



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*

Thiago Miguel Da Silva Arrais

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, PARA A CIDADE DE RIO DA CONCEIÇÃO – TO

Palmas – TO

2018

Thiago Miguel Da Silva Arrais
PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS PARA RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS, PARA A CIDADE DE RIO DA CONCEIÇÃO – 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. Dr. José Geraldo Delvaux Silva.

Palmas – TO
2018

RESUMO

ARRAIS, THIAGO MIGUEL DA SILVA. **Projeto de aterro sanitário em valas para resíduos sólidos urbanos, para a cidade de Rio da Conceição – TO.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de 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 município de Rio da Conceição – TO, localizado a aproximadamente 249 km de distância de Palmas – TO. Conforme o estimativa IBGE (2017) este município possuía uma população 2078 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

ARRAIS, THIAGO MIGUEL DA SILVA. Sanitary landfill project in urban solid waste ditches for the city of Monte Santo do Tocantins - TO. 2018. Course Completion Work (Graduation) - Civil Engineering Course. Luterano University Center of Palmas, Palmas-TO, 2018.

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 this work was the municipality of Rio da Conceição - TO, located approximately 249 km away from Palmas - TO. According to IBGE (2010) this municipality had a population of 2078 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.	18
Quadro 02 – Instruções para drenagem dos gases.....	38
Quadro 03 - Previsão de crescimento populacional	45
Quadro 04 - Tempo de Retomo.....	59
Quadro 05 - Valores de C para várias superfícies, declividade e tempos de retomo .	59

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	27
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 Rio da Conceição -TO	40
Figura 08 - Vista aérea da área onde ficará localizado o Aterro Sanitário do município de Rio da Conceição -TO	41
Figura 09 - Mapa geológico do estado do Tocantins	42
Figura 10 – Ampliação da legenda do mapa geológico.....	42
Figura 11 - Taxa geométrica de crescimento em porcentagem por classe de tamanho de município	44
Figura 12 - Gráfico dos volumes de RSU gerados durante os anos da vida útil	52
Figura 13 – Dimensões da seção transversal da vala	53
Figura 14 – Comprimento da base maior e menor da vala	54
Figura 15 – Dimensões de escavação das valas	56
Figura 16 - Parâmetros da Equação IDF.....	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
1.1 OBJETIVOS.....	12
1.1.1 Objetivo Geral.....	12
1.1.2 Objetivos Específicos.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	155
2.1 HISTÓRICO DO LIXO E DO ATERRO SANITÁRIO	155
2.2 DEFINIÇÕES	166
2.2.1 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos	16
2.2.2 Aterro controlado.....	16
2.2.3 Lixão	16
2.2.4 Aterro Sanitários em Valas.....	17
2.2.5 Lei nº 12.305	17
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	22
2.4.1 Memorial Descritivo.....	22
2.4.2 Elementos do Projeto	24
2.4.3 Memorial Técnico.....	29
3 METODOLOGIA	29
3.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.
3.2 OBJETO DE ESTUDO	29
3.3 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO	30

3.4 DIMENSIONAMENTO DAS VALAS	30
3.4.1 Previsão de crescimento populacional do município.....	30
3.4.2 Produção diária de R.S.U e produção per capita	30
3.5 VOLUMES E DIMENSÕES DAS VALAS	31
3.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)	32
3.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)	32
3.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	32
3.5.4 Comprimento médio da trincheira (L).....	32
3.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo)	32
3.5.6 Volume de escavação das Valas (Ve)	33
3.6 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CÉLULAS (VALAS) PARA OS ANOS DE VIDA ÚTIL DO PROJETO	33
3.7 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO	33
3.8 DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS VALAS	34
3.8.1 Dimensionamento do solo.....	34
3.8.2 Dimensionamento da manta	34
3.9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS ..	35
3.10 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS	36
3.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE GASES	37
3.12 ISOLAMENTO DO ATERRO.....	38
3.13 COBERTURA FINAL	38
3.14 PROJETO EXECUTIVO	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 ESCOLHA E DADOS DO MUNICÍPIO	40
4.2 LEVANTAMENTO DE DADOS DA ÁREA SELECIONADA PARA IMPLANTAÇÃO DO ATERRO	41
4.3 DETERMINAÇÃO DA VIDA ÚTIL DO ATERRO	43
4.4 DIMENSIONAMENTO DAS VALAS	44
4.4.1 Previsão de crescimento populacional do município.....	44
4.4.2 Produção diária de R.S.U. e produção de resíduos per capita	45

4.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto	46
4.5 VOLUMES E DIMENSÕES DAS VALAS	52
4.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)	52
4.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)	52
4.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	52
4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L).....	53
4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo).....	54
4.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (Ve)	55
4.6 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE VALAS PARA OS 15 ANOS DE VIDA ÚTIL DO PROJETO.....	56
4.7 ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO	56
4.8 DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS VALAS	56
4.8.1 Dimensionamento do solo.....	57
4.8.2 Dimensionamento da manta	57
4.9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS ..	57
4.9.1 Intensidade da chuva crítica (i).....	58
4.9.2 Área da bacia Contribuinte (A)	58
4.9.3 Coeficiente de escoamento superficial (C).....	59
4.9.4 Vazão drenada.....	60
4.9.5 Dimensionamento do canal de drenagem de águas pluviais.....	60
4.10 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS	60
4.10.1 Vazão	60
4.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE GASES	60
4.12 ISOLAMENTO DO ATERRO.....	61
4.13 COBERTURA FINAL	61
5 CONCLUSÃO.....	62
6 REFERÊNCIAS	63
7 ANEXOS	65

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008, online), somente 27,7% das cidades brasileiras possuíam aterros sanitários, 22,5% possuíam aterros controlados e 50,8% das cidades despejam o lixo produzido em lixões. É possível visualizar que a quantidade de aterros sanitários ativos no Brasil ainda está longe de ser o número ideal e o número de lixões é quase o dobro em relação aos aterros sanitários.

Ainda sobre a pesquisa citada anteriormente, os serviços de manejo dos resíduos sólidos compreendem a coleta, a limpeza pública bem como a destinação final desses resíduos, e exercem um forte impacto no orçamento das administrações municipais, podendo atingir 20,0% dos gastos da municipalidade. Os gastos elevados com aterros resultam em uma quantidade baixíssima de aterros em operação no país, visto que muitos administradores públicos não querem investir tanto neste tipo de tratamento de resíduos sólidos, pois para eles o gasto com a execução e principalmente com a operação e manutenção é muito alto mesmo sabendo que o prazo de implantação deste tipo de descarte de resíduos sólidos seria até 2014, poucos municípios se manifestam. Houve uma prorrogação no prazo de implantação de aterros sanitários nos municípios e mesmo assim têm sido apresentados pouquíssimos projetos.

Nas cidades onde não existem aterros sanitários, grande parte do descarte dos resíduos sólidos é feito em lixões a céu aberto. Estes ocasionam diversos tipos de problemas para a sociedade, pois é causa indireta de doenças. O lixão é abrigo e alimento de vetores como moscas, mosquitos, baratas e roedores que geram uma série de doenças aos seres humanos. O lixão também afeta 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. Já o ar poluído pelos gases gerados pela degradação biológica dos resíduos.

Quando se tem um aterro sanitário executado de acordo com as normas e licenças ambientais, se tem um local livre de poluição e dos diversos tipos de doenças gerados pelos vetores. O aterro sanitário é executado de forma a blindar qualquer tipo de doenças gerados pelos vetores. O aterro sanitário é executado de forma a blindar qualquer tipo de problema ou poluição, diferentemente do lixão. A implantação e operação de aterros sanitários são de suma importância em qualquer município, pois visa especialmente manter a saúde e o bem-estar da população e evitar a poluição de corpos hídricos, solo e ar no meio ambiente, bem

como, pode gerar energia através da transformação de gases tóxicos em biogás, além de beneficiar a qualidade de vida dos seres humanos a sua volta.

Municípios que adotam o descarte de resíduos sólidos através de aterros sanitários, impactam positivamente a sociedade e meio ambiente ao seu redor, diminuindo consideravelmente os gastos com saúde pública e tratamento de água.

Existem vários tipos de métodos de aterros sanitários, o foco deste trabalho é o 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 adequem 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 de mais simples, podem ser operados manualmente.

Conforme apresenta o IBGE (2010), o Tocantins possui 139 municípios, destes se levamos em consideração os dados da décima edição do estudo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2013, realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), que apresenta no Tocantins uma coleta per capita de 0,657 (kg/hab./dia), apenas municípios como Araguaína, Araguatins, Colinas, Gurupi, Palmas, Paraíso do Tocantins e Porto Nacional, totalizando 7 municípios, não se enquadrariam nesta modalidade de aterro, visto que sua população multiplicada pela quantidade per capita de lixo gerado no Tocantins, ultrapassa o limite estipulado para este tipo de aterro que será de no máximo 20 toneladas/dia. Mas em contrapartida 132 municípios, o que é a maioria do Estado, e se adequariam perfeitamente neste tipo de descarte de lixo. Isso resolveria o problema de cerca de 94,96% das cidades do estado do Tocantins em relação ao descarte de resíduos sólidos e traria para o estado, impactos positivos imensuráveis tanto na saúde pública, quanto na preservação do meio-ambiente como um todo.

É com base nestes dados, pois engloba a maioria das cidades tocantinenses e na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que obriga todos os municípios da Brasil a terem como forma de descarte de resíduos sólidos o aterro sanitário, que será apresentado no decorrer deste trabalho como é feito o projeto de um aterro sanitário em valas manual para cidades de pequeno porte, apresentando todos os passos deste tipo de

projeção e, além disto, mostrando de uma forma geral todos os mecanismos que envolvem o dimensionamento do aterro.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Apresentar o dimensionamento de um aterro sanitário em valas para disposição final de resíduos sólidos urbanos da cidade de Rio da Conceição - TO.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar as etapas de projeto de aterro sanitário em valas para pequenos municípios.
- Demonstrar o dimensionamento da área e valas em planta.
- Estabelecer rotinas de disposição final dos resíduos.
- Apresentar resultados da implantação.

1.2 Justificativa

Conforme pesquisa elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2008), existe uma tendência nacional de aperfeiçoamento na alocação dos resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados entre os anos de 2000 a 2008, onde os percentuais de resíduos sólidos coletados lançados em locais a céu aberto correspondiam a 72,3% no ano de 2000 havendo uma redução de 21,5% no 2008.

Para os mais variados tipos de resíduos sólidos gerados pela população de um determinado município se faz necessário um correto gerenciamento afim de minimizar os impactos ambientais que tais resíduos podem causar. Segundo o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001) destaca que além das atividades operacionais, o gerenciamento integrado de resíduos sólidos tem a importância de se considerar as questões econômicas e sociais envolvidas no cenário da limpeza urbana e, para tanto, as políticas públicas - locais ou não - que possam estar associadas ao gerenciamento dos resíduos, sejam elas na área de saúde, trabalho e renda, planejamento urbano etc.

Os municípios de pequeno porte cujos possuem até 20 mil habitantes, são responsáveis por 68,5% dos resíduos gerados e constituem 73% do total de municípios brasileiros. Esses mesmos pequenos municípios apresentam problemas na gestão de resíduos sólidos urbanos por carência de conhecimento, falta de recursos, assim não conseguem operar um aterro sanitário de forma adequada.

A maioria das literaturas para aterros sanitários sustentáveis em cidades de pequeno porte fazem uso de aparelhos de alta tecnologia o que invalida o projeto por falta de recursos financeiros, mas de acordo com a legislação nacional (NBR 15.849/2010) indica aterros sanitários em valas para tais municípios onde a mão-de-obra é mais simples e predominantemente manual.

O estado do Tocantins contempla 139 municípios com apenas 7 deles não se enquadrando para o projeto de aterro sanitário em valas pois a quantidade de tonelada/dia ultrapassa o limite tolerado para tal projeto. No entanto os outros 132 municípios que correspondem a 94,96% do total se enquadram.

Muitos desses pequenos municípios não possuem a destinação adequada para seu resíduo sólido urbano, o município de Rio da Conceição é uma dessas cidades interioranas do Tocantins, baseado nessa informação a escolha deste município se adequa aos critérios básicos de projeto para o aterro sanitário em valas.

Vale ressaltar que o benefício de tal projeto não se restringe ao município em questão, mas se cada um dos 132 municípios interioranos realizasse o projeto, o estado seria beneficiado na saúde pública e preservação de seu meio ambiente.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo tem o objetivo de trazer definições, generalidades e mecanismos a respeito dos aterros sanitários e apresentar as metodologias e técnicas que são utilizadas na projeção deste tipo de descarte de RSU – Resíduo Sólido Urbano.

2.1 Histórico do lixo e do Aterro Sanitário

Idade Média acumulava-se pelas ruas e mediações das cidades, gerando doenças e causando a morte de muitas pessoas, com isso surgiram os primeiros serviços de coleta de lixo, cujos eram realizados em geral pelos carrascos da cidade e seus auxiliares. A partir da segunda metade do século XIX, na Revolução Industrial iniciou-se o processo de urbanização, fazendo com que o homem do campo visse para as cidades. Isso fez com que a população urbana aumentasse consideravelmente.

A partir de então, os impactos ambientais passaram a ter um alto grau de importância, devido a diversos tipos de poluição, inclusive a poluição gerada pelo lixo. Foi necessário programar novas medidas para amenizar a complicada situação dos bairros operários e também dos bairros nobres. A solução mais prática naquele momento foi o descarte do lixo em áreas mais distantes das cidades, conhecidos lixões.

Com as cidades cada vez mais populosas e cada vez mais industrializadas nos tempos atuais faz com que os hábitos de seus habitantes mudem, o que provoca mais diversidades e volume de lixos sendo gerados. O Brasil tem como principal tipo de lixo o orgânico, mas como o elevado crescimento da indústria outros tipos de lixo como os produtos descartáveis vem sendo mais encontrados.

O lixo tem seu aumento progressivo em 3 vezes mais do que o crescimento populacional e, com sua destinação para os lixões vem impactando diretamente todo o meio ambiente em volta por falta de um acondicionamento adequado, daí se deu ao início do uso de grandes buracos no solo o que antes eram feitos para o extrativismo mineral. Esses buracos foram usados para acondicionar todo o lixo, mas sem o isolamento feito por mantas começaram a surgir vazamento de chorume e, por conseguinte a contaminação dos aquíferos ali presentes. Com o passar do tempo a engenharia desenvolveu melhores técnicas de acondicionamento e gerenciamento desses resíduos.

2.2 Definições

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

2.2.1 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

Comforme ABNT (1992), aterro sanitário é a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos em uma determinada área correta, preservando a saúde pública e reduzindo possíveis impactos ambientais. Este método utiliza conhecimentos de engenharia, com o objetivo de 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.

Ainda sobre a definição de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos segundo Obladen, Obladen e Barros (2009, p. 7), é uma obra de engenharia concebida numa área estudada para o recebimento dos resíduos, devidamente cercada em seu perímetro, com um controle de rotina para o funcionamento adequado e projeto para pós encerramento da área.

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

2.2.2 Aterro controlado

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 (ABNT, 1985)

2.2.3 Lixão

Lixão é uma área de descarte de resíduos sólidos que não tem preparação do solo. Nele não existe sistema de tratamento para o contaminante gerado (chorume), que infiltra no solo e infecta o corpo hídrico no subsolo. Vários seres vivos convivem com o lixo livremente, e o pior são as pessoas que catam comida e materiais recicláveis para vender. No

lixão o lixo fica exposto 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 no solo de resíduos sólidos urbanos, em escavação com profundidade e largura variável, confinada em todos os lados, oportunizando operação não mecanizada”

Segundo Savastano Neto *et al.* (2010), o aterro sanitário em valas é uma técnica de descarte de resíduos sólidos, em municípios de pequenos portes, que produzem no máximo 20 toneladas de lixo diariamente, pois acima desse volume, seria necessária a abertura constante em valas, tornando o custo mais alto.

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

A área necessária para a implantação deve considerar a quantidade de resíduos gerados e a vida útil do aterro. Também deverá ser prevista a área para cercamento, cinturão verde, escoamento das águas pluviais, acesso e espaço entre valas normalmente a área prevista é a mesma da área superficial das valas.

Para este tipo de aterro sanitário o órgão ambiental não exige a impermeabilização das valas. Na escolha do terreno são considerados o tipo de solo e sua permeabilidade, o nível de lençol freático e o excedente hídrico da região, e ainda garantir uma vida útil mínima de 15 anos, além de respeitar algumas distâncias mínimas, tais como: 500 metros de núcleos habitacionais e 200 metros de qualquer corpo d'água superficial nas proximidades.

2.2.5 Lei nº 12.305

Conforme determinada a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), para os governos municipais são obrigados a elaborar os Planos Municipais Gestão Integrada de Resíduos Sólidos; encerrar os lixões; implantar a coleta seletiva; fazer a compostagem; destinar somente os rejeitos para os aterros sanitários.

Se desrespeitadas estas determinações, podem ser penalizados tanto pessoa física (gestor), quanto a pessoa jurídica (município), de acordo com diferentes trechos da lei. A omissão dos municípios os sujeita as sanções previstas especialmente na lei de Crimes Ambientais – 9.605/1998. As penalidades variam desde a detenção (reclusão de 01 a 04 anos), até multa que pode ser de R\$ 5 mil até R\$ 5 milhões e perda do mandato.

2.2.6 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos

O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos se dá pela ação de diferentes órgãos com o mesmo intuito de realizar a limpeza urbana, coleta, tratamento e disposição final do lixo, para melhoria da saúde pública, conforme Monteiro et al. (2001) evidencia.

Também existe a relevância de se atentar por questões sociais e econômicas envolvidas na limpeza urbana, como também políticas públicas associadas a saúde, trabalho e renda, planejamento urbano, plano de conscientização da população a respeito do assunto, mostrar para as pessoas a possibilidade de gerar menos lixo, não poluir avenidas e locais públicos e o reaproveitamento de produtos descartáveis, mas que podem possuir outra utilidade, entre outros.

2.2.7 Resíduos Sólidos

A ABNT (2004) define como resíduos sólidos aqueles nos estados sólidos e semissólidos, obtidos através de origem industrial, domiciliar, hospitalar, agricultura. Também são considerados como resíduos sólidos os lodos advindos de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos de controle de poluição e líquidos com características que não tem possibilidade de descarte nas redes públicas de esgotos ou corpos hídricos.

Quadro 01 – Classificação de alguns resíduos como não perigosos.

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	A016	Areia de fundição

	papel e papelão		
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)

Para a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010, p. 2) o resíduo sólido urbano é considerado qualquer material ou substância que seja oriunda de atividades humanas, e que tenha um processo de destinação final para o resíduo afim de que não fique ao ar livre poluindo a atmosfera com gases, corpos hídricos com lixiviados e causando malefícios a saúde pública.

2.2.8 Chorume

Para Luz (1981 *apud* SCHALCH *et al.*, 2002), chorume ou sumério é o líquido originado da decomposição do lixo e que é gerado por:

- umidade do lixo, principalmente em grandes períodos de chuva;
- água de constituição dos materiais, que se acumula durante a decomposição;
- líquidos provenientes da decomposição da matéria orgânica.

2.2.9 Biogás

No Brasil os resíduos sólidos geram um tipo de biogás que normalmente apresenta elevado nível de Metano, maior que 55%, e de Dióxido de Carbono, superior a 30%.

Conforme o site do Ministério do Meio Ambiente (2015, online), o biogás começa a ser emanado depois de feita a disposição dos resíduos sólidos no aterro sanitário, os primeiros registros de metano podem ser perceptíveis com três meses, podendo continuar por um período de 20, 30 ou até mais anos depois do encerramento do aterro.

Segundo (IPCC, 1995) o gás proveniente dos aterros contribui consideravelmente para o aumento das emissões globais de metano. As estimativas das emissões globais de metano, provenientes dos aterros, oscilam entre 20 e 70 Tg/ano, enquanto que o total das

emissões globais pelas fontes antropogênicas equivale a 360 Tg/ano, indicando que os aterros podem produzir cerca de 6 a 20 % do total de metano.

2.3 Planejamento

Esta etapa consiste no planejamento adequado do aterro sanitário, executado através de estudos detalhados sobre o assunto, sempre visando o menor impacto ambiental possível.

2.3.1 Estudos Preliminares

Os estudos preliminares têm o intuito estudar as características necessárias para a escolha do tipo de sistema que será adotado. Igualmente, servem de embasamento para o controle posterior ao longo de todo o monitoramento da operação de aterramento dos resíduos da área utilizada. Esses estudos têm duas partes: caracterização do município e diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos utilizados.

Nas características do município que são de uma importância para um projeto de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, pode-se citar dados sobre a população, as atividades socioeconômicas e a infraestruturas do município para os serviços de saneamento básico.

Nos estudos preliminares é importante que seja feito um diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos no município de estudo. Todas as etapas, desde a geração até o destino final devem ser levantadas. Com dados qualitativos e quantitativos sobre as atividades de gestão é possível que se faça um planejamento de melhoria no sistema. São fundamentais informações sobre a geração per capita de resíduos sólidos domésticos e serviços de limpeza na cidade que serão executados (CASTILHO JUNIOR, 2003).

2.3.2 Seleção da Área

Conforme Monteiro et al. (2001), a seleção da área para alocação dos resíduos sólidos deve seguir os requisitos mínimos exigidos pela legislação federal, estadual e municipal, ou seja, precisa estar numa distância de no mínimo a menos de mil metros de residências que abriguem 200 ou mais habitantes e não poderá se situar próximo a aeroportos ou aeródromos. Para melhor escolha do local, é preciso escolher 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.

As recomendações pelas normas federais e estaduais são as seguintes:

- Para aterro impermeabilizado com manta plástica, a distância do lençol freático não deverá ser menor que 1,5 metro.

- Para aterro impermeabilizado 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.

Ainda sobre o local selecionado, o solo deve possuir propriedades predominantemente argilosas, para garantir a impermeabilidade natural. O local deve estar próximo a jazidas de material de cobertura, assim sempre que for necessário cobrir o lixo na vala o acesso a jazida será ágil pois terá abundância.

Para a drenagem das águas pluviais, a sua bacia ser pequena, assim evitando que grandes volumes de água se acumulem na área do aterro.

2.3.3 Licenciamento Ambiental

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

Conforme KROETZ et al., s/d, p. 4, 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.

2.3.4 Aquisição do Local

Na fase de planejamento a escolha do local pode gerar um grande custo para a administração pública, mas isto pode ser revertido caso a prefeitura disponha de alguma área em nome dela e que possa ser utilizada, pois neste caso se dá preferência a estes locais, assim diminuindo os gastos com aquisição de terreno. O grande problema da aquisição é que isso poderá acarretar em maiores gastos, visto que existem possibilidades de o local ser habitado e ter que ser desapropriado. Muitas vezes pelo dono não querer vender ou até mesmo por falta de recursos dos municípios, os locais escolhidos são alugados, e nesse caso os custos são contabilizados anualmente como referente à operação do aterro (KROETZ et al., s/d).

2.4 Partes constituintes do Projeto

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

2.4.1 Memorial Descritivo

Segundo Castilhos Junior (2003), memorial descritivo é a etapa do projeto que resume os estudos preliminares e encaminha para o tipo de aterro que será implantado. É de suma importância que estejam inseridas no memorial descritivo as informações cadastrais, informações sobre os resíduos que serão descartados no local, caracterização da área, concepção e justificativa do projeto, detalhamento e especificações dos elementos do projeto, operação e o que será feito na área futuramente.

2.4.1.1 Informações Cadastrais

Deverão constar nas informações cadastrais, os dados, bem como as qualificações dos responsáveis técnicos pela área onde futuramente serão descartados os resíduos sólidos, e também deverá ser adotado para os autores do projeto. Todos os profissionais envolvidos deverão 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

A caracterização da área é adquirida com base em levantamentos topográfico, geológico e geotécnico, climatológico e uso de água e solo. Caso o município seja de pequeno porte, haverá necessidade de confecção de projeto das informações dos levantamentos (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

2.4.1.3.1 Localização e caracterização topográfica

Segundo ABNT (1992, p. 3), será mostrado um levantamento planialtimétrico, obedecendo uma escala de no mínimo 1:1000, indicando o local do aterro sanitário e seu entorno, bem como ruas próximas, ponto geográficos,

2.4.1.3.2 Caracterização geológica e geotécnica

De acordo com a ABNT (2010), devem ser apresentados estudos geológicos e geotécnicos do local do aterro, avaliando riscos de contaminação da água e capacidade do suporte do solo de fundação. A investigação deverá ser feita sempre no final de períodos de chuva. Devem contar na investigação o mapeamento da área e a sondagem com ensaio SPT (Standard Penetration Test), somados com ensaio de permeabilidade in situ. Para se conhecer as características do subsolo, deve ser feita uma quantidade de sondagens que permita isso.

2.4.1.3.3 Levantamento climatológico

Conforme explica Castilhos Junior (2003), as características climatológicas do local servem para se ter a percepção do quanto será gerado de lixiviados. Os índices pluviométricos apresentarão se haverá necessidade da cobertura através de telhado para as valas. Há uma grande preocupação em regiões onde o índice de chuvas é elevado, visto que a água é a principal contribuinte para a elevação do volume dos lixiviados gerados pelos resíduos, fazendo-se essencial a instalação de telhados nas valas em operação, o que resultará em um sistema de tratamento do chorume menos sobrecarregado.

2.4.1.3.4 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".

2.4.1.3.5 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

Os Elementos de projeto para aterros em valas, compreendem por:

2.4.2.1 Isolamento do Aterro

Conforme determina a ABNT (2010), deve ser apresentada a solução utilizada para isolar o aterro, por meio de barreira que impeça o trânsito de animais e pessoas. Este isolamento terá que ser feito juntamente com cerca viva arbórea por todo o perímetro da área da obra. O aterro também deverá ter 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

Devem ser descritos os mecanismos que serão implantados para a execução eficaz da drenagem de águas pluviais, com intuito de reduzir significativamente 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

Conforme apresenta Castilho Junior (2003), os lixiviados gerados da decomposição dos resíduos sólidos nas valas devem ser escoados para fora e receberão tratamento adequado. A drenagem do chorume pode ser projetada de forma a garantir a percolação dele entre os resíduos sólidos, acelerando o processo de biodegradação dos resíduos, pois os microrganismos degradadores estão presentes no chorume.

2.4.2.4 Sistema de Tratamento de Lixiviados

De acordo com o site Cetesb (s/d, online), após coletado, o chorume deve ser devidamente tratado para então poder ser descartado em corpos hídricos. O tratamento pode ser feito no aterro sanitário ou em uma Estação de Tratamento de Esgotos. Normalmente os tipos de tratamento utilizados são o tratamento biológico (lagoas anaeróbias, aeróbias e de estabilização), tratamento por oxidação (evaporação e queima) ou tratamento químico (introdução de substâncias químicas ao chorume).

2.4.2.5 Impermeabilização da Base e Laterais

As valas deverão armazenar os resíduos aterrados e os líquidos gerados, fazendo com que o impacto ambiental seja o mínimo possível. Para isolar o aterro de futuras infiltrações,

deverá ser projetado um sistema impermeabilizante de forma eficaz na base e nas laterais da vala. Os municípios de pequeno porte geram menos resíduos, fazendo com que seja mais fácil utilizar sistemas simplificados como a adoção de revestimentos minerais e caso as características do solo da área tenham permeabilidade satisfatória, poderá ser utilizado sem nenhum problema e ainda reduzira os custos. Não sendo 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

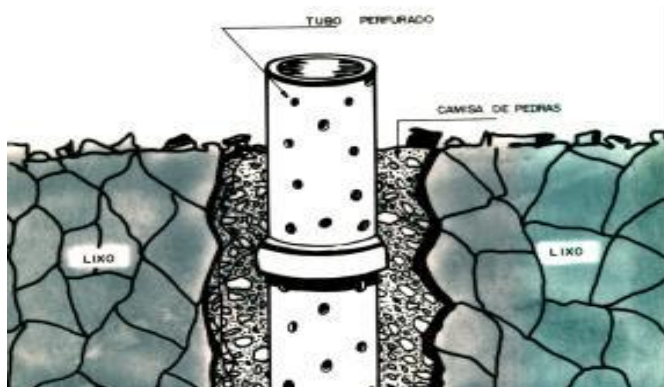
De acordo com Lange et al. (2008, p. 87), em aterros sanitários o subproduto, conhecido como gases, originários da degradação do lixo tem como composição basicamente o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2). Caso não sejam drenados e tratados podem agredir a atmosfera do planeta contribuindo para o efeito estufa. O estudo dessa geração de gases concluiu que de 370 a 400 Nm^3 de biogás vão para a atmosfera, esses valores são usados como base para o dimensionamento do sistema de drenagem dos gases.

No sistema de drenagem do biogás, são empregados drenos horizontais e verticais, mas o mais utilizado é o vertical. Esses drenos são interligados aos drenos horizontais de captação de chorume. Suas dimensões podem variar de 50 a 100 cm, salva para aterros de

grande porte onde o diâmetro pode chegar até 150 cm, preenchidos com britas com granulometria de 3 a 5.

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

Logo após o biogás ser drenado, é encaminhado para o tratamento. O meio de menor custo para trata-lo é queimando, pois dessa maneira diminui-se o efeito poluidor causado por

ele na atmosfera, lembrando que 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 adotadas para 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 ser pavimentado, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas

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: Engecoconsult (s/d, online)

2.4.2.9 Monitoramento das águas do subsolo

Segundo a ABNT (2010), no que diz respeito ao monitoramento das águas do subsolo, o descarte de resíduos sólidos no solo não pode afetar a qualidade das águas subterrâneas, com isso, se faz necessário o monitoramento das águas subterrâneas, a fim de se houver algumas alterações negativas na composição das águas. Este monitoramento deve ser feito pelo menos a partir de amostras de um poço de monitoramento a montante e outros três a jusante do aterro, sem estar alinhados com o sentido de fluxo subterrâneo das águas. A eventual supressão do monitoramento ou sua implementação sob outros critérios, deve ser devidamente fundamentada pelo projetista e liberada pelo Órgão Ambiental.

2.4.3 Memorial Técnico

O memorial técnico deve conter de forma detalhada a descrição das premissas conceituais, metodologias empregadas e o memorial de cálculo que será utilizado para dimensionar o aterro sanitário de pequeno porte e os demais mecanismos e sistemas que o compõem (ABNT, 2010).

3 METODOLOGIA

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

3.2 Objeto de Estudo

O presente trabalho foi realizado no município de Rio da Conceição no estado do Tocantins no período de março de 2017 até abril 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 foi com base nos cálculos de quanto a área escolhida suporta e quantidade de resíduos sólidos urbanos coletados por dia, 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 isola-la será usado uma camada de solo.

A técnica para realização do projeto foi 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 onde prescreve a vida útil de no mínimo 15 anos, foi a orientação para o município de Rio da Conceição – TO.

3.4 Dimensionamento das valas

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, foi a obtido o 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:

$$P_m = \sum \text{pesagens dos resíduos na semana (kg)}$$

Produção de resíduos per capita (Ppc):

$$P_{pc} = P_d / P * \eta \text{ (kg/habitante*dia), equação 2}$$

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

Volume diário de ocupação (Vd):

$$V_d: ((P * P_{pc} * \eta) / d] * t_c \text{ (m}^3\text{/dia), equação 3}$$

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)

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.

Tc = Fator de material de cobertura (%)

Volume anual de ocupação (Va):

$$V_a = V_d * 365, \text{ equação 4}$$

3.5 Volumes e dimensões das valas

3.5.1 Volume médio diário de ocupação (V_{md})

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

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

No cálculo do volume da trincheira, foi necessário 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 valas 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 Valas (V_e)

Para calcular o volume de escavação das valas, 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 fica 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.

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

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

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

$$\text{Nº de Células} = \sum V_a (2017 \text{ a } 2032) / V_o, \text{ equação 11}$$

² 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):

$A_s = L * b$ (m²), equação 12

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

3.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Valas

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, serão utilizadas mantas plásticas de alta densidade para a impermeabilização da base e laterais das valas. 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 valas – Volume de ocupação dos resíduos por trincheira, equação 13

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

3.8.2 Dimensionamento da manta

Considerando 1,5 m de ancoragem para cada lado.

Na lateral considerada: 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 em 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 foi 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, é 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 (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 e Barros (2009), é aconselhável que se calcule o valor da vazão do percolado através método suíço:

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

Em que:

Q = Vazão (L/s)

K = 0,35 (geralmente adotado para aterro com compactação entre 0,4 e 0,7 t/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 Hennann e Gloya (*apud* Obladen, Obladen e Barros, 2009), se aplica nas seguintes fórmulas:

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

Em que:

T = Tempo de detenção em dias

T = Temperatura média (°C) - geralmente igual a 25°C

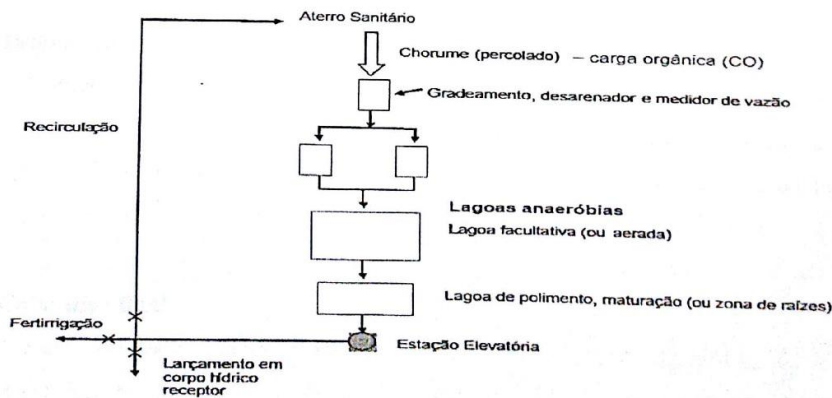
Y = DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), (mg/l) - geralmente com redução de 50% tendo em vista a eficiência do tratamento anaeróbio. Obtendo-se o tempo de detenção (T) é possível calcular o volume da lagoa.

Volume da Lagoa Facultativa:

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

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 a 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 possuem diâmetros que variam de 50 cm a 100 cm, sendo preenchidos com brita 3, 4 ou 5.

3.12 Isolamento do aterro

Conforme a ABNT (2010) terá a 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 logo do perímetro do aterro.

3.13 Cobertura final

Segundo 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

Conforme 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 município de Rio da Conceição - TO (Figura 07), aproximadamente 95 km da capital Palmas - TO. Conforme o último censo realizado pelo IBGE que data no ano de 2010, este município possuía uma população de 2.085 habitantes.

Figura 07 - Mapa do município de Rio da Conceição - TO.



Fonte: IBGE (2010, 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 município de Rio da Conceição - 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.

Comentado [T1]: TROCAR

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 rio Manoel Alves;
- A vegetação é constituída pasto, com esparsas espécies arbóreas nos limites da área;
- O curso hídrico mais próximo fica aproximadamente 10 km de distância (rio Manoel Alves);
- Coordenadas geográficas: 11°24'01" sul 46°53'00" oeste;
- 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;

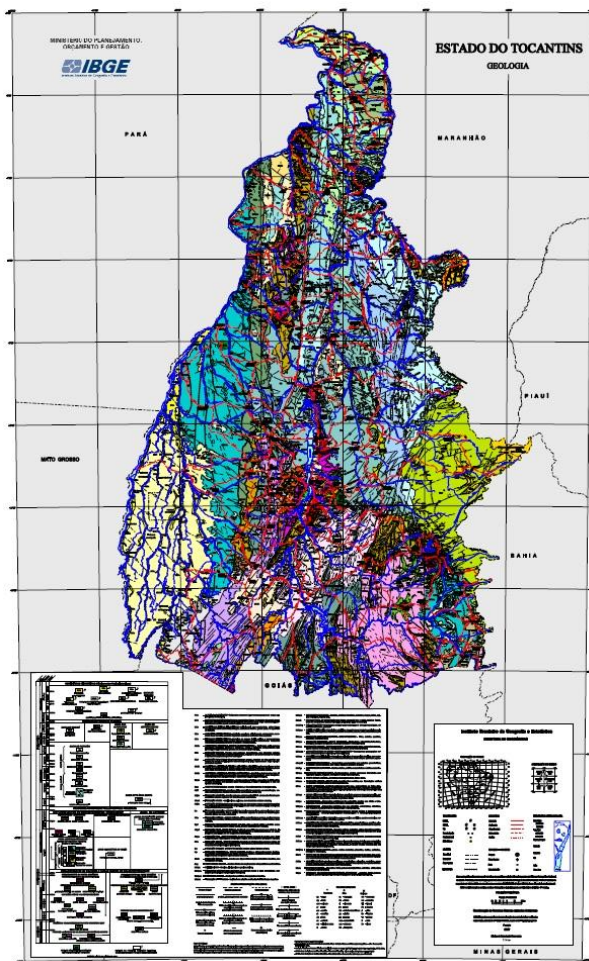
Figura 08 - Vista aérea da área onde ficará localizado o Aterro Sanitário do município de Rio da Conceição - TO



Fonte: Google (2017).

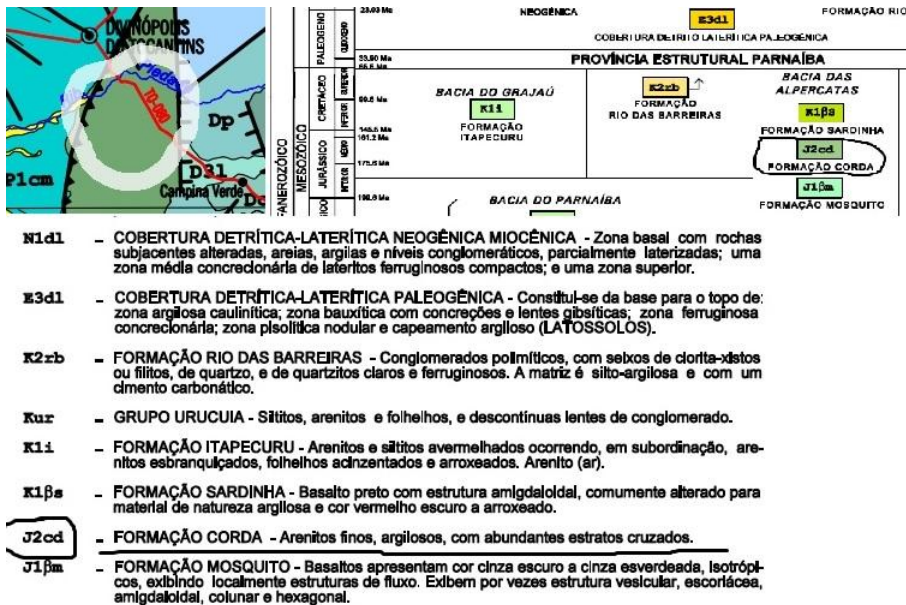
Por meio de consulta ao site do IBGE foi feita para se saber a real composição do solo em Rio da Conceição, assim ficou confirmado que o solo predominante no município é latossolo.

Figura 09 - Mapa geológico do estado do Tocantins



Fonte: IBGE(2007).

Figura 10 – Ampliação da legenda do mapa geológico



Fonte: Do Autor (2017).

Em vista de todas as características da área selecionada para implantação do projeto de aterro sanitário em valas para o município de Rio da Conceição - 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

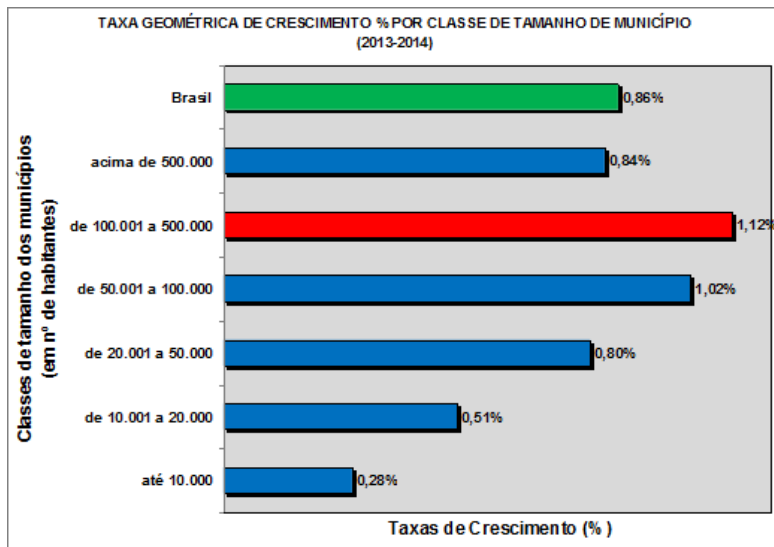
O projeto de aterro sanitário em valas manual para a cidade de Rio da Conceição - TO teve vida útil de 15 anos, respeitando a ABNT (2010), que orienta que aterros sanitários de pequeno porte devem ter no mínimo 15 anos de vida útil.

4.4 Dimensionamento das Valas

4.4.1 Previsão de crescimento populacional do município

Para o dimensionamento das valas, a quantidade de habitantes do município de Rio da Conceição - 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 11 - 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	2085
2011	2	2120
2012	2	2160
2013	2	2203
2014	2	2243
2015	2	2306
2016	2	2340
2017	2	2389
2018	2	2420
2019	2	2467
2020	2	2504
2021	2	2540
2022	2	2584
2023	2	2620
2024	2	2684
2025	2	2723
2026	2	2764
2027	2	2825
2028	2	2869
2029	2	2919
2030	2	3042
2031	2	3085
2032	2	3133

Fonte: Do Autor (2017).

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 na cidade de Rio da Conceição - 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 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.

Levantamento para o 1º ano (2018):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2085 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 = $(2085 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,502 \text{ m}^3/\text{dia}$

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 = 2120 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 = $(2120 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,512 \text{ m}^3/\text{dia}$

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

Levantamento para o 3º ano (2020):Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 2160 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 = $(2160 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,522\text{m}^3/\text{dia}$ 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 = 2203 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 = $(2203 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,531\text{m}^3/\text{dia}$ 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 = 2243 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 = $(2243 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,541 \text{ m}^3/\text{dia}$

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 = 2306 habitantes

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

Densidade do RSU = 500 kg/m^3

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2306 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,551 \text{ m}^3/\text{dia}$

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 = 2340 habitantes

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

Densidade do RSU = 500 kg/m^3

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2340 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,561 \text{ m}^3/\text{dia}$

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 = 2389 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 = $(2389 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,571\text{m}^3/\text{dia}$

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 = 2420 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 = $(2420 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,581\text{m}^3/\text{dia}$

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 = 2467 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 = $(2467 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,591\text{m}^3/\text{dia}$

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 = 2504 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 = $(2504 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,600\text{m}^3/\text{dia}$ 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 = 2540 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 = $(2540 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,612\text{m}^3/\text{dia}$ 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 = 2584 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 = $(2584 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,622\text{m}^3/\text{dia}$

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 = 2620 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 = $(2620 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,632\text{m}^3/\text{dia}$

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 = 2684 habitantes

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

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

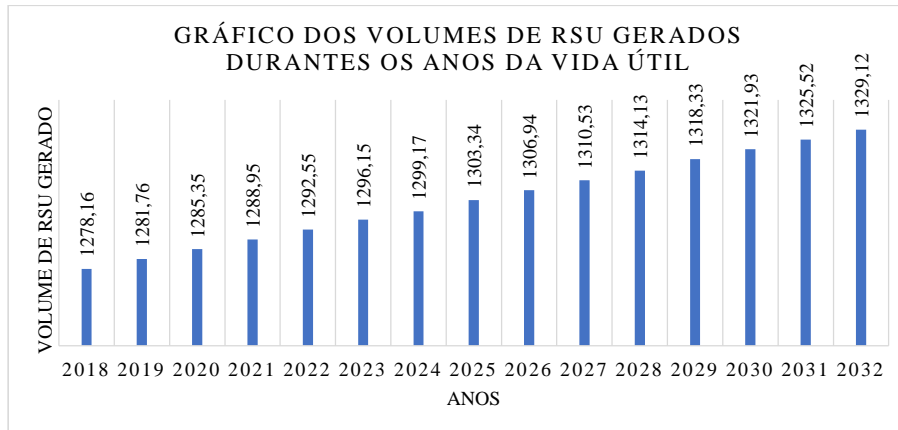
Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação = $(2684 * 0,657 * 1/500) * 1,25 = 3,641\text{m}^3/\text{dia}$

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 Rio da Conceição ser pequena e a taxa de crescimento populacional ser baixa.

Figura 12 - Gráfico dos volumes de RSU gerados durante os anos da vida útil



Fonte: Do Autor (2017)

4.5 Volumes e dimensões das valas

4.5.1 Volume médio diário de ocupação (V_{md})

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

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

Dados:

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

1 mês = 30 dias

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

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.

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

Quantidade de meses = 2 meses

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

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

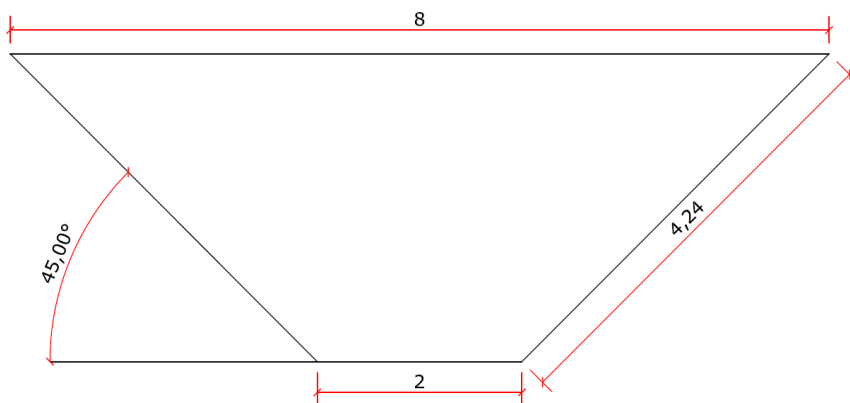
Base menor = 2 m

Profundidade = 3 m

Volume da trincheira = 214,58 m³

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

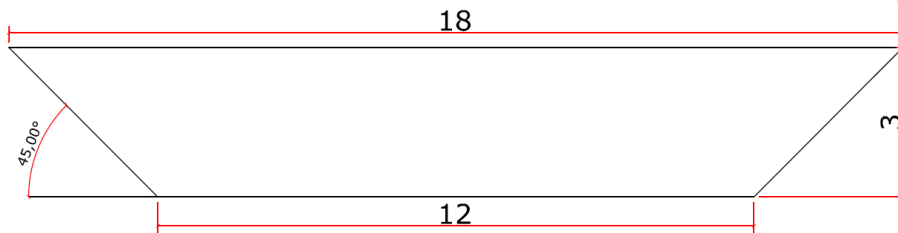
Figura 13 – Dimensões da seção transversal da vala



Fonte: Do Autor (2017)

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

Figura 14 – Comprimento da base maior e menor da vala



Fonte: Do Autor (2017)

4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por vala (V_o)

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 (V_o):

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

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):

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

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

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

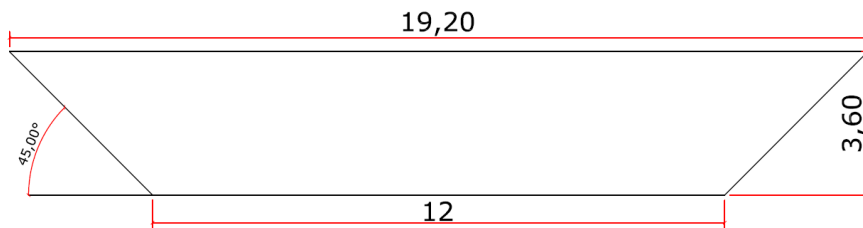
$$\text{Profundidade} = 3,00 + 0,60 = 3,60 \text{ m}$$

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

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

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

Figura 15 – Dimensões de escavação das valas



Fonte: Do Autor (2017)

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 Rio da Conceição - TO, a área fica localizada na **TO – 080, com área de 96.400m² e a 30km do município de Rio da Conceição.**

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 60 cm, 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 trânsito de veículos.

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

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

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

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

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

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

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

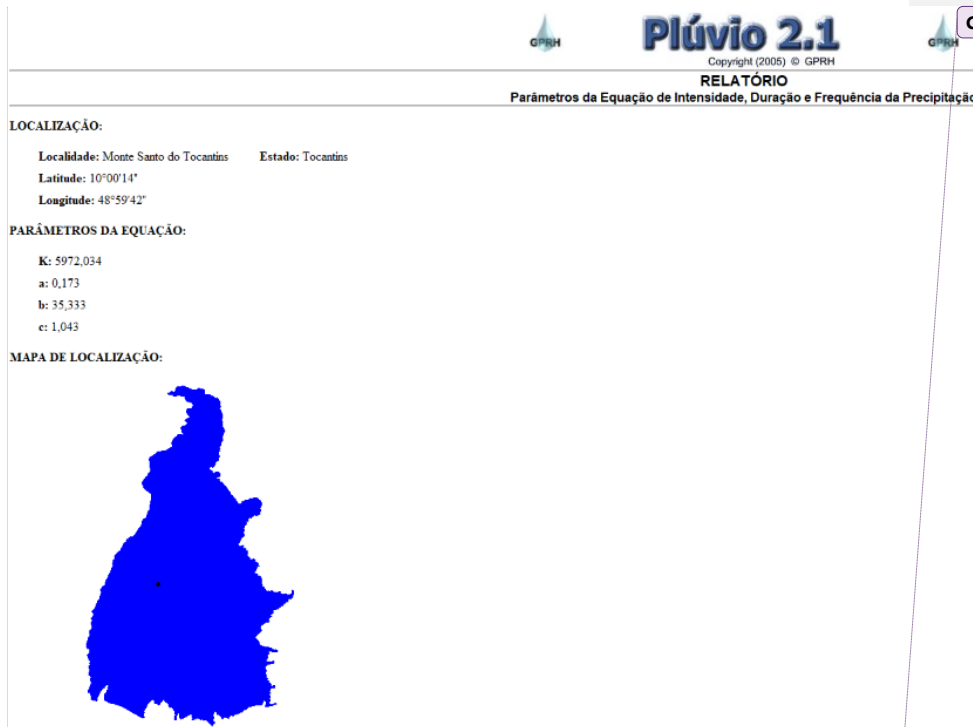
$$\text{Área da manta para o aterro com 87 células} = 87 * 271,60 = 23629,2 \text{ m}^2$$

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 16 - Parâmetros da Equação IDF



Fonte: Plúvio 2.1(2017)

4.9.1 Intensidade da chuva crítica (i)

Dados:

$$K = 5972,034$$

$$A = 0,173$$

$$b = 35,333$$

$$e = 1,043$$

$$i = ((5972,034 * 5 ^ 0,173) / ((30 + 35,333) ^ 1,043)) = 100,89 \text{ mm/h}$$

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	FUNCIONAMENTO
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 3 m 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

Infere-se perante o estudo feito que a elaboração de aterros sanitários são de suma importância para os municípios independentemente de seu tamanho populacional, pois os aterros são de fundamental importância para o saneamento básico e visam evitar os danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais. A problemática em questão 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 sérias inúmeras complicações tanto para a saúde da população 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 município de Rio da Conceição como base.

Este trabalho de conclusão de curso possibilitou entender o quanto é relevante 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

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.

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

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.

BIODIESELBR. **Biogás em Aterros Sanitários**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas-aterros-sanitarios.htm>>. Acesso em: 02 set. 2017.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução **CONAMA nº 305**, de 12/06/2002. Dispõe sobre Licenciamento Ambiental e relatório de impacto no meio ambiente de atividades e empreendimentos com organismos geneticamente modificados e seus derivados. Brasília, 2002

BRASIL. **Lei 9.605**, de 12/02/1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1998.

BRASIL. Lei 12.305, de 02/08/2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Diretoria de Pesquisas. Departamento de População e Indicadores Sociais, 2008. Disponível em: . Acesso em: 23 ago. 2012.

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico -2008. Rio de Janeiro, 2008.

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 Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB 2008. IBGE. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/default> . Acesso em: 22 setembro de 2017.

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.

LUZ, F.X.R. **Aterro sanitário: características, limites, tecnologia para a implantação e operação**. São Paulo: CETESB, 1981. 78p.

MONTEIRO, J. H. P. *et al.* **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam, 2001. 200 p.

SAVASTANO NETO, A. IWAI, C. K., WOLMER, F. A., POTENZA, J. L., ASSUMPÇÃO, M. H. P. L. Manual de operação de aterro sanitário em valas. São Paulo: CETESB, 2010, 24 p.

7 ANEXOS

