



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

RAMON REZENDE MARQUES

PROPOSTA DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE
PARA O MUNICÍPIO DE ALVORADA-TO.

Palmas – TO

2018

RAMON REZENDE MARQUES

PROPOSTA DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE
PARA O MUNICÍPIO DE ALVORADA-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.^a Dr.^a Michele Ribeiro Ramos.

Palmas – TO

2018

RAMON REZENDE MARQUES

PROPOSTA DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE EM
VALAS PARA O MUNICÍPIO DE ALVORADA-TO.

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

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Michele Ribeiro Ramos.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Michele Ribeiro Ramos

Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Ângela Ruriko

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva

Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, pois por Ele, com e Ele e para Ele são todas coisas. Por ter me guiado até aqui, me sustentado e nunca me fazendo deixar de acreditar no meu sonho. Aos meus pais pela confiança empregada em mim, por sempre me apoiarem e nunca me deixarem faltar nada. Aos meus familiares e amigos que sempre estiveram junto comigo nos momentos difíceis. Aos professores que sempre se esforçaram em nos passar o máximo de conhecimento possível, em especial a professora Michele, por toda ajuda, orientação, paciência e incentivo que tornou possível à realização desse trabalho.

.

RESUMO

MARQUES, Ramon Rezende, **PROJETO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE PARA O MUNICÍPIO DE ALVORADA-TO**. 2018. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

A questão dos resíduos sólidos no Brasil tem sido amplamente discutida na sociedade, abrangendo várias áreas do conhecimento como: saneamento básico, meio ambiente, inserção social e econômica dos processos de triagem e reciclagem dos materiais. A procura por melhores soluções para a destinação final dos resíduos tem sido um grande desafio, sobre tudo no que diz respeito à poluição dos solos, do ar e dos recursos hídricos. O aterro sanitário é uma das formas de disposição dos resíduos sólidos menos danosa ao meio ambiente. Ele envolve diversas camadas de proteção que impedem o contato dos efluentes provenientes da biodegradação da matéria orgânica presente nos resíduos. Existem vários tipos de aterros sanitários, um deles o método de trincheiras, foco deste trabalho, que é para municípios de pequeno porte que produzem até 10 toneladas de resíduos diariamente. O município de Alvorada – TO foi o local escolhido para implantação do aterro. Durante o dimensionamento, foram levantados dados como população, produção de lixo per capita, volume de lixo produzido diariamente e outros dados. A partir daí, foi dimensionado o tamanho e quantidade de valas necessárias para atender a demanda do município, o volume de escavação das trincheiras, área quadrada da manta para impermeabilização e outros fatores pertinentes à implantação do aterro, e por fim estimado o custo para sua implantação.

ABSTRACT

MARQUES, Ramon Rezende, PROJECT OF A SMALL SIZED SANITARY LANDFILL TO THE COUNTY OF ALVORADA-TO **PROJETO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE PARA O MUNICÍPIO DE ALVORADA-TO.** 2018. 78 f. Term paper (graduation) – Civil Engineering. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

The question about the urban solid waste has been very discussed in the society, covering a lot of knowledge areas like: basic sanitation, environment, social and economic insertion of the processes of sorting and recycling the materials. The search better solutions to the final destination of the urban solid waste have been a big challenge, especially when it comes to the pollution of soil, air and water resources. Landfill is one of the ways of disposing of solid waste less harmful to the environment. It involves several layers of protection that prevent the contact of the effluents coming from the biodegradation of the organic matter present in the waste. There are several types of landfills, one of them the method of trenches, the focus of this work, which is for small counties that produce up to 10 tons of waste daily. The county of Alvorada - TO was the chosen site for the landfill. During the sizing, data were collected such as population, per capita production of garbage, volume of garbage produced daily and other data. From then on, the size and quantity of ditches necessary to meet the demand of the municipality, the volume of excavation of the trenches, square area of the waterproofing blanket and other factors pertinent to the implantation of the embankment were estimated, and finally estimated the cost for its implantation.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	9
1.2 HIPÓTESES	10
1.3 OBJETIVOS	10
1.3.1 Objetivo Geral	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 JUSTIFICATIVA	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	12
2.2. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS	13
2.3. LIXÃO	14
2.4. ATERRO CONTROLADO	14
2.5. ATERRO SANITÁRIO	15
2.5.1 Aterro Sanitário – Método da trincheira.....	15
2.6 PLANEJAMENTO.....	16
2.6.1 – Estudos preliminares	16
2.6.2 – Seleção das áreas	17
2.6.3 – Projeto.....	18
2.6.4 – Implantação	24
2.6.5 – Operação.....	24
2.6.6 – Licenciamento	25
3. METODOLOGIA.....	26
3.1. OBJETO DE ESTUDO	26
3.2. DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO	26
3.3. PREVISÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO.....	26
3.4. DIMENSIONAMENTOS DAS TRINCHEIRAS	26
3.4.1 Produção diária de R.S.U. e produção de resíduos per capita	27
3.4.2. Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto... 27	
3.5 VOLUMES E DIMENSÕES DAS TRINCHEIRAS	27
3.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)	27
3.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)	28
3.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	28
3.5.4 Comprimento médio da trincheira (L).....	28

3.5.5	Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (V_o)	28
3.5.6	Volume de escavação das Trincheiras (V_e)	29
3.6	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CÉLULAS (TRINCHEIRAS) PARA OS ANOS DE VIDA ÚTIL DO PROJETO.....	29
3.7	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO.....	29
3.8	DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS TRINCHEIRAS	29
3.8.1	Dimensionamento da manta	30
3.9	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS	30
3.10	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS.....	31
3.11	DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE GASES	32
3.12	COBERTURA FINAL	33
3.13	PROJETO EXECUTIVO	33
3.14	LEVANTAMENTO DO CUSTO.....	34
4.	RESULTADOS	35
4.1	OBJETO DE ESTUDO.....	35
4.2	DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO	39
4.4.	DIMENSIONAMENTO DAS TRINCHEIRAS	40
4.4.1	Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto....	40
4.5	VOLUMES E DIMENSÕES DAS TRINCHEIRAS	41
4.5.2	Volume médio diário de ocupação (V_{md})	41
4.5.2.	Volume médio mensal de resíduos (V_{mm})	41
4.5.3	Volume da trincheira (V_t).....	41
4.5.4	Comprimento médio da trincheira (L).....	42
4.5.5	Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (V_o)	43
4.5.6	Volume de escavação das Trincheiras (V_e)	44
4.6	DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CÉLULAS (TRINCHEIRAS) PARA OS ANOS DE VIDA ÚTIL DO PROJETO.....	45
4.7	DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO.....	45
4.8	DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS TRINCHEIRAS	45

4.9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS	46
4.10 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS	49
4.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE GASES	50
4.12 COBERTURA FINAL	50
4.13 PROJETO EXECUTIVO	51
4.14 LEVANTAMENTO DO CUSTO	53
5. CONCLUSÃO	54
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional vincula-se diretamente ao consumo de bens. Por sua vez, uma das consequências desse consumismo exacerbado e inconsequente, é a geração de Resíduos Sólidos Urbanos. É essa relação – crescimento populacional versus consumo, que proporciona um vínculo que potencialmente provoca inúmeros impactos econômicos, ambientais e sociais para o país, estados e efetivamente para os municípios onde os resíduos são gerados. Considerando ainda, que muitas regiões brasileiras apresentam um planejamento inadequado, ou até mesmo nem apresentam acarretará em problemas sociais e econômicos.

Quando não se tem um estudo e planejamento adequado para a disposição dos resíduos, a geração crescente dos resíduos sólidos urbanos afeta diretamente a população. Na maioria dos municípios brasileiros (50,8%), os resíduos sólidos são depositados em lixões, vazadouros a céu aberto que não fornecem nenhum tipo de tratamento (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE, 2008). Esses lixões, que não possuem qualquer infraestrutura ou critério sanitário, ocasionam diversos tipos de problemas para a sociedade, pois é a causa indireta de doenças. Todo o lixo atrai vetores de doenças, como germes patológicos, moscas, mosquitos, baratas e ratos, além de contaminar o meio ambiente, pois o solo é contaminado pelo chorume que é gerado pela degradação biológica dos resíduos, e lixiviação causada pela passagem da água através do lixo, atingindo também o lençol freático. Ademais, o ar também se torna poluído pelos gases gerados pela degradação dos resíduos.

Além do lixão, existem outras duas maneiras de se dar destinação final para os resíduos sólidos nos municípios, são elas: aterros controlados (que é uma categoria intermediária entre o lixão e o aterro sanitário, pois apesar do lixo ser disposto de uma forma ordenada e controlada, o solo onde ele é implantado, não recebeu nenhum tipo de tratamento) e o aterro sanitário (que é o que atende a maneira mais correta de destinação final dos resíduos).

Para Philippi Jr et al. (2005) e Ribeiro (2009) o aterro sanitário tem uma importância muito grande para o meio ambiente, pois ele é uma obra da engenharia que visa atender os impactos que são direcionados ao meio ambiente, desta forma o aterro diminui os impactos que os resíduos sólidos causariam ao meio ambiente, caso sejam depositados de maneira desordenada.

Conforme apresenta a SEMARH (Secretária Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2015), o Tocantins possui 139 municípios, e atualmente, a disposição final dos RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) no Estado ocorre em 129 lixões, sete aterros

controlados e três aterros sanitários. Segundo o PERS-TO (Plano Estadual de Resíduos Sólidos, 2015), a geração de RSU varia de acordo com a faixa populacional. Estima-se que municípios com até 25 mil habitantes, apresentam um índice per capita de geração de RSU de 0,53 (kg/hab/dia), municípios de 25 mil a 100 mil habitantes 0,59 (kg/hab/dia) e municípios acima de 100 mil 0,78 (kg/hab/dia). Considerando essa estimativa, municípios com população acima de 34 mil habitantes não se enquadram na modalidade de aterro que será apresentada neste trabalho, pois teriam uma produção de RSU diária acima de 20 t/dia que é o máximo permitido pela norma. No Tocantins apenas os municípios de Araguaína, Araguatins, Colinas, Gurupi, Palmas, Paraíso do Tocantins e Porto Nacional tem uma produção diária acima desse limite.

Existem vários tipos de aterros sanitários, contudo, o projeto que será apresentado trata-se do “MODELO” de Aterro Sanitário em Valas Manual que segundo Lange *et al.* (2008), geralmente é utilizado em áreas planas, onde são escavadas valas no solo, com variadas dimensões que se adequam ao volume de resíduo sólido urbano gerado e facilite a operação dos equipamentos utilizados no aterramento. As dimensões da trincheira definem os métodos construtivos, a forma de operação e os equipamentos a serem utilizados. A compactação dos resíduos pode ser manual ou mecânica, dependendo das dimensões da trincheira. Aterros em vala são normalmente indicados para cidades de pequeno porte, pois além serem mais simples, podem ser operados manualmente.

Em contrapartida os 132 municípios restantes se enquadrariam no projeto que será apresentado (aterro sanitário de pequeno porte), resolvendo o problema de cerca de 94,96% das cidades do estado do Tocantins em relação ao descarte de resíduos sólidos, trazendo para o Estado, benefícios tanto na saúde da população, quanto na preservação do meio ambiente.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Como dar destinação final adequada para os resíduos sólidos urbanos em municípios onde a produção diária de lixo é relativamente pequena sem que causem problemas sociais, ambientais e de saúde pública?

1.2 HIPÓTESES

- O município de Alvorada-TO possui demanda de produção de lixo que necessita a implantação do aterro sanitário.

- É economicamente viável a implantação do aterro sanitário.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Dimensionar um aterro sanitário de pequeno porte para o município de Alvorada-TO.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar a população e a quantidade de lixo produzida diariamente.
- Escolher o melhor local para implantação do aterro.
- Dimensionar o aterro para que suporte de maneira satisfatória a quantidade de resíduos produzidos no município de Alvorada-TO.
- Quantificar o custo necessário para implantação do aterro sanitário no município de Alvorada-TO.

1.4 JUSTIFICATIVA

O lixo ou resíduo sólido produzido diariamente em casas, comércios e indústrias, podem poluir consideravelmente os recursos naturais (solo e água) quando descartados de forma inadequada. Porém, muitas vezes esse problema é esquecido, ou simplesmente ignorado após a coleta do lixo nas residências e comércios. Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008) 50,8% dos municípios brasileiros possuíam como destino final de disposição dos resíduos sólidos os lixões e apenas 27,7% usavam aterros sanitários. Como os lixões não possuem nenhum critério de saneamento ou proteção ao meio ambiente, todo lixo depositado pode contaminar a água, o solo, o ar, lençol freático, e atrair insetos ou animais que são vetores de doenças. Em contrapartida o aterro sanitário, é uma estrutura projetada que segue normas de engenharia, onde o solo recebe tratamento adequado antes da disposição dos resíduos, a fim de diminuir danos ou riscos à saúde e ao meio ambiente.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, Lei no 12.305, de 02 de agosto de 2010, instituiu um novo marco regulatório para a gestão dos resíduos no país o qual reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes com vistas ao gerenciamento

ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, incorporando conceitos modernos no qual a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos se destaca.

A gestão integrada dos resíduos sólidos inclui todas as ações voltadas à implementação de soluções, procedimentos e regras para a elaboração dos planos municipais que devem tratar de questões como: coleta seletiva, reciclagem, inclusão social e participação da sociedade civil.

No Tocantins, e em todo o território brasileiro, a gestão dos resíduos sólidos é de total responsabilidade dos municípios. Atualmente há uma discussão sobre a disposição dos resíduos no Estado. Em 2015 entre os meses de agosto e novembro, a SEMARH fez um levantamento onde dividiu o estado em 18 regiões ou áreas-programas de geração de RSU para servir de subsídio na proposição de diretrizes, estratégias, programas, projetos e ações. Segundo esse levantamento, o Tocantins produz cerca de 23.898,20 Toneladas mensais de RSU. A maior parte deste valor total (65%) é oriunda de apenas três áreas-programas: Palmas, Araguaína e Gurupi devido à grande concentração populacional e às atividades econômicas desenvolvidas nesses centros urbanos, já as áreas-programas Arraias, Goiatins e Paranã possuem os menores valores de geração de RSU (SEMARH, 2015).

Dessa maneira, como o município de Alvorada é relativamente pequeno em termos de produção de lixo, pois não produz mais de 20 toneladas de lixo por dia e atualmente não dá destinação final adequada dos resíduos coletados, o presente trabalho se faz importante para tentar solucionar esse problema, pois a proposta que será apresentada poderá ser implementada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

A norma brasileira NBR10004 (ABNT, 2004) – define resíduo sólido como todo e qualquer resíduo sólido ou semissólido, gerado a partir de uma atividade humana, seja ele industrial, doméstico, hospitalar, agrícola, de serviços ou varrição que seja considerada inútil ou descartável pelo seu gerador, e também os resíduos em estado líquido, que não seja possível seu lançamento em corpos hídricos ou na rede pública de esgoto ou que seja inviável economicamente o seu tratamento.

Essa definição torna evidente como é a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos, pois segundo Philippi JR (1999) os resíduos sólidos também são definidos como restos de materiais gerados a partir de uma atividade humana que já não agregam mais valor a sociedade.

É importante destacar que a característica de inaproveitável de um resíduo é relativa, pois aquilo que já não se tem utilidade para aquele que o descarta, pode apresentar serventia para uma matéria-prima de um processo ou produto novo para outros (MONTEIRO et al, 2001).

Ainda de acordo com a NBR 10004 (ABNT, 2004), os resíduos sólidos classificam-se de acordo com sua periculosidade como sendo:

a) Resíduos classe I - Perigosos; São aqueles que quando manuseados de forma inadequada podem apresentar risco à saúde pública ou ao meio ambiente em função das características apresentadas em suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas.

b) Resíduos classe II – Não perigosos; A descrição de alguns resíduos que se engloba nesta classe é: Resíduo de restaurante, sucata de metais ferrosos, sucata de metais não ferrosos, resíduo de papel e papelão, resíduos de plástico polimerizado, resíduos de borracha, resíduo de madeira, resíduo de materiais têxteis, resíduos de minerais não metálicos, areia de fundição, bagaço de cana, dentre outros que não oferecem perigo.

Resíduos classe II A – Não inertes: Esta classe tem semelhança ao lixo domiciliar, pois suas propriedades apresentam características como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

Resíduos classe II B – Inertes; São aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. Este tipo de resíduo se caracteriza por ter contato com a água e mesmo assim permanecer potável, pois sua degradação é de maneira lenta e a maioria não é reciclável e se submetidos a um teste de solubilização conforme NBR 10006 (ABNT, 2000), não apresentarem nenhum de seus constituintes solubilizados à concentrações

superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.2. DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS

Com o crescimento populacional, aumenta-se também proporcionalmente a quantidade de lixo produzida, por isso a dificuldade da maioria das cidades consiste na limpeza urbana, que não pode se concentrar apenas em limpar ruas, avenidas e edificações, mas essencialmente em proporcionar um destino final adequado para os resíduos coletados. Como grande parte dos municípios brasileiros possui um orçamento muito apertado, a coleta de lixo e a limpeza de vias públicas são priorizadas, e a disposição final jogada para segundo plano.

Por isso é muito comum à existência de lixões em municípios pequenos, pois como não se dispõe de um orçamento satisfatório para propiciar a disposição final adequada, se torna mais viável à prefeitura dar uma destinação final inadequada, depositando todos os resíduos coletados em lixões afastados do centro urbano, para que assim não sofram pressão da população, visto que esse não seria um problema menos visível aos olhos da população (MONTEIRO et al, 2001).

Apesar da preocupação que se tem tido em reciclar, reutilizar e reduzir, os aterros sanitários ainda é a principal e mais utilizado forma de disposição final dos resíduos no mundo inteiro. No Brasil, já se pode observar um aumento significativo na utilização dos aterros sanitários, principalmente nas regiões sul e sudeste, mas por outro lado, nas regiões norte e nordeste, devido à precariedade de recursos e os elevados custos de operação, os lixões ainda são utilizados pela maior parte dos municípios, e quase não se nota à utilização dos aterros sanitários (JUCÁ, 2003).

Segundo PEREIRA e CURI, quando os resíduos sólidos são dispostos de forma inadequada, contribuem diretamente para a degradação do meio ambiente, pois com a emissão de gases e a infiltração do chorume podem poluir o ar, água e solos, além de serem ambientes que favorecem a proliferação de vetores transmissores de doenças. Essa forma de disposição atrai também parte de uma população, que já sem oportunidades e sem expectativas, optam por ingressar na vida de catadores.

Reichert (2003) diz que a disposição final, quando feita de forma inadequada, gera além dos impactos ambientais, uma série de problemas sociais (existência de catadores e desvalorização do solo) e de saúde pública (contaminações diretas pelos catadores e indiretas por outros meios).

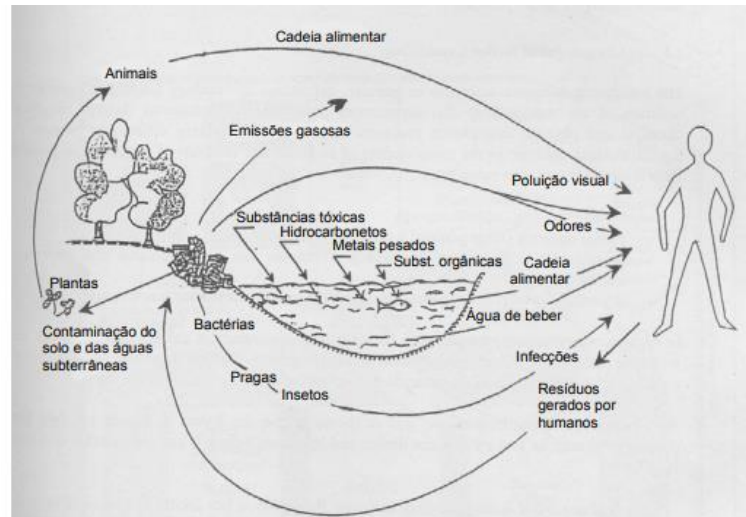


Figura 1.1 – Principais rotas de contaminação humana a partir da disposição inadequada (Fonte: Adaptado de Rushbrook e Pugh, 1999)

A solução então de melhor destinação final para os resíduos são os aterros, sanitários ou controlados, pois os lixões apresentam problemas ambientais, sanitários e sociais, e os processos de compostagem, reciclagem e incineração não são tidos como destinação final, mas sim como processo de tratamento do lixo (MONTEIRO et al, 2001).

2.3. LIXÃO

O lixão é uma forma de disposição dos resíduos sólidos urbanos totalmente inadequados do ponto de vista ambiental e sanitários, pois estes são simplesmente descarregados sobre o solo sem nenhuma medida de proteção ao meio ambiente. É definido por Bidone (1999) como a pior forma de disposição de resíduos pois não nenhum tipo de controle da quantidade ou origem dos resíduos que são despejados no local.

Definido por D’Almeida (2000) como uma forma de destinação final dos resíduos sólidos municipais a céu aberto ou em vazadouros, o lixão se caracteriza por não apresentar nenhuma medida de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública, pois quando os resíduos sólidos são simplesmente descarregados sobre o solo, estes propiciam a proliferação de vetores de doenças, geração de maus odores e contaminação das águas subterrâneas pela infiltração do chorume.

2.4. ATERRO CONTROLADO

De uma maneira menos prejudicial ao meio ambiente, o aterro controlado é um meio termo entre os lixões e o aterro sanitário, pois apesar da cobertura diária, do controle de

resíduos descartados, e da compactação, o mesmo ainda é danoso ao meio ambiente pois não recebeu nenhum tipo de impermeabilização e não há tratamento do chorume gerado na decomposição dos resíduos.

2.5. ATERRO SANITÁRIO

O aterro sanitário é a melhor forma de disposição final de resíduos e possui inúmeras definições, mas que de acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992) é definido como uma técnica de disposição no solo, que utiliza técnicas de engenharia, afim confinar o maior volume de resíduos em uma menor área possível, reduzindo o volume através da compactação e que são cobertos por camadas de terra no final de cada jornada de trabalho, sem que causem dano nem comprometam a saúde e segurança pública e que minimizem os impactos ambientais.

Para Albuquerque (2011, p. 315), a definição de aterro sanitário é a seguinte: “Um aterro sanitário é definido como aterro de resíduos sólidos urbanos, ou seja, adequado para a recepção de resíduos de origem doméstica, varrição de vias públicas e comércios.”

Castilho Junior (2003) define que o aterro sanitário consiste no confinamento dos resíduos sólidos, que seguem métodos construtivos e técnicas de redução de volume e de suavização de impactos ambientais, pois os resíduos acumulados continuamente não são inativos. Por isso Reichert (2007) afirma que mesmo que um aterro sanitário tenha sido bem projetado e bem implantado, apresentará os mesmos problemas se não tiver a operação adequada. Castilho (2003) ainda diz que atualmente, o aterro sanitário é o método de tratamento mais utilizado e que apresenta o menor custo.

Para Bidone (1999) o aterro sanitário é muito importante, pois se trata de uma solução simples de ser executada, que não exige nenhum tipo de equipamento especial para sua implantação e operação e suporta qualquer volume de resíduos produzido. Porém alguns cuidados devem ser tomados durante sua execução, como o tratamento de lixiviados, o recobrimento e compactação diária dos resíduos, a vedação e impermeabilização após atingir sua altura máxima e o tratamento de gases.

Existem vários métodos de classificação de operação de aterros sanitários, dentre eles está o Método de trincheiras ou valas, tema do presente trabalho.

2.5.1 Aterro Sanitário – Método da trincheira

O aterro sanitário em valas é uma técnica de disposição final de resíduos sólidos para municípios onde a produção diária de lixo não ultrapassa 10 (dez) toneladas. Produções acima

desse limite tornariam o método inviável economicamente, pois seria necessária a abertura de novas valas constantemente. (LANGE, 2010).

Para Bidone (1999), esse tipo de aterro é ideal para pequenas comunidades com insuficiência nos recursos financeiros e que não possuem equipamentos adequados à operação de um aterro convencional e que deve ser aplicado em terrenos preferencialmente planos ou levemente inclinado.

Para esse tipo de aterro, o órgão ambiental não exige a impermeabilização das valas com mantas ou qualquer outro tipo de material semelhante que exerçam a função de impermeabilizantes. No entanto, para a escolha do terreno de implantação, deverão ser levados em consideração o tipo de solo do local e sua permeabilidade, o nível do lençol freático e o excedente hídrico da região. O terreno escolhido para implantação deverá ainda respeitar algumas distâncias mínimas de 500 metros de núcleos habitacionais e 200 metros de qualquer corpo d'água superficial, além de ter condições para proporcionar uma vida útil de 15 anos para o aterro sanitário.

Ainda sobre a definição de aterro sanitário em valas, segundo a NBR 15849 (ABNT, 2010, p. 2), “é a instalação para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade limitada e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada”.

2.6 PLANEJAMENTO

O planejamento adequado de um aterro sanitário consiste em 5 partes, são elas: estudos preliminares, seleção de áreas, projeto, implantação e operação. A parte de planejamento visa sempre a implantação do aterro sanitário com o menor impacto ambiental possível.

2.6.1 – Estudos preliminares

Como em qualquer outro projeto, os estudos preliminares englobam compõe as etapas de levantamento de dados gerais, pré-seleção de áreas viáveis para a implantação, escolha das áreas e elaboração de um anteprojeto básico. Esses levantamentos fornecem subsídios para a escolha correta da solução a ser tomada.

Os estudos preliminares são essenciais na fase de planejamento de qualquer projeto. Para o projeto de um aterro sanitário, os estudos preliminares destinam-se ao levantamento de informações necessárias para auxiliar na escolha do tipo de sistema a ser adotado, e também

servem de embasamento para o controle ao longo de todo o monitoramento de operação do aterro sanitário. Castilhos (2003) divide basicamente os estudos preliminares em duas partes: caracterização do município e diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos utilizados.

Na caracterização dos municípios é importante conhecer o número de habitantes e sua projeção de crescimento populacional, o poder aquisitivo, índices de escolaridades e outros tipos de hábitos da comunidade, pois Gomes (1989) afirma que a geração de RSU está diretamente ligada ao número de habitantes e aos hábitos de vida da comunidade. Também é necessário levantar dados sobre as atividades socioeconômicas da população e se a prefeitura tem uma infraestrutura para atender os serviços de saneamento básico.

Nos estudos preliminares é importante que seja feito ainda um diagnóstico do gerenciamento dos resíduos sólidos do município. Devem-se levantar em conta todos os dados, desde as etapas de geração até a destinação final. Os dados qualitativos e quantitativos são fundamentais para o planejamento do sistema. Também é necessário informações sobre a geração per capita de resíduos sólidos nas seguintes áreas: geração, varrição, coleta / transporte, tratamento e destinação final, que podem ser obtidas através de um questionário básico. (CASTILHOS, 2003).

2.6.2 – Seleção das áreas

Uma das etapas mais importantes no planejamento de aterro sanitário, a seleção da área para a construção do aterro sanitário está diretamente ligada ao sucesso do empreendimento, pois as decisões assumidas nessa etapa têm influencia direta em todas as outras fases, tanto de projeto quanto de implantação e operação, e é nessa fase que busca-se minimizar os custos envolvidos, evitando gastos desnecessários com infraestrutura, minimizar a complexidade técnica para viabilização do aterro, maximizar a aceitação popular e minimizar a possibilidade de existência de impactos ambientais negativos aos meios físico, biótico e antrópico.

De acordo com Paiva (2005) a escolha da área adequada para a instalação envolve alguns critérios técnicos, ambientais, operacionais e sociais, que deve ser caracterizada através de estudos topográficos, geológicos, geotécnicos, climatológicos e relativos ao uso da água e solo. Ferramentas modernas podem ser utilizadas como auxílio para a escolha da área a ser utilizada, como é o caso do geoprocessamento, que melhora os resultados e facilita toda a operação.

É importante observar os critérios que abrangem questões técnicas, econômicas, sociais e políticas, impostos pela norma da NBR 13.896 (ABNT, 1997), pela legislação federal, estadual e municipal.

Algumas considerações técnicas que devem ser feitas:

- Recomendam-se locais com declividade superior a 1% e inferior a 30%
- Considera-se desejável a existência, no local, de um depósito natural extenso e homogêneo de materiais com coeficiente de permeabilidade inferior a 10^{-6} cm/s e uma zona não saturada com espessura superior a 3,0 m;
 - O aterro não deve ser localizado a uma distancia mínima de 200m de qualquer corpo hídrico ou cursos d'água.
 - Recomenda-se a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos.
 - O aterro não deve ser executado em áreas sujeitas a inundações.
 - Deve haver entre a superfície inferior do aterro e o nível mais alto do lençol freático uma camada de solo insaturado de no mínimo 1,50m.
 - O aterro só pode ser construído em áreas de uso conforme legislação local de uso do solo.
 - O local selecionado não deve se situar a menos de 500 metros de núcleos populacionais e deve-se atentar para a proximidade de aeroportos e aeródromos.

2.6.3 – Projeto

Após os estudos preliminares e selecionada a área, seguindo os critérios ambientais e operacionais anteriormente mencionados, o projeto pode ser feito de um modo seguro do ponto de vista ambiental, e viabilizado na questão financeira.

2.6.3.1 – Memorial descritivo

Segundo Castilhos (2003) essa é a etapa do projeto onde se resume os estudos preliminares e encaminha a alternativa de disposição a ser escolhida. Nela deve conter a informações cadastrais, a descrição dos resíduos a serem dispostos, a caracterização da área, concepção e justificativa, descrição e especificações técnicas, operação e uso futuro da área.

- Informações cadastrais

Deverão constar nas informações cadastrais, as qualificações e informações dos responsáveis técnicos pela área onde serão depositados os resíduos sólidos e dos responsáveis

autores do projeto. Ambos deverão ser devidamente habilitados pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia – CREA (CASTILHOS, 2003).

- 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”.

- Caracterização da área

A área selecionada para a implantação do aterro deve ser caracterizada a partir de levantamentos topográficos, climatológicos, e uso de água e solo. Para municípios de pequeno porte, haverá necessidade de prover o projeto dos levantamentos realizados. (CASTILHOS, 2003).

- Localização e Caracterização Topográfica

Em toda obra de engenharia, é muito importante conhecer a topografia do terreno onde a obra será assentada. No caso do aterro sanitário, esse fator é que influenciará na escolha do método construtivo e no método de disposição dos resíduos. Locais com declividades entre 1% e 30% são os mais recomendados para implantação do aterro (ABNT, 1997).

Para Castilhos (2003), o levantamento planialtimétrico deve ser realizado com o intuito de mapear o relevo e o uso das áreas, e nele deve conter todas as curvas de níveis, a área para disposição dos resíduos, acessos, prédios e características ambientais importantes (vegetação e recursos hídricos).

Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992) esse levantamento planialtimétrico da área do aterro deve ser apresentado em uma escala não inferior a 1:1000, e também deve ser apresentado outro levantamento planialtimétrico em escala de 1:2000 indicando a área do aterro e sua vizinhança e locando-o a pontos já conhecidos, como por exemplo ruas, estradas, ferrovias, rios e mananciais de abastecimento.

- Caracterização Geológica e Geotécnica

Após definir a área, é necessário um estudo mais detalhado do subsolo para ter mais segurança na determinação do perfil a ser executado. Segundo a NBR 8419 (ABNT, 1992) deve ser feitas investigações que determinem a capacidade de suporte do solo e avaliem os

riscos de contaminação das águas. As investigações devem ser feitas em técnicas correntes de geologia em engenharia, tais como mapeamento detalhado da superfície, ensaios de sondagens que podem ser realizadas com SPT (Standart Penetration Test) ou sondagens rotativas e ensaios de permeabilidade *in situ* ou laboratoriais. Esses ensaios devem ser feitos em quantidade suficiente para determinar as características do subsolo.

Para Castilhos (2003) essa avaliação é importante, pois permite avaliar o risco de contaminação caso houver um vazamento, selecionar os materiais mais adequados para execução do revestimento mineral, dimensionar os sistemas de drenagem, definir o material da camada de base e da cobertura diário e final, identificar o perfil hidro geológico e posicionar de forma adequada os pontos de monitoramento.

- Caracterização Climatológica

Para a caracterização climatológica da região onde o aterro será implantado, devem ser coletados dados sobre os valores médios de temperatura diários, regime de chuvas, precipitação pluviométrica histórica, evapotranspiração, direção e intensidade dos ventos preponderantes na região. Esses dados devem ser provenientes da estação meteorológica mais próxima possível do local do aterro.

Para Castilhos (2003) os dados climatológicos são importantes para determinar a estimativa de geração de percolados. Os índices pluviométricos podem definir se a área de disposição precisará ou não receber uma cobertura, visto que a infiltração de águas pluviais é a maior contribuinte na geração de lixiviados, por isso tem influencia direta no sistema de drenagem e de tratamento.

- Caracterização de água e uso do solo

Referem-se à determinação dos parâmetros relacionados ao comportamento das águas subterrâneas e são talvez os mais importantes na escolha da área, pois permitem avaliar o potencial poluidor da área proposta e fazer considerações preliminares sobre o que deve ser feito para evitar a contaminação pela percolação dos lixiviados (GONÇALVES, 2015).

- Concepção e justificativa do projeto

Deverá conter ainda no memorial descritivo, a concepção e justificativa do projeto, onde será indicado o método a ser adotado, incluindo os sistemas de operação, explicando suas finalidades.

2.6.3.2 – Elementos do projeto

Para Elk (2007), os elementos do projeto garantem a segurança e da obra e do meio ambiente quando executados e monitorados corretamente. Os elementos de projeto, no caso de trincheiras ou valas, devem conter os elementos descritos a seguir:

- Sistema de drenagem superficial

Reichert (2007) afirma que a drenagem superficial tem como objetivo evitar a ocorrência de erosões nos taludes e o aumento do volume de lixiviados pela infiltração superficial, por isso o projeto deve prever o escoamento das águas pluviais e das águas da bacia de contribuição da montante do aterro.

Para a definição do local e dimensionamento do sistema de drenagem superficial, parte-se dos dados obtidos nos levantamentos topográfico e climatológico.

- Sistema de drenagem de lixiviados

Os sistemas de drenagem de lixiviados e de gases são necessários em todos os projetos de aterro sanitários.

O sistema de drenagem é uma rede que pode ser construída em drenos de britas ou rachões, seguidas de areia grossa e areia média, ou por tubos perfurados preenchidos com brita que podem ser envolvidos por geotêxtil, para evitar a colmatação. Sempre que possível, deve-se optar por um sistema que opere por gravidade, sem a necessidade de bombas, pois esse tipo de sistema é sujeito a falhas (REICHERT, 2007)

Os lixiviados gerados nas trincheiras devem ser coletados e conduzidos para fora do local de disposição, onde receberão o tratamento adequado. A drenagem do percolado acelera a biodegradação, uma vez que os microorganismos degradadores estão presentes no lixiviado. (CASTILHOS, 2003).

- Tratamento de lixiviados

O tratamento de lixiviados é outro aspecto muito importante no projeto de um novo aterro, pois o percolado coletado deve ser tratado antes de ser descartado em um corpo hídrico. O lançamento do percolado nas águas sem receber o devido tratamento, causa o aumento da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) tornando a vida aquática inviável, pois o oxigênio necessário para os peixes e outros organismos aquáticos, passa a ser consumido pelos microrganismos durante a decomposição da matéria orgânica.

Segundo Bidone (1999, p. 49) o tratamento de lixiviados só pode ter um nível de eficiência aceitável quando efetuado por processos secundários de tratamento de esgotos como lodos ativados, filtros biológicos, lagoas de estabilização, entre outros.

- Impermeabilização da base e das laterais

Segundo Elk (2007, p. 19) “A impermeabilização da fundação e das laterais do aterro tem a função de proteger e impedir a percolação do chorume para o subsolo e aquíferos existentes.”. A impermeabilização pode ser feita com o próprio solo compactado, desde que as características de permeabilidades sejam adequadas e sigam um rigoroso controle de compactação, ou por geomembranas com espessura mínima de 1mm.

Ainda de acordo com a NBR 15849 (ABNT, 2010), desde que alguns critérios sejam atendidos, o sistema de impermeabilização da base não precisa ser executado. Os critérios para dispensa da impermeabilização são a porcentagem de matéria orgânica nos resíduos, a profundidade do lençol freático, a permeabilidade do solo local e o valor de excedente hídrico anual.

Tabela 1 – Critérios para dispensa do sistema de impermeabilização de fundo (ABNT, 2010)

Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar.	Fração orgânica dos resíduos ≤30%				Fração orgânica dos resíduos >30%				
	Profundidade do freático (m)				Profundidade do freático (m)				
	1,50 ≤ n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n < 9	n ≥ 9	1,50 ≤ n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n < 9	n ≥ 9	
Coeficiente de permeabilidade do solo local k (cm/s)	k ≤ 1x10 ⁻⁶	250	500	1000	1500	188	275	750	1125
	1x10 ⁻⁶ ≤ k ≤ 1x10 ⁻⁵	200	400	800	1200	150	300	600	900
	1x10 ⁻⁵ ≤ k ≤ 1x10 ⁻⁴	150	300	600	900	113	225	450	675
	1x10 ⁻⁴								

- Sistema de drenagem de gases

Os principais gases formados na decomposição dos resíduos dentro das trincheiras são o metano e o dióxido de carbono. O sistema de drenagem dos gases tem a função de drenar esses produtos provenientes da decomposição da matéria orgânica, através de drenos verticais e/ou horizontais se necessários.

Os drenos verticais, formados por tubos de concreto armado envoltos por uma camada de brita, atravessam verticalmente o aterro desde a camada impermeabilizada até a camada final de cobertura (superfície). O sistema de drenagem vertical pode e deve ser preferencialmente ligado ao sistema de drenagem de lixiviados, pois o lixiviado gerado ao

logo da massa pode ser direcionado para o sistema de drenagem de lixiviados através do sistema de drenagem de gases.

Após a drenagem, os gases são encaminhados para o tratamento. A forma mais comum e econômica é queimá-lo, mas atualmente devido ao seu potencial energético, outros destinos têm sido dados ao biogás. (RECESA, 2008).

- Sistema de cobertura

A camada de cobertura tem a finalidade de proteger a superfície das células de lixo, impedindo o acesso de vetores de doenças, a entrada de catadores, a proliferação de odores e a saída descontrolada do biogás, mas que permite o acesso de máquinas e veículos coletores. No caso de aterro de resíduos sólidos as camadas de cobertura são três tipos: diária, intermediária e final.

A camada diária deve ser realizada no final de cada jornada de trabalho e consiste na utilização de solo (recomenda-se o próprio material escavado para diminuir custos) ou outro material (geossintético) para cobertura dos resíduos no final de cada jornada de trabalho. Sua principal função é não permitir que os materiais mais leves (plástico, papel, etc.) se espalhem com o vento e impedir que os vetores de doenças (roedores, insetos, etc.) tenham acesso à camada de resíduos. Em geral utiliza-se cerca de 20 cm de solo (CEMPRE, 2010).

A cobertura intermediária deve ser executada onde a superfície de disposição ficará inativa por mais tempo. A implantação da cobertura não deve atrapalhar a passagem de veículos e máquinas, permitindo que eles passem diretamente sobre a camada, além de possibilitar o encaminhamento das águas pluviais para o sistema de drenagem. (RECESA, 2008).

A cobertura final é executada quando todas as operações do aterro já estão completadas. Essa camada tem a função de minimizar a infiltração das águas pluviais para que não ocorra o aumento do volume dos lixiviados e impedir o vazamento dos gases gerados na decomposição para a atmosfera. (CASTILHOS, 2003).

A cobertura final também deve permitir a recuperação ambiental da área a partir do plantio de vegetação, pois a camada vegetal que será instalada, contribui no escoamento superficial diminui o processo erosivo, por isso o material que será utilizado, deverá ser resistente aos processos erosivos, ter baixo coeficiente de permeabilidade e ter características férteis para o recebimento da vegetação a ser plantada. (RECESA, 2008).

Castilhos (2003) ainda diz que é importante que seja utilizado um solo argilo-arenoso, pois este tipo de material apresenta índices de retração por secagem melhores se

comparados a solos com alto volume de teor de argila. A espessura mínima da camada após a compactação deve ser de 60 cm.

2.6.3.3 – Monitoramento das águas do subsolo

O monitoramento das massas d'água próximo ao aterro deve começar antes do mesmo do início da operação, coletando e analisando as amostras dos corpos d'água próximos, incluindo o lençol freático, para se avaliar a qualidade atual dos mesmos e poder efetuar comparações futuramente (MONTEIRO, et al, 2001).

2.6.4 – Implantação

A etapa seguinte ao dimensionamento é a implantação do sistema, que só deverá ser iniciada após o órgão estadual ambiental entregar a LI (Licença de Instalação). Inicia-se a obra com o isolamento da área com arames e cercas vivas, seguidos da limpeza e raspagem do terreno, a fundação da balança caso houver controle de pesagem (MONTEIRO et al, 2001).

Na etapa de implantação serão executadas as atividades que foram dimensionadas na etapa de projeto e que servirão de apoio à operação do sistema na seguinte ordem: limpeza e isolamento da área, execução de estruturas de apoio, implantação ou melhoria das vias de acesso, terraplanagem, construção das trincheiras, sistemas de drenagem, impermeabilizações da base e das laterais, poços de monitoramento e infraestrutura para tratamento de lixiviados. (CASTILHOS, 2003).

2.6.5 – Operação

Após ser implantado, começa a fase de operação do aterro. Para essa etapa, é necessário o recebimento da LO (Licença de Operação) emitida pelo órgão estadual ambiental. Essa etapa engloba diretamente a operação diária do aterro, que inclui a pesagem dos resíduos (caso houver), a compactação, a execução dos sistemas de drenagem. (RECESA, 2008).

O método de operação das trincheiras depende diretamente da frequência da coleta e do tipo de equipamento empregado. É aconselhável que os o profissional responsável tenha no mínimo um treinamento técnico sobre as tarefas diárias e um curso básico de gerenciamento de resíduos.

2.6.6 – Licenciamento

O licenciamento ambiental é o processo pelo qual o órgão competente licencia a localização, instalação e operação de empreendimentos ou atividades que são consideradas poluidoras ou que possam causar danos ao meio ambiente. Todo aterro, antes de ser implementado, deve obter as licenças exigidas pelos órgãos ambientais, municipais, estaduais ou federal.

As etapas de licenciamento podem ser variáveis de estado para estado, mas em regra, todo licenciamento deve conter as seguintes etapas:

2.6.6.1 – Licença Prévia (LP)

É requerida com a apresentação do projeto básico, com vistas à verificação da adequação da localização e da viabilidade do empreendimento. Após o pedido da LP, o órgão de controle ambiental procederá à elaboração de uma instrução técnica para orientar a realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e o relatório de impacto ambiental (RIMA).

O profissional responsável pelo aterro deve contratar uma empresa para realizar o EIA e o RIMA, pois o mesmo não tem permissão para realizar esses estudos diretamente (ELK, 2007).

2.6.6.2 – Licença de Implantação (LI)

A licença de implantação é solicitada depois que os estudos (EIA/RIMA) são aprovados. É essa licença que libera a empresa para começar as obras de implantação do aterro conforme o projeto executivo, porém o aterro só poderá ser executado após a obtenção da LI junto ao órgão ambiental responsável.

2.6.6.3 – Licença de Operação (LO)

Para Monteiro et al (2001) “Licença de operação é a permissão concedida pelo órgão de controle ambiental liberando o empreendedor para operar o aterro sanitário”. A licença de operação é concedida com validade de 4 a 6 anos, sendo necessária sua revalidação periodicamente e também pode ser cancelada se não atenderem as configurações previstas na norma legal.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os processos, os cálculos e os locais que foram utilizados para obtenção dos dados e conseqüentemente o dimensionamento dos sistemas do projeto.

3.1. OBJETO DE ESTUDO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário o levantamento dos dados da população atual e da projeção da população para o tempo de vida útil mínima do aterro projeto, e a quantidade de lixo produzida diariamente no município. A população atual e a taxa de crescimento do município de Alvorada – TO, foram coletados no site do IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, e a produção de lixo foi obtida a partir do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (2015).

3.2. DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO

A NBR 15849 (ABNT, 2010) recomenda que projetos de aterros sanitários de pequeno porte devem ter no mínimo uma vida útil de 15 anos, por isso o aterro sanitário em valas manual para a cidade de Alvorada - TO terá vida útil de acordo com o que é recomendado pela norma.

3.3. PREVISÃO DE CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO

Para o cálculo de crescimento populacional, além de dados do IBGE, também foi criada uma planilha através da ferramenta excel, afim de que, de posse da população do último censo realizado em 2010 e da taxa de crescimento populacional, foi feita uma previsão de quanto a população crescerá a cada ano de operação do aterro.

3.4. DIMENSIONAMENTOS DAS TRINCHEIRAS

Para o dimensionamento das trincheiras, como primeiro passo, foi levantado a população atual e seu crescimento com o passar dos anos, a quantidade de resíduos gerada diariamente, a abrangência do serviço, ou seja, qual a porcentagem dos resíduos que é coletada de acordo com o lixo gerado, bem como a densidade e o fator (%) do material de cobertura.

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

Cálculo do lixo produzido (Pd):

$$Pd = \frac{Pm}{7} \quad (\text{kg}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

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

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

Volume diário de ocupação (Vd):

$$Vd = \frac{Pd}{d} \times tc \quad (\text{m}^3/\text{dia}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

Pd = Produção diária de resíduos.

tc = Fator de material de cobertura (%)

d = Densidade de resíduo¹ (kg/m³)

¹ 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.

Volume anual de ocupação (Va):

$$Va = Vd \times 365 \quad (\text{Eq. 3})$$

3.5 VOLUMES E DIMENSÕES DAS TRINCHEIRAS

3.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)

$$Vmd = \frac{\sum Va (2018 a 2032)}{(Vida \text{ útil} \times 365)}, \quad (\text{Eq. 4})$$

3.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)

Castilhos (2003) recomenda que o tempo necessário para preencher uma trincheira seja entre 2 e 4 meses, por isso esse fator influenciará no cálculo de volume da trincheira.

$$Vmm = Vmd \times 30 \text{ (m}^3\text{/mês)} \quad (\text{Eq. 5})$$

3.5.3 Volume da trincheira (Vt)

$$Vt = Vmm \times n^{\text{o}} \text{ meses (m}^3\text{)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Foi adotado para as trincheiras a forma geométrica de trapézio, afim de facilitar a execução da 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)

$$L(m) = \frac{Vt}{A} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$A \text{ (m}^2\text{)} = \frac{(B+b)}{2} \times H \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

B = Base maior (m)

b = Base menor (m)

H = Profundidade (m)

3.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo)

Para calcular o volume de ocupação dos resíduos por trincheira foi utilizada a fórmula criada por Marcelo Rigonatto que é especialista em estatística e modelagem matemática:

$$Vo = \frac{h}{3} \times (SB + \sqrt{SB \times Sb} + Sb) \quad (\text{Eq. 9})$$

Em que:

Vo = 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 (Ve)

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.

$$Ve = \frac{h}{3} \times (SB + \sqrt{SB \times Sb} + Sb) \quad (\text{Eq. 10})$$

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:

$$N^{\circ} \text{ de células} = \frac{\Sigma Va (2018 a 2032)}{Vo} \quad (\text{Eq. 11})$$

3.7 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO

Área superficial (As):

$$As = L \times b \text{ (m}^2\text{)} \quad (\text{Eq. 12})$$

O cálculo da área superficial de cada célula servirá para contabilizar a quantidade de trincheiras que serão escavadas, qual será a área necessária para a execução destas trincheiras e qual será a área necessária para a implantação do futuro aterro sanitário em valas manual.

3.8 DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS TRINCHEIRAS

Com o auxílio das ferramentas de geoprocessamento, foram levantados os dados sobre o solo onde será implantado o aterro. Por não ter a qualidade de solo definida, foi adotada a impermeabilização da base e das laterais por mantas em PEAD (Polietileno de Alta Densidade). Segundo Castilhos Junior (2003), em geral, as geomembranas cobrem uma

camada de solo compactado, com espessura mínima de 60 cm e k (condutividade hidráulica) menor que 10^{-7} cm/s. Esta combinação é de suma importância, pois caso haja perfuração da geomembrana, o solo impedirá o vazamento dos líquidos para o lençol freático.

3.8.1 Dimensionamento da manta

Considerar 1,5 metros de ancoragem em cada lado

Direção da largura da trincheira:

$$Dl = 2 \times D + Lf + 2 \times a \quad (\text{Eq. 13})$$

Direção do comprimento da trincheira:

$$Dc = 2 \times D + Lf + 2 \times a \quad (\text{Eq. 14})$$

Área da manta:

$$\text{Área da manta} = Dl \times Dc \quad (\text{Eq. 15})$$

3.9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS

PLUVIAIS

O dimensionamento do sistema de drenagem das águas pluviais se faz necessário em razão do acúmulo de água nas valas que irá aumentar o volume de chorume produzido, bem como, sobrecarregar o sistema de tratamento e prejudicar o preenchimento adequado das valas.

Para dimensionar a vazão do sistema, conforme Oliveira (2013) foi utilizado o Método Racional, que consiste na utilização da fórmula que segue:

$$Q = C \times i \times A \quad (\text{Eq. 16})$$

Em que:

Q = Vazão a ser drenada (m^3/s);

A = Área da bacia contribuinte (km^2);

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

i = Intensidade da chuva crítica (mm/h)

0,278 = coeficiente resultante do arranjo das unidades dos parâmetros usados.

$$i = \frac{K \times T^a}{(t+b)^c} \quad (\text{Eq. 17})$$

Em que:

T = período de retorno (anos)

t = duração da precipitação (minutos)

K, a, b, c = parâmetros relativos à localidade.

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

$$Q = \frac{1}{n} \times S \times RH^{2/3} \times I^{1/2} \quad (\text{Eq. 18})$$

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

Em que:

Q = Vazão de projeto = vazão a ser drenada (m³/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, Obladen e Barros (2009), é aconselhável que se calcule o valor da vazão do percolado através método suíço:

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K, \quad (\text{Eq. 19})$$

Em que:

Q = Vazão (L/s)

K = 0,35 (geralmente adotado para aterro com compactação entre 0,4 e 0,7 t/m³)

A = Área do aterro (m²)

P = Precipitação anual (mm/ano) t = 31.536.000 (seg/ano)

O critério básico para dimensionamento da lagoa facultativa, segundo Hermann e Gloyna (*apud* Obladen, Obladen e Barros, 2009), é a aplicação das fórmulas:

$$T = 3,5 \times \frac{Y}{200} \times (1,072^{(35-t)}) \quad (\text{Eq. 20})$$

Em que:

T= Tempo de detenção em dias

t= Temperatura média (°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:

$$V = Q \times T \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde:

Q = m³/s

T = dias

Adotando-se a relação de 1:2 dos taludes, e definindo a profundidade em torno de 1,50m, obtêm-se as dimensões de superfície e fundo 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.

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 a Tabela 02, especialmente quando forem significativas:

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

Tabela 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).

Caso haja a necessidade de se fazer o escoamento dos gases gerados, Lange et al. (2008) aconselham que se utilizem drenos verticais ou horizontais para a retirada do gás dos aterros. Normalmente os drenos verticais são mais utilizados, sendo sempre interligados com os drenos horizontais de lixiviados. No dimensionamento do dreno vertical, podem-se utilizar equações de fluxo de fluídos (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 devem ser preenchidos com brita 3, 4 ou 5.

3.12 COBERTURA FINAL

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

3.13 PROJETO EXECUTIVO

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

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 empreendimento;

Configuração final do aterro;

Acessos, portões, cercamento e cerca viva no perímetro do local, bem como guarita e edificações que se façam necessárias;

Sistemas de proteção ambiental necessários;

Localização dos pontos de coleta de águas superficiais.

3.14 LEVANTAMENTO DO CUSTO

De posse de todos os projetos, volume de escavação, material a ser utilizado, máquinas necessárias para a implantação, e demais itens, foi calculado o custo para implantação do aterro em uma tabela em excel, que utilizará como base a tabela do SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil, que tem a gestão compartilhada entre a Caixa e o IBGE que são consultados e utilizados como referência na elaboração de projetos.

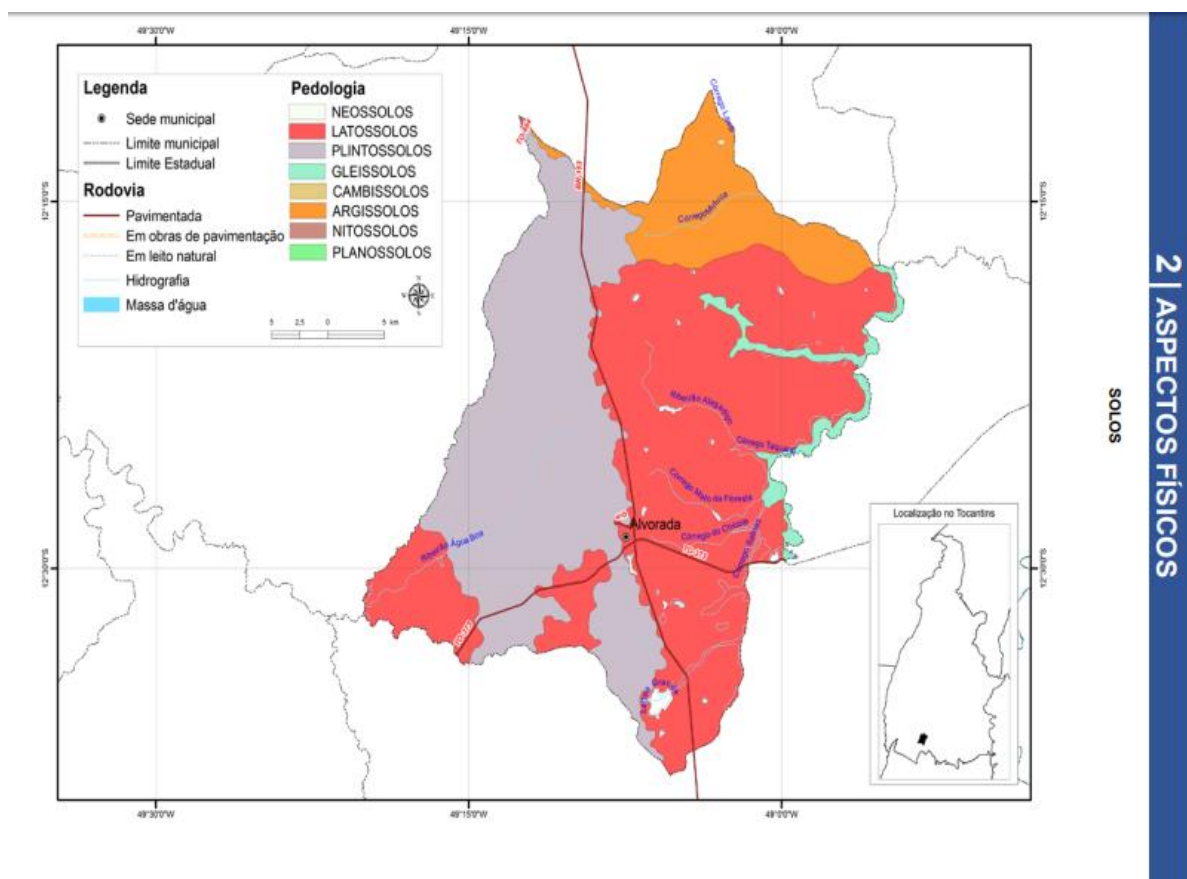
4. RESULTADOS

4.1 OBJETO DE ESTUDO

O município de Alvorada - TO, localizado na região sul do estado do Tocantins, a segundo o último censo realizado pelo IBGE em 2010, possuía uma população de 8.374 habitantes, com uma estimativa populacional para o ano de 2018 de 8.427 habitantes.

Em uma consulta ao Perfil Socioeconômico dos Municípios, realizado pela SEPLAN em Março/2017, pode se observar que o solo no município é uma associação de Latossolos e Plintossolos e apresenta textura argilosa.

Figura 2 – Classificação dos Solos em Alvorada-TO.



Fonte: SEPLAN (2017)

Atualmente o município de Alvorada faz o descarte dos resíduos produzidos em um lixão, porém existe uma Associação de Coleta, na qual são coletadas e enviadas mensalmente 26 toneladas de resíduos para a Usina de Reciclagem de Anápolis – GO.

Figura 3: Lixão existente no município de Alvorada-TO.



Fonte: Autor (2018)

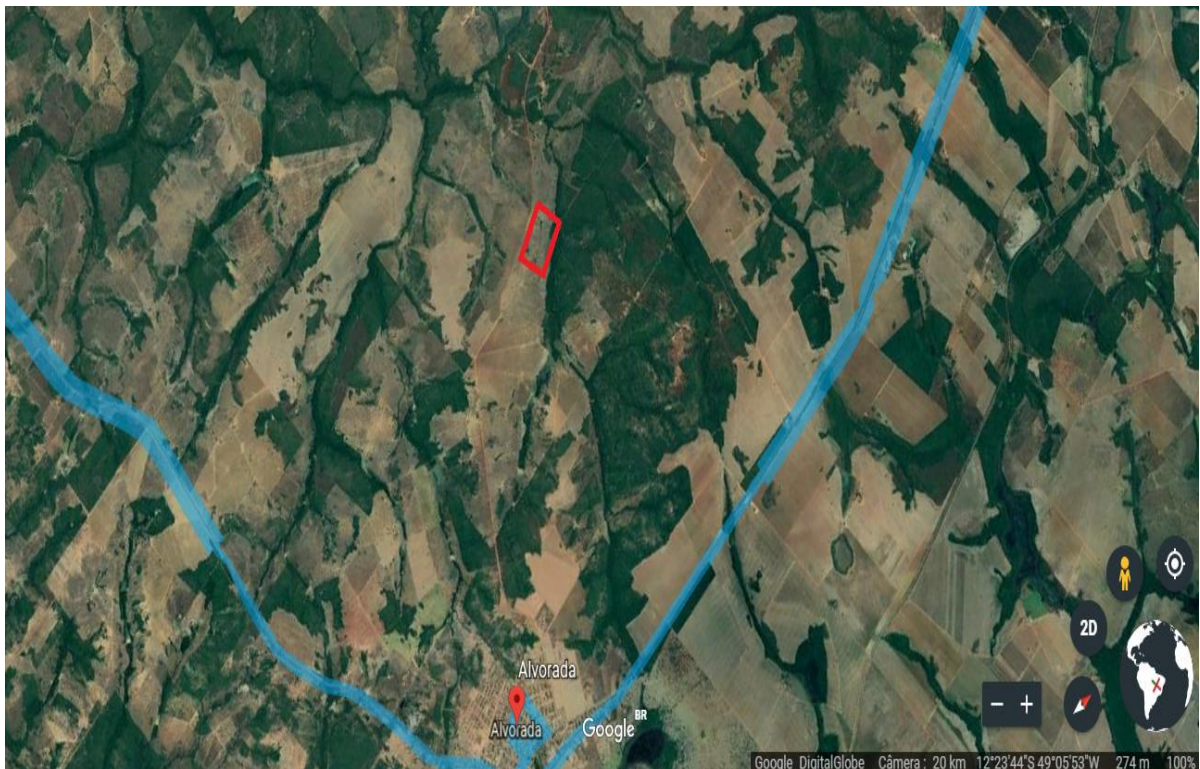
Figura 4: Disposição dos resíduos no município de Alvorada-TO.



Fonte: Autor (2018)

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 no Brasil” em 2015, constatando que o estado do Tocantins teve uma coleta per capita (kg/hab/dia) de 0,668, multiplicamos a quantidade de habitantes estimada, pela média de resíduos gerados segundo a pesquisa. Foi adotada a mesma taxa do crescimento populacional para a produção de lixo.

Figura 05 – Vista aérea da área onde fica localizado o Aterro Sanitário do município de Alvorada-TO.



Fonte: Google (2018)

Figura 6 – Local Proposto pelo Autor para Implantação do Aterro



Fonte: Autor (2018)

Figura 7 – Local Proposto pelo Autor para Implantação do Aterro



Fonte: Autor (2018)

Em vista de todas as características da área selecionada para implantação do projeto de aterro sanitário para a cidade de Alvorada, foi constatado que é possível desenvolver e executar o projeto, pois atenderam segundo a ABNT (2010), os critérios de seleção de área, observados no mínimo os seguintes fatores:

- Não há corpos d'água superficiais no entorno da área, na distância mínima recomendada 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 %;
- Não há núcleos populacionais no entorno da distancia mínima de 500m da área do aterro. O local proposto, está localizado a 6km do município.

4.2 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO

A NBR 15849 (ABNT, 2010) recomenda que projetos de aterros sanitários de pequeno porte devem ter no mínimo uma vida útil de 15 anos, por isso o aterro sanitário em valas manual para a cidade de Alvorada - TO terá vida útil de acordo com o que é recomendado pela norma.

4.3 PREVISÃO DO CRESCIMENTO POPULACIONAL DO MUNICÍPIO

A previsão do crescimento populacional foi calculada através do método exponencial. A produção de lixo produzida foi calculada a partir do índice de produção diária obtido na pesquisa Abrelpe, que foi de 0,668 (kg/hab/dia) e multiplicado pela população.

Quadro 1 – Estimativa Populacional e Produção diária de Lixo do município de Alvorada – TO.

ANO	PORCENTAGEM DE CRESCIMENTO	POPULAÇÃO TOTAL	PRODUÇÃO DE LIXO PER CAPITA	PRODUÇÃO DIÁRIA DE LIXO
2010	-	8374	0,665	4704,82
2018	0,08	8428	0,670	4776,59
2019	0,08	8434	0,670	4785,62
2020	0,08	8441	0,671	4794,67
2021	0,08	8448	0,671	4803,73
2022	0,08	8455	0,672	4812,80

2023	0,08	8462	0,672	4821,89
2024	0,08	8468	0,673	4831,00
2025	0,08	8475	0,673	4840,12
2026	0,08	8482	0,674	4849,25
2027	0,08	8489	0,674	4858,40
2028	0,08	8495	0,675	4867,57
2029	0,08	8502	0,676	4876,75
2030	0,08	8509	0,676	4885,94
2031	0,08	8516	0,677	4895,15
2032	0,08	8523	0,677	4904,37
2033	0,08	8529	0,678	4913,61

Fonte: Do Autor (2018).

4.4. DIMENSIONAMENTO DAS TRINCHEIRAS

4.4.1 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 município 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. A densidade do RSU adotada foi de 500 kg/m³.

Quadro 2 – Estimativa Volume Médio Diário e Anual de Resíduos do município de Alvorada – TO.

ANO	POPULAÇÃO TOTAL	PRODUÇÃO DIÁRIA DE LIXO (KG)	VOLUME MÉDIO DIÁRIO (M ³)	VOLUME MÉDIO ANUAL (M ³)
2010	8374	4704,82	11,76	4293,15
2018	8428	4776,59	11,94	4358,63
2019	8434	4785,62	11,96	4366,88
2020	8441	4794,67	11,99	4375,12
2021	8448	4803,73	12,01	4383,40
2022	8455	4812,80	12,03	4391,68
2023	8462	4821,89	12,05	4399,98
2024	8468	4831,00	12,08	4408,29
2025	8475	4840,12	12,10	4416,61
2026	8482	4849,25	12,12	4424,94
2027	8489	4858,40	12,15	4433,29
2028	8495	4867,57	12,17	4441,65
2029	8502	4876,75	12,19	4450,03
2030	8509	4885,94	12,21	4458,42
2031	8516	4895,15	12,24	4466,82
2032	8523	4904,37	12,26	4475,24
2033	8529	4913,61	12,28	4483,67

Fonte: Do Autor (2018)

4.5 VOLUMES E DIMENSÕES DAS TRINCHEIRAS

4.5.2 Volume médio diário de ocupação (Vmd)

Somatória anual de resíduos= \sum 4.366,88 + 4.375,12 + 4.383,40 + 4.391,68 + 4.399,98 + 4.408,29 + 4.416,61 + 4.424,94 + 4.433,29 + 4.441,65 + 4.450,03 + 4.458,43 + 4.466,82 + 4.475,24 + 4.483,67 = 66.376,03 m³

Volume Médio Diário (Vmd)

Tempo: 15 anos

Somatório de resíduos: 66.376,03 m³

$Vmd = 66.376,03 / (15 * 365)$

Vmd= 12,12 m³

4.5.2. Volume médio mensal de resíduos (Vmm)

Volume Médio Mensal (Vmm)

Vmm: 12,12 m³ * 30 dias = 363,70 m³/mês.

4.5.3 Volume da trincheira (Vt)

O cálculo do volume da trincheira foi feito considerando que cada trincheira será completamente preenchida em 2 meses.

Volume médio mensal: 363,70 m³

Tempo: 2 meses

$Vt = 363,70 \text{ m}^3 * 2 \text{ meses}$

Vt: 727,41 m³

4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L)

Dados:

Inclinação = 1/1

Base menor = 3 m

Altura = 3 m

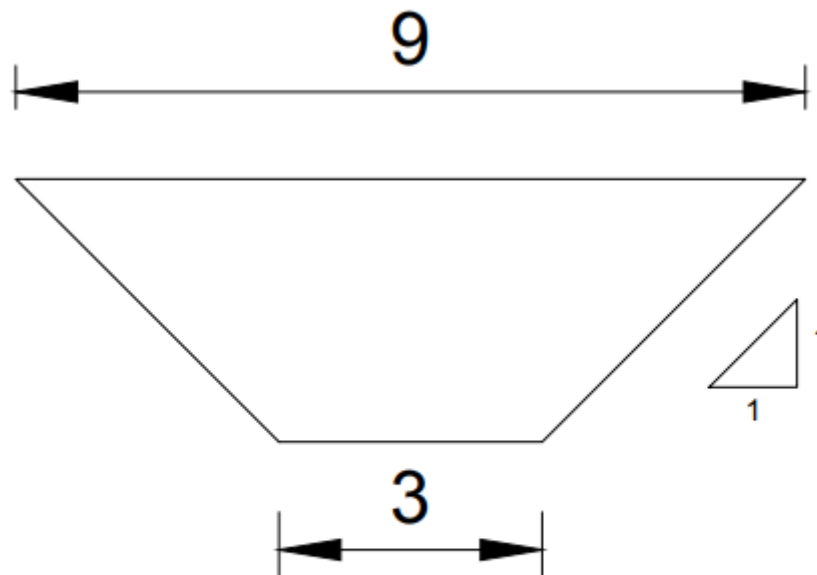
Base maior = 9m

Volume da trincheira = 727,41 m³

Área transversal = $((9+3)/2)*3 = 18 \text{ m}^2$

$L = 727,41 / 18 = 40,41 = 41\text{m}$

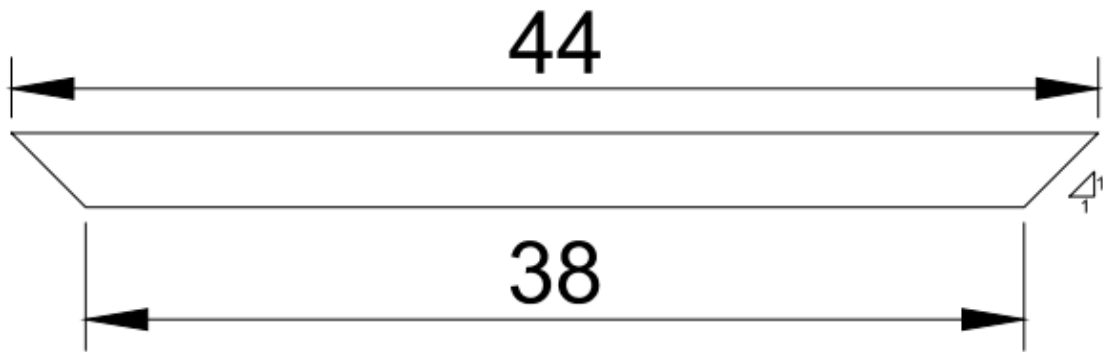
Figura 8 – Seção Transversal da Trincheira



CORTE AA - SEÇÃO TRANSVERSAL DE UMA TRINCHEIRA

Fonte: Autor (2018)

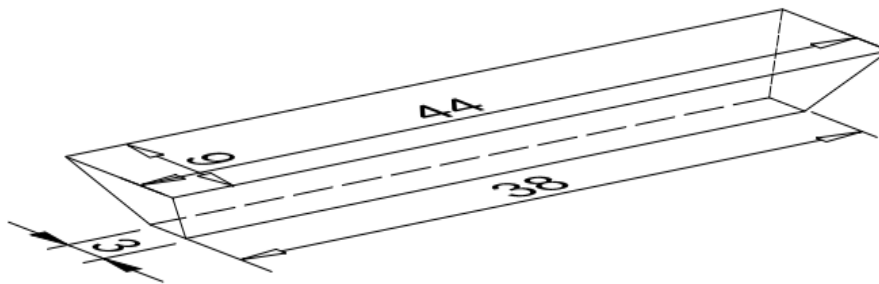
Figura 9 – Seção Lateral da Trincheira



CORTE BB - SEÇÃO LATERAL DE UMA TRINCHEIRA

Fonte: Autor (2018)

Figura 10 – Detalhe Isométrico de uma Vala



Fonte: Autor (2018)

Com base no cálculo feito pelo comprimento médio obtivemos 41 m, fazendo a relação entre a inclinação da vala de 1:1 e a profundidade de 3 m, vamos adotar a base maior de 44 m e a menor de 38 m.

4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (V_o)

Área da base maior da trincheira (superfície):

Comprimento = 44 m

Largura = 9,00 m

Área = $44 * 9,00 = 396 \text{ m}^2$

Área inferior da vala

Comprimento = 38 m

Largura = 3,00 m

Área = $38 * 3 = 114 \text{ m}^2$

Profundidade da vala

Profundidade = 3,00 m

Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo):

$V_o = 3/3 * ((\sqrt{(396 * 114)} + 114 + 396) = 722,47 \text{ m}^3$

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 fundo de cada trincheira antes da execução da impermeabilização, as dimensões de escavação das valas foram as seguintes:

Geometria da trincheira:

Base maior = $9,00 + (2 * 0,60) = 10,20 \text{ m}$

Base menor = 3,00 m

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

Comprimento maior = $44,00 + (2 * 0,60) = 45,20 \text{ m}$

Comprimento menor = 38,00 m

Área da base maior da trincheira (superfície):

Comprimento = 45,20 m

Largura = 10,20 m

Área = $45,20 * 10,20 = 461,04 \text{ m}^2$

Área da base menor da trincheira (fundo):

Comprimento = 38,00 m

Largura = 3,00 m

Área = $38 * 3,00 = 114,00 \text{ m}^2$

Profundidade da trincheira:

Profundidade = **3,60 m**

Volume de escavação das trincheiras (Ve):

$$Ve = 3,60/3 * ((\sqrt{461,04 + 114}) + 461,04 + 114) = 965,15 \text{ m}^3$$

4.6 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CÉLULAS (TRINCHEIRAS) PARA OS ANOS DE VIDA ÚTIL DO PROJETO.

Quantidade de Valas = $(4.366,88 + 4.375,12 + 4.383,40 + 4.391,68 + 4.399,98 + 4.408,29 + 4.416,61 + 4.424,94 + 4.433,29 + 4.441,65 + 4.450,03 + 4.458,43 + 4.466,82 + 4.475,24 + 4.483,67)/722,47 = 91,87 = 92$ valas.

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

4.7 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO

Área de uma trincheira = $9 * 44 = 396 \text{ m}^2$

Área total das trincheiras = $92 * 44 = 36.432 \text{ m}^2$

4.8 DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS TRINCHEIRAS

É importante saber que o uso do solo com coeficiente de condutividade hidráulica abaixo de 10^{-7} cm/s é de suma importância, pois caso haja perfuração da geomembrana, o revestimento mineral ajudará a impedir o vazamento do lixiviado.

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

Direção da largura da trincheira:

$$Dl = 2 * 4,24 + 3 + 2 * 1,5 = 14,48$$

Direção do comprimento da trincheira:

$$Dc = 2 * 4,24 + 38 + 2 * 1,5 = 49,48$$

Área da manta:

$$\text{Área da manta} = 14,48 \times 49,48 = 716,47$$

Área da manta para o aterro com 92 células

$$\text{Área} = 716,47 \times 92 = 65.915,24 \text{ m}^2$$

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.

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 e para coletar os dados necessários para este cálculo, foi utilizado o programa Plúvio 2.1, que forneceu os valores de K, a, b e c.

Figura 12 – Parâmetros da Equação IDF

The screenshot shows the 'Plúvio 2.1' software interface. The window title is 'Plúvio 2.1 - Estado: Tocantins'. The main area displays a map of Tocantins with a blue shaded region and a vertical line indicating a specific location. The coordinates shown are 49°07'29\"/>

Latitude: 12°28'48\"/>

Longitude: 49°07'29\"/>

Parâmetros da Equação IDF

K:	9989,560	a:	0,211
b:	56,638	c:	1,087

Fonte: Plúvio 2.1(2018)

Dados:

$$K = 9989,56$$

$$A=0,211$$

$$b = 56,638$$

$$e= 1,087$$

$$i = ((9989,56 * 5^{0,211}) / ((30 + 56,638)^{1,087})) = 109,84 \text{ mm/h}$$

$$A = 296,00 \times 314,00 = \mathbf{92.944,00 \text{ m}^2}$$

Foi adotado o escoamento superficial do DNIT (2005) para o tempo de retorno de 5 anos .

Quadro 03 - Tempo de Retorno

OBRAS	TR ADOTADO	FUNCIONAMENTO
Drenagem profunda e subsuperficial	10 anos	
Dispositivos de drenagem superficial	5 anos	Canal
Bueiros tubulares e celulares	15 anos	Canal
Ponte, pontilhão	50 a 100 anos	Canal

Fonte: DNIT (2005).

Quadro 04 - Valores de C para várias superfícies, declividade e tempos de retorno

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.

$$Q = 0,278 * 0,28 * 109,84 * 0,0929 = 0,794 \text{ m}^3/\text{s}$$

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 ou perímetro molhado (m) = $D/4$;

Q = 0,397 em razão de se adotar a execução de duas canaletas para drenagem.

$$0,397 = 1 / 0,013 * ((\pi \times D^2)/8) * ((D^2/3)/(4^2/3)) * 0,02^{1/2}$$

Diâmetro = **0,49 m**

Portanto o diâmetro da canaleta de concreto foi de **500 mm**

4.10 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS

$$Q = \frac{1}{31536} \times 1514 \times 92944 \times 0,3 = 1,33 \text{ L/s}$$

Em que:

A precipitação anual foi extraída do site Clima-Tempo que possui valores calculados a partir de um série de dados de 30 anos observados. A precipitação média anual da cidade de Alvorada – Tocantins é de 1514 mm.

$K = 0,3$ (coeficiente de compactação para aterros fracamente compactados entre 0,4 e 0,7 t/m³)

Para o dimensionamento do dreno de lixiviado, verifica-se que o diâmetro de (40 mm) é suficiente, mesmo sem utilizar as equações usuais de hidráulica, pois como os volumes gerados são muito pequenos, é adequado adotar o menor diâmetro comercial.

Sistema de tratamento dos efluentes líquidos

Os efluentes líquidos gerados em um aterro sanitário compõem-se, fundamentalmente, da água aderida à fração orgânica do resíduo em suas fontes de produção e das águas de chuva incidentes diretamente sobre a área do aterro e líquidos lixiviados através de sua massa. Uma vez captado, o efluente deverá ser submetido a processos de tratamento, tais como: sistemas de lagoas de estabilização, filtros biológicos, pré-tratamento e recirculação, etc., para redução de sua carga orgânica antes do lançamento na natureza.

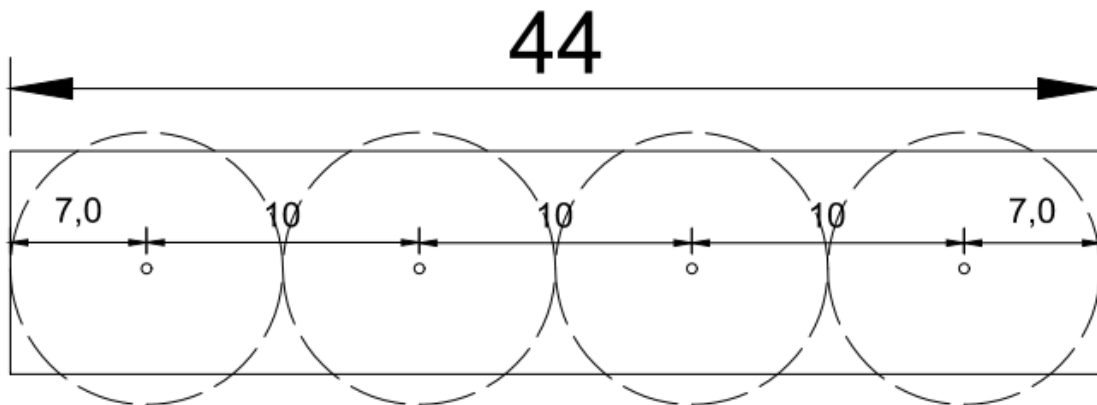
O dimensionamento do sistema de tratamento dos lixiviados será realizado após a realização de estudos e experimentos a partir de amostragens do efluente gerado. Dependendo da qualidade do efluente e do seu pequeno volume gerado, aliado às características de permeabilidade do solo, possibilita tecnicamente que seja dispensada a instalação de um sistema para tratamento dos lixiviados mais complexo, tendo como alternativa de tratamento a construção de uma fossa séptica com filtro anaeróbico com sumidouro.

4.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE GASES.

Os drenos dos gases serão dispostos sobre a rede de drenagem do tratamento de lixiviados, atravessando verticalmente o aterro desde a base até a superfície da camada final do aterro.

Para o aterro de Alvorada-TO, os drenos dos gases serão dispostos sobre a rede, e terão comprimento de 4,10m distanciados entre si em 10 metros e a 7 metros da borda do aterro. Será utilizada a mesma tubulação do sistema de captação de lixiviados.

Figura 13 – Disposição da tubulação de drenagem de gases



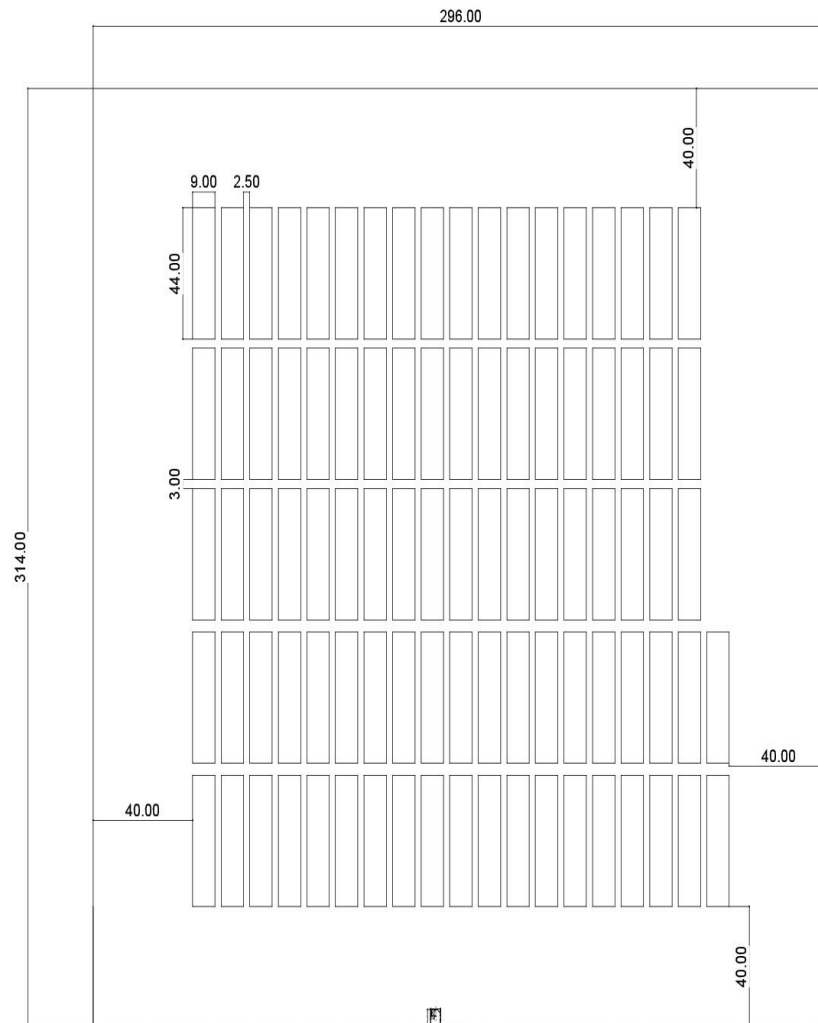
Fonte: Autor (2018)

4.12 COBERTURA FINAL.

A cobertura final tem por objetivo evitar a infiltração de águas pluviais, que resulta em aumento do volume de lixiviado, bem como no vazamento dos gases gerados na degradação da matéria orgânica para a atmosfera. A cobertura final também favorece a recuperação final da área e o crescimento de vegetação. Como camada de cobertura dos resíduos, será utilizado o mesmo solo escavado por ser um solo com textura argilosa que propicia a plantação de uma camada vegetal para recuperação da vegetação. Essa camada terá altura de 60cm.

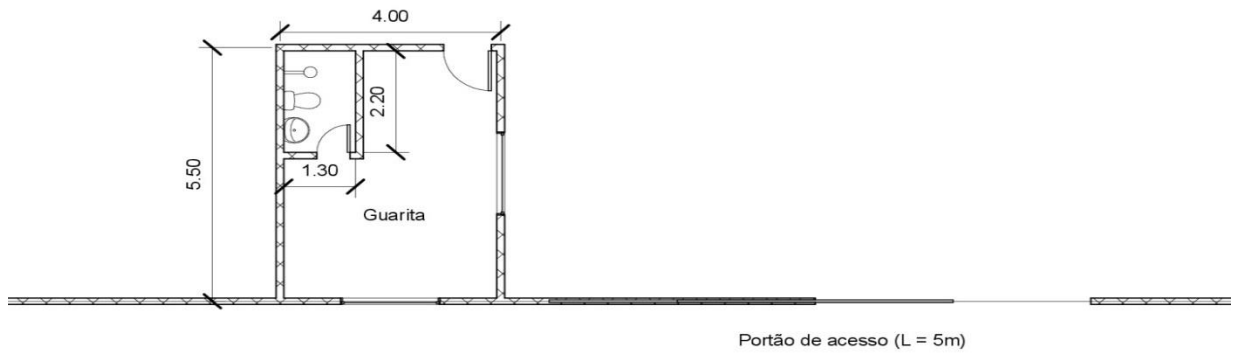
4.13 PROPOSTA EXECUTIVA

Figura 14 – Disposição das Valas com Cotas e medidas final do isolamento do aterro.



Fonte: Autor (2018)

Figura 15 – Locação Guarita e portão de acesso



Fonte: Autor (2018)

4.14 LEVANTAMENTO DO CUSTO

Tabela 3 – Estimativa de Custo para Implantação do Aterro.

Item	Código	Descrição	Und	Quant.	Valor Unit	Total
1		SERVIÇOS PRELIMINARES				43.683,68
1.1	73822/002	LIMPEZA MECANIZADA DE TERRENO COM REMOCAO DE CAMADA VEGETAL, UTILIZANDO MOTONIVELADORA	m ²	92.944,00	0,47	43.683,68
2		MOVIMENTAÇÃO DE TERRA (ESCAVAÇÃO DAS VALAS)				365.830,45
2.1	90094	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALA COM PROF. MAIOR QUE 3,0 M ATÉ 4,5 M (MÉDIA ENTRE MONTANTE E JUSANTE/UMA COMPOSIÇÃO POR TRECHO), COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA (0,8 M3/111 HP), LARG. MENOR QUE 1,5 M, EM SOLO DE 1A CATEGORIA, LOCAIS COM BAIXO NÍVEL DE INTERFERÊNCIA. AF_01/2015	m ³	88.793,80	4,12	365.830,45
3		DRENAGEM				107.742,97
3.1	83678	TUBO CONCRETO SIMPLES DN 500 MM PARA DRENAGEM - FORNECIMENTO E INSTALACAO INCLUSIVE ESCAVACAO MANUAL 2M3/M	M	628,00	153,42	96.347,76
3.2	89448	TUBO, PVC, SOLDÁVEL, DN 40MM, INSTALADO EM PRUMADA DE ÁGUA - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2014	M	1.131,60	10,07	11.395,21
4		IMPERMEABILIZAÇÃO				1.229.319,22
4.1	00025863	MANTA TERMOPLASTICA, PEAD, GEOMEMBRANA LISA, E = 1,00 MM (NBR 15352)	m ²	65.915,24	18,65	1.229.319,22
5		ISOLAMENTO				26.247,51
5.1	74142/002	CERCA COM MOUROES DE MADEIRA, 7,5X7,5CM, ESPACAMENTO DE 2M, ALTURA LIVRE DE 2M, CRAVADOS 0,5M, COM 4 FIOS DE ARAME FARPADO Nº 14 CLASSE 250	M	1.220,00	19,60	23.912,00
5.2	68054	PORTAO DE FERRO EM CHAPA GALVANIZADA PLANA 14 GSG	m ²	10,50	222,43	2.335,51

Total R\$ 1.772.823,83

Fonte: Autor (2018)

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou as etapas de um projeto de aterro sanitário em valas para a cidade de Alvorada - TO. A população levantada e a quantidade de resíduos produzidos no município permitem a implantação do aterro sanitário em valas, por se tratar de um município de pequeno porte que produz menos de 10 toneladas de resíduos diariamente. O aterro foi dimensionado para atender a geração de resíduos sólidos da população atual e da sua projeção para os próximos 15 anos. O local proposto apresenta solo com texturas argilosas e não está dentro de nenhuma das restrições estabelecidas pela NBR 13896, por isso é ideal para implantação do aterro. Apenas pelo custo estimado de implantação do aterro, não podemos afirmar se o aterro seria economicamente viável, pois é necessário um estudo mais detalhado para quantificar qual seria o retorno financeiro que esse aterro proporcionaria para o município.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos Sólidos –
Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10006** – Gestão da
qualidade - Diretrizes para a qualidade no gerenciamento de Projetos. Rio de Janeiro
2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**: Resíduos Sólidos
Urbanos - Aterros sanitários de pequeno porte - Diretrizes para localização,
projeto, implantação, operação e encerramento. 1 ed. Rio de Janeiro, 2010. 24 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: Apresentação de
projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. 1 ed. Rio de Janeiro, 1992. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8849**: Apresentação de
Projetos de Aterros Controlados de Resíduos Sólidos Urbanos. 1 ed. Rio de Janeiro,
1985. 9 p.

BRUSCHI, Denise Marília. **Orientações básicas para a operação de aterro sanitário**.
Belo Horizonte: FEAM, 2006. 36 p.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de. **Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro
Sustentável para Municípios de Pequeno Porte**. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos,
2003. 294 p.

ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira van. **Redução de emissões na disposição final**.
Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p.

JUCÁ, José Fernando. **Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil** (2014).
REGEO2003-Jucá-GRS-UFPE.

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.

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

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.

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

PEREIRA, SS., and CURI, RC. **Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de materiais recicláveis no processo de gestão ambiental**. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. *Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa* [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 149-172. ISBN 9788578792824.

REICHERT, Geraldo Antônio. **Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários**. 2007. 114 p.

SANTOS, Layara de Paula Sousa et al. Software para Pré-Dimensionamento de Aterro Sanitário pelo Método Das Trincheiras Destinado a Municípios de Pequeno Porte. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 398-404, jan. 2016.

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