



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Beatriz Teixeira dos Santos

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS MANUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, PARA O DISTRITO DE LUZIMANGUES – TO

Palmas – TO

2018

Beatriz Teixeira dos Santos

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS MANUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, PARA O DISTRITO DE LUZIMANGUES – TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira.

Palmas – TO

2018

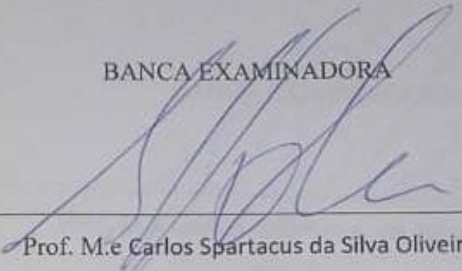
Beatriz Teixeira dos Santos
PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS MANUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, PARA O DISTRITO DE LUZIMANGÜES – TO

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e
apresentado como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira.

Aprovado em: 16 / 05 / 2018

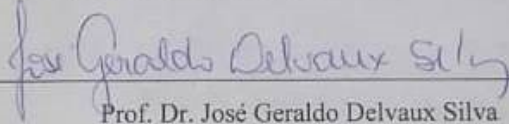
BANCA EXAMINADORA



Prof. M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira

Orientador

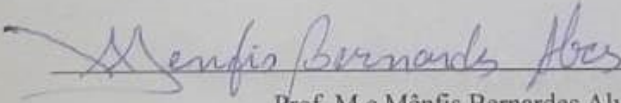
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. M.e Mênfis Bernardes Alves

Avaliador Externo

Palmas – TO

Presto este trabalho primordialmente a Deus cujo me deu a capacidade de realizá-lo. Dedico este trabalho aos meus pais Neto e Marinalva, por acreditarem no meu potencial e sempre lutarem para que meus sonhos se tornassem realidade. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado saúde, força e inteligência para superar todas as dificuldades e conseguir chegar onde estou hoje.

Aos meus pais Otacílio Neto e Marinalva Teixeira, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A todos os meus familiares que sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos difíceis.

Ao meu orientador M.e Carlos Spartacus da Silva Oliveira, pelas suas correções, suporte e incentivos.

E a todos os meus amigos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

SANTOS, Beatriz Teixeira. **Projeto de aterro sanitário em valas para resíduos sólidos urbanos, para o Distrito de Luzimanges no município de Porto Nacional-TO.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, Palmas/TO, 2018.

Os serviços de manejo dos resíduos sólidos compreendem a coleta, limpeza pública bem como a destinação final desses respectivos resíduos. A implantação e operação de aterros sanitários são de grande relevância em qualquer cidade, uma vez que promove melhorias no bem-estar da população e evitar a poluição do meio ambiente. Vários são os tipos de aterro sanitário para abrigar os resíduos sólidos urbanos, o aterro sanitário foco deste trabalho é o Aterro Sanitário em Valas Manual que segundo Lange *et al.* (2008), comumente implantado em áreas planas, onde são escavadas valas no solo, com dimensões previamente calculadas para se adequarem à demanda de resíduos da cidade. Realizou-se estudos para o município escolhido no estado do Tocantins que gera até 20 toneladas de resíduos sólidos por dia. Como modelo para execução deste trabalho foi o distrito de Luzimanges no município de Porto Nacional-TO, localizado a aproximadamente 10 km de distância de Palmas – TO. Conforme o IBGE (2010) este município possuía uma população 2310 habitantes. Munido dos volumes de resíduos sólidos urbanos gerados todos os anos de vida útil do aterro sanitário, foi possível constatar o baixo crescimento dos volumes gerados anualmente. Isto acontece claramente em função da população da cidade escolhida ser pequena e a taxa de crescimento populacional ser baixa. Este trabalho propiciou entender o quanto é importante que a área para implantação de um aterro sanitário tenha as devidas características exigidas por norma, evitando possíveis danos ao meio ambiente, além disso possibilitou acrescentar claramente como é o dimensionamento de cada sistema que compõe o respectivo aterro sanitário. Contudo o projeto proposto neste trabalho pode ser adequado para qualquer município sendo ele de pequeno porte, pois os dados, formulas e demandas gerados poderão servir de base para o desenvolvimento de novos projetos.

ABSTRACT

Solid waste management services include the collection, public cleaning as well as the final destination of the respective waste. The implantation and operation of landfills are of great relevance in any city, since it promotes improvements in the well-being of the population and to avoid the pollution of the environment. Several types of landfill to house urban solid waste, the landfill focus of this work is the Sanitary Landfill in Manual Troughs that according to Lange et al. (2008), commonly implanted in flat areas, where ditches are excavated in the soil, with dimensions previously calculated to fit the city's waste demand. Studies were carried out for the municipality chosen in the state of Tocantins that generates up to 20 tons of solid waste per day. As a model for the execution of this work was the district of Luzimangues in the municipality of Porto Nacional-TO, located approximately 10 km away from Palmas - TO. According to IBGE (2010) this municipality had a population of 2310 inhabitants. Armed with the volumes of municipal solid waste generated every year of the life of the landfill, it was possible to observe the low growth of volumes generated annually. This is clearly because the population of the chosen city is small and the rate of population growth is low. This work allowed us to understand how important it is that the area for the implantation of a landfill has the necessary characteristics required by norm, avoiding possible damages to the environment, besides it made it possible to add clearly as it is the sizing of each system that compose the respective sanitary landfill . However, the project proposed in this work may be suitable for any municipality being of small size, since the data, formulas and demands generated may serve as a basis for the development of new projects.

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Classificação de alguns resíduos como não perigosos.	19
Quadro 02 – Instruções para drenagem dos gases	38
Quadro 03 - Previsão de crescimento populacional	44
Quadro 04 - Tempo de Retomo	57
Quadro 05 - Valores de C para várias superfícies, declividade e tempos de retomo	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Manta para impermeabilização	25
Figura 02 – Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário	26
Figura 03 – Detalhe do tratamento do gás pela queima	26
Figura 04 - Resíduos sendo descarregados na vala.....	28
Figura 05 - Nivelamento e cobertura dos resíduos sendo realizados diariamente	28
Figura 06 – Fluxograma para o chorume gerado no aterro sanitário	37
Figura 07 - Mapa do município de Porto Nacional e o distrito de Luzimangues - TO.....	39
Figura 08 - Vista aérea da área onde ficará localizado o Aterro Sanitário do distrito de Luzimangues do Tocantins.....	41
Figura 09 - Mapa geológico do estado do Tocantins	42
Figura 10 - Taxa geométrica de crescimento em porcentagem por classe de tamanho de município	43
Figura 11 - Gráfico dos volumes de RSU gerados durante os anos da vida útil	50
Figura 12 – Dimensões da seção transversal da vala	51
Figura 13 – Comprimento da base maior e menor da vala	52
Figura 14 – Dimensões de escavação das valas	54
Figura 15 - Parâmetros da Equação IDF	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 PROBLEMA.....	14
1.2 HIPOTESE.....	14
1.3 OBJETIVOS.....	14
1.3.1 Objetivo Geral.....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
1.4 JUSTIFICATIVA.....	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1 Histórico do lixo e do Aterro Sanitário.....	15
2.2 Definições.....	16
2.2.1 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos.....	16
2.2.2 Aterro controlado.....	17
2.2.3 Lixão.....	17
2.2.4 Aterro Sanitários em Valas.....	17
2.2.5 Lei nº 12.305.....	18
2.2.6 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos.....	18
2.2.7 Resíduos Sólidos.....	18
2.2.8 Chorume.....	19
2.2.9 Biogás.....	19
2.3 Planejamento.....	20
2.3.1 Estudos Preliminares.....	20
2.3.2 Seleção da Área.....	20
2.3.3 Licenciamento Ambiental.....	21
2.3.4 Aquisição do Local.....	21
2.4 Partes constituintes do Projeto.....	21
2.4.1 Memorial Descritivo.....	22
2.4.2 Elementos do Projeto.....	23
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 Pesquisa Bibliográfica.....	28
3.2 Objeto de Estudo.....	28
3.3 Determinação da vida útil do aterro.....	29
3.4 Dimensionamento das trincheiras.....	29
3.4.1 Previsão de crescimento populacional do município.....	29

3.4.2 Produção diária de R.S.U e produção per capita.....	29
3.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto.....	30
3.5 Volumes e dimensões das trincheiras.....	30
3.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd).....	30
3.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm).....	30
3.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	31
3.5.4 Comprimento médio da trincheira (L).....	31
3.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo).....	31
3.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (Ve).....	31
3.6 Determinação do número de células (trincheiras) para os anos de vida útil do projeto.....	32
3.7 Dimensionamento da Área do Aterro Sanitário	32
3.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Trincheiras	32
3.8.1 Dimensionamento do solo.....	33
3.8.2 Dimensionamento da manta.....	33
3.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais.....	34
3.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados.....	35
3.11 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases.....	36
3.12 Isolamento do aterro.....	37
3.13 Cobertura final.....	37
3.14 Projeto Executivo.....	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1 Escolha e dados do município	38
4.2 Levantamento de dados da área selecionada para implantação do aterro.....	39
4.3 Determinação da vida útil do aterro	41
4.4 Dimensionamento das valas	41
4.4.1 Previsão de crescimento populacional do município	43
4.4.2 Produção diária de R.S.U. e produção de resíduos per capita	43
4.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto.....	43
4.5 Volumes e dimensões das valas	48
4.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)	48
4.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)	49
4.5.3 Volume da trincheira (Vt)	49

4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L)	49
4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo)	50
4.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (Ve)	51
4.6 Determinação da quantidade de valas para os 15 anos de vida útil do projeto	52
4.7 Área do aterro sanitário	52
4.8 Dimensionamento da impermeabilização da base e laterais das valas.....	52
4.8.1 Dimensionamento do solo	52
4.8.2 Dimensionamento da manta	55
4.9 Dimensionamento do sistema de drenagem das águas pluviais	55
4.9.1 Intensidade da chuva crítica (i)	56
4.9.2 Área da bacia Contribuinte (A)	56
4.9.3 Coeficiente de escoamento superficial (C)	57
4.9.4 Vazão drenada	58
4.9.5 Dimensionamento do canal de drenagem de águas pluviais	58
4.10 Dimensionamento do sistema de drenagem e tratamento de lixiviados	58
4.10.1 Vazão.....	58
4.11 Dimensionamento do sistema de drenagem e tratamento de gases.....	58
4.12 Isolamento do aterro	59
4.13 Cobertura final	59
5 CONCLUSÃO	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
7 ANEXOS	62

1 INTRODUÇÃO

Aterro sanitário é uma espécie de depósito onde são descartados resíduos sólidos (lixo) provenientes de residências, indústrias, hospitais e construções. Sendo que grande parte deste lixo é formada por não recicláveis. Como a coleta seletiva ainda não ocorre plenamente, é comum encontrarmos nos aterros sanitários plásticos, vidros, metais e papéis. Eles geralmente são construídos em locais distantes das cidades devido ao mal cheiro e da possibilidade de contaminação do solo e de águas subterrâneas. Essa contaminação pode ocorrer por infiltração do chorume ou percolato, líquido contendo componentes tóxicos que flui do lixo para o solo e corpos d'água.

O aterro segue princípios da engenharia de confinar resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume possível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão da jornada de trabalho ou em intervalos menores, se necessário. Deve ser impermeabilizado e possuir acesso restrito, ter a quantidade de lixo controlada e conhecer que tipos de resíduos estão sendo depositados.

Atualmente, existem normas rígidas que regulam a implantação de aterros sanitários. Os quais devem possuir um controle da quantidade e tipo de lixo, sistemas de proteção ao meio ambiente e monitoramento ambiental.

Os aterros sanitários são importantes, pois solucionam parte dos problemas causados pelo excesso de lixo gerado nas grandes cidades.

Um grande problema encontrado nos municípios de pequeno porte e de escassos recursos financeiros para a construção de aterros sanitários é o da disponibilidade de equipamentos para a sua operação. O aterramento dos resíduos fica relegado a um plano secundário, com a conseqüente transformação do aterro num simples depósito a céu aberto. Esse é o grande obstáculo oferecido por todos os tipos de aterro, quando aplicados a pequenas comunidades, exceto aqueles desenvolvidos em valas e operados sem a utilização de equipamentos. Esta técnica consiste no preenchimento de valas escavadas com dimensões apropriadas, onde os resíduos são depositados sem compactação e a sua cobertura com terra é realizada manualmente. Os equipamentos são, portanto, imprescindíveis apenas na fase de abertura das valas.

Esse método de utilização de valas manuais é um dos métodos mais econômicos e mais favorável para municípios que possuem uma produção máxima de 20 toneladas diariamente.

1.1 Problema

Como fazer a disposição final dos resíduos produzidos no Distrito de Luzimanges no município de Porto Nacional-TO?

1.2 Hipótese

O uso de valas manuais para municípios de pequeno porte tem sido um das soluções para evitar os lixões, como o distrito de Luzimanges fica aproximadamente 90km da cidade de Porto Nacional o uso de valas diminuiria os gastos com o transporte dos resíduos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Dimensionar um aterro sanitário de valas manual para disposição final de resíduos sólidos urbanos na região de Luzimanges.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar as etapas de projeto de aterro sanitário de valas manual para pequenos municípios adaptado a região de Luzimanges.
- Demonstrar o dimensionamento da área e valas em planta.
- Estabelecer rotinas de disposição final dos resíduos.

1.4 Justificativa

Para minimizar os impactos ambientais de resíduos sólidos gerados pela população de um município ou distrito é necessário um gerenciamento desses resíduos. É de suma importância o gerenciamento ambiental de resíduos sólidos nas questões econômicas e sociais da limpeza urbana.

Municípios de pequeno porte onde possuem até 20 mil habitantes são responsáveis por gerar 68,5% dos resíduos. Apresentando problemas na gestão de resíduos sólidos urbanos levando a entender que existe uma falta de conhecimento ou uma falta de recursos e como consequência não conseguem operar um aterro sanitário de forma correta.

As literaturas para cidades de pequeno porte para aterros sanitários sustentáveis sugerem o uso de aparelhos de alta tecnologia invalidando o projeto por falta de recursos financeiros, conforme a legislação nacional (NBR 15.849/2010) ressalta o uso de aterros sanitários de valas manual para esses municípios onde a mão-de-obra é mais simples e predominantemente manual.

No estado do Tocantins apenas 7 dos 139 municípios não se enquadram para o projeto de aterro sanitário de valas manual devido a quantidade de tonelada/dia produzido pois acaba

ultrapassando o limite adequado para esse projeto. Correspondendo a 94,96% dos 132 municípios que se enquadram.

A maioria desses pequenos municípios não possuem a destinação adequada para depositar seu resíduo sólido urbano, o distrito de Luzimangues se enquadra aos critérios básicos de projeto para o aterro sanitário de valas manual diminuindo gastos com transportes de aproximadamente 90km diário para Porto Nacional-TO onde são literalmente depositados.

É de grande importância lembrar que o benefício de tal projeto não se restringe ao distrito em questão, mas a todos os 132 municípios que se aderirem ao projeto estará beneficiado na saúde pública e preservação do meio ambiente de todo o estado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será apresentado definições, generalidades e mecanismos a respeito dos aterros sanitários, apresentando assim as metodologias e técnicas de descarte utilizadas na projeção deste tipo de Resíduo Sólido Urbano – RSU.

2.1 Histórico do lixo e do Aterro Sanitário

Na Idade Média os lixos eram acumulados pelas ruas e mediações das cidades, onde gerava muitas doenças e morte de muitas pessoas, devido esses problemas foram surgindo os primeiros serviços de coleta de lixo, em que eram realizados em geral pelos carrascos da cidade e seus auxiliares. Na segunda metade do século XIX, na Revolução Industrial foi iniciado o processo de urbanização, isso fez com que a população urbana aumentasse consideravelmente porque o homem do campo foi para as cidades.

Com isso surgiram os primeiros impactos ambientais passando a ter uma grande importância, devido diversos tipos de poluição, inclusive a poluição gerada pelo lixo. Para amenizar a situação foi necessário tomar novas medidas para melhorar a situação dos bairros operários e também dos bairros nobres. Tendo como idéia mais pratica para aquele momento o descarte do lixo em áreas distanciadas das cidades, surgindo assim os conhecidos lixões.

Devido o grande crescimento populacional e a industrialização nos tempos atuais fez com que os hábitos da população mudassem, provocando mais diversidades e volume de lixos gerados. No Brasil o principal tipo de lixo é o orgânico, mas devido o crescimento da indústria vem sendo mais encontrados produtos descartáveis nos lixos.

Os lixos tem aumentado em 3 vezes mais do que o crescimento populacional e sua destinação para os lixões vem impactando diretamente todo o meio ambiente, por falta de um acondicionamento adequado, dando assim início do uso de grandes buracos no solo o que antes

eram feitos para o extrativismo mineral. Esses buracos não possuíam isolamento feito por mantas e foram usados para depositar todo o lixo, mas começaram a surgir vazamento de chorume, e contaminaram os aquíferos que ali existia. Mas com o passar do tempo a engenharia desenvolveu melhores técnicas de acondicionamento e gerenciamento desses resíduos.

2.2 Definições

Serão definidos assuntos concernente ao tema abordado neste trabalho, com o objetivo de apresenta-lo de forma esclarecedora.

2.2.1 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

Segundo a ABNT (1992), aterro sanitário são resíduos sólidos urbanos depositados em uma área correta, utilizando assim a técnica de disposição, preservando a saúde pública e reduzindo portanto possíveis impactos ambientais. Este método tem como objetivo acondicionar os resíduos sólidos em áreas reduzidas e em menor volume permissível, utilizando o solo como material de cobertura dos resíduos ao final de cada dia de trabalho ou quando for necessário. Esse método utiliza conhecimentos de engenharia.

Ainda sobre a definição de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos segundo Obladen, Obladen e Barros (2009, p. 7),

os aterros sanitários convencionais ou mecanizados são os que se aplicam em todas as localidades com os resíduos suficientes para justificar economicamente o uso de máquinas para as operações de escavação, preparo do terreno, compactação e recobrimento do lixo. Trata-se de uma obra de engenharia, que se desenvolve em área previamente determinada e como resultado final produz a modificação da topografia do terreno. Deverá reunir as seguintes características mínimas: (a) O aterramento de resíduos evita a proliferação de vetores, riscos à saúde pública e a degradação ambiental. (b) A área do aterro deverá ser perfeitamente delimitada e cercada. (c) Deverá ser estabelecido um controle de acesso de veículos e pessoas. (d) Não se queima o lixo, nem se produzem odores, devendo ser coberto diariamente. (e) Existe planos de fechamento (clausuras) e pós-clausura. (i) Aplicam-se aos resíduos Classe II – não inertes e Classe III – inertes em condições especiais (NBR 10004).

O Aterro Sanitário tem como finalidade de precaver danos à saúde da população e meio ambiente, portando de mecanismos implantados para evitar que os contaminantes gerados pela degradação do lixo não infectem corpos hídricos e a atmosfera, podendo ser estabelecido como uma obra de engenharia para o recebimento e armazenamento de resíduos sólidos urbanos.

2.2.2 Aterro controlado

Conforme a ABNT (1985) o Aterro Controlado de Resíduos Sólidos Urbanos é a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-se com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho.

2.2.3 Lixão

Lixão não tem uma preparação no solo sendo uma área de descarte de resíduos sólidos. Não existindo sistema de tratamento para o chorume, infiltrando no solo e infectando o corpo hídrico no subsolo. Havendo ainda seres vivos que convivem com o lixo livremente, e pessoas que catam comida e materiais recicláveis para vender. No o lixo fica exposto nos lixão e não há nada que evite danos ao meio ambiente e a sociedade (GONÇALVES, 2008, online).

2.2.4 Aterro Sanitários em Valas

Segundo ABNT (2010, p. 2), “é a instalação para disposição para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada”

Conforme Savastano Neto *et al.* (2010), uma técnica que descarta resíduos sólidos é o aterro sanitário em valas, servindo para municípios de pequenos portes, que produzem diariamente no máximo 20 toneladas de lixo, estando acima desse volume, há uma necessária de abertura constante de valas, tornando assim o custo mais alto.

É ideal que a área tenha relevo plano, para facilitar a escavação das valas, sendo assim uma técnica de disposição de resíduos abaixo do nível do terreno. Para o perfeito confinamento dos resíduos é necessário a compactação, aproveitamento totalmente o volume.

A área de implantação dessa técnica deve considerar a quantidade de resíduos gerados e a vida útil do aterro. Devendo também prever a área para cercamento, cinturão verde, escoamento das águas pluviais, acesso e espaço entre valas geralmente a área prevista é a mesma da área superficial das valas.

O órgão ambiental não exige a impermeabilização das valas para aterro sanitário. São considerados o tipo de solo e a sua permeabilidade na hora de fazer a escolha do terreno, englobando também o nível de lençol freático e o excedente hídrico da região, garantir assim uma vida útil de 15 anos no mínimo, respeitando 500 metros de núcleos habitacionais e 200 metros de qualquer corpo d'água superficial nas proximidades, que são as distâncias mínimas necessárias.

2.2.5 Lei nº 12.305

Conforme a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), os lixões foram obrigados a fechar e começar a implantação da coleta seletiva; fazendo a compostagem; destinando somente os rejeitos para os aterros sanitários. Onde os governos municipais foram obrigados a elaborar os Planos Municipais Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Se não cumprir o que a lei estabelece, podem sofrer penalizações tanto pessoa física (gestor), quanto a pessoa jurídica (município). Tendo como penalidades variando desde a detenção (reclusão de 01 a 04 anos), a multa que podem ser de R\$ 5 mil até R\$ 5 milhões e perda do mandato.

2.2.6 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos

Conforme Monteiro et al. (2001) esse Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos é feito pela ação de órgãos para melhoria da saúde pública com o intuito de realizar a limpeza urbana, coleta, tratamento e disposição final do lixo.

Existe também planejamento urbano, políticas públicas associadas a saúde, plano de conscientização da população a respeito do assunto, trabalho e renda, não poluir avenidas e locais públicos, mostrar para as pessoas a possibilidade de gerar menos lixo e o reaproveitamento de produtos descartáveis, dentre outros fatores.

2.2.7 Resíduos Sólidos

Segundo a ABNT (2004) os resíduos sólidos são aqueles nos estados sólidos e semissólidos, obtidos por origem industrial, hospitalar, domiciliar, de serviços e de varrição agrícola. Considerados também como resíduos sólido os lodos vindos do sistemas de tratamento de água, os que são gerados em equipamentos de controle de poluição e os líquidos que não possuem características de descarte nas redes públicas de esgotos ou em corpos hídricos.

O Quadro 01, apresenta os resíduos sólidos classificados como não inertes e que podem ser descartados em aterros sanitários conforme a ABNT (2004).

Código de Identificação	Descrição do Resíduo	Código de Identificação	Descrição do Resíduo
A001	Resíduos de restaurantes (restos de alimentos)	A009	Resíduo de madeira
A004	Sucata de metais ferrosos	A010	Resíduo de materiais têxteis
A005	Sucata de metais não ferrosos (latão etc.)	A011	Areia de minerais não-metálicos
A006	Resíduos de papel e papelão	A016	Areia de fundição
A007	Resíduos de plásticos polimerizado	A024	Bagaço de cana
A008	Resíduos de borracha	A099	Outros resíduos não perigosos
NOTA Excluídos aqueles contaminados por substâncias constantes nos anexos C, D ou E e que apresentem características de periculosidade			

Fonte: ABNT (2004)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010, p. 2) entende resíduo sólido como:

Material, substancia, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se precede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

2.2.8 Chorume

Segundo Luz (1981 *apud* SCHALCH *et al.*, 2002), o chorume ou o sumério é um líquido originado da decomposição do lixo e que são gerados pelos seguintes fatores:

- água de constituição dos materiais, que se acumula durante a decomposição;

- umidade do lixo, principalmente em grandes períodos de chuva;
- líquidos provenientes da decomposição da matéria orgânica.

2.2.9 Biogás

Conforme (IPCC, 1995) o gás produzido nos aterros sanitários contribui consideravelmente para o aumento das emissões globais de metano. São estimado oscilam entre 20 e 70 Tg/ano das emissões globais de metano, decorrentes deses aterros, sendo que as fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano do total das emissões globais, equivalendo de 6 a 20 % do total de metano produzir pelos aterros.

O biogás tem sua origem depois da disposição feita dos resíduos sólidos no aterro sanitário, Sendo perceptíveis com três meses, e podendo ter uma continuidade de um período de 20 ou até mais anos depois que encerrar o aterro. (Ministério do Meio Ambiente 2015, online).

Os resíduos sólidos no Brasil é gerado um biogás que apresenta elevado nível de Metano, sendo maior que 55%, superior a 30% de Dióxido de Carbono.

2.3 Planejamento

Consiste no planejamento etapas adequadas do aterro sanitário, sendo executadas por estudos detalhados a respeito do assunto, tendo sempre em visando o menor impacto ambiental possível.

2.3.1 Estudos Preliminares

Nos estudos preliminares estuda as características fazer a melhor escolha do sistema que será adotado. Servindo de embasamento para controlar ao longo do monitoramento do aterramento dos resíduos na área a ser utilizada. Possuindo duas partes: primeira que é a caracterização do município e segundo diagnosticando o gerenciamento dos resíduos sólidos utilizados.

Segundo CASTILHO JUNIOR, (2003) é de suma importância que seja feito um diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos no município. As etapas geradas nos estudos, devem ser levantadas desde a geração até o destino final. É extremamente fundamental informações sobre a geração per capita de resíduos sólidos domésticos e serviços de limpeza na cidade que foram executados.

2.3.2 Seleção da Área

Segundo Monteiro *et al.* (2001), as áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural ou industrial e fora de qualquer local protegido ambientalmente e não se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam ao estado ou município. O local selecionado não deve se situar a menos de mil metros de residências urbanas que abriguem 200 ou mais habitantes e não poderá se situar próximo a aeroportos ou aeródromos. As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são as seguintes:

- Para aterro com impermeabilização de manta plástica sintética, a distância do lençol freático não deverá ser menor que 1,5 metro.
- Para aterros com impermeabilização com camada de argila, a distância do lençol freático não pode ser inferior a 2,5 metros e a camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade abaixo de 10^{-6} cm/s.

As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas, o que garante uma impermeabilidade natural. O terreno deve situar-se próximo a jazidas de material de cobertura, de modo que haja material de cobertura do lixo sempre que necessário.

A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, para evitar que grandes volumes de água da chuva entrem na área do aterro.

2.3.3 Licenciamento Ambiental

Será dispensado o Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental - EINRIMA se o órgão ambiental competente, constatar que o aterro sanitário não produz significativo risco de impacto ambiental, definindo estudos ambientais que se façam necessários ao processo de licenciamento (Art. 5º da Resolução nº 308 do Conselho Nacional do Meio Ambiente CONAMA, 2002).

"O processo de licenciamento ambiental do aterro sanitário nas suas diversas etapas: Licença Prévia (LP), Licença de Implantação (LI) e Licença de Operação (LO). Os custos de licenciamento para aterros sanitários variam em função do potencial poluidor do mesmo" (KROETZ *et al.*, s/d, p. 4).

2.3.4 Aquisição do Local

Um dos grandes problemas na hora da aquisição do terreno é se o local for habitado e ter que ser desapropriado onde isso poderá acarretar em maiores gastos. Outro problema é se o proprietário do terreno não querer vender ou o municípios não ter recursos para adquirir o

terreno, surgindo a hipótese de alugar o espaço, nesse caso os custos são contabilizados anualmente como referente à operação do aterro (KROETZ *et al.*, s/d).

2.4 Partes constituintes do Projeto

Para que se tenha entendimento para implantá-lo serão descritas as partes constituintes do projeto necessárias.

2.4.1 Memorial Descritivo

O memorial descritivo é uma etapa do projeto onde são resumidos os estudos preliminares e encaminhado para o tipo de aterro que melhor se enquadra. É de suma importância que estejam inseridas no memorial descritivo as informações cadastrais, informações sobre os resíduos que serão descartados no local (Castilhos Junior 2003).

2.4.1.1 Informações Cadastrais

Nas informações cadastrais devem ser exposto, os dados, como as qualificações dos responsáveis técnicos da área em que futuramente serão depositados os resíduos sólidos, em que os autores do projeto deveram ser adotado. Os profissionais que iram trabalhar na execução desse projeto tem que ser habilitados junto ao Conselho Regional de Engenharia e Agronomia - CREA (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

2.4.1.2 Informações sobre os Resíduos

Conforme a ABNT (1992, p. 3), "devem ser fornecidas as seguintes informações:

- a) origem, qualidade e quantidade diária e mensal, frequência e horário de recebimento,
- b) características dos equipamentos de transporte e
- c) massa específica dos resíduos".

2.4.1.3 Caracterização da Área

Com base em levantamentos topográfico, geológico e geotécnico e uso de água e solo é feita a caracterização da área conseguida. Se o município for de pequeno porte, haverá uma necessidade de elaboração de um projeto de informações dos levantamentos realizados (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

2.4.1.3.1 Localização e caracterização topográfica

Segundo ABNT (1992, p. 3),

Deve ser apresentado um levantamento planialtimétrico, em escala não inferior a 1:2000, com indicação da área do aterro sanitário e sua vizinhança, locando-o relativamente a pontos geográficos conhecidos, tais como ruas, estradas, ferrovias, rios e mananciais de abastecimento. Deve ser apresentado, também, um levantamento planialtimétrico da área do aterro sanitário, em escala não inferior a 1:1000.

2.4.1.3.2 Caracterização geológica e geotécnica

Conforme a ABNT (2010), os estudos geológicos e geotécnicos do local do aterro, avaliando riscos de contaminação da água e capacidade do suporte do solo de fundação devem ser apresentados. Esta investigação tem que ser comprida sempre no final de períodos de chuva. Na investigação tem que ser exposto o mapeamento da área e a sondagem com ensaio SPT (Standard Penetration Test), somados com ensaio de permeabilidade in situ. Deve ser feita uma quantidade de sondagens que permita isso conhecer as características do subsolo.

2.4.1.3.3 Caracterização e uso de água e solo

Segundo a ABNT (1992, p. 3), "devem ser indicados os usos dos corpos de água próximos, bem como dos poços e outras coleções hídricas".

2.4.1.3.4 Concepção e justificativa de projeto

Devem ser apresentadas a justificativa e a concepção de projeto no que se refere a:

- a) natureza e à posição relativa das instalações que farão parte da obra;
- b) Plano de Monitoramento ambiental;
- c) ao Plano de Encerramento do Aterro Sanitário de pequeno porte, contemplando o uso futuro da área, após o encerramento da vida útil do aterro (ABNT, 2010).

2.4.2 Elementos do Projeto

No caso de trincheiras ou valas, os elementos de projeto são a seguir descritos:

2.4.2.1 Isolamento do Aterro

Segundo a determinação da ABNT (2010), devem apresentar a solução utilizada para fazer o isolamento do aterro, impedindo o trânsito de pessoas e animais por meio de barreiras. Sendo assim feita cerca viva arbórea por todo o perímetro da área da obra, para que aja o

isolamento. Possuindo também faixa de proteção sanitária e controle para prevenção de incêndios entre o maciço do aterro até à cerca do perímetro.

2.4.2.2 Sistema de drenagem das Águas Pluviais

Os mecanismos utilizados para a execução eficaz da drenagem de águas pluviais devem ser exposto, para melhor reduzir consideravelmente o acúmulo de água no local do aterro sanitário, de caminhos potenciais geradores de erosão do solo e o aporte de água nos locais onde os resíduos serão descartados (ABNT, 2010).

2.4.2.3 Sistema de Drenagem de Lixiviados

De acordo Castilho Junior (2003), a decomposição dos lixiviados gerados dos resíduos sólidos nas valas devem ser escoados para fora e receberão tratamento adequado. A drenagem do chorume pode ser projetada garantindo a percolação dele entre os resíduos sólidos, fazendo com que aja o aceleração do processo de biodegradação dos resíduos, por causa dos microrganismos degradadores presentes no chorume.

2.4.2.4 Sistema de Tratamento de Lixiviados

Conforme o site Cetesb (s/d, online), o chorume depois de coletado, deve ser devidamente tratado para poder ser descartado em corpos hídricos. Esse tratamento pode ser realizados no próprio aterro sanitário ou em uma Estação de Tratamento de Esgotos. Geralmente esses dois tipos de tratamento são tratamento por oxidação (evaporação e queima), , tratamento químico (introdução de substâncias químicas ao chorume) ou o tratamento biológico (lagoas anaeróbias, aeróbias e de estabilização).

2.4.2.5 Impermeabilização da Base e Laterais

Deverão ser armazenados nas valas os resíduos aterrados e os líquidos gerados, fazendo assim com que o impacto ambiental seja o mínimo possível. Deverá ser projetado um sistema impermeabilizante de forma eficaz na base e nas laterais da vala para poder isolar o aterro de futuras infiltrações. Municípios de pequeno porte geram pouco resíduos, facilitando a utilização dos sistemas simplificados como a adoção de revestimentos minerais e caso as características do solo da área tenham permeabilidade satisfatória, podendo ser utilizado sem nenhum problema e ainda reduzira os custos. Se não for possível a impermeabilização com o solo da área, o projeto deverá prever a colocação de mantas plásticas como pode ser visualizado na Figura 01 (CASTILHO JUNIOR, 2003)

Figura 01 – Manta para impermeabilização



Fonte: Inovageo (s/d, online).

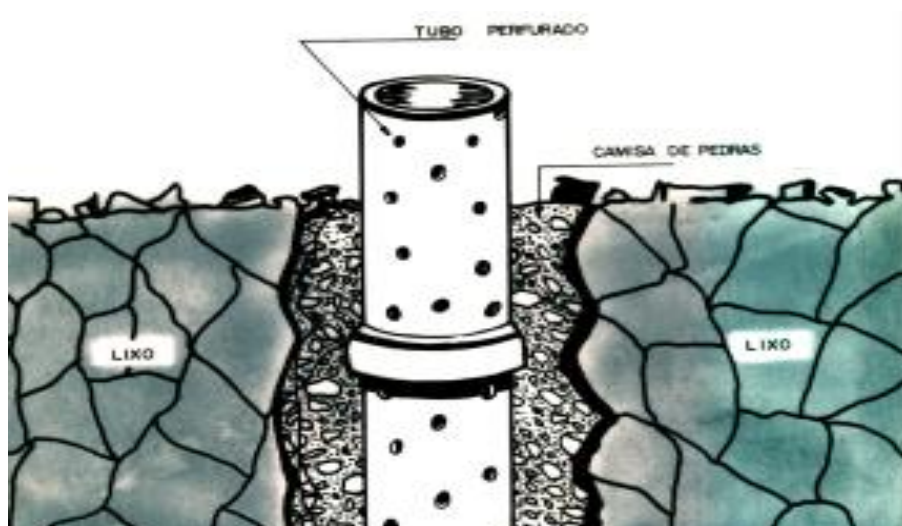
2.4.2.6 Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases

De acordo com Lange *et al.* (2008, p. 87), em aterros sanitários

um dos subprodutos gerados da decomposição dos resíduos sólidos nos aterros sanitários são os gases. Esses gases gerados são, basicamente, o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Como os dois contribuem para o agravamento do efeito estufa, eles precisam ser drenados e tratados adequadamente. Estima-se uma geração de 370 a 400 Nm^3 de biogás, outro nome pelo qual é conhecido o metano, por tonelada de matéria seca digerida dos resíduos sólidos. Esses valores têm sido frequentemente utilizados em projetos de aterros brasileiros. Assim, para o sistema de drenagem de gases de aterros, são utilizados tanto drenos verticais quanto horizontais para a retirada dos gases dos aterros. Os drenos verticais de gás são os mais utilizados, sendo que, nesse caso, sempre são interligados com os drenos horizontais de lixiviados. Para dimensionar o dreno vertical, podem-se utilizar equações de fluxo de fluidos (neste caso um gás) em meios porosos (brita) ou mesmo em tubulações. Porém, normalmente, adota-se um dimensionamento empírico do sistema vertical de drenos. Assim, os drenos verticais possuem diâmetros que variam de 50 cm a 100 cm, sendo preenchidos com rocha brita 3, 4 ou 5. Aterros maiores e de maior altura podem possuir drenos verticais de até 150 cm de diâmetro.

A Figura 02 apresenta o detalhe do dreno que tem a função de escoar os gases gerados no aterro sanitário:

Figura 02 – Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário



Fonte: Schalch *et al.* (2002)

Figura 03 – Detalhe do tratamento do gás pela queima



Fonte: Pólita Gonçalves s/d

Após a drenagem do biogás, o mesmo é encaminhado para o tratamento. Tendo como meio mais barato para fazer o seu tratamento é queimando, dessa forma diminui-se o efeito poluidor causado por ele na atmosfera, pois o metano é cerca de 21 vezes mais nocivo para o efeito estufa do que o dióxido de carbono (LANGE *et al.*, 2008).

2.4.2.7 Acessos

As técnicas utilizadas para a execução das vias de acesso e de circulação interna do empreendimento devem ser descritas, afim, de oferecer acesso permanente aos caminhões que fazem a coleta dos resíduos sólidos. Também deve ser indicado o portão de entrada e junto a ele, uma edificação equipada em que um funcionário controlará e fiscalizará a entrada e saída de veículos do local (ABNT, 2010). No acesso ao terreno deve ter pavimentação de qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento mesmo na época de chuvas muito intensas.

2.4.2.8 Coberturas Intermediária e Final

O sistema de cobertura tem o objetivo de forma significativa a proliferação de vetores, bem como diminuir o volume de lixiviados, reduzir os odores e impedir o escoamento do biogás para a atmosfera. A cobertura diária é realizada ao final dos trabalhos do dia, conforme pode ser visualizado nas Figuras 04 e 05, já a cobertura intermediária é necessária naqueles locais onde a superfície ficará inativa por mais tempo, aguardando, por exemplo, a conclusão de um patamar para início do seguinte.

A cobertura final tem a função de preservar o máximo possível as valas das águas pluviais, o que sem essa cobertura poderia implicar em aumento do volume de lixiviado, bem como no escoamento dos gases para a atmosfera. A cobertura final também favorece a recuperação final da área e o crescimento de vegetação. Como camada de cobertura dos resíduos, é importante que seja utilizado um solo argilo-arenoso, pois este tipo de material apresenta menor retração por secagem em relação a solos com alto volume de teor de argila (CASTILHO JUNIOR, 2003).

Figura 04: Resíduos sendo descarregados na vala



Fonte: Idealambiental (s/d, online)

Figura 05: Nivelamento e cobertura dos resíduos sendo realizados diariamente



Fonte: Enggeoconsult (s/d, online)

3 METODOLOGIA

Serão apresentados nesse capítulo os processos referentes a cálculos e locais cujos irão ser utilizados para conseguir os dados e posteriormente o dimensionamento dos sistemas do projeto.

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Para se ter o sólido estudo e desenvolvimento que será realizado no TCC II, foi feita ampla pesquisa bibliográfica em livros, manuais, páginas de internet, normas da ABNT.

3.2 Objeto de Estudo

O presente trabalho será realizado no distrito de Luzimangues no estado do Tocantins no período de fevereiro de 2018 até junho de 2018.

Para a elaboração de projetos deste tipo inicialmente escolhe-se um terreno de preferência pertencente a prefeitura afim de minimizar os custos de locação e/ou desapropriação, no processo de licenciamento ambiental do aterro sanitário consta as etapas de: Licença Prévia (LP) e Licença de Operação (LO) junto aos estudos de impactos ambientais (EIA/RIMA) feitos para caracterizar o potencial poluidor do aterro em questão seguindo as exigências dos órgãos de controle ambiental da região.

Após a escolha do local de implantação do aterro, se faz o levantamento topográfico, geotécnico e o plano de execução da obra, tudo devidamente assistido por profissionais contratados e capacitados na área do projeto.

Na etapa de escavação pode ser feita manualmente fazendo uso de pás ou maquinário de pequeno porte (mini carregadeira) com profundidades variáveis para atender a demanda diária de resíduos urbanos do município, uma manta de alta resistência (PEAD) cobre as partes internas da vala para impermeabilizar assim a região adjacente ao aterro não será impactada pelos contaminantes presente nos resíduos sólidos.

Para o dimensionamento do volume das valas baseará nos cálculos de quanto a área escolhida suporta e quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados diariamente, apresentados no memorial de cálculo.

O lançamento dos resíduos nas valas é através do descarregamento dos mesmos caminhões que recolhem o lixo no município podendo ter o uso de operários com pás, o espalhamento dos resíduos na vala também é feito manualmente para melhor adequar o volume dos mesmos, a compactação é realizada pelo peso próprio dos resíduos sólidos na vala, ao final

do processo a vala estará completamente preenchida pelos resíduos e para isolá-la será usado uma camada de solo.

A técnica para realização do projeto será baseada na NBR 15.849/2010 onde faz uso mínimo de maquinário pesado para escavação, compactação, espalhamento dos resíduos coletados e cobertura de solo.

Segundo a NBR 8419/1992 o aterro sanitário consiste em uma técnica para melhor disposição dos resíduos sólidos urbanos no solo utilizando princípios de engenharia para enclausurar os resíduos e com cobrimento de terra a cada encerramento de jornada de trabalho, sem danos graves ao meio ambiente, saúde pública e a sua segurança.

3.3 Determinação da vida útil do aterro

Seguindo a norma ABNT (2010) para projetos de aterro sanitário em valas manual onde prescreve a vida útil de no mínimo 15 anos, será a orientação para o distrito de Luzimangues – TO.

3.4 Dimensionamento das trincheiras

Primeiro passo para o dimensionamento foi o levantamento da população atual e seu crescimento com o passar dos anos e também a produção per capita, a quantidade dos resíduos urbanos coletados de acordo com gerado e assim obter o percentual.

3.4.1 Previsão de crescimento populacional do município

Para o cálculo de crescimento da população do município de estudo, a partir de dados coletados do IBGE e com uso de uma planilha através da ferramenta Microsoft Office Excel, se tem a obtenção do crescimento da população para cada ano de vida útil do aterro sanitário.

3.4.2 Produção diária de R.S.U e produção per capita

Produção diária de R.S.U. (Pd):

$Pd = Pm / 7$ (kg), equação 1

Em que:

$Pm = \sum$ pesagens dos resíduos na semana (kg)

Produção de resíduos per capita (Ppc):

$$Ppc = Pd / P * \eta \text{ (kg/habitante*dia), equação 2}$$

3.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto

Volume diário de ocupação (Vd):

$$Vd: ((P * Ppc * \eta) / d] * tc \text{ (m}^3\text{/dia), equação 3}$$

Em que:

p = População urbana atual (habitantes)

Ppc = Produção de resíduos per capita (kg/habitante*dia)

η = Abrangência do serviço de coleta(%)

d = Densidade de resíduo 1 (kg/m³)

A densidade (d) dos resíduos sólidos compactados é empregada para o cálculo do volume da trincheira a ser escavada. Segundo Castilhos Junior (2003), normalmente utiliza-se a densidade entre 400 e 500 kg/m³.

Tc = Fator de material de cobertura (%)

Volume anual de ocupação (Va):

$$Va = Vd * 365, \text{ equação 4}$$

3.5 Volumes e dimensões das trincheiras

3.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)

$$Vmd = \sum Va \text{ (2017 a 2032)} / (\text{vida útil do aterro} * 365), \text{ equação 5}$$

3.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)

No cálculo do volume da trincheira, requereu-se o cálculo do volume médio mensal de resíduos, como também foi adotada a quantidade de meses necessária para preenchê-la, de acordo com Castilhos Junior (2003), o período mais usual varia entre 2 e 4 meses.

$$V_{mm} = V_{md} * 30 \text{ (m}^3\text{/mês)}, \text{ equação 6}$$

3.5.3 Volume da trincheira (V_t)

$$V_t = n^\circ \text{ meses} * V_{mm} \text{ (m}^3\text{)}, \text{ equação 7}$$

As trincheiras terão a forma trapezoidal, para melhorar impermeabilização através de manta plástica. Segundo a ABNT (2010), a profundidade poderá ser de no máximo 3 metros, com laterais inclinadas (1:1).

3.5.4 Comprimento médio da trincheira (L)

$$L = V_t / \text{Área (m)}, \text{ equação 8}$$

$$\text{Área} = [(B + b) / 2] * p \text{ (m}^2\text{)}, \text{ equação 9}$$

Em que:

B = Base maior (m)

b = Base menor (m)

p = Profundidade (m)

3.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (V_o)

No cálculo do volume de ocupação dos resíduos para cada trincheira foi utilizada a fórmula criada por Marcelo Rigonatto, cujo na área de estatística e modelagem matemática ele é um especialista:

$$V_o = \frac{h}{3} * (SB + (\sqrt{SB * Sb}) + Sb), \text{ equação 10}$$

Em que:

V_o = Volume de ocupação dos resíduos por trincheira

h = Altura da trincheira

SB = área da base maior

Sb = área da base menor

3.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (V_e)

Para calcular o volume de escavação das trincheiras, também foi utilizada a fórmula criada por Marcelo Rigonatto que é especialista em estatística e modelagem matemática. Nesse caso em razão do projeto de aterro sanitário dispor de impermeabilização através de geomembrana, a alteração ficou em relação ao comprimento, largura e profundidade que em razão da impermeabilização necessitaram de acréscimo de 60 cm de solo adequado a este tipo de serviço.

$$V_e = \frac{h}{3} * (SB + (L * SB + Sb) + Sb)$$

3.6 Determinação do número de células (trincheiras) para os anos de vida útil do projeto

No cálculo para determinar o número de células foi utilizada a seguinte equação:

$$N^{\circ} \text{ de Células} = \sum Va (2017 \text{ a } 2032) / Vo, \text{ equação 11}$$

A largura da base maior (B), que fica na superfície do terreno foi adotada respeitando o que a ABNT (2010) exige, não podendo superar os 8 m.

3.7 Dimensionamento da Área do Aterro Sanitário

Área superficial (A_s):

$$A_s = L * b \text{ (m}^2\text{)}, \text{ equação 12}$$

Esse cálculo da área superficial de cada célula serviu para se determinar conforme com a quantidade de trincheiras que serão escavadas.

3.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Trincheiras

Devido não se saber a qualidade dos solos de cada cidade do estado do Tocantins e também para garantir maior segurança na proteção contra infiltrações, foram utilizadas mantas plásticas de alta densidade para a impermeabilização da base e laterais das trincheiras. Segundo

Castilhos Junior (2003), normalmente as geomembranas cobrem uma camada de solo compactado, com espessura mínima de 60 cm e k (condutividade hidráulica) menor que 10^{-7} cm/s. A combinação desses dois critérios, garantem que não ocorra algum vazamento dos líquidos residuais para o lençol freático.

3.8.1 Dimensionamento do solo

A recomendação para cada camada de solo da impermeabilização é de 60 cm.

Volume de solo necessário para uma célula = Volume de escavação das trincheiras – Volume de ocupação dos resíduos por trincheira, equação 13

Volume de solo necessário para o aterro = Volume de solo necessário para uma célula * quantidade de valas a serem escavadas, equação 14

3.8.2 Dimensionamento da manta

Considerou-se 1,5 m de ancoragem para cada lado.

Na lateral considerada: $\text{diagonal} = b^2 + c^2$, equação 15

Em que:

Diagonal = Comprimento do talude, desde a base até o topo,

Área lateral maior (são duas) = diagonal * ((Base + Topo) / 2), equação 16

Área lateral menor (são duas) = diagonal * ((Base + Topo) / 2), equação 17

Área da base = Comprimento da base * Largura da base), equação 18

Ancoragem = Perímetro do topo * 1.5, equação 19

Área da manta por vala = (2 * Área lateral maior) + (2 * Área lateral menor) + Área da base + Ancoragem, equação 20

Área da manta para o aterro = Área da manta por vala * Quantidade de valas a serem escavadas, equação 21

3.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais

O dimensionamento do sistema de drenagem das águas pluviais se fez necessário em razão do acúmulo das águas nas valas aumentar o volume de chorume gerado, com isso podendo gerar uma sobrecarga no seu sistema de tratamento e prejudicar o preenchimento adequado das valas. Conforme Oliveira (2013) para dimensionar a vazão do sistema, foi utilizado o Método Racional, que consiste na utilização da seguinte fórmula:

$$Q = C * i * A, \text{ equação 22}$$

Em que:

Q = Vazão a ser drenada (m³/s);

A = Área da bacia contribuinte (m²);

C = Coeficiente de escoamento superficial (tabelado; adimensional);

i = Intensidade da chuva crítica (mm/h)

$$i = K * T^a / (t + b)^c, \text{ equação 23}$$

Em que:

T = período de retomo (anos)

t = duração da precipitação (minutos)

K, a, b, e = parâmetros relativos à localidade

Para o dimensionamento do canal de águas pluviais foi utilizada a Equação de Chézy-Manning, a seguir descrita:

$$Q = 1 / n * S * RH^{2/3} * 1^{1/2}, \text{ equação 24}$$

Através desta equação foi possível extrair o diâmetro (D) do canal.

Em que:

Q = Vazão de projeto = vazão a ser drenada (m^3/s);

n = Coeficiente de rugosidade (0,013 = Coeficiente de Manning - para canais de concreto);

S = Área da seção transversal molhada (m) = $(\pi \times D^2)/8$;

RH = Raio hidráulico da seção ou perímetro molhado (m) = $D/4$;

I = Declividade do canal = 0,02 m/m.

3.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados

De acordo com Obladen e Barros (2009), é aconselhável que se calcule o valor da vazão do percolado através método suíço:

$Q = 1/t \times P \times A \times K$ (L/s), equação 25

Em que:

Q = Vazão (L/s)

K = 0,35 (geralmente adotado para aterro com compactação entre 0,4 e 0,7 t/ m^3)

A = Área do aterro (m^2)

P = Precipitação anual (mm/ano)

t = 31.536.000 (seg/ano)

O critério básico para dimensionamento da lagoa facultativa, segundo Hennann e Gloyna (*apud* Obladen, Obladen e Barros, 2009), se aplica nas seguintes fórmulas:

$T = 3,5 * [(Y / 200) * (1,072^{(35-t)})]$, equação 26

Em que:

T = Tempo de detenção em dias

T = Temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) - geralmente igual a 25°C

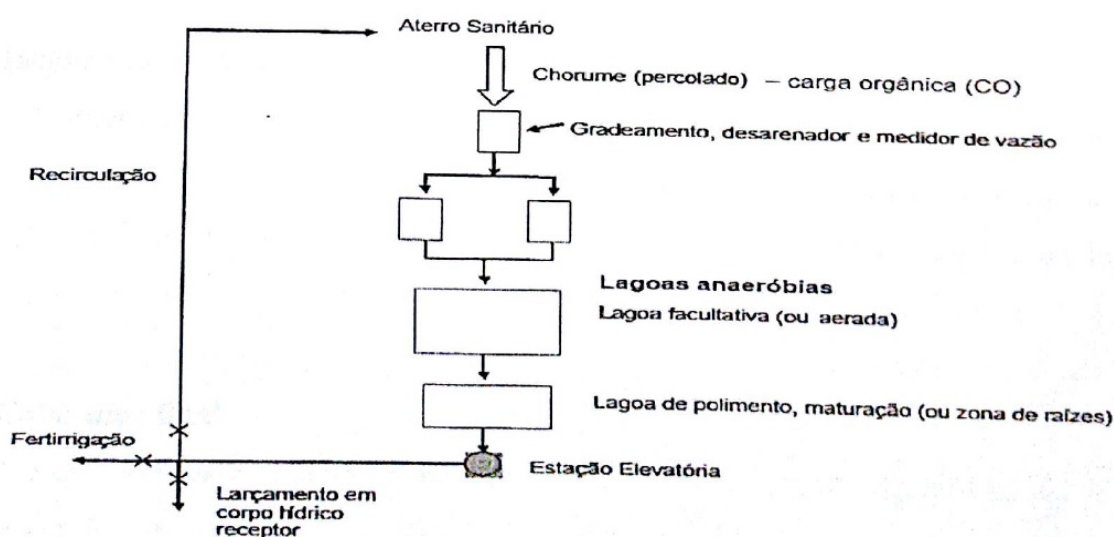
Y = DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), (mg/l) - geralmente com redução de 50% tendo em vista a eficiência do tratamento anaeróbio. Obtendo-se o tempo de detenção (T) é possível calcular o volume da lagoa.

Volume da Lagoa Facultativa:

$$V = Q \text{ (m}^3\text{/dia)} \times T \text{ (dias)} \text{ (m}^3\text{)}, \text{ equação 27}$$

Adotando-se a relação de 1:2 dos taludes, e a profundidade por volta de 1,50m, obtêm-se as dimensões de superfície e profundidade da lagoa. A profundidade poderá ser aumentada em cerca de 0,50 a 1,00m para compor o bordo livre da lagoa. O fundo e as laterais deverão ser impermeabilizados mediante o uso de geomantas. A Figura 06 apresenta o fluxograma previsto para o chorume.

Figura 06 – Fluxograma para o chorume gerado no aterro sanitário



Fonte: Obladen e Obladen (2009)

3.11 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases

Segundo a ABNT (2010, p. 7 e 8), a adoção do Sistema de drenagem dos gases deve ser considerada conforme o Quadro 02, especialmente quando forem significativas:

- a) A fração orgânica presente nos resíduos a serem dispostos;
- b) A altura final do aterro sanitário de pequeno porte.

Quadro 02 – Instruções para drenagem dos gases

Características de operação		Altura final do aterro (m)	
		≤ 3	> 3
Fração orgânica dos resíduos (%)	≤ 30	Dispensar*	Dispensar*
	> 30	Dispensar*	Considerar*
* Os termos "dispensar" e "considerar" são de caráter orientativo, cabendo ao projetista decidir e justificar a adoção ou não deste elemento de proteção ambiental.			

Fonte: ABNT (2010, p. 5)

Se optasse por fazer o escoamento dos gases gerados, segundo Lange *et al.* (2008) aconselha que se utilizem drenos verticais ou horizontais para a retirada do gás. Os drenos verticais são mais utilizados, sendo interligados com os drenos horizontais de lixiviados. Para o dimensionamento do dreno vertical, utiliza-se as equações de fluxo de fluidos (neste caso um gás), em meios porosos (brita) ou mesmo em tubulações. Porém, normalmente, adota-se um dimensionamento empírico do sistema vertical de drenos. Contudo, os drenos verticais possuem diâmetros que variam de 50 cm a 100 cm, sendo preenchidos com brita 3, 4 ou 5.

3.12 Isolamento do aterro

Segundo a ABNT (2010) houve então uma necessidade de isolamento do aterro por meio de barreira física, com o objetivo de impedir o acesso de pessoas não autorizadas e animais. Também foi necessário prever uma cerca viva arbustiva ou arbórea ao longo do perímetro do aterro.

3.13 Cobertura final

Conforme Castilhos Junior (2003), no encerramento de cada célula deve ser feito o cobrimento final do solo fértil para facilitar o plantio e crescimento da vegetação no local da célula. A espessura da cobertura deve ser de aproximadamente 60 cm.

3.14 Projeto Executivo

Segundo a ABNT (2010) prescreve, o projeto foi apresentado com plantas e desenhos que possibilitem a sua compreensão contemplando os seguintes itens:

- a) Sequências construtivas do aterro sanitário com indicação de áreas de disposição dos resíduos, limites da área total que poderá ser utilizada, vias internas e preenchimento da área até o fim da vida útil do projeto;
- b) Configuração final do aterro;

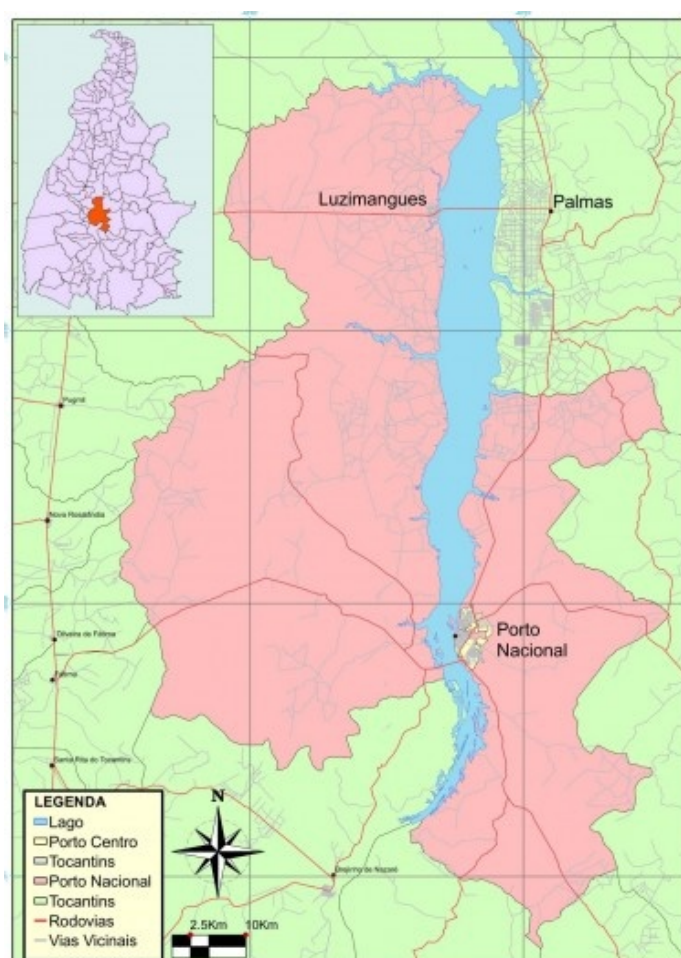
- e) Acessos, portões, isolamento do aterro por meio de barreira física, guarita e edificações que sejam necessárias;
- d) Sistemas de proteção ambiental necessários;
- e) Localização dos pontos de coleta de águas superficiais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Escolha e dados do município

O propósito deste trabalho é apresentar como é elaborado o projeto de aterro sanitário em valas para as pequenas cidades do estado do Tocantins que geram até 20 toneladas/dia de resíduo sólido urbano. Como modelo para execução deste dimensionamento, foi escolhido o distrito de Luzimangues - TO (Figura 07), aproximadamente 10 km da capital Palmas - TO. Conforme o último censo realizado pelo IBGE que data no ano de 2010, este município possuía uma população de 2 310 habitantes.

Figura 07 - Mapa do município de Porto Nacional e o distrito de Luzimangues - TO



Fonte: Google (2018, online).

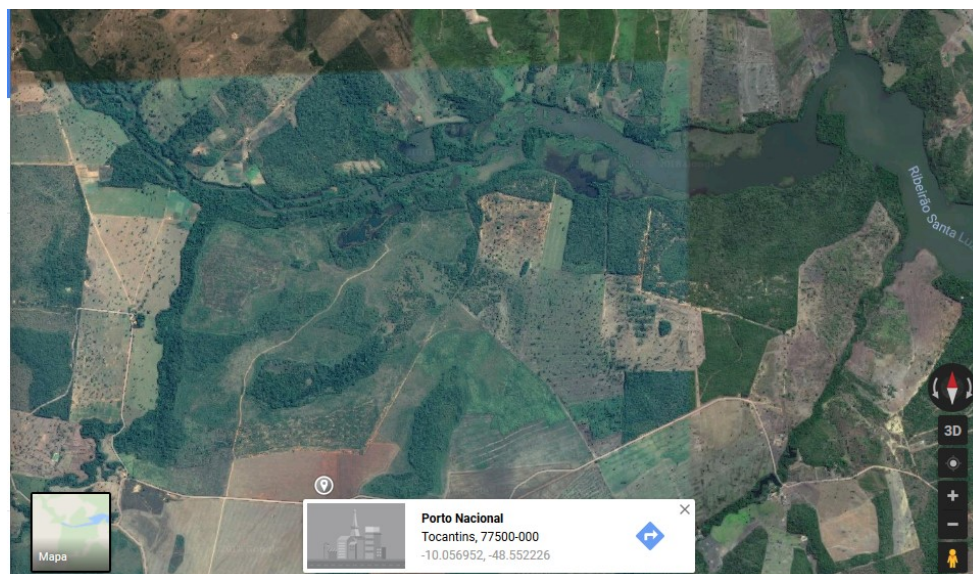
Levando em consideração os dados da ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, que realizou o estudo "Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil" em 2013, constatando que o estado do Tocantins teve uma coleta per capita de 0,657 kg/hab/dia, o distrito de Luzimangues - TO, atendendo os requisitos para o trabalho, visto que se multiplicamos a quantidade de habitantes estimada, pela média de resíduos gerada segundo a pesquisa, a quantidade não ultrapassará o valor máximo de 20 toneladas/dia, que é o ideal para aterros sanitários de pequeno porte.

4.2 Levantamento de dados da área selecionada para implantação do aterro

A área selecionada para a implantação do aterro sanitário possui as seguintes características:

- Distância aproximada de 30 km da cidade;
- A área apresenta topografia suave, com declividade de 1 %, no sentido ao ribeirão Santa Luzia;
- Solo preto com estrutura amigdaloidal (vulcânico), comumente alterado para material de natureza argilosa e cor vermelho escuro a arroxeado;
- A vegetação é constituída pasto, com esparsas espécies arbóreas nos limites da área;
- O curso hídrico mais próximo fica aproximadamente 10 km de distância (ribeirão Santa Luzia);
- Coordenadas geográficas: 10°05'69.52"S 48°55'22.26"W;
- Expansão Urbana: esta área está afastada de qualquer planejamento para expansão urbana;
- Lençol freático: o grau de vulnerabilidade do lençol freático segundo EMBRAPA é médio até baixo;

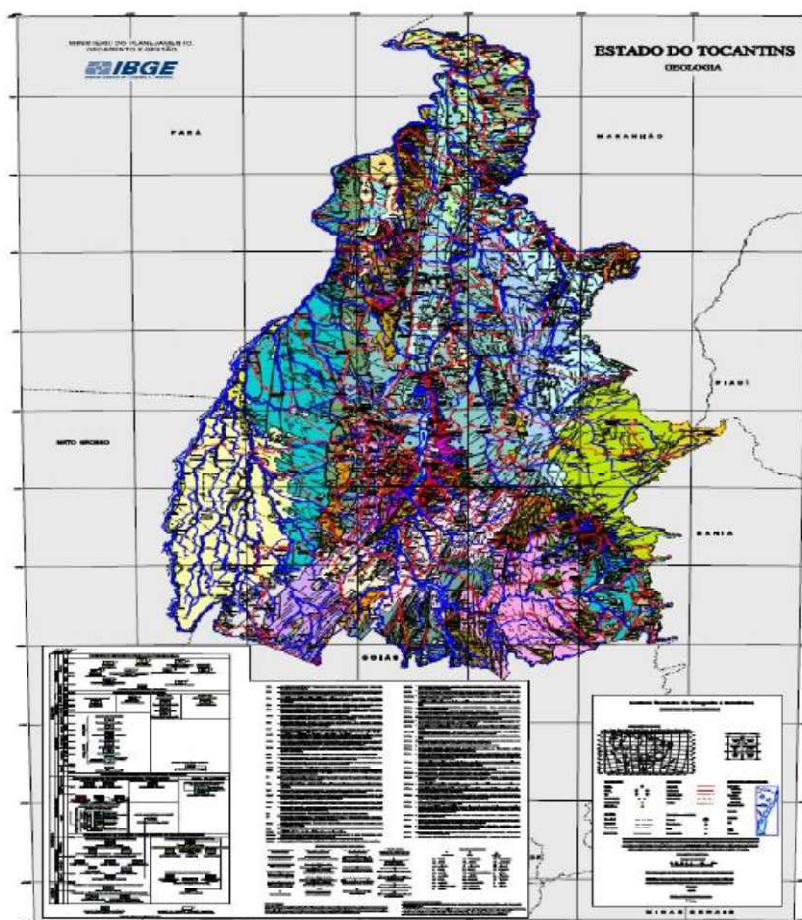
Figura 08 - Vista aérea da área onde ficará localizado o Aterro Sanitário do distrito de Luzimangues do Tocantins



Fonte: Google (2018, online).

Por meio de consulta ao site do IBGE foi feita para se saber a real composição do solo em Luzimangues do Tocantins, assim ficou confirmado que o solo predominante no município é basalto preto com estrutura amigdaloidal (vulcânico), comumente alterado para material de natureza argilosa e cor vermelho escuro a arroxeadado.

Figura 09 - Mapa geológico do estado do Tocantins



Fonte: IBGE(2007).

Em vista de todas as características da área selecionada para implantação do projeto de aterro sanitário em valas para o distrito de Luzimangues - TO, foi constatado que é possível desenvolver e executar o projeto, pois atendem a ABNT (2010), os critérios mínimos de seleção de área:

- Para consistência e granulometria das camadas de subsolo na base do aterro recomenda-se a utilização de solos naturalmente pouco permeáveis (solos argilosos, argilo-arenosos ou argilosiltosos);
- Caso haja corpos d'água superficiais no entorno da área, recomenda-se uma distância mínima de 200 m;
- A distância entre a base do aterro e o lençol freático deve ser de no mínimo 1,5m;
- As características topográficas do local devem ser com declividade igual ou superior a 1 % e inferior a 30 %;
- Recomenda-se uma distância mínima de 500 m, entre a área do aterro e núcleos populacionais vizinhos.

4.3 Determinação da vida útil do aterro

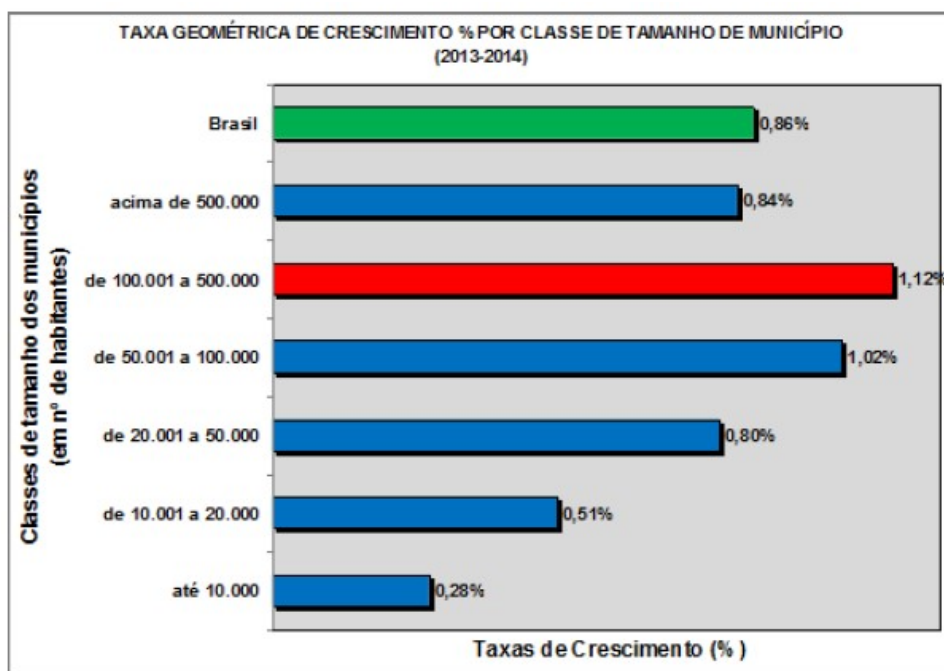
O projeto de aterro sanitário em valas manual para o distrito de Luzimangues - TO teve vida útil de 15 anos, respeitando a ABNT (2010), que orienta que aterros sanitários de pequeno porte devem ter no mínimo 15 anos de vida útil.

4.4 Dimensionamento das Valas

4.4.1 Previsão de crescimento populacional do município

Para o dimensionamento das valas, a quantidade de habitantes do distrito de Luzimangues - TO, foi extraída do último censo realizado em 2010 pelo IBGE, onde também foi constatado que por ser um município com menos de 10.000 habitantes, sua taxa de crescimento populacional é de 0,28%.

Figura 10 - Taxa geométrica de crescimento em porcentagem por classe de tamanho de município



Fonte: IBGE (2014).

Com a taxa de crescimento populacional foi possível mensurar o crescimento da população a cada ano e com isso tornar o dimensionamento das valas mais preciso. Para facilitar os cálculos foi criada uma planilha no software Microsoft Excel, onde a cada ano que passa, por meio da somatória da população junto a taxa de crescimento de 0,28 %.

Vale relevar que para a determinação do volume diário de ocupação, a população utilizada foi apenas a urbana, pois o serviço de coleta só atenderá a mesma, visto que o município possui zona rural onde há locais distantes e de difícil acesso, o que onera ainda mais o custo de operação do aterro e torna economicamente inviável inserir a zona rural na rota de coleta do lixo.

Quadro 03 - Previsão de crescimento populacional

ANO	TAXA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL (%)	POPULAÇÃO TOTAL
2010	X	2310
2011	0,28	2316
2012	0,28	2322
2013	0,28	2328
2014	0,28	2334
2015	0,28	2340
2016	0,28	2346
2017	0,28	2352
2018	0,28	2358
2019	0,28	2364
2020	0,28	2370
2021	0,28	2376
2022	0,28	2382
2023	0,28	2388
2024	0,28	2394
2025	0,28	2400
2026	0,28	2406
2027	0,28	2412
2028	0,28	2418
2029	0,28	2424
2030	0,28	2430
2031	0,28	2436
2032	0,28	2442

Fonte: Do Autor (2018).

4.4.2 Produção diária de R.S.U. e produção de resíduos per capita

Em razão de não se ter acesso a pesagem semanal do lixo gerado no distrito de Luzimangues - TO, foi adotado o valor da produção de resíduos per capita no Tocantins que é de 0,657 kg/hab/dia, obtido através da ABRELPE, que realizou o estudo "Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil" em 2013.

4.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto

A abrangência do serviço foi considerada de 100%, em virtude de a área urbanizada do distrito ser de pequeno porte, o que facilitará a chegada do serviço de coleta em todos os pontos. O fator de material de cobertura foi de 25 %, o que resultou em torno de 10 a 20 cm de cobertura intermediária.

Levantamento para o 1º ano (2018):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2310 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2132 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,502 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1278,16 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 2º ano (2019):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2312 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2138 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,512 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1281,76 \text{ m}^3/\text{ano}$ 50

Levantamento para o 3º ano (2020):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2314 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2144 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,522\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1285,35\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 4º ano (2021):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2316 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2150 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,531\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1288,95\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 5º ano (2022):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2318 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25% 51

Volume diário de ocupação = $(2156 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,541\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1292,55\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 6º ano (2023):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2320 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2162 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,551\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1296,15\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 7º ano (2024):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2322 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2168 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,561\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1299,74\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 8º ano (2025):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2324 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2174 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,571\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1303,34\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 9º ano (2026):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2326 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2180 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,581\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1306,94\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 10º ano (2027):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2328 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2186 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,591\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1310,53\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 11º ano (2028):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2336 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2192 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,600\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1314,13\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 12º ano (2029):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2340 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2199 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,612\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1318,33\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 13º ano (2030):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2347 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2205 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,622\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1321,93\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 14º ano (2031):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2355 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2211 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,632\text{m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1325,52\text{m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 15º ano (2032):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2442 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,657 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

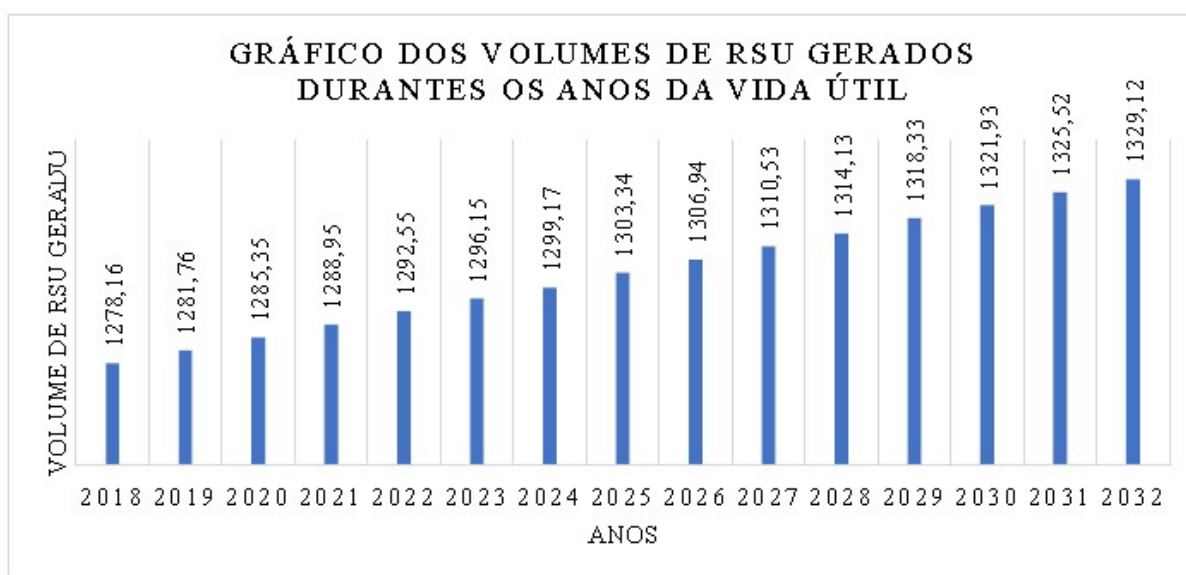
Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2217 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,641 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $3,492 * 365 = 1329,12 \text{ m}^3/\text{ano}$

De posse dos volumes de resíduos sólidos urbanos gerados para todos os anos da vida útil do aterro sanitário, pode constatar o baixo crescimento dos volumes gerados anualmente. Isto acontece em função da população de Luzimangues ser pequena e a taxa de crescimento populacional ser baixa.

Figura 11 - Gráfico dos volumes de RSU gerados durante os anos da vida útil



Fonte: Do Autor (2018)

4.5 Volumes e dimensões das valas

4.5.1 Volume médio diário de ocupação (*Vmd*)

$$Vmd = (1278,16 + 1281,76 + 1285,35 + 1288,95 + 1292,55 + 1296,15 + 1299,17 + 1303,34 + 1306,94 + 1310,53 + 1314,13 + 1318,33 + 1321,93 + 1325,52 + 1329,12) / (15 * 365) = 3,571 \text{ m}^3$$

4.5.2 Volume médio mensal de resíduos (V_{mm})

Dados:

Volume médio diário de ocupação = $3,571 \text{ m}^3/\text{dia}$

1 mês = 30 dias

Volume médio mensal de resíduos = $3,571 * 30 = 107,29 \text{ m}^3$

4.5.3 Volume da trincheira (V_t)

Para o cálculo do volume da trincheira foi utilizada a quantidade de 2 meses para preenchê-la. De acordo com Castilho Junior (2003), normalmente esse período varia entre 2 e 4 meses.

Volume médio mensal de resíduos = $107,29 \text{ m}^3$

Quantidade de meses = 2 meses

Volume da trincheira = $107,29 * 2 = 214,58 \text{ m}^3$

4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L)

Os dados para geometria apresentados a seguir, estão dentro do limite imposto pela ABNT (2010), que limita estas dimensões para facilitar a operação manual deste tipo de aterro. A forma geométrica das valas foi a trapezoidal e a inclinação das paredes internas de 1:1.

Dados:

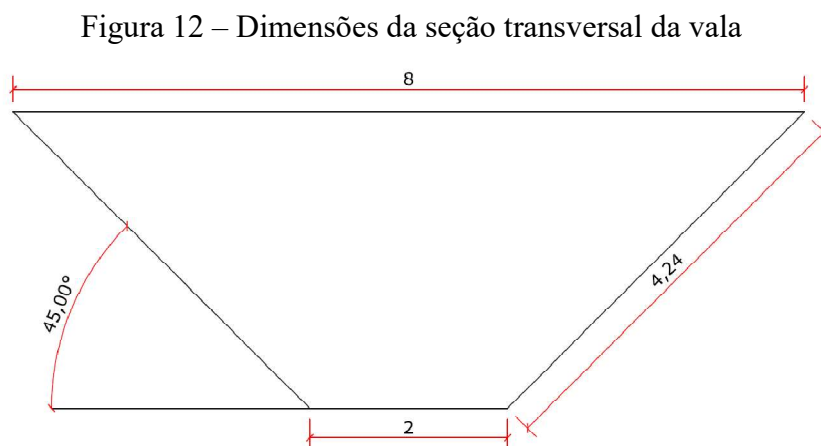
Base maior = 8 m

Base menor = 2 m

Profundidade = 3 m

Volume da trincheira = $214,58 \text{ m}^3$

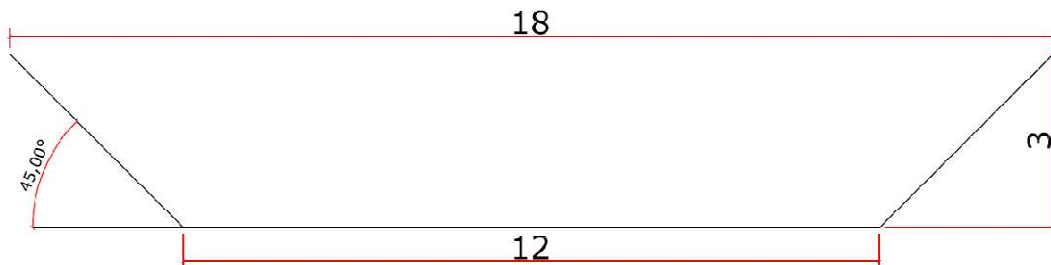
$L = 214,58 / ((8+2) / 2) * 3 = 14,31 \text{ m}$, ou seja, 15,00 m.



Fonte: Do Autor (2018)

Em razão do comprimento médio ser de 15,00 m com inclinação das paredes ser de 1:1 e a profundidade ser de 3m, assim sendo o comprimento da base maior da célula foi de 18,00m e da base menor foi de 12,00m.

Figura 13 – Comprimento da base maior e menor da vala



Fonte: Do Autor (2018)

4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo)

Área da base maior da vala (superfície):

Comprimento = 18,00 m

Largura = 8,00 m

Área = $18,00 * 8,00 = 144,00 \text{ m}^2$

Área da base menor da vala (fundo):

Comprimento = 12,00 m

Largura = 2,00 m

Área = $12,00 * 2 = 24,00 \text{ m}^2$

Profundidade da vala:

Profundidade = 3,00 m

Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo):

$V_o = \frac{3}{3} * ((\sqrt{144 * 24}) + 24 + 144) = 180,96 \text{ m}^3$

Base maior = 8,00 m

Base menor = 2,00 m

Profundidade = 3,00 m

Comprimento maior = 18,00 m

Comprimento menor = 12,00 m

Volume = 225 m^3

4.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (Ve)

Em razão do aterro dispor de sistema de impermeabilização através de manta, o que tem a necessidade de aplicação de solo com altura de 60 cm nas laterais e no fundo de cada trincheira antes da execução da impermeabilização, as dimensões de escavação das valas foram as seguintes:

Geometria da vala:

$$\text{Base maior} = 8,00 + (2 * 0,60) = 9,20 \text{ m}$$

$$\text{Base menor} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Profundidade} = 3,00 + 0,60 = 3,60 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento maior} = 18,00 + (2 * 0,60) = 19,20 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento menor} = 12,00 \text{ m}$$

Área da base maior da vala (superfície):

$$\text{Comprimento} = 19,20 \text{ m}$$

$$\text{Largura} = 9,20 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 19,20 * 9,20 = 176,64 \text{ m}^2$$

Área da base menor da vala (fundo):

$$\text{Comprimento} = 12,00 \text{ m}$$

$$\text{Largura} = 2,00 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 12,00 * 2,00 = 24,00 \text{ m}^2$$

Volume de escavação das valas (Ve):

$$V_e = 3,60/3 * ((\sqrt{176,64+24}) + 176,64 + 24) = 257,76$$

$$\text{Base maior} = 9,20 \text{ m}$$

$$\text{Base menor} = 2,00 \text{ m}$$

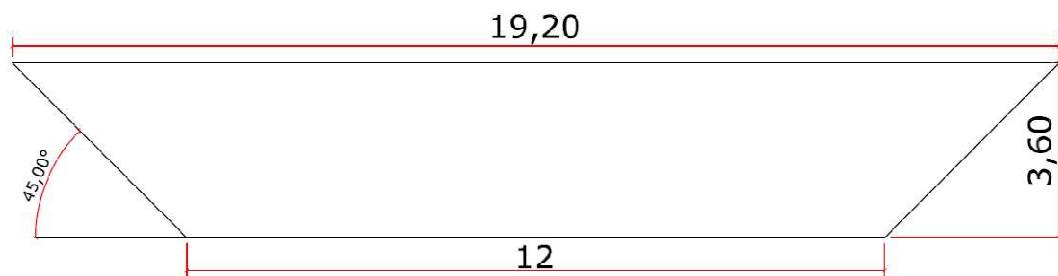
$$\text{Profundidade} = 3,00 + 0,60 = 3,60 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento maior} = 19,20 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento menor} = 12,00 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 326,59 \text{ m}^3$$

Figura 14 – Dimensões de escavação das valas



Fonte: Do Autor (2018)

4.6 Determinação da quantidade de valas para os 15 anos de vida útil do projeto

Quantidade de Valas = $(1278,16 + 1281,76 + 1285,35 + 1288,95 + 1292,55 + 1296,15 + 1299,17 + 1303,34 + 1306,94 + 1310,53 + 1314,13 + 1318,33 + 1321,93 + 1325,52 + 1329,12)/225 = 86,89$, logo 87 valas.

Conforme ABNT (2010) o espaçamento entre as bordas das células foi de 2,5 m para o espaçamento, que deve ser de no mínimo 1 m.

4.7 Área do Aterro Sanitário

A princípio o projeto seria dimensionado uma área ideal para a implantação do aterro, mas em razão de já haver uma área prevista pela prefeitura, o projeto foi adequado para esta área. Segundo a prefeitura municipal da cidade de Porto Nacional - TO, a área fica localizada na T0 – 348, com área de 96.400m² e a 30km do distrito de Luzimangues - TO.

4.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Valas

Os lados das valas deverão ser limpos, retirando elementos que possam perfurar a manta de impermeabilização no ato ou depois da aplicação e o solo utilizado deverá possuir coeficiente de condutividade hidráulica abaixo 10⁻⁷ cm/s e também deverá ser compactado com espessura mínima de 60cm, pois caso haja perfuração da geomembrana, o revestimento mineral ajudará a impedir o vazamento do lixiviado

4.8.1 Dimensionamento do solo

Volume de solo necessário para uma célula:

$$V_o = 326,59 - 225 = 101,59 \text{ m}^3$$

Volume de solo necessário para 87 células:

$$\text{Volume total} = 101,59 * 87 = 8838,33 \text{ m}^3$$

4.8.2 Dimensionamento da manta

É importante saber que na impermeabilização das trincheiras o tipo de manta utilizado será a geomembrana PEAD com espessura de 1,00 mm, que é o usual em aterros de pequeno porte. Também é importante lembrar que a escavação e impermeabilização das células será executada uma a uma, ou seja, cada vez que uma célula estiver próxima de seu total preenchimento, o que levará em média 2 meses, uma nova célula será escavada e impermeabilizada. Isso será feito conforme numeração em projeto, e além de evitar valas abertas acumulando água da chuva, também facilitarão o transito de veículos.

Considerou-se 1,50 m de ancoragem para cada lado

$$\text{Diagonal} = \sqrt{32+3^2} = 4,24 \text{ m}$$

$$\text{Área lateral maior} = 4,24 * ((18 + 12)/2) = 63,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Área lateral menor} = 4,24 * ((8 + 2)/2) = 21,20 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da base} = 12 * 2 = 24,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancoragem} = (18 + 18 + 8 + 8) * 1,5 = 78,00 \text{ m}^2$$

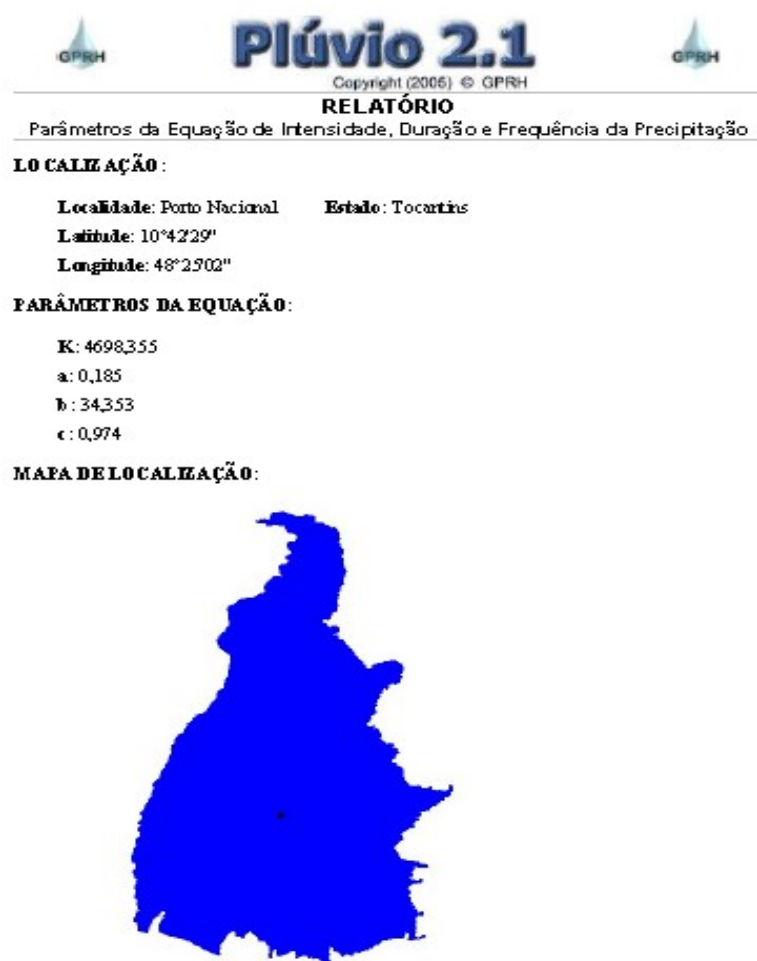
$$\text{Área da manta por célula} = (2 * 63,60) + (2 * 21,20) + 24 + 78 = 271,60 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da manta para o aterro com 87 células} = 87 * 271,60 = 23629,2 \text{ m}^2$$

4.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais

Para calcular o sistema de drenagem, além de outros dados, é necessário que se saiba a intensidade da chuva crítica do município, para o período de retomo foi considerado de 5 anos e a duração da precipitação foi de 30 minutos com base na caracterização da bacia hidrográfica da região, que apresenta vegetação nativa. Para a coleta dos dados foi utilizado o programa Plúvio 2.1, que forneceu os valores de “K”, “a”, “b” e “c” para a realização dos cálculos necessários (é importante lembrar que será projetada uma barreira de proteção para impedir o escoamento externo das águas pluviais para a área do aterro, evitando o sobre carregamento do sistema de drenagem dimensionado somente para o aterro).

Figura 15 - Parâmetros da Equação IDF



Fonte: Plúvio 2.1(2018)

4.9.1 Intensidade da chuva crítica (i)

Dados:

$$K = 4698,355$$

$$A = 0,185$$

$$b = 34,353$$

$$c = 0,974$$

$$i = ((4698,355 * 5^{0,185}) / ((30 + 34,353)^{0,974})) = 100,89 \text{ mm/h}$$

4.9.2 Área da bacia Contribuinte (A)

$$A = 96.400 \text{ m}^2$$

4.9.3 Coeficiente de escoamento superficial (C)

Para encontrar o valor do coeficiente de escoamento superficial, primeiramente foi encontrado o tempo de retomo, que segundo o DNIT (2005), por meio de canaleta de concreto que será utilizada no escoamento das águas pluviais, o tempo de retorno foi de 5 anos.

Quadro 04 - Tempo de Retomo

OBRAS	TR ADOTADO	FUNCIONAME NTO
Drenagem profunda e subsuperficial	10 anos	
Dispositivos de drenagem superficial	5 anos	Canal
Bueiros tubulares e celulares	15 anos	Canal
Verificação de bueiros tubulares e celulares	25 anos	Orifício
Ponte, pontilhão	50 a 100 anos	Canal

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 05 - Valores de C para várias superfícies, declividade e tempos de retomo

Superfície	Tempos de Retorno (anos)						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/telhado	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Gramados (Cobrimento de 50% da área)							
- Plano (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
- Média (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
- Inclinado (>7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
Gramados (Cobrimento de 50 a 70% da área)							
- Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
- Média (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
- Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Gramados (Cobrimento maior que 75% da área)							
- Plano (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
- Média (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
- Inclinado (>7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Campos cultivados							
- Plano (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
- Médio (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
- Inclinado (>7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastos							
- Plano (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
- Médio (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
- Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Florestas/Reflorestamentos							
- Plano (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
- Médio (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
- Inclinado (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fonte: Mello e Silva (2009).

Sabendo que a área selecionada para o aterro é plana e a vegetação que predomina é o pasto, o coeficiente de escoamento superficial será 0,28.

4.9.4 Vazão drenada

$$Q = (0,28 * (100,89 / 1000) * 96400) / 3600 = 0,756 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.9.5 Dimensionamento do canal de drenagem de águas pluviais

Dados:

Coeficiente de rugosidade (n) = 0,013

Declividade do canal (I) = 0,02 m/m.

S = Área da seção transversal molhada (m) = $(\pi \times D^2)/8$;

RH = Raio hidráulico da seção (m) = D/4;

$$Q = 1/n * ((\pi * D^2)/8) * ((D^{2/3})/(4^{2/3})) * I^{1/2}$$

$$0,756 = 1/0,013 * ((\pi * D^2)/8) * ((D^{2/3})/(4^{2/3})) * 0,02^{1/2}$$

Então:

$$D = 1,28 \text{ m, logo: } 1500 \text{ mm}$$

4.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados

4.10.1 Vazão

Dados:

K = 0,35 (Este valor será utilizado em razão da densidade do RSU compactado de o aterro ser de 0,5 t/m³ o que segundo Castilhos Junior (2003), normalmente utiliza-se a densidade entre 400 e 500 kg/m³).

Área do aterro (A):

$$\text{Área de uma vala} = 8,00 * 18,00 = 144,00 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de 87 valas} = 87 * 144 = 12528,00 \text{ m}^2$$

Precipitação anual (P) = 2038 mm (Segundo o site Climate-data (2017, online)).

Tempo (t) = 31.536.000 segundos no ano

$$\text{Vazão} = (1/31.536.000) * 2038 * 12528 * 0,35 = 0,283 \text{ L/s}$$

4.11 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases

Por não se conhecer a composição gravimétrica dos resíduos gerados no município de estudo e haver a necessidade de se saber qual a fração orgânica presente, foi utilizada como referência a média nacional da ABRELPE (2013) para fração orgânica dos resíduos 51,4%.

A altura final do aterro facilmente ultrapassará os 3m, em razão da profundidade da célula ser de 3m e da sua cobertura final ser de 0,60 m, foi considerado um sistema de drenagem e tratamento dos gases afim de um melhor funcionamento do aterro e preservação do meio ambiente. O dimensionamento do sistema de drenagem dos gases foi feito de forma empírica, uma vez que atualmente ainda não existem modelos de cálculos.

Assim sendo, em razão de o aterro ser de pequeno porte, conforme metodologia de Lange *et al.* (2008), serão instalados drenos de tubos de PEAD (Polietileno de alta densidade), com diâmetro de 500 mm, perfurados em toda sua circunferência para facilitar a captação dos gases dentro das células. Estes drenos terão comprimento médio de 4,10 m, pois partirão da base da célula e chegando a superfície com sobra de 0,5 m para fora da trincheira e serão revestidos com brita 3, 4 ou 5 em todo seu prolongamento, afim de evitar que os resíduos ou até mesmo o solo venha a obstruir os furos de captação de gás dos drenos. A fixação das britas no perímetro da circunferência dos tubos será feita através de tela reforçada de PEAD, que é mais resistente a possíveis ataques corrosivos advindos dos resíduos sólidos nas células. O espaçamento entre os drenos terá raio de influência de 20 m, e em razão do comprimento das valas do aterro serem de 18 m e largura de 8 m, será utilizado um dreno para cada vala, que ficará instalado no centro de cada célula.

4.12 Isolamento do aterro

Respeitando o que a ABNT (2010) prescreve, a barreira física utilizada para isolamento do aterro será a cerca com arame farpado com altura de 2 metros, tal que impeça a passagem de pessoas e animais, e juntamente será instalado portão de acesso e guarita para monitoramento do aterro. Para a cerca viva foi utilizado a espécie eucalipto devido ao seu crescimento rápido, que será plantada em tomo do perímetro da área do aterro com espaçamento de 3 metros entre cada árvore. A cerca viva contribui para diminuir odores no ar e também reduzir a poluição visual.

4.13 Cobertura final

Na cobertura final será utilizado solo fértil para facilitar o crescimento da vegetação bem como a espessura do solo de cobertura será de 60 cm, conforme descreve Castilhos Junior (2003). A cobertura final é de suma importância pois além de proteger a célula contra possíveis fatores externos, também ajudará na recuperação ambiental.

5 CONCLUSÃO

Aterros sanitários são de suma importância para qualquer município para qualquer cidade independente de seu tamanho, pois eles são parte considerável do saneamento básico e visam evitar os danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais. O grande problema é que os resíduos sólidos urbanos na maioria das vezes são dispostos em locais inadequados, mais conhecidos como lixões, onde não existem nenhum tipo de tratamento para os resíduos e nenhuma preocupação com o ambiente o que acarreta em sérios problemas tanto para a saúde das pessoas que convivem próximos a estes locais, como para o meio ambiente.

Tendo em vista o baixo custo de operação, como também a facilidade burocrática da legislação que rege, foi proposto neste trabalho um projeto de aterro sanitário em valas manual, utilizando o distrito de Luzimangues do Tocantins como base.

Este trabalho de conclusão de curso possibilitou entender o quanto é importante que a área para implantação de um aterro tenha as devidas características exigidas por norma, evitando possíveis danos ao meio ambiente, além disso propiciou apresentar claramente como é o dimensionamento de cada sistema constituinte do aterro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SCHALCH, Valdir *et al.* **Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. São Carlos: Eescusp, 2002. 97 p.

SAVASTANO NETO, Aruntho *et al.* **Manual de Operação de Aterro Sanitário em Valas**. São Paulo: Vera Severo, 2010. 24 p.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Lei Federal nº12.305, de 02 de agosto de 2010 - **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília- DF, 2010.

OBLADEN, Nicolau Leopoldo; OBLADEN, Neiva Terezinha Ronsani; BARROS, Kelly Ronsani de. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos**. 2. ed. Curitiba: Crea-PR, 2009. 64 p.

KROETZ, Carlos Eduardo et al. **III-051- Desenvolvimento de um Sistema de Apoio ao Dimensionamento de Aterros Sanitários em Valas para Municípios de pequeno porte**. Curitiba: Abes, s/d. 15 p.

MONTEIRO, José Henrique Penido *et al.* **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos I.,Sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam, 2001. 200 p.

LANGE, Liséte Celina *et al.* **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2**. Belo Horizonte: Recesa 2008. 120 p.

OLIVEIRA, Germano Augusto de. **Projetos Básicos e Executivos**. Bela Vista de Goiás: Equillbrio Ambiental, 2013. 31 p.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 10 de abril de 2018.

7 ANEXOS

Relatório CopySpider

file:///C:/Users/BEATRIZ%20TEIXEIRA/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/report.html				
Documentos candidatos				
Arquivo de entrada: TCC 2 Pronto.docx (8387 termos)				
Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
pt.slideshare.net/Gi...	Visualizar	3808	306	2,57
ri.search.yahoo.com/...	Visualizar	7822	260	1,63
trabalhosfeitos.com/...	Visualizar	3387	59	0,5
super.abril.com.br/b...	Visualizar	553	11	0,12
ciencias-geologia.bl...	Visualizar	4025	10	0,08
ri.search.yahoo.com/...	Visualizar	533	7	0,07
paparazzinews.com.br...	Visualizar	575	2	0,02
conselhos.org.br/Arq...	-	-	-	-
cm-grandola.pt/uploa...	-	-	-	-
issuu.com/diego.melo...	Visualizar	73	0	0

file:///C:/Users/BEATRIZ%20TEIXEIRA/Documents/ULBRA/ULBRA%202018.1/TCC%20II/report.html%201.html