentam similaridades, que podem estar relacionadas ao porte da unidade, que apesar de estarem recebendo quantidades diárias diferentes, foram projetadas com provisão de operação semelhante.

Segundo Marques & Azevedo (2019) e aliada as informações decorrentes da visita técnica realizada, o sistema de impermeabilização do Aterro Sanitário de Palmas é composto por 3 camadas, conforme apresentado pela Figura 20.

Figura 20: Sistema de Impermeabilização inferior do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021).

A primeira camada é decorrente da compactação do fundo de vala, realizada com rolo compactador do tipo pata ou pé de carneiro. Busca-se a regularização da base para recebimento da segunda camada, composta de geomembrana de PEAD.

A geomembrana de polietileno de alta densidade – PEAD, é instalada, conforme Figura 21, com espessura de 2,00 mm. Para a sua colocação é imprescindível mão de obra especializada, sendo estas instaladas com início nos

taludes, com arremate de no mínimo 1 metro sobre as trincheiras e sobreposição de 15 cm entre mantas (MARQUES & AZEVEDO, 2019).

Figura 21: Impermeabilização da 5º célula do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte:MARQUES & AZEVEDO (2016)

Por último, uma camada de cerca de 60 cm de solo é inserida (Figura 22), a qual serve para proteção da geomembrana, sendo chamada de camada de tração, ou de proteção mecânica (MARQUES & AZEVEDO, 2019).

Figura 22: Camada de tração da 5º célula do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: MARQUES & AZEVEDO (2016)

No Aterro Sanitário de Porto Nacional, o esquema implantado segue o esquema geral do Aterro Sanitário de Palmas, sendo a Geomembrana de PEAD – 2 mm,

o principal responsável pela impermeabilização e estanqueidade do sistema, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23: Geomembrana de PEAD em célula do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

A diferença está na nomenclatura da última camada do sistema, que segundo as informações obtidas pelo responsável técnico Eng. Ambiental Tales Pereira, trata-se de uma camada denominada de colchão drenante, com espessura de 40 cm, conforme esquema representado pela Figura 24.

Figura 24: Sistema de Impermeabilização inferior do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Autor (2021)

Para o sistema de impermeabilização superior, o Aterro Sanitário de Palmas utiliza uma camada de 60 cm de argila compactada (Figura 25a), de baixa permeabilidade. No Aterro Sanitário de Porto Nacional, utiliza-se uma camada dupla (Figura 25b), sendo a primeira composta de 40 cm de argila compactada, e a segunda de 20 a 30 cm de cascalho, servindo como um tratamento a camada inferior. A bibliografia sugere a combinação de geomembrana com a camada de argila

compactada para evitar possíveis problemas, no entanto, não são aplicadas nas soluções vistas.

Figura 25: Sistema de Impermeabilização superior dos aterros sanitários estudados



Fonte: Autor (2021)

A proteção vegetal, recomendada na cobertura final para quesitos de estabilização dos taludes, integração e evapotranspiração, estão ausentes nos aterros sanitários estudados. Em Palmas, as cinco células encerradas não apresentam proteção vegetal, conforme Figura 26. O Responsável Técnico Eng. Civil João Marques salientou que há dificuldade financeira de implantação.

Figura 26: Célula sem proteção de camada vegetal no Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

Em Porto Nacional, tem-se uma previsão de utilização, todavia, a primeira célula ainda está em operação. Nas lagoas de tratamento podem ser vistas as camadas de proteção vegetal, com grama do tipo Imperial, conforme Figura 27.

Figura 27: Gramas em talude do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2021)

4.3. Sistema de drenagem de lixiviados

O lixiviado gerado nos aterros sanitários estudados é coletado e removido por meio de sistemas de drenagem projetados. Em ambos os sistemas os drenos são formados por tubos principais e tubos inclinados, interligados em um sistema conhecido como espinha de peixe. O chorume coletado pelos drenos inclinados vai para os drenos principais, que fazem o transporte em direção ao tratamento proposto, que em ambos os casos é o tratamento biológico por meio de lagoas. As situações implantadas podem ser encontradas nos Apêndices B e C.

Os materiais utilizados para implantação destes sistemas possuem as seguintes especificações: tubos perfurados de Polietileno (PEAD) de 160 mm no Aterro sanitário de Palmas, e de 150 mm para o de Porto Nacional, que são revestidos com pedra de mão, utilizada como material drenante. De acordo com Ribeiro (2016), em

aterros de grande porte geralmente utiliza-se a brita 4 como material drenante, todavia, a pedra de mão, ou rachão, constitui-se o material mais utilizado em aterros sanitários de pequeno e médio porte.

Em relação ao tratamento, conforme Azevedo (2021), as células do Aterro Sanitário de Palmas – TO foram projetadas mediante a seguinte configuração: primeira lagoa anaeróbia, segunda de maturação, a terceira lagoa facultativa, a quarta lagoa de polimento, seguida de tanque de infiltração. As lagoas de tratamento (Figura 28), são localizadas a jusante das células e o chorume é coletado e transportado aproveitando-se do desnível natural do terreno.

Figura 28: Sistema de tratamento de lixiviados do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: MARQUES & AZEVEDO (2019)

Em Porto Nacional, conforme observado em visita, o tratamento de lixiviados (Figura 29) é composto por três lagoas: a primeira anaeróbia, a segunda facultativa e a terceira de depuração e polimento, sendo a terceira ainda não utilizada em decorrência da falta dos filtros. Os lixiviados vão em direção as lagoas de tratamento por gravidade, em seguida, é utilizada uma elevatória para alcançar a cota da lagoa.

Figura 29: Sistema de tratamento de lixiviados do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2021)

4.4. Sistema de drenagem de gases

Os sistemas de drenagem de emissões gasosas, também conhecido como biogás, constatados nos aterros sanitários possuem estruturas similares. O sistema de coleta e transporte das emissões gasosas é o vertical, em ambas as unidades, sendo o sistema construído de forma interligada à malha de drenagem de líquido lixiviado, conforme apresentado pela Figura 30, em Porto Nacional.

Figura 30: Sistema de drenagem de lixiviados e emissões gasosas do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

Em relação aos materiais utilizados para construção dos drenos, foram observados os seguintes componentes: tela de aço, pedra de mão e manilha de concreto perfurado, conforme Figura 31. O diâmetro das manilhas de concreto encontradas foi de 40 cm.

Figura 31: Dreno vertical em Célula encerrada do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

Segundo a ABNT NBR 13896 (1997, p.6) “Todo aterro deve ser projetado de maneira a minimizar as emissões gasosas e promover a **captação** e **tratamento** adequado das eventuais emanações”. Segundo Marques (2019) e reafirmado na visita técnica realizada, em Palmas, nenhum tipo de tratamento/aproveitamento energético do biogás é adotado, lançando todo o biogás gerado, sem nenhuma forma de tratamento, na atmosfera local. Em Porto Nacional, o Responsável Técnico afirmou que, devido a primeira célula ainda estar em operação, não há vazão suficiente do biogás gerado, portanto, deve-se implantar um sistema de captação e tratamento em um momento oportuno.

Ribeiro (2016) sugere que em aterros de pequeno/médio porte, sejam utilizados queimadores especiais, que possibilite o controle e dispersão do gás a uma altura segura, além de diminuir o efeito poluidor na atmosfera.

4.5. Sistema de drenagem de água pluvial

O sistema de drenagem de águas pluviais tem a finalidade de garantir o afastamento rápido e eficiente das águas que escoam superficialmente na área do aterro sanitário, que podem provocar erosões nos taludes e comprometer as camadas de cobertura final (NUCASE, 2008). O item 5.2.4 da NBR 13896 (ABNT, 1997) salienta que o sistema de drenagem de águas superficiais de qualquer aterro sanitário deve ser projetado para suportar uma chuva de pico de cinco anos.

Em Porto Nacional, o aterro sanitário conta com uma alternativa para lidar com as águas superficiais, que é a instalação de um dique, na qual serve como barreira física para as águas pluviais não adentrarem na área de operação, conforme Figura 32.

Figura 32: Barreira física para contenção de águas superficiais no Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2019)

No que tange a projetos específicos, os aterros analisados não apresentam estruturas para lidar com as águas pluviais, como calhas, geotêxtis e colchões renos, situação que pode ter contribuído para problemas com erosões de taludes, como apresentado pela Figura 33, no Aterro Sanitário de Palmas.

Figura 33: Processo erosivo encontrado no Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

4.6. Aspectos Gerais de infraestrutura dos Aterros Sanitários

No referencial teórico do presente trabalho foram apresentados aspectos gerais de operação em aterros sanitários, evidenciado a sua respectiva importância para o bom funcionamento da unidade. Portanto, como critério de ponderação, foram escolhidos alguns desses aspectos de infraestrutura para se proceder com a avaliação. São eles:

- **Horário de funcionamento** – Nucase (2008) diz que o horário de funcionamento do aterro deve ser condicionado pelo sistema de coleta de resíduos.
- **Recebimento de Resíduos** – este procedimento contempla a identificação de visitantes e a identificação, classificação e pesagem dos resíduos recebidos.
- **Cercamento** - Segundo a NBR 13896 (ABNT, 1997), o aterro sanitário deve possuir cerca que circunde toda a área do aterro sanitário, portão que garanta o controle de acesso ao local, sinalização adequada nos acessos e cerca viva arbustiva.
- **Instalações de Apoio** – A administração do aterro deve conter instalações mínimas para atendimento dos funcionários e usuários, como portaria, escritório, sanitário, vestiário, estacionamento para veículos leves e pesados, almoxarifado e depósito de equipamentos e ferramentas.
- **Acessos** – As estradas de acesso que interligam o aterro e o sistema rodoviário da região devem ser mantidas em boas condições, já as estradas internas, que permitem a interligação entre os diversos pontos do aterro, devem suportar o trânsito dos veículos, mesmo em período de chuva, conforme apresentado por Obladen *et. al*. (2009).

O Quadro 3 apresenta os aspectos gerais de infraestrutura dos aterros sanitários monitorados, conforme proposta de pesquisa acadêmica:

Quadro 3: Aspectos gerais de infraestrutura dos Aterros Sanitários estudados

CRITÉRIOS	ATERRO MUNICIPAL DE PALMAS	ATERRO SANITÁRIO DE PORTO NACIONAL - TO
Horário de funcionamento	Segunda a Sábado – 24 horas	Segunda a Sábado – 07 às 23:30
Controle de acesso e recebimento	Os aterros sanitários analisados possuem controle de acesso de visitantes e monitoramento de resíduos. Além disso, são equipados com portaria e balança rodoviária.	
Cercamento da área	Todos os aterros sanitários possuem cercamento da área de operação.	
Instalações básicas	Portaria, sala de instrução/reunião, museu do Lixo, refeitório, cozinha, banheiro, vestiário.	Portaria, Casa de máquinas, escritório, sala de capacitação, vestiário, refeitório e banheiro.
Acessos internos	Todos os aterros sanitários possuem acesso interno por estrada não pavimentada	

Fonte: Autor, 2021.

Os aterros sanitários em estudo possuem horário de funcionamento estendido, conforme demanda municipal e de clientes particulares, que é o caso da unidade de Porto Nacional, que possui como clientes indústrias próximas da região. O expediente diário é iniciado antes da chegada dos veículos e encerramento, situação recomendada pela bibliografia.

Em ambas as unidades é realizado controle de acesso a visitantes, com funcionário dedicado que autoriza ou não a entrada de clientes e prestadores de serviços. Quanto ao controle de resíduos, as unidades realizam através de infraestrutura e operação semelhante. Em Palmas, conforme Marques (2019), ao chegar no aterro sanitário, o resíduo é pesado na guarita por meio de uma balança rodoviária (Figura 34), que serve para controlar a massa de resíduos que é disposta no local diariamente, sendo emitido um ticket eletrônico com a pesagem dos mesmos.

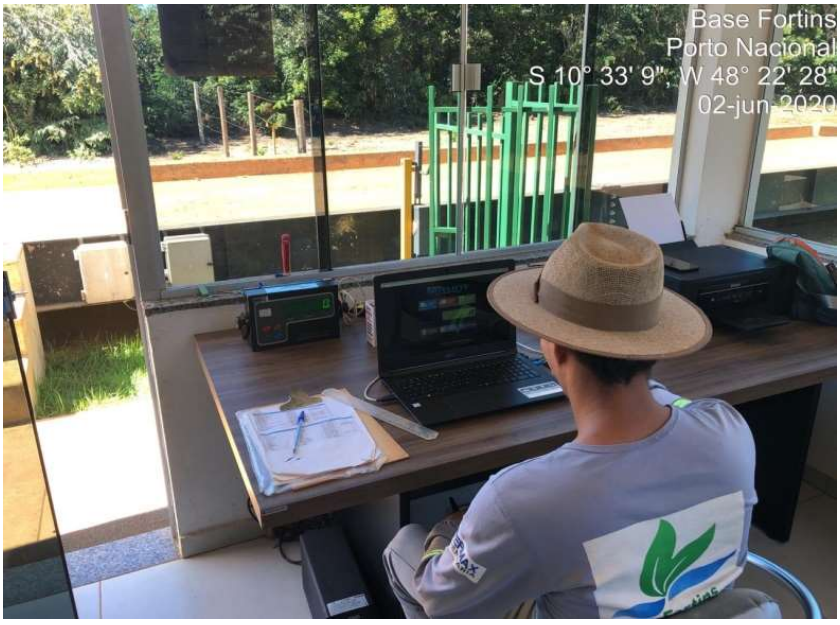
Figura 34: Guarita com balança rodoviária no Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

Em Porto Nacional segue a mesma lógica apresentada. Os caminhões compactadores, basculantes e outros veículos de transporte de resíduos procedem à descarga do material com orientação prévia definida na entrada/guarita e após o a liberação do funcionário encarregado da balança, conforme Figuras 35 e 36.

Figura 35: Operador de balança no Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

Figura 36: Guarita com balança rodoviária no Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

Em relação ao cercamento, em ambas as unidades foi possível constatar o cercamento do perímetro, compostos por postes de concreto e fios de arame liso. Outro aspecto observado é a presença da barreira vegetal, recomendada na bibliografia para isolamento e contenção da poluição visual e sonora gerada pela operação diária do aterro. Pode-se observar as situações encontradas em Palmas e Porto Nacional por meio das Figuras 37 e 38.

Figura 37: Cercamento e cobertura vegetal, localizados no Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

Figura 38: Barreira vegetal presente no Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2021)

Em relação as instalações básicas, conforme visto por meio da visita *in loco* e segundo o relato de Marques (2019), o Aterro Sanitário de Palmas conta com prédio administrativo (Figura 39) para funcionamento da logística do aterro, assim como também de áreas operacionais, que servem de suporte para funcionários e vigilantes, como cozinha, copa, vestiários, banheiros, entre outros.

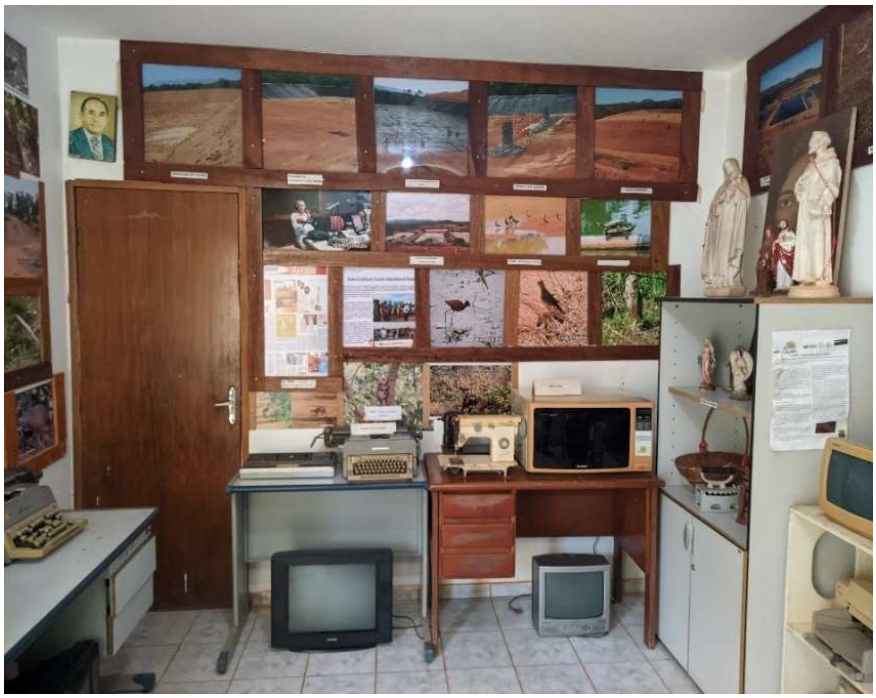
Figura 39: Instalações do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

Ao adentrar no Aterro Sanitário de Palmas, os visitantes são recepcionados no Museu do Lixo (Figura 40), onde, por meio de materiais coletados no aterro, conhecem a história do município, além de serem educados ambientalmente quanto ao consumo sustentável de bens materiais (MARQUES, 2019).

Figura 40: Museu do Lixo, localizado no Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

Em porto Nacional, o Aterro sanitário também possui instalações adequadas para garantir a regularidade e a eficiência dos serviços, sendo estas instalações formadas pela guarita, casa de máquinas, área administrativa, vestiário com chuveiro (NR 18) e sanitário. Os prédios operacionais podem ser vistos por meio das Figuras 41 e 42.

Figura 41: Instalações do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2021)

Figura 42: Instalações do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2021)

Quanto aos acessos, conforme previamente abordado, apresentaram boas condições para o tráfego de veículos, permitindo assim uma boa operação. Em Palmas, o Responsável Técnico Eng. Civil Dr. João Marques, salientou que são realizados reparos todo ano após o período chuvoso ou quando houver necessidade.

Em Porto Nacional, conforme apresentado na visita pelo Responsável Eng. Ambiental Tales Pereira, são realizadas manutenções programadas nas vias de acesso

para evitar atolamentos de maquinários, para isso, utilizam-se cascalhos nas áreas operacionais em dias chuvosos, além disso, realizam a umectação das vias (Figura 43) onde o volume de caminhões é mais intenso.

Figura 43: Umectação de área em operação no Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2021)

Um aspecto interessante observado no Aterro Sanitário de Porto Nacional foi a implantação de uma micro usina fotovoltaica (Figura 44) que abastece a guarita e todos os equipamentos em casos de falta de energia. Para as demais instalações, há um gerador a diesel.

Figura 44: Micro usina fotovoltaica em Porto Nacional

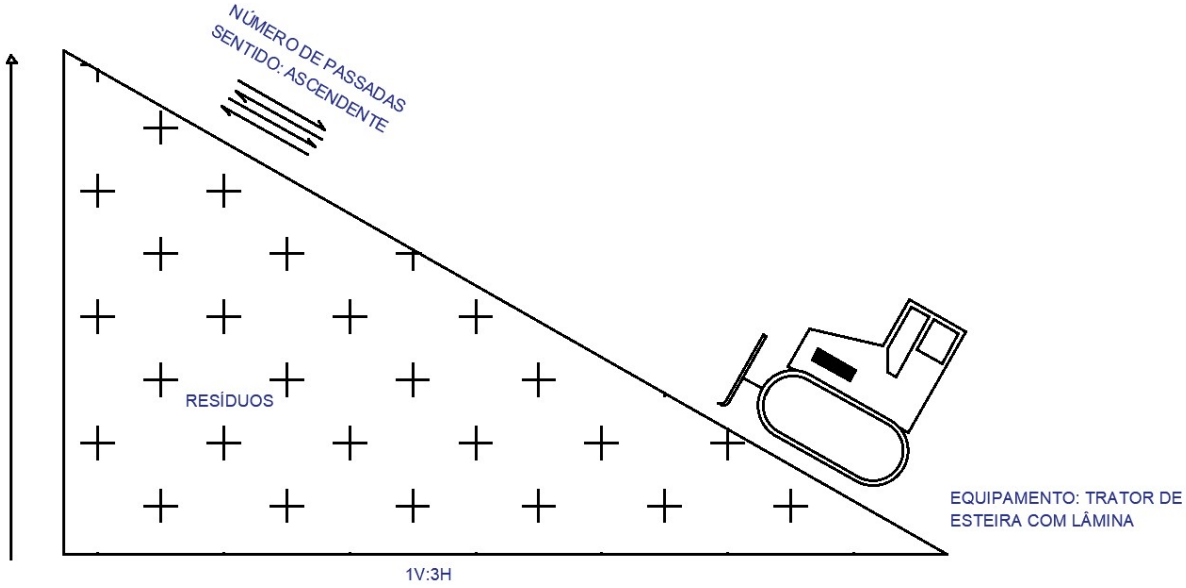


Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

4.7. Descrição do Procedimento Operacional

A execução das células está fundamentada nas diretrizes operacionais previamente estabelecidas no referencial teórico do trabalho. Foram identificados e escolhidos cinco aspectos básicos de operação de aterros sanitários para avaliar as situações encontradas, que são: altura da célula, inclinação adequada, equipamento utilizado, sentido da compactação e número de passadas, conforme simulação apresentada pela Figura 45.

Figura 45: Esquema geral de operação identificado nos Aterros Sanitários



Fonte: Adaptado de Ribeiro (2016)

Os procedimentos de operação são semelhantes. Em ambos os aterros sanitários os rejeitos chegam através de caminhões coletores, momento em que é realizado, ainda na portaria, o controle por pesagem utilizando as balanças rodoviárias. Na área de operação, próxima os taludes, os resíduos são descarregados (Figura 46), em seguida, realiza-se o espalhamento do lixo em camadas de espessura não inferior a 0,30 m e não superior a 0,60 m.

Figura 46: Descarregamento de resíduos em Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2019)

A altura dos taludes dos aterros sanitários estudados é de 4 metros para o Aterro Sanitário de Palmas e de 2,5 metros para o de Porto Nacional, com ambas inclinações máximas na ordem de 1V:3H, conforme sugerido nas normas e manuais técnicos.

Quanto ao equipamento utilizado no processo de compactação, foi identificado nas unidades o uso do trator de esteiras. Segundo a bibliografia, ele tem se apresentado como tipo de equipamento mais adequado para esta operação. A forma de compactação observada nos aterros sanitários foi o sentido ascendente, ou seja, de baixo para cima, método recomendado pela bibliografia, pois desta forma garante-se uma concentração de peso do equipamento na parte traseira do sistema de esteiras, reduzindo o volume dos resíduos de forma mais eficiente.

O número de passadas, que é a quantidade de vezes que o equipamento passa sobre o veículo, é um aspecto muito importante, tendo em vista que um número menor resulta em densidade mais baixa, já números superiores garantem resultado final pouco representativo. Os manuais técnicos recomendam de 3 a 5 passadas, quanto ao critério, constatou-se que os aterros sanitários estudados cumprem com a recomendação. Em Porto Nacional, conforme apresentado pelo responsável, a equipe é

instruída a realizar a passagem de 5 a 8 vezes, valor que pode ser alterado em período chuvoso para 3 a 5 vezes.

Em Palmas, conforme explicitado, realiza-se no mínimo 12 passadas, sendo estas realizadas em cruzamento (6 cruzadas). As situações encontradas nas respectivas unidades podem ser observadas por meio das Figuras 47 e 48.

Figura 47: Compactação de resíduos em célula do Aterro Sanitário de Porto Nacional



Fonte: Acervo Base Fortins (2020)

Figura 48: Compactação de resíduos em célula do Aterro Sanitário de Palmas



Fonte: Autor (2021)

No que tange as dificuldades relacionadas a operação, para o Engenheiro Civil Dr. João Marques, responsável técnico pelo Aterro Sanitário de Palmas, os problemas maiores estão: na realização da cobertura diária nos dias de chuva e na dificuldade financeira para implantação dos projetos e demandas. Em Porto Nacional, o Engenheiro Ambiental Tales Pereira enfatizou problemas relacionados a qualificação da mão de obra, as condições climáticas e a necessidade de tratamento da cobertura final com cascalho, que foi anteriormente abordado.

4.8. Tipologia de material para cobertura diária

A cobertura diária em aterros sanitários são fundamentais para evitar a proliferação de vetores, presença de animais, odores e outros malefícios que podem ocorrer. Nas unidades estudadas constatou-se a seguinte situação: no aterro sanitário de Palmas a cobertura é realizada após o término de cada jornada de trabalho por meio de uma camada de 0,20 m de solo. Em Porto Nacional, conforme abordado em visita, a empresa conta com uma lona, denominada de manta de sacrifício, que evita a exposição dos resíduos.

4.9. Plano de monitoramento ambiental e geotécnico

O plano de monitoramento ambiental e geotécnico, segundo Ribeiro (2016) tem como objetivo detectar potenciais impactos ambientais negativos, garantindo a implantação de medidas mitigadoras antes que estas assumam grandes proporções.

Para requisitos do plano do monitoramento ambiental, baseou-se nos seguintes itens: monitoramento do lixiviado, das emissões gasosas, das águas superficiais, das águas subterrâneas, controle da qualidade do ar e do solo, controle de ruído e verificação do cumprimento dos procedimentos de controle operacional e de manutenção (ABNT, 2010).

Na visita realizada em Porto Nacional, o responsável técnico informou que é realizado, de forma trimestral, os procedimentos de monitoramento do lençol freático, das águas subterrâneas, água superficial e tratamento do lixiviado. As análises são realizadas por meio de parceria com o laboratório de resíduos sólidos da Universidade Federal do Tocantins. No Aterro Sanitário de Palmas não é realizado acompanhamento ambiental, segundo informado em visita pelos técnicos responsáveis.

O plano de monitoramento geotécnico consiste na verificação do controle de deslocamentos horizontais e verticais no maciço, bem como a influência da pressão do biogás. Segundo dados fornecidos em visita, atualmente, somente a unidade de Porto Nacional realiza o monitoramento geotécnico, que se opera através de marcos superficiais, instalados nos taludes da lagoa anaeróbia, a título de medida preventiva para correção do maciço.

5. CONCLUSÃO

De acordo com as informações obtidas durante a execução do projeto de pesquisa, os aterros sanitários avaliados foram projetados e construídos considerando a grande maioria dos aspectos teóricos estabelecidos nas normas e manuais técnicos.

Quanto à caracterização local, ambos possuem jazida própria com argila de baixa permeabilidade, garantindo a viabilidade econômica desta obra de engenharia. Nas unidades visitadas, os gestores informaram que não costumam receber visitas nos meses chuvosos em razão dos problemas causados, todavia, o que foi observado é que os acessos secundários e internos apresentaram boas condições, mesmo estando neste período.

Em relação a vida útil dos aterros sanitários, todas as unidades foram projetadas com vida útil superior ao definido pela ABNT NBR 13896, que é de 10 anos. Outro fator importante para a viabilidade econômica do projeto é a distância mínima e máxima dos centros urbanos. Ambos atenderam o recomendado em relação as distâncias mínimas, porém, em relação as distâncias máximas, apresentaram valor superior ao sugerido em bibliografia, que é de 20 quilômetros.

Os sistemas de impermeabilização de base e superior identificados apresentaram similaridades, diferindo-se apenas em questões de nomenclaturas e espessuras das camadas, conforme apresentado. Já em relação a camada superior, aspectos importantes não foram adotados, como a utilização de geotêxtil, recomendado para fortalecer a impermeabilização conjunta com a argila compactada e a proteção vegetal.

A configuração em planta dos sistemas de drenagem de lixiviado apresentam novamente similaridades, prevalecendo o esquema chamado de espinha de peixe, com os drenos gasosos interligados à rede de drenagem horizontal. A estrutura dos drenos verticais é composta por manilhas de concreto e pedras de mão, não sendo aplicada nenhuma estratégia para queima/coleta/tratamento do biogás gerado nas células. Em relação as estratégias voltadas as águas superficiais, nota-se que não foram aplicados os projetos para drenagem e acúmulo, resultando em prejuízo para o os taludes e operação dos aterros sanitários.

Com relação a infraestrutura, ambas as unidades apresentam instalações adequadas para funcionamento, controle de acesso e recebimento de resíduos. Quanto

ao procedimento operacional, as situações identificadas estão de acordo com as orientações provenientes de manuais técnicos e normas. O equipamento utilizado na etapa de compactação é o trator de esteira, o número de passadas está no intervalo recomendado, assim como as inclinações dos taludes.

Quanto ao monitoramento ambiental e geotécnico dos aterros sanitários, constatou-se que em Palmas não está sendo realizada de forma periódica, situação que pode acarretar em problemas futuros. Em Porto Nacional é feito por meio de consultoria especializada.

Com o presente trabalho foi possível estabelecer parâmetros importantes para a eficiência de aterros sanitários, que são aplicadas desde a fase de projeto até a operação destas obras, que devem seguir rigorosos preceitos definidos em normas e manuais técnicos. O controle e boa execução destes parâmetros é o que atesta a mitigação de problemas ambientais e saúde pública.

6. REFERÊNCIAS

ABRELPE –Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil** –2018. São Paulo: Abrelpe, 2018.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. [S. l.], 2020. Disponível em: https://abrelpe.org.br/panorama-2020/. Acesso em: 27 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004: Resíduos sólidos - classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849** – **Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.** Rio de Janeiro, 2010.

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

AZEVEDO, Antonio Adeluzio Gomes. **Análise de viabilidade técnica e econômica do aproveitamento do biogás gerado no Aterro Sanitário de Palmas - TO. 2021. 79f.** Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2021.

BRASIL. Lei n° 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 ago. 2010.

CARREIRA, Ricardo da Silva. Prefeitura Municipal de Palmas. Agência Municipal de Serviços Públicos. **Estudo de impacto ambiental – EIA, Relatório de impacto ambiental – RIMA**. Palmas, Tocantins, 2002. 341 p.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de (coordenador e autor), “Resíduos Sólidos Urbanos: **Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte”** - Florianópolis – SC – 2003, Editora Rima Artes e Textos.

CATAPRETA, C. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**. 2008. 316 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2008.

CIRSURES. **Relatório de Operação do Aterro Sanitário**. Urrusanga – SC, 2016. Disponível em: < http://www.cirsures.sc.gov.br/biblioteca/relatorios >. Acesso em 12 jan. 2021.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Diferença entre lixão, aterro controlado e aterro sanitário**. [S. l.], 2019. Disponível em: https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/diferenca-entre-lixao-aterrocontrolado-aterro-sanitario.htm. Acesso em: 09 dez. 2020.

GOOGLE EARTH. Disponível em: < www.google.com/intl/pt-pt/earth >. Acesso em: 17 dez. 2020.

GUIMARÃES, Carlos Alberto. **IBGE estima população do país em 211,8 milhões de habitantes**. Agência IBGE Notícias. Editoria: Estatísticas Sociais. 20 Ago. 2020. Disponível em:

< https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/28676-ibge-estima-populacao-do-pais-em-211-8-milhoes-de-habitantes > Acesso em 20 Jan. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Cidades:** Palmas -TO. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>. Acesso em: 15 jan. 2021.

IPT/CEMPRE – INSTITUTODE PESQUISAS TECNOLÓGICAS E COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado**. 4 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2018. 316 p.

ISWA – INTERNATIONAL SOLID WASTE ASSOCIATION. **Landfill Operational Guidelines**. January, 2010.

JORNAL DO TOCANTINS. **Prefeitura de Porto Nacional Contrata por 25 anos empresa de aterro Sanitário**. Disponível em: < https://www.jornaldotocantins.com.br/editorias/vida-urbana/por-r-50-milh%C3%B5es-prefeitura-de-porto-nacional-contrata-por-25-anos-empresa-de-aterro-sanit%C3%A1rio-1.1862146>. Acesso em 06 dez.2020.

JUCÁ, J. F. T. et al. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Pernambuco: FADE/UFPE, Grupo de Resíduos Sólidos, 2014.

LANZA, V. C. V.; CARVALHO, A. L. C.; ALVIM R. V. **Orientações técnicas para operação de aterro sanitário. Fundação Estadual do Meio Ambiente**. Belo Horizonte: FEAM, 2005. 32p.

LAY-ANG, Giorgia. **Aterro Sanitário**. [S. l.], 2019. Disponível em: https://brasilescola.uol.com.br/biologia/aterro-sanitario.htm. Acesso em: 30 out. 2020.

LINO, Isabela Coutinho. **Seleção de Áreas para Implantação de Aterros Sanitários**. 2007. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2007. Disponível em: < https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/92745/lino_ic_me_rcla.pdf?sequence=1 >. Acesso em 05 jan. 2021.

MARQUES, J; AZEVEDO, A. **O que faço com meu lixo?;** resíduos sólidos da geração ao destino final. Goiânia: Editora Kelps, 2019.

MARQUES, Marcel Sousa. **Qualidade ambiental e estudo da produção e aproveitamento energético do biogás produzido pelo aterro sanitário de Palmas** – TO. 2019. 129f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Palmas, 2019.

MONTEIRO, J. P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

MONTESANTI, Júlia de Almeida Costa. **Incineração de lixo**. [S. l.], 2018. Disponível em: https://www.infoescola.com/ecologia/incineracao-de-lixo/. Acesso em: 22 dez. 2020.

MONTESANTI, Júlia de Almeida Costa. **Incineração de lixo**. [S. l.], 2018. Disponível em: https://www.infoescola.com/ecologia/incineracao-de-lixo/. Acesso em: 25 nov. 2020.

NUCASE – Núcleo Sudeste de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental**. Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários**. Ministério das Cidades – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p. Disponível em < http://www.dec.uem.br/mbr/Saneamento%20IV/aterro/aterro_sanitario.pdf >. Acesso em 05 jan. 2021

O'LEARY, P.R., TCHOBANOGLOUS, G. Landfilling – Chapter 14**. Handbook of Solid Waste Management**. Disponível em < https://b-ok.lat/s/george%20tchobanoglous>, USA, 2004.

OBLADEN, N. L. et. al. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**. Série de Publicações Temáticas do CREA- PR. Volume II. 2009.

PEREIRA, A. **Desenvolvimento de um indicador para avalição de desempenho de aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 155 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

PEREIRA, Tales Gonçalves. **Relatório 2019/2020 Base Fortins**. Porto Nacional, 2021. 27 p.

PERS - TO (2017). **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins**. Disponível em:< Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins – PERS/TO - Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (semarh.to.gov.br)> Acesso em: 15 jan. 2021.

Plano de gerenciamento de resíduos sólidos nas escolas paranaenses / Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. – Curitiba: SEED–Pr., 2016. 46 p. Disponível em: < plano_gerenciamento_residuos_solidos_escolasparanaenses.pdf (diaadia.pr.gov.br) >. Acesso em 02 jan. 2021.

PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE PALMAS - TO. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas - TO Volume IV: Resíduos Sólidos.** Palmas, 2014. Disponível em: https://www.palmas.to.gov.br/media/doc/arquivoservico/PMSB_Palmas_Volume_04_ Residuos_Solidos_Versao_Final.pdf. Acesso em: 05 nov. 2020.

PORTAL RESÍDUOS SÓLIDOS. **Lixão (Vazadouro) a céu aberto**. Disponível em: <https:// portalresiduossolidos.com/lixao-vazadouro-a-ceu-aberto/ > Acesso em 05 dez. 2020.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Lixão**. Disponível em: http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-reciclagem/lixao.php.Acesso em: 10 dez. 2020.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Lixão**. Disponível em: http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/meio-ambiente-reciclagem/lixao.php.Acesso em: 10 dez. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VOTORANTIM. **Prefeitura conclui quarta célula do Aterro Sanitário**. Disponível em: < https://www.votorantim.sp.gov.br/portal/noticias/0/3/9072/prefeitura-conclui-quarta-celula-do-aterro-sanitario >. Acesso em 10 jan. 2021.

SANTAELLA, S. T. et. al. **Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira**. Fortaleza: UFC / LABOMAR / NAVE, 2014. Disponível em < (PDF) Resíduos sólidos e a atual política ambiental brasileira (researchgate.net) >. Acesso em 15 dez. 2020.

RIBEIRO, Daniela Freitas. **Avaliação dos aspectos estruturais e operacionais em cinco aterros sanitários, localizados nos Estados do Rio de Janeiro e São Paulo.** Dissertação

de Mestrado (Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: < http://www.eng.uerj.br/producao2/producao.php?id=629 >. Acesso em: 05 set. 2020.

ROCHA, Márcio. **Aterro sanitário de Palmas ganhará sexta célula para depósito de resíduos sólidos.** [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.folhacapital.com.br/portal/noticias/view/9186/aterro-sanitario-de-palmasganhara-sexta-celula-para-deposito-de-residuos-solidos. Acesso em: 13 nov. 2020.

SECRETARIA MUNICIPAL DE INFRAESTRUTURA E SERVIÇOS PÚBLICOS. **Aterro Sanitário de Palmas é considerado modelo nacional.** Palmas, 2009. Disponível em: https://www.palmas.to.gov.br/secretaria/infraestrutura/noticia/3390/aterro-sanitariode-palmas-e-considerado-modelo-nacional/. Acesso em: 04 nov. 2020.

SEPLANTEC – Secretaria do Planejamento, Ciência e Tecnologia. **Manual de Operação de Aterros Sanitários.** Bahia, 2010. Disponível em: < capa.cdr (wordpress.com)>. Acesso em 11 jan. 2021.

SIGNIFICADOS. **Significado de Aterro sanitário**. [S. l.], 2016. Disponível em: https://www.significados.com.br/aterro-sanitario/. Acesso em: 26 nov. 2020.

SUÇUARANA, Monik da Silveira. **Compostagem**. [S. l.], 2018. Disponível em: https://www.infoescola.com/agricultura/compostagem/. Acesso em: 25 nov. 2020.

VIANA, J. A. R. Et. al. **Manual de Fiscalização de Aterros Sanitários.** CPRH – Agência Estadual de Meio Ambiente. Pernambuco, 2018. Disponível em < http://www.cprh.pe.gov.br/ >. Acesso em 11 jan. 2021.

ZANETI, I. C. B. B.; SÁ, L. M. **A educação ambiental como instrumento de mudança na concepção de gestão dos resíduos sólidos domiciliares e na preservação do meio ambiente**. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 1., 2002, Disponível em: < http://anppas.org.br/encontro_anual/encontro1/gt/sociedade_do_conhecimento/zaneti-mourao.pdf >. Acesso em 12 jan. 2021.

7. APÊNDICES

APÊNDICE A

FORMULÁRIO APLICADO NOS ATERROS SANITÁRIOS VISITADOS **Tema:** Avaliação dos Aspectos Estruturais e Operacionais dos Aterros Sanitários de Palmas e Porto Nacional – TO. **Aluno:** Eleomar Freitas da Silva. **Adaptação:** Ribeiro (2016)	

1. OBJETIVO

Este formulário, adaptado de Ribeiro (2016), visa estabelecer um roteiro descritivo aplicado para análise dos aspectos de estrutura, operação e monitoramento em aterros sanitários.

2. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável nos aterros sanitários objetos de pesquisa: Aterro Sanitário de Palmas e o Aterro Sanitário de Porto Nacional – TO.

3. REFERÊNCIAS

Os formulários foram divididos em três áreas: Descrição do Empreendimento, Aspectos Estruturais e Critérios Operacionais. Para o correto levantamento dos itens a serem abordados utilizou-se as seguintes normas brasileiras:

- NBR 8.419- Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 13.896 – Aterros de Resíduos Não perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação;
- NBR 15.849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros Sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

4. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME:
SIGLA:
CNPJ:
ENDEREÇO:
TELEFONE:
SITE:
E-MAIL:
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO:
CARGO DO REPRESENTANTE:
TELEFONE:
E-MAIL:
ÁREA ADMINISTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA
CONTROLE DE ACESSO:
SALAS ADMINISTRATIVAS:
REFEITÓRIO:
ALMOXARIFADO:
OUTROS:
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPO DE RESÍDUO:
ORIGEM:
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL:
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO:
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL:
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO:
ZONEAMENTO DA REGIÃO:
MÉTODO CONSTRUTIVO:
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES:
TIPOS DE ACESSO:
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS:

4.1. ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
PLANTIO DE GRAMA:
SISTEMA DE DREAGEM E REMOÇÃO DO LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO
LAGOAS DE ACUMULAÇÃO
TIPOS DE TRATAMENTO
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO
SISTEMA DE DRENAGEM E EMISSÃO GASOSAS
MATERIAL UTILIZAÇÃO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
TIPOS DE TRATAMENTO:
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS:
MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS:
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:

4.2. ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL:
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ ESPALHAMENTO:
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS:
DENSIDADE DO RESÍDUO:
DETALHAMENTO DA FRENTE DE TRABALHO
ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA:
CONTROLE DE VETORES:
MANUTENÇÃO DE ACESSOS:
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA;
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA:
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
REMOÇÃO POSTERIOR:
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DO LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO

MATERIAL UTILIZAÇÃO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO:
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO

5. PRINCIPAIS DIFICULDADES DE OPERAÇÃO

APÊNDICE B – Formulário Aplicado no Aterro Sanitário de Palmas - TO

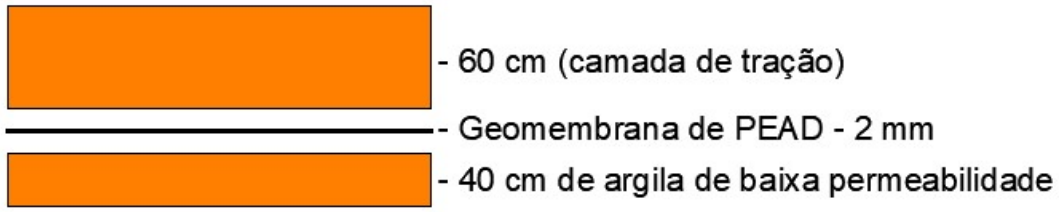
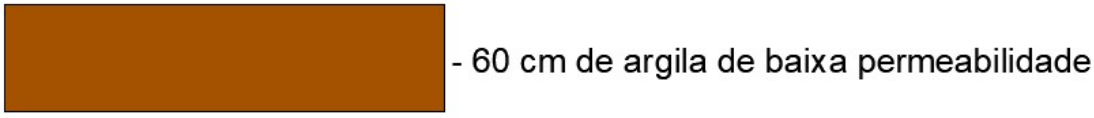
ATERRO SANITÁRIO DE PALMAS- TO **Tema:** Avaliação dos Aspectos Estruturais e Operacionais dos Aterros Sanitários de Palmas e Porto Nacional – TO. **Aluno:** Eleomar Freitas da Silva **Adaptação:** Ribeiro (2016)	

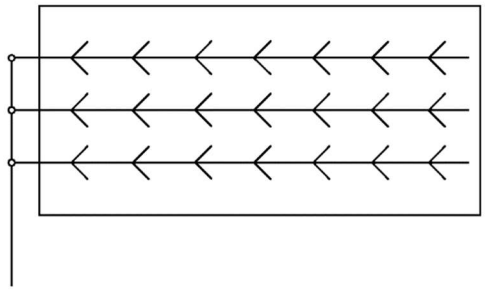
1. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS
NOME: Aterro Sanitário Municipal de Palmas
SIGLA: -
CNPJ: 24.851.511/0001-85
ENDEREÇO: Projeto de Assentamento São João – Zona Rural – Palmas - Tocantins
TELEFONE: 63 3212-7412
SITE: https://www.facebook.com/lixologo/
E-MAIL:
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: Dr. João Evangelista Marques Soares
CARGO DO REPRESENTANTE: Responsável Técnico
TELEFONE: 63 99973-0310
E-MAIL: jemarquess@gmail.com
ÁREA ADMINISTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim
CONTROLE DE ACESSO: Sim
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim
REFEITÓRIO: Sim
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS: Museu do Lixo.
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPO DE RESÍDUO: RSU – Classe IIA
ORIGEM: Município de Palmas – TO.
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL: 340 t/dia e 8840 t/mês
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: 24 horas por dia, de segunda a sábado.
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL:
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 40 anos.
ZONEAMENTO DA REGIÃO: Rural

MÉTODO CONSTRUTIVO: Método em Trincheiras.
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Jazida Própria de baixa permeabilidade, com eventual material de empréstimo de pedreiras.
TIPOS DE ACESSO: Acesso principal e interno por via não pavimentada.
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 6 km

a. ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida própria de argila de baixa permeabilidade e geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) – 2 mm.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO 
SUPERIOR
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Jazida Própria de Argila, de baixa permeabilidade.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
PLANTIO DE GRAMA: Não é realizada.
SISTEMA DE DREAGEM E REMOÇÃO DO LIXIVIADO
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Tubos de PEAD corrugados e perfurados com diâmetro de 160 mm.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Espinha de peixe





Marques e Azevedo (2012)

LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim

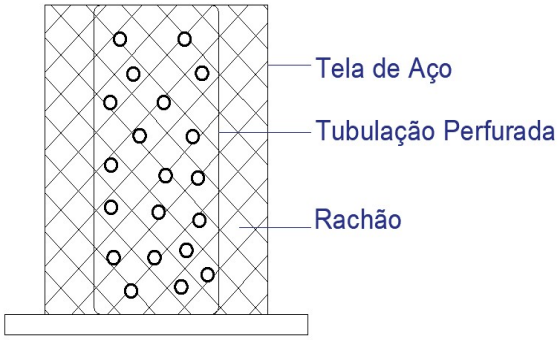
TIPOS DE TRATAMENTO: Sistema de tratamento biológico: lagoa anaeróbia, a segunda de maturação, a terceira lagoa facultativa, a quarta lagoa de polimento seguida de tanque de infiltração.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: -

SISTEMA DE DRENAGEM E EMISSÃO GASOSAS

MATERIAL UTILIZAÇÃO/ESPECIFICAÇÃO: Tubos verticais em concreto armado, perfurados com diâmetro de 40cm (manilhas) que também serão revestidos por pedras raçhão e telas de aço galvanizado com malha 10x10cm.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:





Marques & Azevedo (2016)

TIPOS DE TRATAMENTO: O biogás é lançado sem tratamento.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: 1.170 m³/h segundo Azevedo (2021).

MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: -

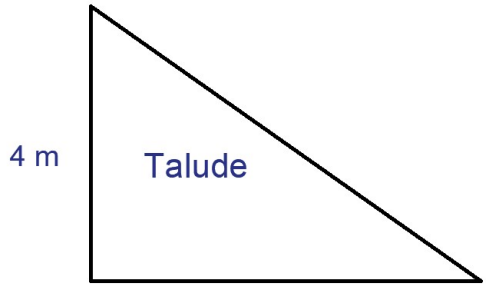
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Não é realizado.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -

b. ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO

DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: O caminhão coletor é pesado ao chegar no Aterro Sanitário, em seguida, transporta os resíduos à praça de operação das células, local que é feito a descarga, espalhamento e a compactação.
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ ESPALHAMENTO: Compactação ascendente (de baixo para cima), com no mínimo 12 passadas (6 cruzadas)
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: Trator de esteiras, caminhão basculante para o depósito da camada de solo.
DENSIDADE DO RESÍDUO: 200 kg/m³.
DETALHAMENTO DA FRENTE DE TRABALHO
ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 
CONTROLE DE VETORES: No dia da visita não foi evidenciada a presença de moscas e mau cheiro, apenas urubus isolados. No que tange ao controle de vetores, a cobertura diária é a alternativa utilizada para mitigação destes aspectos.
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: É realizado quando necessário. Após o período chuvoso, os acessos internos passam por manutenções, recuperando a qualidade do acesso.
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: -
MATERIAL DE COBERTURA INTERMEDIÁRIA
FREQUÊNCIA: Diária.
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Argila compactada para cobertura temporária.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:  - 20 cm de solo de boa qualidade
REMOÇÃO POSTERIOR: Não
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DO LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZAÇÃO/ESPECIFICAÇÃO: Não realizado.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Não realizado
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO

No momento da visita foram realizados questionamentos sobre os aspectos de monitoramento implantados, porém, conforme abordado pela equipe, não está sendo realizado. Quanto ao controle de erosões dos taludes, este monitoramento é realizado somente com a observação visual dos funcionários.

2. PRINCIPAIS DIFICULDADES DE OPERAÇÃO

- Problemas financeiros que acarretam na dificuldade em atender as demandas.
- Cobertura diária nos dias de chuva.
- Dificuldade de implantação dos projetos propostos.

APÊNDICE C – Formulário Aplicado no Aterro Sanitário de Porto Nacional – TO.

ATERRO SANITÁRIO DE PORTO NACIONAL - TO **Tema:** Avaliação dos Aspectos Estruturais e Operacionais dos Aterros Sanitários de Palmas e Porto Nacional – TO. **Aluno:** Eleomar Freitas da Silva. **Adaptação:** Ribeiro (2016)	

6. OBJETIVO

Este formulário, adaptado de Ribeiro (2016), visa estabelecer um roteiro descritivo aplicado para análise dos aspectos de estrutura, operação e monitoramento em aterros sanitários.

7. APLICAÇÃO

Este formulário é aplicável nos aterros sanitários objetos de pesquisa: Aterro Sanitário de Palmas e o Aterro Sanitário de Porto Nacional – TO.

8. REFERÊNCIAS

Os formulários foram divididos em três áreas: Descrição do Empreendimento, Aspectos Estruturais e Critérios Operacionais. Para o correto levantamento dos itens a serem abordados utilizou-se as seguintes normas brasileiras:

- NBR 8.419- Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos;
- NBR 13.896 – Aterros de Resíduos Não perigosos – Critérios para Projeto, Implantação e Operação;
- NBR 15.849 – Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros Sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

9. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO

INFORMAÇÕES CADASTRAIS

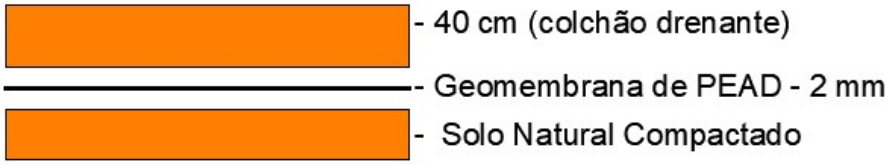
NOME: Base Fortins Soluções Ambientais LTDA
SIGLA: -
CNPJ: 12.706.327/0001-62
ENDEREÇO: Estrada TO 050, S/N, Lote 01 – Loteamento Fazenda Pingo, no Município de Porto Nacional – TO.
TELEFONE: (19) 3344-4904
SITE: http://basefortins.com.br/
E-MAIL: ruy@basefortins.com.br
CONTATO
NOME DO REPRESENTANTE DA ORGANIZAÇÃO: Tales Gonçalves Pereira
CARGO DO REPRESENTANTE: Responsável Técnico
TELEFONE: (63) 98139-5071
E-MAIL: tales@basefortins.com.br
ÁREA ADMINISTRATIVA
BALANÇA RODOVIÁRIA: Sim.
CONTROLE DE ACESSO: Sim.
SALAS ADMINISTRATIVAS: Sim.
REFEITÓRIO: Sim.
ALMOXARIFADO: Sim
OUTROS:
CARACTERÍSTICAS DO RESÍDUO A SER DISPOSTO NO ATERRO SANITÁRIO
TIPO DE RESÍDUO: Coletas públicas municipais de Resíduos Sólidos Urbanos Classe IIA.
ORIGEM: Recebe resíduos dos municípios de Porto Nacional e Ipueiras.
QUANTIDADE DIÁRIA E MENSAL: 70 t/dia e 1820 t/dia.
FREQUÊNCIA E HORÁRIO DE RECEBIMENTO: Segunda a Sábado – 07 às 23:30.
CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL:
VIDA ÚTIL DO ATERRO SANITÁRIO: 40 anos
ZONEAMENTO DA REGIÃO: Rural.
MÉTODO CONSTRUTIVO: Trincheiras/Valas
GEOLOGIA E SOLOS EXISTENTES: Latossolo vermelho Argiloso, tratamento com cascalho buscado fora da área.
TIPOS DE ACESSO: Acesso interno por via não pavimentada.
DISTÂNCIA DE NÚCLEOS POPULACIONAIS: 25 km (Porto Nacional).

9.1. ASPECTOS ESTRUTURAIS

IMPERMEABILIZAÇÃO DO ATERRO SANITÁRIO
INFERIOR

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Compactação, manta PEAD de 2 mm e camada de solo pouco compactada chamada de colchão drenante, em camada de 40 cm.

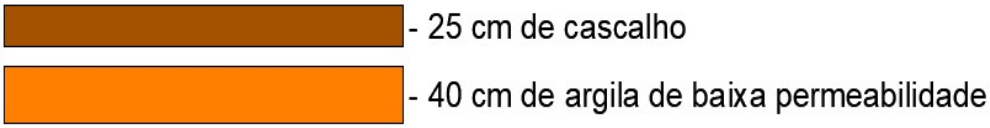
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:



SUPERIOR

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: 40 cm de solo argiloso e em média 25 cm de camada realizada com cascalho (camada de tratamento).

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:



PLANTIO DE GRAMA: É previsto, porém ainda não implantado, pois a primeira célula ainda se encontra em operação. As lagoas de tratamento de lixiviado possuem plantio de grama nos taludes.

SISTEMA DE DREAGEM E REMOÇÃO DO LIXIVIADO

MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Tubos de PEAD corrugados e perfurados com diâmetro de 150 mm.

ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:



Acervo Base Fortins (2020)



Acervo Base Fortins (2020)

LAGOAS DE ACUMULAÇÃO: Sim

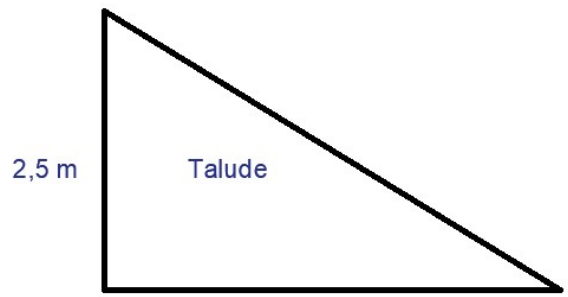
TIPOS DE TRATAMENTO: Lagoa Anaeróbia, facultativa, depuração e polimento (a construir).

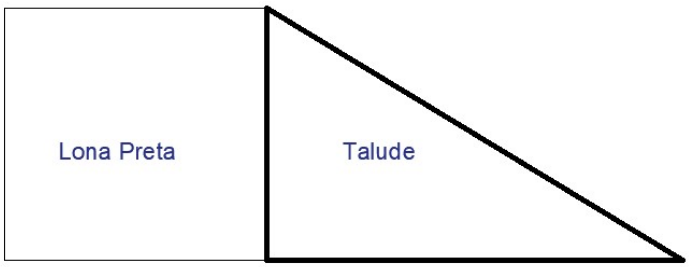
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE LIXIVIADO: -

SISTEMA DE DRENAGEM E EMISSÃO GASOSAS

MATERIAL UTILIZAÇÃO/ESPECIFICAÇÃO: Tubos verticais em concreto armado, perfurados com diâmetro de 40cm (manilhas) que também serão revestidos por pedras rachão, telas de aço galvanizado com malha 10x10cm, Geotêxtil.
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO:  Acervo Base Fortins (2020)
TIPOS DE TRATAMENTO: Não realizado
ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE BIOGÁS: -
MONITORAMENTO DA COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS: Não
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Não implantado
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: Não implantado

9.2. ASPECTOS OPERACIONAIS

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE DISPOSIÇÃO
DESCRIÇÃO DO PROCEDIMENTO OPERACIONAL: Os caminhões são pesados, o apontador define o local de descarga dos resíduos, em seguida é realizada o espalhamento e compactação.
MODO E TAXA DE COMPACTAÇÃO/ ESPALHAMENTO: Ascendente, de 5 a 8 vezes.
EQUIPAMENTOS UTILIZADOS: Trator de esteira, caminhão basculante.
DENSIDADE DO RESÍDUO: Trator de esteira D6 - 517 a 1,126 kg/m3
DETALHAMENTO DA FRENTE DE TRABALHO
ALTURA ESTIMADA DA CÉLULA: 

CONTROLE DE VETORES: No dia da visita não foi evidenciada a presença de animais, insetos ou mau cheiro. No que tange ao controle de vetores, além dos serviços relacionados ao cercamento e cobertura vegetal, a manta ou lona de sacrifício é utilizada para evitar resíduos expostos.
MANUTENÇÃO DE ACESSOS: São realizadas manutenções nas vias de acesso para que não ocorram atolamentos dos maquinários e caminhões. Como medida corretiva, caso ocorra atolamentos, a equipe conta com frente operacional e possui cabo de aço para auxiliar. São umectados os locais onde o volume de trafego de caminhões é mais intenso.
PROCEDIMENTO ESPECÍFICO PARA DIAS DE CHUVA: Para os dias chuvosos, a Base Fortins realiza manutenção com cascalho nas áreas de disposição, em cima do maciço.
MATERIAL DE COBERTURA PROVISÓRIA
FREQUÊNCIA: Diária.
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: Lona de sacrifício preta para cobertura temporária
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: 
REMOÇÃO POSTERIOR: sim
SISTEMA DE DRENAGEM E REMOÇÃO DO LIXIVIADO INTERMEDIÁRIO
MATERIAL UTILIZAÇÃO/ESPECIFICAÇÃO: -
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
SISTEMA DE DRENAGEM DE ÁGUA PLUVIAL PROVISÓRIA
MATERIAL UTILIZADO/ESPECIFICAÇÃO: -
ESQUEMA DE IMPLANTAÇÃO: -
SISTEMA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL E GEOTÉCNICO
O monitoramento ambiental é realizado periodicamente em parceria com o Laboratório de Resíduos sólidos da UFT; O monitoramento geotécnico é feito com uma empresa especializada, que instalou marcos superficiais para acompanhamento dos deslocamentos dos taludes.

10. PRINCIPAIS DIFICULDADES DE OPERAÇÃO

- Condições climáticas;
- Mão-de-obra qualificada;
- Necessidade de complementar o material de cobertura final com cascalhos.