



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

Danubio Fabricio Barbosa Vilar

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS MANUAL, PARA CIDADES DO TOCANTINS COM LIMITE DE DESCARTE DIÁRIO DE 20 TONELADAS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Palmas - TO

2015

Danubio Fabricio Barbosa Vilar

PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS MANUAL, PARA CIDADES DO
TOCANTINS COM LIMITE DE DESCARTE DIÁRIO DE 20 TONELADAS DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Projeto de pesquisa elaborado e apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, pelo Centro Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M. Sc. Edivaldo Alves Santos.

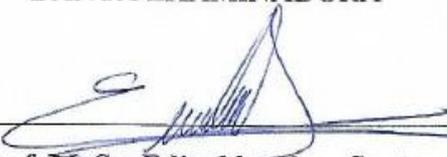
Danubio Fabricio Barbosa Vilar
PROJETO DE ATERRO SANITÁRIO EM VALAS MANUAL, PARA CIDADES DO
TOCANTINS COM LIMITE DE DESCARTE DIÁRIO DE 20 TONELADAS DE
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Projeto de pesquisa elaborado e apresentado como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) do curso de Engenharia Civil, pelo Centro Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. M. Sc. Edivaldo Alves Santos.

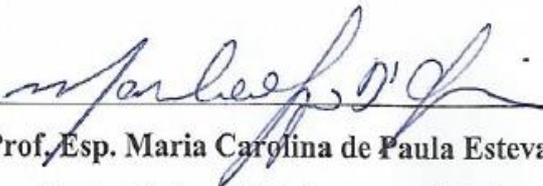
Aprovado em 11 de 11

BANCA EXAMINADORA



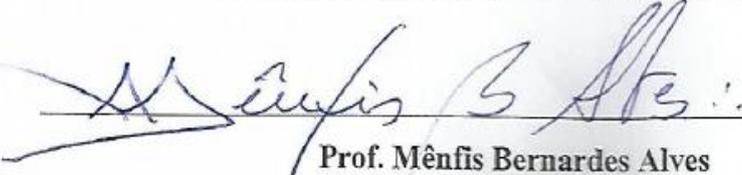
Prof. M. Sc. Edivaldo Alves Santos

Centro Universitário Luterano de Palmas - CEULP



Prof. Esp. Maria Carolina de Paula Estevam D'Oliveira

Centro Universitário Luterano de Palmas- CEULP



Prof. Mênfis Bernardes Alves

Centro Universitário Luterano de Palmas- CEULP

Palmas - TO

2015

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que foi quem me guiou mesmo quando eu estava distante dele. Ao meu padrasto que mesmo com todas as dificuldades sempre me incentivou a estudar. Ao professor Sabiá (in memoriam), um senhor humilde de uma pequena cidade que viu no futebol a chance de mudar o destino de várias crianças. A minha avó que sempre quando eu cai me ajudou a levantar, sem o esforço dela seria muito difícil a minha jornada acadêmica. Ao meu filho que é apenas uma criança e que no fundo tudo que eu faço é por ele. A minha namorada por ser paciente comigo e estar sempre ao meu lado. E ao Gopal (in memoriam), um pequeno passarinho que passou pela minha vida e me ensinou a amar os animais.

RESUMO

VILAR, Danubio Fabricio Barbosa. **Projeto de aterro sanitário em valas manual, para cidades do Tocantins com limite de descarte diário de 20 toneladas de resíduos sólidos urbanos**. 2015. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

Os serviços de manejo dos resíduos sólidos compreendem a coleta, a limpeza pública bem como a destinação final desses resíduos. Nas cidades onde não existem aterros sanitários, grande parte do descarte dos resíduos sólidos é feito em lixões a céu aberto. 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. 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. Foi realizado um estudo através de um município escolhido no Estado do Tocantins que gera-se até 20 toneladas de resíduos sólidos por dia. Segundo a Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, que realizou o estudo “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” em 2013, constatou que o Tocantins teve uma Coleta per capita (kg/hab/dia) de 0,657. Como modelo para execução deste dimensionamento, foi escolhido o município de Aparecida do Rio Negro – TO, localizado na região central do estado do Tocantins, a cerca de 70 Km da capital Palmas-TO. Segundo o último censo realizado pelo IBGE em 2010, este município possuía uma população de 4.213 habitantes. De posse dos volumes de resíduos sólidos urbanos gerados para todos os anos da vida útil do aterro sanitário, foi possível constatar o baixo crescimento dos volumes gerados anualmente. Isto acontece claramente em função da população de Aparecida do Rio Negro 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 tenha as devidas características exigidas por norma, evitando possíveis danos ao meio ambiente, além disso possibilitou apresentar claramente como é o dimensionamento de cada sistema que compõe um aterro sanitário. Contudo o projeto proposto neste trabalho pode ser adequado para qualquer município sendo ele de pequeno porte, pois os dados, fórmulas e demandas gerados poderão servir de base para o desenvolvimento de novos projetos.

Palavras-chave: Aterro sanitário em valas manual, lixão, resíduo sólido urbano.

ABSTRACT

VILAR, Danubio Fabricio Barbosa. **Project of landfill site in manual ditches for cities in Tocantins with a daily disposal limit of 20 tons of urban solid waste.** 2015. 78 f. Term paper (graduation) – Civil Engineering. Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2015.

Solid waste management services comprise collect, public cleaning as the disposal of such waste. In cities where there is no landfill sites, most of the disposal is performed in open-air dumps. Implanting and operating the landfill sites is extremely important in any municipalities, especially because it aims to maintain health and the welfare of population and to avoid pollution of hydric bodies, ground and air in the environment. There is a variety of landfill sites methods and this work focuses on Landfill Sites in Manual Ditches which, according to Lange *et al.* (2008), is commonly utilised in flat areas where ditches are excavated on the ground, with varied dimensions adapting to the volume of the urban solid waste that is produced and easing the operation for the equipment that is used in the landfill. A study has been made in a chosen municipality in Tocantins, which produces up to 20 tons of solid waste a day. According to ABRELPE – Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies –, which performed the study “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (Solid Waste Panorama in Brazil)” in 2013, Tocantins had a collect *per capita* (kg/hab/day) of 0,657. As an execution model of this dimensioning, the chosen municipality was Aparecida do Rio Negro – TO, located in the central region of Tocantins, about 70 km from the capital, Palmas. According to the last census conducted by IBGE in 2010, this municipality had a population of 4.213 habitants. With the volume of all the urban solid waste produced in the whole landfill site lifetime in hands, it was possible to notice the low growth of the volumes produced annually. It clearly occurs due to the small population of habitants in Aparecida do Rio Negro and the low population growth rate. This work led to the understanding about how important is for an area where the landfill will be implanted to have the proper features, which are required by standard, avoiding possible harm to the environment. Furthermore, it allows presenting clearly how the dimensioning of each system that composes a landfill site is. Nevertheless, the project proposed in this work can be adapted to any municipalities, as long as they are small, because the data, formulas and demands produced can function as a basis for developing new projects.

Keywords: landfill sites in manual ditches, dump, urban solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Manta para impermeabilização	33
Figura 02 - Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário	34
Figura 03 - Resíduos sendo descarregados na vala	35
Figura 04 - Nivelamento e cobertura dos resíduos sendo realizados diariamente.....	35
Figura 05 - Mapa do Estado do Tocantins.....	38
Figura 06 - Fluxograma previsto para o chorume	45
Figura 07 - Mapa do município de Aparecida do Rio Negro - TO	48
Figura 08 - Vista aérea da área onde fica localizado o Aterro Sanitário do município de Aparecida do Rio Negro	49
Figura 09 - Mapa Pedológico de Aparecida do Rio Negro - TO.....	50
Figura 10 - Taxa geométrica de crescimento em porcentagem por classe de tamanho de município.....	52
Figura 11 - Gráfico dos volumes de RSU gerados durante os anos da vida útil do projeto.....	60
Figura 12 - Dimensões da seção transversal da célula	61
Figura 13 - Comprimentos de topo, médio e da base da célula.....	62
Figura 14 - Dimensões das células para depósito dos RSU	63
Figura 15 - Dimensões de escavação das células	65
Figura 16 - Representação gráfica da área do aterro sanitário	66
Figura 17 - Parâmetros da Equação IDF	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Valores de C para várias superfícies, declividade e tempos de retorno.....	70
Tabela 02 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.....	26
Quadro 02 - Instruções para drenagem dos gases.....	46
Quadro 03 - Previsão de crescimento populacional	52
Quadro 04 - Tempo de retorno	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
As	Área superficial
CEULP	Centro Universitário Luterano de Palmas
CO	Carga orgânica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CREA	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
hab	Habitante
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LI	Licença de implantação
LO	Licença de operação
LP	Licença prévia
NBR	Norma Brasileira
Pd	Produção diária de R.S.U.
Pm	Σ pesagens dos resíduos na semana
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
Ppc	Produção de resíduos per capita inicial
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SPT	Standard Penetration Test
tc	Fator de material de cobertura
tcpc	Taxa de crescimento cota per capita
tp	Taxa de crescimento populacional anual
Vd	Volume diário de ocupação
Vm	Volume mensal de resíduos
Vmd	Volume médio diário de ocupação
Vmm	Volume médio mensal de resíduos
Vt	Volume da trincheira

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Σ	Somatória
A	Área da bacia contribuinte
B	Base maior
b	Base menor
C	Coefficiente de escoamento superficial
CH ₄	Metano
cm	Centímetro
CO ₂	Dióxido de carbono
d	Densidade de resíduo
D	Diâmetro
H ₂	Hidrogênio
H ₂ S	Gás Sulfídrico
i	Intensidade da chuva crítica
I	Declividade do canal
K	Condutividade hidráulica
kg	Quilograma
L	Comprimento médio da trincheira
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
mm	Milímetro
N	Coefficiente de rugosidade
Π	Abrangência do serviço de coleta
N ₂	Nitrogênio
n°	Número
O ₂	Oxigênio
°C	Graus Celsius
P	População urbana atual
p	Profundidade
Q	Vazão

RH	Raio hidráulico da seção ou perímetro molhado
s	Segundo
S	Área da seção transversal molhada
T	Tempo de detenção
t	Temperatura média
α	Ângulo
π	Pi

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 Objetivos.....	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 Justificativa.....	20
1.3 Problema.....	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1 Histórico do lixo e do Aterro Sanitário	22
2.2 Definições.....	23
2.2.1 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos.....	23
2.2.2 Aterro controlado.....	24
2.2.3 Lixão	24
2.2.4 Aterro Sanitário em Valas	24
2.2.5 Lei nº 12.305.....	25
2.2.6 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos	25
2.2.7 Resíduos Sólidos	26
2.2.8 Chorume	26
2.2.9 Biogás.....	27
2.3 Planejamento	27
2.3.1 Estudos Preliminares	27
2.3.2 Seleção da área	28
2.3.3 Licenciamento ambiental.....	29
2.3.4 Aquisição do local.	29
2.4 Partes constituintes do Projeto.....	29
2.4.1 Memorial descritivo.....	30
2.4.1.1 Informações cadastrais	30
2.4.1.2 Informações sobre os resíduos	30
2.4.1.3 Caracterização da Área.	30
2.4.1.3.1 Localização e caracterização topográfica.....	30
2.4.1.3.2 Caracterização geológica e geotécnica	31
2.4.1.3.3 Levantamento climatológico.....	31
2.4.1.3.4 Caracterização e uso de água e solo.....	31
2.4.1.3.5 Concepção e justificativa de projeto.....	31

2.4.2 Elementos do Projeto.....	31
2.4.2.1 Isolamento do Aterro	31
2.4.2.2 Sistema de drenagem das Águas Pluviais.....	32
2.4.2.3 Sistema de Drenagem de Lixiviados	32
2.4.2.4 Sistema de Tratamento de Lixiviados	32
2.4.2.5 Impermeabilização da Base e Laterais	32
2.4.2.6 Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases	33
2.4.2.7 Acessos	34
2.4.2.8 Coberturas intermediária e final	34
2.4.2.9 Monitoramento das águas do subsolo	36
2.4.3 Memorial Técnico.....	36
3 METODOLOGIA.....	37
3.1 Pesquisa Bibliográfica	37
3.2 Objeto de Estudo	37
3.3 Determinação da vida útil do aterro	38
3.4 Dimensionamento das trincheiras.....	38
3.4.1 Previsão de crescimento populacional do município	39
3.4.2 Produção diária de R.S.U. e produção de resíduos per capita	39
3.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto....	39
3.5 Volumes e dimensões das trincheiras	40
3.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)	40
3.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)	40
3.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	40
3.5.4 Comprimento médio da trincheira (L).....	40
3.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo)	41
3.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (Ve)	41
3.6 Determinação do número de células (trincheiras) para os anos de vida útil do projeto	41
3.7 Dimensionamento da Área do Aterro Sanitário	42
3.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Trincheiras.....	42
3.8.1 Dimensionamento do solo	42
3.8.2 Dimensionamento da manta	43
3.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais	43
3.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados.....	44
3.11 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases	46

3.12 Isolamento do aterro	46
3.13 Cobertura final.....	46
3.14 Projeto Executivo	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 Escolha e dados do município	48
4.2 Levantamento de dados da área selecionada para implantação do aterro	49
4.3 Determinação da vida útil do aterro	51
4.4 Dimensionamento das Trincheiras	51
4.4.1 Previsão de crescimento populacional do município	51
4.4.2 Produção diária de R.S.U. e produção de resíduos per capita	53
4.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto....	53
4.5 Volumes e dimensões das trincheiras	60
4.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)	60
4.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)	60
4.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	61
4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L).....	61
4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo)	62
4.5.6 Volume de escavação das Trincheiras (Ve)	64
4.6 Determinação do número de células (trincheiras) para os 15 anos de vida útil do projeto.	66
4.7 Área do Aterro Sanitário.....	66
4.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Trincheiras.....	67
4.8.1 Dimensionamento solo	67
4.8.2 Dimensionamento da manta	67
4.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais	68
4.9.1 Intensidade da chuva crítica (i).....	68
4.9.2 Área da bacia Contribuinte (A)	69
4.9.3 Coeficiente de escoamento superficial (C):.....	69
4.9.4 Vazão drenada	70
4.9.5 Dimensionamento do canal de drenagem de águas pluviais	70
4.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados.....	71
4.10.1 Vazão	71
4.11 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases	71
4.12 Isolamento do aterro	73
4.13 Cobertura final.....	73

4.14 Projeto Executivo	73
5 CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
ANEXO I.....	78

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 despejavam 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 e mesmo sabendo que o prazo de implantação deste tipo de descarte de resíduos sólidos seria até 2014, poucos municípios se manifestaram. 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 a 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 é 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 da poluição e dos diversos tipos 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 o 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 ser mais simples, podem ser operados manualmente.

Conforme apresenta o IBGE (2010, online), o Tocantins possui 139 municípios, destes se levarmos em consideração os dados da décima edição do estudo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2013, realizado 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 07 municípios, não se enquadrariam nesta modalidade de aterro, visto que a 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 da população, 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 do 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 a metodologia de dimensionamento de um aterro sanitário em valas manual para cidades de pequeno porte, a fim de se saber todos os processos que se enquadram neste tipo de descarte de resíduos sólidos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Trazer ao cenário estadual este tipo de descarte de resíduos sólidos urbanos, que se aplica a municípios que geram até 20 toneladas de lixo por dia.
- Apresentar de forma dinâmica como é feito o dimensionamento de cada etapa do projeto de aterro sanitário em valas manual para cidades de pequeno porte.
- Apresentar um projeto, a fim de explicitar e facilitar o entendimento de como deverá ser executada a obra.

1.2 Justificativa

Reduzir os impactos junto ao meio ambiente por meio de projeto de aterro sanitário em valas manual, com descarte apropriado dos resíduos sólidos gerados não excedendo o limite de 20 toneladas/dia. Em municípios de pequeno porte, em razão da pequena quantidade de lixo gerado é possível implantar sistemas de descarte final destes resíduos de forma mais simplificada, como é o caso dos aterros operados em forma de trincheiras, onde valas são escavadas criando uma determinada quantidade de células, a fim de se atender a vida útil do aterro sanitário.

É de suma importância para a sociedade e o meio ambiente a implantação deste tipo de descarte de resíduos sólidos, pois implica diretamente na diminuição de doenças causadas por vetores que se proliferam em lixões, fazendo com que até os custos com saúde pública diminuam em razão da considerável redução do número de casos de doenças, pois o foco onde os vetores se aglomeram e se alimentam que no caso é o lixão, acaba sendo extinto.

Outro fator importante e que se deve levar em conta é a poluição que este tipo de resíduos gera, pois o chorume que é gerado pela decomposição da matéria orgânica contida no descarte, juntamente com a água da chuva que infiltra por entre os resíduos, causa danos irreparáveis ao solo, e após de infiltrá-lo, chega até o lençol freático, contaminando também os corpos hídricos a sua volta. Além disto, os resíduos sólidos também geram gases prejudiciais a atmosfera. Como o aterro sanitário conta com mecanismos para a drenagem e o tratamento do chorume e queima do gás gerado, isto implica de forma direta na contribuição da preservação e limpeza do solo, água e ar, elementos essenciais ao meio ambiente, gerando assim uma qualidade de vida bem mais saudável a todos os seres vivos, sejam eles humanos, animais e plantas.

1.3 Problema

Por que é tão importante que se expresse no projeto todos os mecanismos e sistemas que em operação, farão com que o meio ambiente seja o máximo possível preservado e evitarão a geração de vários tipos de doenças para a população?

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

Segundo Carvalho (2006, online), na Idade Média acumulava-se pelas ruas e imediações das cidades, gerando doenças e causando a morte de muitas pessoas. A partir da Revolução Industrial iniciou-se o processo de urbanização, fazendo com que o homem do campo viesse para as cidades. Isso fez com que a população urbana aumentasse consideravelmente. A partir de então, os impactos ambientais passaram a ter um grau de magnitude alto, devido a diversos tipos de poluição, inclusive a poluição gerada pelo lixo. O grande problema foi que o lixo passou a ser encarado como um problema, o qual deveria ser escondido das pessoas. A solução para o lixo naquele momento com simplicidade, pois passaram a descartá-lo em áreas mais distantes das cidades, em locais denominados lixões.

Atualmente, com a maioria das pessoas vivendo nas cidades e com o avanço mundial da indústria provocando mudanças nos hábitos de consumo da população, vem-se gerando um lixo diferente em quantidade e diversidade. Até mesmo nas zonas rurais encontram-se frascos e sacos plásticos acumulando-se devido a formas inadequadas de eliminação. Países altamente industrializados como os Estados Unidos produzem bastante lixo por habitante. A produção elevada de lixo norte-americana se dá pelo fato do alto grau de industrialização e pelos descartáveis produzidos e utilizados pela maior parte da população. No caso do Brasil, a geração do lixo ainda é, em grande parte, de procedência orgânica, mas nos últimos anos o consumo vem se aproximando ao de países ricos, pois tem se utilizado cada vez mais produtos descartáveis.

O lixo é uma grande ameaça ao planeta, mesmo assim a mídia sempre incentiva a sua geração desenfreada. Nos últimos 30 anos, o aumento da produção de lixo cresceu três vezes mais que o aumento da população.

Com o problema do lixo sendo descartado em lixões e sendo cada vez mais impactante negativamente ao meio ambiente, começou a se pensar em formas de agredir menos, no passado, foram criados aterros que eram buracos no solo que tinham sido criados durante as atividades de extração mineral – especialmente fossas antigas de areia ou pedregulho. Na maioria das vezes, havia vazamentos que acabavam contaminando os aquíferos. Esses aterros não eram projetados, controlados ou supervisionados e acumularam muitos tipos de resíduos,

incluindo alguns perigosos. Atualmente os aterros são muito melhor projetados e gerenciados, neles não é permitido o descarte de resíduos perigosos e suas áreas são escolhidas a fim de reduzir de forma significativa o impacto ambiental.

2.2 Definições

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

2.2.1 Aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos

De acordo com a ABNT (1992), aterro sanitário é a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos em uma determinada área ambientalmente correta, preservando 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),

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

Portanto, pode se definir o Aterro Sanitário como uma obra de engenharia que visa receber e armazenar os resíduos sólidos urbanos, com o intuito principal de evitar danos à saúde pública, bem como preservar o meio ambiente através de mecanismos que nele implantados evitam que os poluentes e contaminantes gerados através da decomposição dos materiais, atinjam corpos hídricos e até mesmo 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-os 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 chorume, que penetra no solo e acaba contaminando o lençol freático. Vários seres vivos convivem com o lixo livremente, e o pior é que pessoas 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 Sanitário em Valas

Segundo Savastano Neto *et al.* (2010), o aterro sanitário em valas é uma técnica de descarte de resíduos sólidos, em municípios de pequenos, que produzem no máximo 20 toneladas de lixo diariamente.

O confinamento dos resíduos sem compactação impede o aproveitamento total do volume, não sendo recomendado para os municípios produzem mais de 20 toneladas por dia. Acima desse volume, seria necessária a abertura constante de valas, tornando o custo mais alto. Como é 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.

Para este tipo de aterro o órgão ambiental não exige a impermeabilização das valas. Na escolha do terreno são considerados o tipo de solo e sua permeabilidade, o nível do lençol freático e o excedente hídrico da região. A área selecionada deverá propiciar 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.

A área necessária para a implantação do aterro 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, acessos e espaço entre as valas, normalmente a área prevista é a mesma da área superficial das valas.

Ainda sobre a definição de aterro sanitário em valas, segundo a 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”.

2.2.5 Lei nº 12.305

Conforme determina a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), são obrigações dos governos municipais elaborar os Planos Municipais Gestão integrada de Resíduos Sólidos; encerrar os lixões – remediar o passivo ambiental; implantar a coleta seletiva; fazer compostagem; destinar somente os rejeitos para os aterros sanitários.

Se desrespeitadas estas determinações, podem ser penalizados tanto pessoa física (gestor), quanto pessoa jurídica (município), de acordo com diferentes trechos da lei. A omissão dos municípios os sujeitam às sanções previstas especialmente na lei de Crimes Ambientais – 9.605/1998. As penalidades variam desde detenção (reclusão de 01 á 04 anos), até multa que pode ser de R\$ 5 mil até R\$ 50 milhões e perda do mandato.

2.2.6 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com Monteiro *et al.* (2001), Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos é o envolvimento de diferentes órgãos com intuito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo, melhorando a qualidade de vida das pessoas.

O gerenciamento integrado de resíduos sólidos destaca a importância de se considerar as questões econômicas e sociais envolvidas na limpeza urbana e, para tanto, as políticas públicas, que possam estar associadas ao gerenciamento do lixo, sejam elas na área de saúde, trabalho e renda, planejamento urbano, etc. Os municípios normalmente tratam o lixo como um material não desejado, que no máximo, receberá algum tratamento simples e depois descartado nos aterros. O gerenciamento integrado visa mostrar para a população que há formas de se produzir menos lixo, de não sujar as ruas e ambientes públicos e reciclar. Essas atitudes contribuem para a redução dos custos do sistema e protegem e melhoraram o meio ambiente.

Portanto o gerenciamento integrado implica a busca contínua de parceiros como lideranças da sociedade, para comporem o sistema. Também é preciso identificar as alternativas tecnológicas para reduzir os impactos ambientais provenientes da geração de resíduos.

2.2.7 Resíduos Sólidos

A ABNT (2004) define como resíduos sólidos aqueles nos estados sólido e semi-sólido, obtidos através de origem industrial, domiciliar, hospitalar, agrícola, de serviços e de varrição. Também são considerados como resíduo sólido os lodos advindos de sistemas de tratamento de água, os gerados em equipamentos de controle da poluição e líquidos com características que não tem possibilidade de descarte nas redes públicas de esgotos ou corpos hídricos. O Quadro 01, apresenta os resíduos sólidos classificados como não inertes e que podem ser descartados em aterros sanitários.

Quadro 01 - Codificação de alguns resíduos classificados como não perigosos.

Código de identificação	Descrição do resíduo	Código de identificação	Descrição do resíduo
A001	Resíduo de restaurante (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	Resíduos de minerais não-metálicos
A006	Resíduo de papel e papelão	A016	Areia de fundição
A007	Resíduos de plástico 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).

Ainda sobre definição de resíduos sólidos, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010, p. 2) entende resíduo sólido como:

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

2.2.8 Chorume

Segundo Luz (1981 *apud* SCHALCH *et al.*, 2002), chorume ou sumeiro é o líquido originado da decomposição do lixo e nasce de três fontes:

- 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

De acordo com o site Biodieselbr (2006, online), depois que os resíduos sólidos urbanos são dispostos no aterro sanitário, eles passam por um processo de digestão anaeróbia. O processo de digestão anaeróbia dos resíduos ocorre em razão dos microorganismos contidos nele, transformarem a matéria orgânica em um gás chamado no Brasil de “biogás”. A composição do biogás oriundo dos aterros é formada por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2) e gás sulfídrico (H_2S). Os resíduos sólidos do Brasil geram um biogás que normalmente apresenta elevado nível de metano, maior que 55%, e de Dióxido de Carbono, superior a 30%. Um dos grandes problemas do biogás gerado em aterros sanitários, é que sua composição em contato com a atmosfera faz com que ocorra um fenômeno chamado de efeito estufa e que contribui fortemente para o aquecimento global. Conforme Estudos existentes, se for considerado um período de 100 anos, 1 grama de metano contribui 21 vezes mais para a formação do efeito estufa se comparada com 1 grama de dióxido de carbono.

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 tem 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 tem duas partes: caracterização do município e diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos utilizado.

Nas características do município que são de suma importância para um projeto de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos, pode-se citar dados sobre a população, sobre as atividades sócio-econômicas e a infraestrutura do município para os serviços de saneamento básico. Também é preciso quantificar os habitantes, o crescimento populacional no decorrer

dos anos, a renda da população, e outros hábitos que definam o tipo de comunidade que gera os resíduos que serão descartados no meio ambiente.

Nos estudos preliminares é importante que seja feito um diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos no município. 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 melhorias no sistema. São fundamentais informações sobre geração per capita de resíduos sólidos domésticos e serviços de limpeza na cidade que foram executados (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

2.3.2 Seleção da área

Segundo Monteiro *et al.* (2001), a seleção da área para a disposição final de resíduos sólidos deve atender, no mínimo, aos critérios técnicos impostos pela legislação federal, estadual e municipal (se houver).

As áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural ou industrial e fora de qualquer local protegido ambientalmente e não se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam estado ou município. O local selecionado não deve se situar a menos de mil metros de residências urbanas que abriguem 200 ou mais habitantes e não poderá se situar próximo a aeroportos ou aeródromos.

As distâncias mínimas recomendadas pelas normas federais e estaduais são as seguintes:

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

Também é desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham no mínimo, cinco anos de vida útil e que o solo do terreno tenha uma impermeabilidade natural, visando reduzir possíveis contaminações do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.

A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, para evitar que grandes volumes de água da chuva entrem na área do aterro. No acesso ao terreno deve ter pavimentação de qualidade, sem rampas íngremes e sem curvas acentuadas, de forma a minimizar o desgaste dos veículos coletores e permitir seu livre acesso ao local de vazamento

mesmo na época de chuvas muito intensas. O terreno deve situar-se próximo a jazidas de material de cobertura, de modo que haja material de cobertura do lixo sempre que necessário.

É importante ressaltar a vida útil do aterro, pois é muito difícil encontrar áreas adequadas próximas ao município e há também o incômodo que as pessoas sentem em morar próximo há aterros.

2.3.3 Licenciamento ambiental.

“O processo de licenciamento ambiental do aterro sanitário nas suas diversas etapas: licença prévia (LP), licença de implantação (LI) e licença de operação (LO). Os custos de licenciamento para aterros sanitários variam em função do potencial poluidor do mesmo” (KROETZ *et al.*, s/d, p. 4).

Ainda sobre 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 - EIA/RIMA, definindo para este caso, estudos ambientais que se façam necessários ao processo de licenciamento.

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 referentes 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, o mesmo procedimento 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 a ABNT (1992, p. 3),

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

2.4.1.3.2 Caracterização geológica e geotécnica

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 ao 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 e 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, no caso de trincheiras ou valas, são a seguir descritos:

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 transito de animais e pessoas. Este

isolamento terá que ser feito juntamente com cerca vida 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 e a 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 blindar o aterro de futuras infiltrações, deverá ser projetado um sistema que impermeabilize de forma eficaz a base e as 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 reduzirá os custos. Não sendo possível a impermeabilização com

solo da área, o projeto deverá prever a colocação de mantas plásticas como pode ser visualizado na Figura 01 (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

Figura 01 - Manta para impermeabilização.



Fonte: Volpato (2013, online).

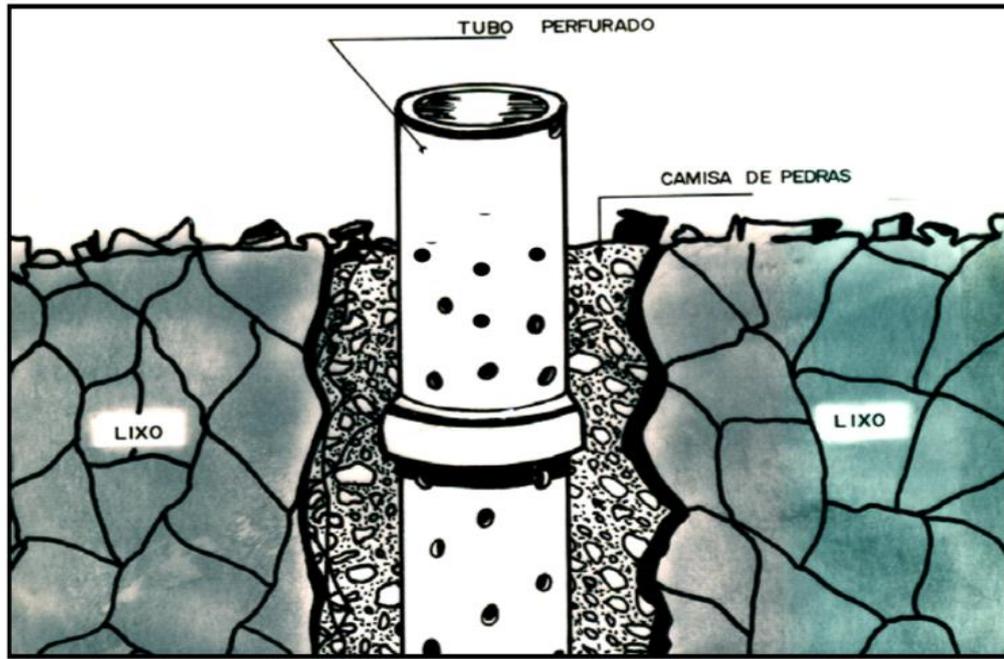
2.4.2.6 Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases

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

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

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

Figura 02 - Detalhe do dreno de captação de gases no aterro sanitário.



Fonte: Schalch *et al.* (2002).

Depois de drenado, o biogás é encaminhado para o tratamento. A forma mais usual e barata de se tratar o biogás é queimá-lo, 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).

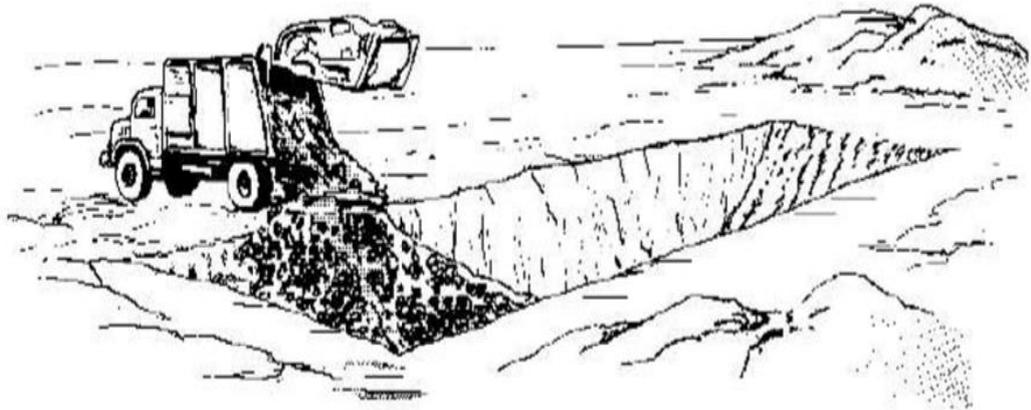
2.4.2.8 Coberturas intermediária e final

O sistema de cobertura tem o objetivo de reduzir de forma significativa a proliferação de vetores, bem como diminuir o volume de lixiviados, reduzir os odores e impedir

escoamento do biogás para a atmosfera. A cobertura diária é realizada ao final dos trabalhos do dia, conforme pode ser visualizado nas Figuras 03 e 04, 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.

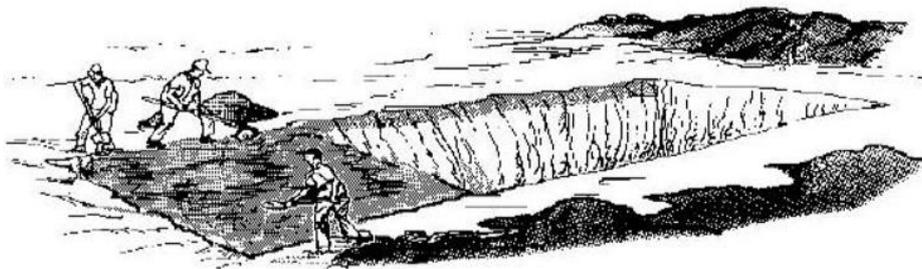
A cobertura final tem a função de blindar o máximo possível às valas das águas pluviais, o que sem essa cobertura poderia implicar em aumento do volume de lixiviado, bem como no escoamento dos gases para a atmosfera. A cobertura final também favorece a recuperação final da área e o crescimento de vegetação. 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 (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

Figura 03: Resíduos sendo descarregados na vala



Fonte: CETESB (2005).

Figura 04: Nivelamento e cobertura dos resíduos sendo realizados diariamente.



Fonte: CETESB (2005).

2.4.2.9 Monitoramento das águas do subsolo

De acordo com 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 há 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 foi utilizado para dimensionar aterro sanitário de pequeno porte e os demais mecanismos e sistemas que o compõem (ABNT, 2010).

3 METODOLOGIA

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

3.1 Pesquisa Bibliográfica

Foi realizada extensa pesquisa bibliográfica em livros, manuais, página de internet, normas da ABNT, para se formar uma base sólida para o estudo e desenvolvimento que será realizado no TCC II.

3.2 Objeto de Estudo

Foi realizado um estudo através de um município escolhido no Estado do Tocantins que gera-se até 20 toneladas de resíduos sólidos por dia. Segundo a Abrelpe - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, que realizou o estudo “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil” em 2013, constatou que o Tocantins teve uma Coleta per capita (kg/hab/dia) de 0,657. Já o IBGE – Instituto brasileiro de Geografia e Estatística, através do censo realizado em 2010, apresentou que o Tocantins possui 139 municípios (Figura 05), e destes se multiplicarmos a quantidade de habitantes de cada município pela coleta per capita de 0,657 kg/hab/dia, obtivemos que apenas 07 municípios (Araguaína, Araguatins, Colinas, Gurupi, Palmas, Paraíso do Tocantins e Porto Nacional), não se encaixaram no perfil de aterro sanitário em valas manual que é para cidades de pequeno porte abordado neste trabalho. Portanto analisados os 132 municípios restantes, é possível visualizar que 94,96% dos municípios, ou seja, a maior parte se encaixou no que é proposto, visto que não atingiram uma geração superior a 20 toneladas/dia de resíduos sólidos. Vale observar que existe uma série de outros fatores como as características de permeabilidade do solo, distância de núcleos habitacionais, distância do lençol freático e de corpos hídricos, terreno plano, não ser uma área de proteção ambiental entre outros, que devem ser observados e que foram descritos neste trabalho, para que se possa projetar, implantar e operar um aterro sanitário em valas manual dentro dos parâmetros, mas em razão de não dispor de dados detalhados de cada município, o foco será o dimensionamento dos sistemas do empreendimento como um modelo para as cidades do Tocantins.

Figura 05 – Mapa do Estado do Tocantins

Tocantins - TOCapital: Palmas
Nº de municípios: 139

Fonte: IBGE (2010, online).

3.3 Determinação da vida útil do aterro

O projeto de aterro sanitário em valas manual para a cidade de Aparecida do Rio Negro - TO teve vida útil de acordo com o que prescreve a ABNT (2010), que orienta que projetos de aterros sanitários de pequeno porte devem ter no mínimo 15 anos de vida útil.

3.4 Dimensionamento das trincheiras

Para o dimensionamento das trincheiras, como primeiro passo, foi levantado a população atual e seu crescimento com o passar dos anos e também a produção per capita, 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 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, se saber o quanto a população cresceu a cada ano.

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

Produção diária de R.S.U. (Pd):

$$Pd = Pm / 7 \text{ (kg), equação 1}$$

Em que:

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

Produção de resíduos per capita (Ppc):

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

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

Volume diário de ocupação (Vd):

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

Em que:

$$P = \text{População urbana atual (habitantes)}$$

$$Ppc = \text{Produção de resíduos per capita (kg/habitante*dia)}$$

$$\eta = \text{Abrangência do serviço de coleta (\%)}$$

$$d = \text{Densidade de resíduo}^1 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

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.

t_c = Fator de material de cobertura (%)

Volume anual de ocupação (V_a):

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

3.5 Volumes e dimensões das trincheiras

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

$$V_{md} = \sum V_a (2016 \text{ á } 2030) / (\text{vida útil do aterro} * 365), \text{ equação 5}$$

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

Para o cálculo do volume da trincheira, foi necessário o cálculo do volume médio mensal de resíduos, bem como foi adotada a quantidade de meses necessária para preenchê-la, de acordo com Castilhos Junior (2003), normalmente esse período 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)

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

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)

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

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

Em que:

B = Base maior² (m)

b = Base menor (m)

p = 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:

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

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.

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

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

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

$$N^\circ \text{ de Células} = \sum V_a (2016 \text{ á } 2030) / V_o, \text{ equação 11}$$

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 (As):

$As = L * b$ (m²), equação 12

O cálculo da área superficial de cada célula serviu para se contabilizar de acordo com a quantidade de trincheiras que serão escavadas, qual foi a área necessária para a execução destas trincheiras e qual foi a área adequada para a implantação do futuro aterro sanitário em valas manual.

3.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Trincheiras

Em razão deste dimensionamento ser um modelo para as cidades do Tocantins e de não se saber a qualidade dos solos de cada cidade e também para maior segurança na impermeabilização, foram utilizadas mantas plásticas para a impermeabilização da base e laterais. 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 do solo

Recomendam-se 60 cm de espessura para a camada de solo da impermeabilização.

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

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

3.8.2 Dimensionamento da manta

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

Na lateral considerada: diagonal = b^2+c^2 , equação 15

Em que:

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

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

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

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

Ancoragem = Perímetro do topo * 1,5, equação 19

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

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

3.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais

O dimensionamento do sistema de drenagem das águas pluviais se fez necessário em razão do acúmulo das águas nas valas aumentar o volume de chorume gerado, bem como, sobrecarregar o seu 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:

$Q = C * i * A$, equação 22

Em que:

Q = Vazão a ser drenada (m^3/s);

A = Área da bacia contribuinte (m^2);

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 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:

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

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

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

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 Hermann e Gloyna (*apud* Obladen, Obladen e Barros, 2009), é a aplicação das 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

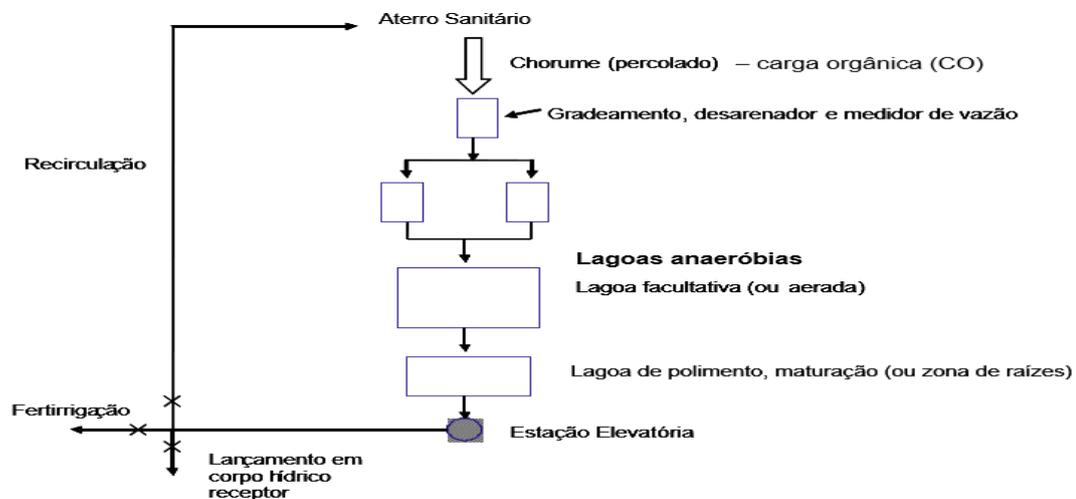
Y= DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), (mg/l) – geralmente com redução de 50% tendo em vista a eficiência do tratamento anaeróbio. Obtendo-se o tempo de detenção (T) é possível calcular o volume da lagoa.

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 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. A Figura 06 apresenta o fluxograma previsto para o chorume.

Figura 06 - Fluxograma previsto para o chorume



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).

Caso haja a necessidade de se fazer o escoamento dos gases gerados, Lange *et al.* (2008) aconselha 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 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) houve a necessidade de prever 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), 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.

3.14 Projeto Executivo

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

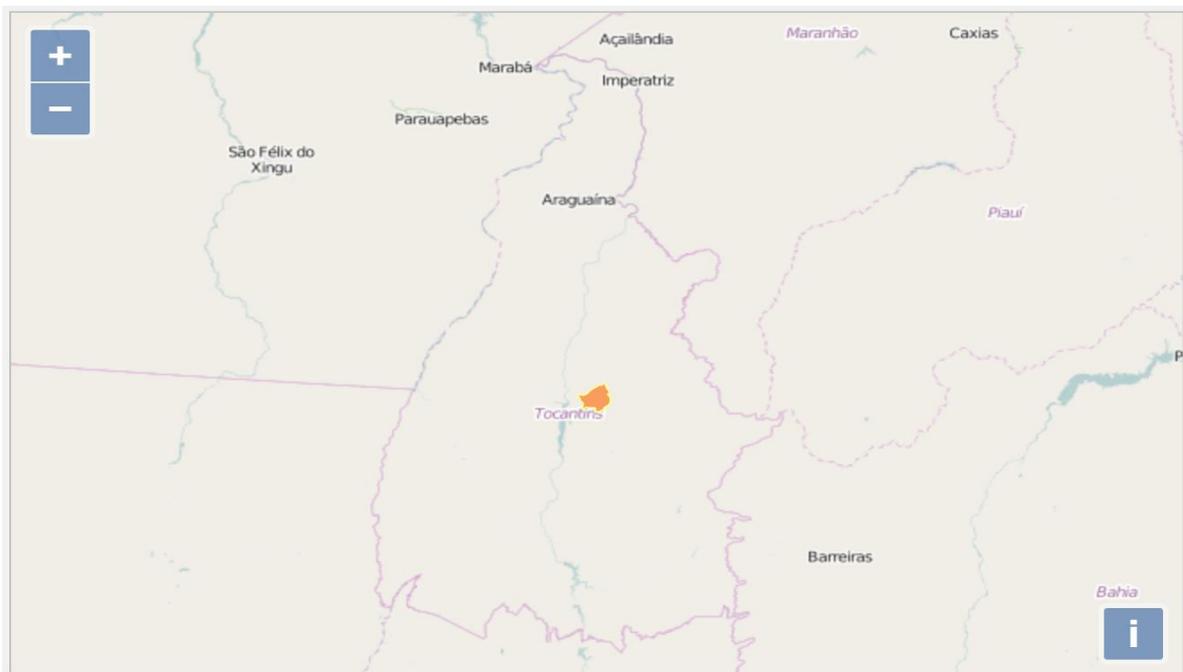
- a) Sequências construtivas do aterro sanitário com indicação de áreas de disposição dos resíduos, limites da área total que poderá ser utilizada, vias internas e preenchimento da área até o fim da vida útil do empreendimento;
- b) Configuração final do aterro;
- c) Acessos, portões, cercamento e cerca viva no perímetro do local, bem como guarita e edificações que se façam 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 intuito deste trabalho é apresentar como é elaborado um projeto de aterro sanitário para cidades do Tocantins que geram até 20 toneladas/dia de resíduo sólido urbano. Como modelo para execução deste dimensionamento, foi escolhido o município de Aparecida do Rio Negro - TO (Figura 07), localizado na região central do estado do Tocantins, a cerca de 70 Km da capital Palmas-TO. Segundo o último censo realizado pelo IBGE em 2010, este município possuía uma população de 4.213 habitantes.

Figura 07 – Mapa do município de Aparecida do Rio Negro - 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 no Brasil” em 2013, constatando que o estado do Tocantins teve uma coleta per capita (kg/hab/dia) de 0,657, o município de Aparecida do Rio Negro - TO, se encaixou perfeitamente no que é proposto neste trabalho, visto que se multiplicarmos a quantidade de habitantes estimada, pela média de resíduos gerada segundo a pesquisa, a quantidade não ultrapassará o valor máximo de 20 Toneladas/dia, que é o ideal para aterros sanitários de pequeno porte.

4.2 Levantamento de dados da área selecionada para implantação do aterro

Segundo a Fundação Nacional da Saúde - FUNASA, a área selecionada para a implantação do aterro sanitário possui as seguintes características, Figura 08:

- Distância aproximada de 3 Km da cidade, no sentido de Novo Acordo;
- A área apresenta topografia suave, com declividade de 1%, no sentido para Aparecida do Rio Negro - TO;
- O Solo é constituído de latossolo vermelho amarelo;
- A vegetação é constituída pasto, com esparsas espécies arbóreas nos limites da área;
- O curso hídrico mais próximo fica a 1500 metros de distância;
- Coordenadas geográficas: S 09° 57' 57" e W 047° 56' 34";
- Expansão Urbana: esta área está afastada de qualquer planejamento para expansão urbana;
- Campo de pouso: a área está a aproximadamente 5200 m do campo de pouso da cidade;
- Lençol freático: foi realizada sondagem a trado, não sendo alcançado o lençol freático até a profundidade de 6 m.

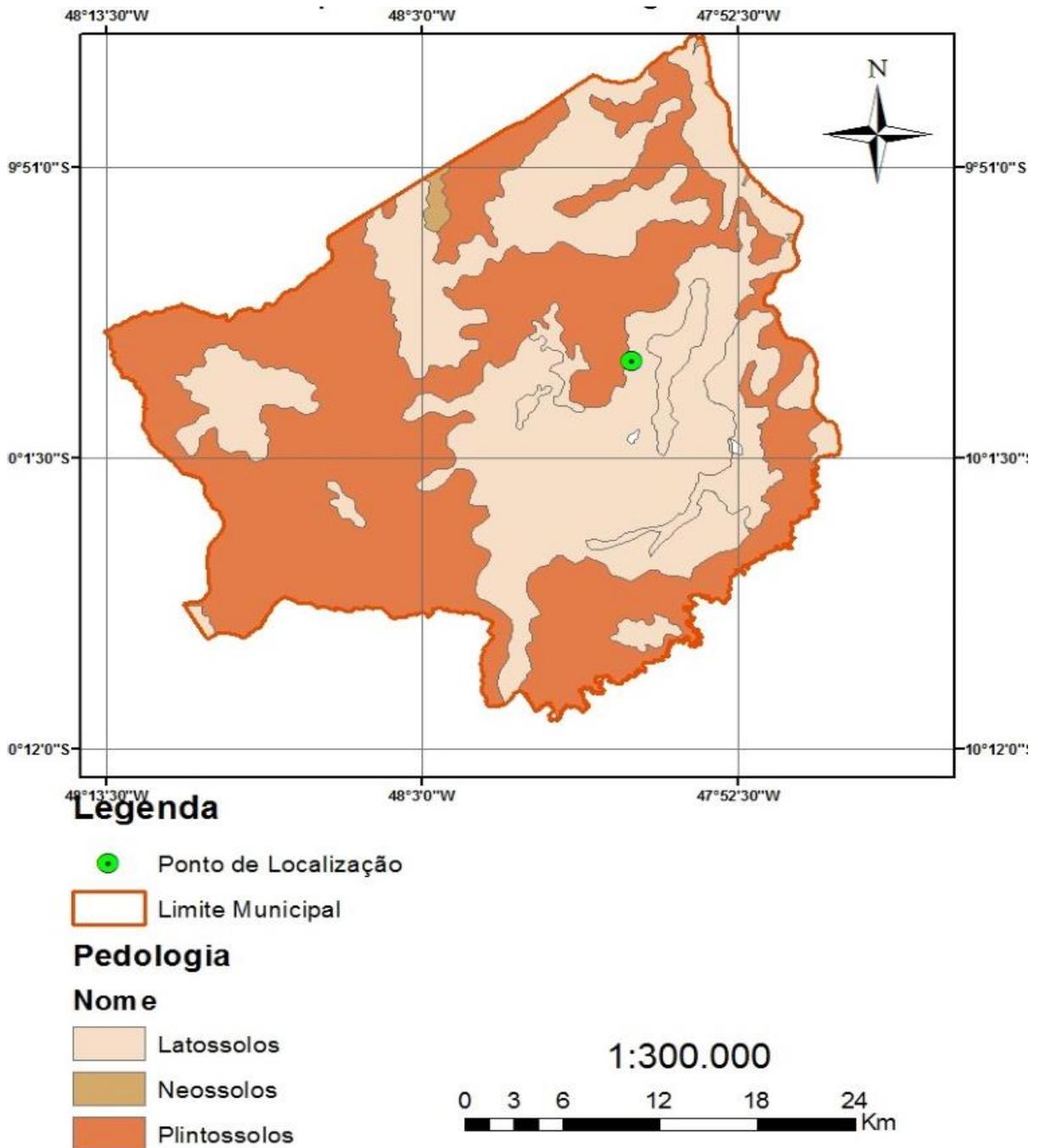
Figura 08 – Vista aérea da área onde fica localizado o Aterro Sanitário do município de Aparecida do Rio Negro



Fonte: Google (2015, online).

Vale ressaltar que foi feita uma consulta junto ao SEPLAN (2000), para se saber a real composição do solo em Aparecida do Rio Negro. De posse dos dados, foi confirmado que o solo predominante no município é o latossolo vermelho amarelo de acordo com a Figura 09.

Figura 09 - Mapa Pedológico de Aparecida do Rio Negro - TO



Fonte: SEPLAN (2000).

Em vista de todas as características da área selecionada para implantação do projeto de aterro sanitário para a cidade de Aparecida do Rio Negro - TO, 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:

- 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 argilo-siltosos);
- 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 o área do aterro e núcleos populacionais vizinhos.

4.3 Determinação da vida útil do aterro

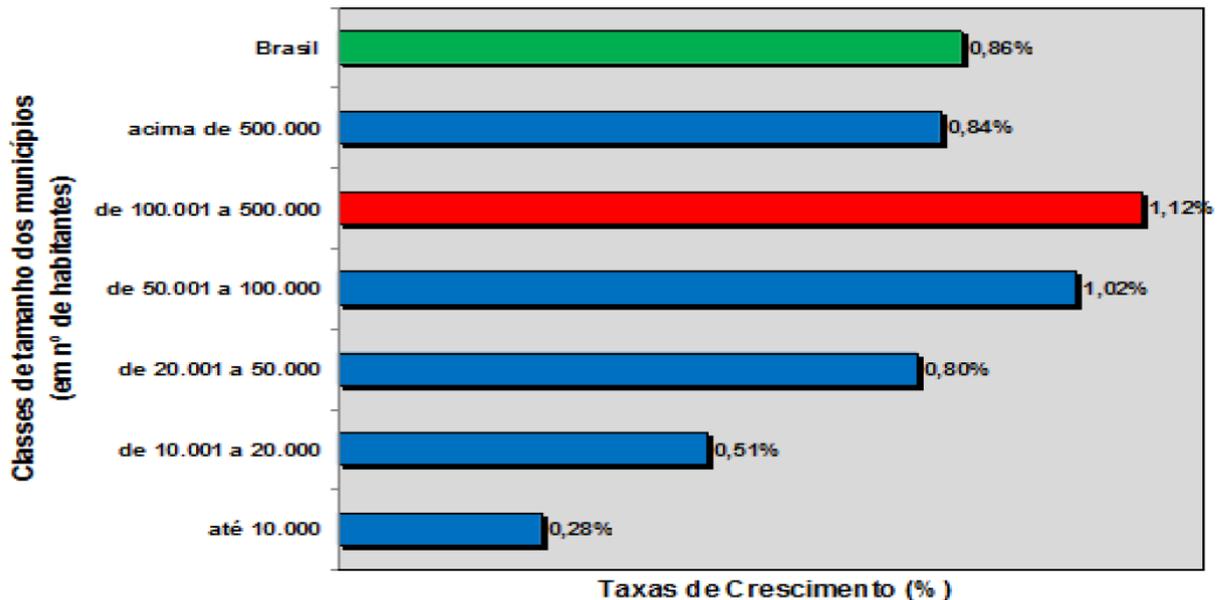
O projeto de aterro sanitário em valas manual para a cidade de Aparecida do Rio Negro - TO teve vida útil de 15 anos, respeitando a ABNT (2010), que orienta que aterros sanitários de pequeno porte devem ter no mínimo 15 anos de vida útil.

4.4 Dimensionamento das Trincheiras

4.4.1 Previsão de crescimento populacional do município

Para o dimensionamento das trincheiras, a quantidade de habitantes do município de Aparecida do Rio Negro – TO, foi extraída do último censo realizado em 2010 pelo IBGE, onde também foi constatado que por ser um município de menos de 10.000 habitantes, sua taxa de crescimento populacional é de 0,28%, Figura 10.

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



Fonte: IBGE (2014).

Com a taxa de crescimento populacional foi possível mensurar o crescimento da população a cada ano e com isso tornar o dimensionamento das trincheira mais exato.

Para facilitar os cálculos foi criada uma planilha em excel conforme o Quadro 03, onde a cada ano que passa, soma-se a população o crescimento de 0,28 %.

É importante ressaltar que para o cálculo do volume diário de ocupação a população utilizada foi a urbana, pois o serviço de coleta só atenderá a esta população, 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 inviável economicamente a inserção da zona rural na rota de coleta do lixo.

Quadro 03 – Previsão de crescimento populacional

ANO	TAXA DE CRESCIMENTO POPULACIONAL (%)	POPULAÇÃO TOTAL	POPULAÇÃO URBANA
2010	X	4213	3313
2011	0,28	4225	3322
2012	0,28	4237	3332
2013	0,28	4248	3341
2014	0,28	4260	3350
2015	0,28	4272	3360
2016	0,28	4284	3369
2017	0,28	4296	3378

2018	0,28	4308	3388
2019	0,28	4320	3397
2020	0,28	4332	3407
2021	0,28	4345	3416
2022	0,28	4357	3426
2023	0,28	4369	3436
2024	0,28	4381	3445
2025	0,28	4393	3455
2026	0,28	4406	3465
2027	0,28	4418	3474
2028	0,28	4430	3484
2029	0,28	4443	3494
2030	0,28	4455	3504

Fonte: Do Autor (2015).

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 Aparecida do Rio Negro – 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 da 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 (2016):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3369 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 = $(3369 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,534 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,534 * 365 = 2019,91 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 2º ano (2017):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3378 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 = $(3378 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,548 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,548 * 365 = 2025,02 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 3º ano (2018):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3388 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 = $(3388 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,565 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,565 * 365 = 2031,23 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 4º ano (2019):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3397 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 = $(3397 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,580 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,580 * 365 = 2036,70 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 5º ano (2020):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3407 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 = $(3407 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,596 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,596 * 365 = 2042,54 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 6º ano (2021):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3416 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 = $(3416 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,611 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,611 * 365 = 2048,02 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 7º ano (2022):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3426 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 = $(3426 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,627 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,627 * 365 = 2053,86 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 8º ano (2023):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3436 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 = $(3436 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,644 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,644 * 365 = 2060,06 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 9º ano (2024):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3445 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 = $(3445 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,658 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,658 * 365 = 2065,17 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 10º ano (2025):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3455 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 = $(3455 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,675 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,675 * 365 = 2071,38 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 11º ano (2026):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3465 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 = $(3465 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,691 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,691 * 365 = 2077,22 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 12º ano (2027):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3474 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 = $(3474 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,706 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,706 * 365 = 2082,69 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 13º ano (2028):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3484 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 = $(3484 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = 5,722 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação = $5,722 * 365 = 2088,53 \text{ m}^3/\text{ano}$

Levantamento para o 14º ano (2029):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3494 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 = $(3494 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = \mathbf{5,739 \text{ m}^3/\text{dia}}$

Volume anual de ocupação = $5,739 * 365 = \mathbf{2094,74 \text{ m}^3/\text{ano}}$

Levantamento para o 15º ano (2030):

Volume diário e anual de ocupação

Dados:

População urbana = 3504 habitantes

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

Densidade do RSU = 500 kg/m³

Abrangência de coleta do serviço = 100%

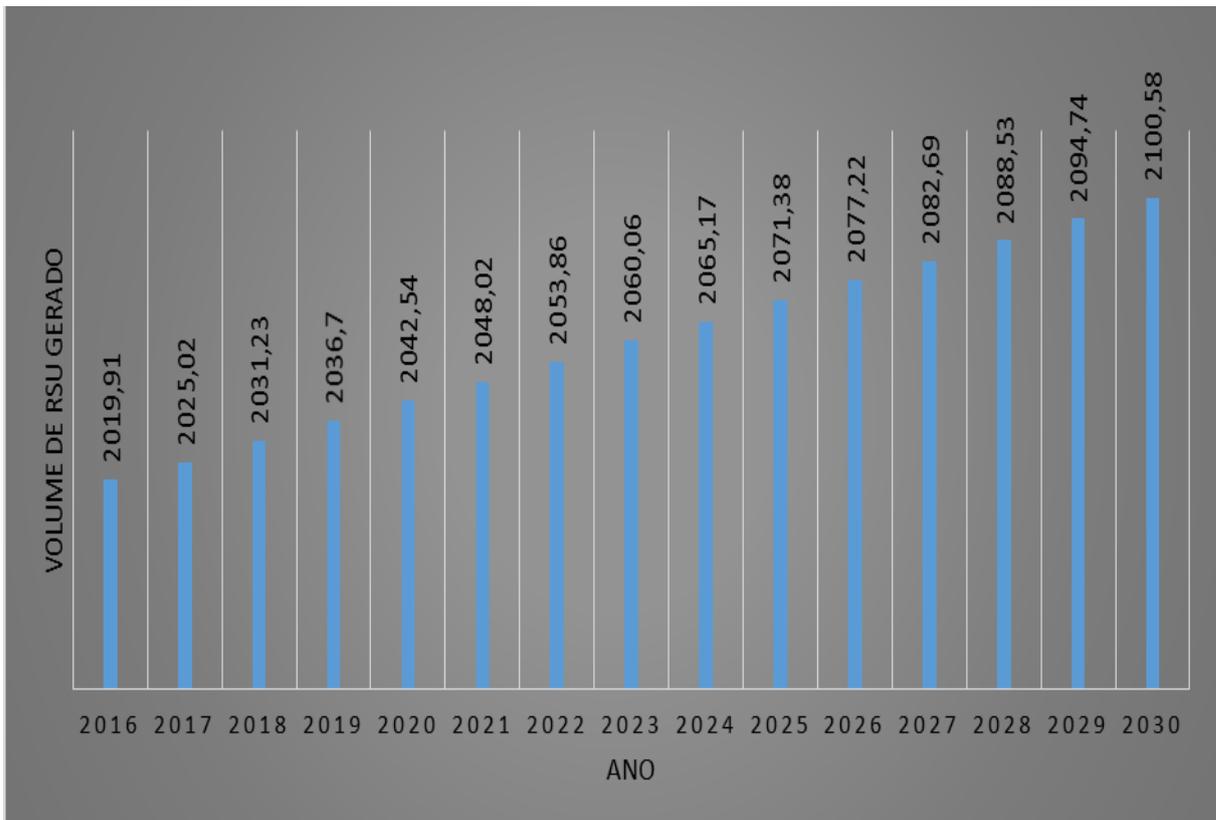
Fator de material de Cobertura = 25 %

Volume diário de ocupação = $(3504 * 0,657 * 1 / 500) * 1,25 = \mathbf{5,755 \text{ m}^3/\text{dia}}$

Volume anual de ocupação = $5,755 * 365 = \mathbf{2100,58 \text{ m}^3/\text{ano}}$

De posse dos volumes de resíduos sólidos urbanos gerados para todos os anos da vida útil do aterro sanitário, foi possível gerar um gráfico conforme a Figura 11, onde se constatou o baixo crescimento dos volumes gerados anualmente. Isto acontece claramente em função da população de Aparecida do Rio Negro ser pequena e a taxa de crescimento populacional ser baixa.

Figura 11 – Gráfico dos volumes de RSU gerados durante os anos da vida útil do projeto



Fonte: Do Autor (2015).

4.5 Volumes e dimensões das trincheiras

4.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)

$$Vmd = (2019,91 + 2025,02 + 2031,23 + 2036,70 + 2042,54 + 2048,02 + 2053,86 + 2060,06 + 2065,17 + 2071,38 + 2077,22 + 2082,69 + 2088,53 + 2094,74 + 2100,58) / (15 * 365) = \mathbf{5,643 \text{ m}^3}$$

4.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm)

Dados:

Volume médio diário de ocupação = 5,643 m³/dia

1 mês = 30 dias

$$\text{Volume médio mensal de resíduos} = 5,643 * 30 = \mathbf{169,29 \text{ m}^3}$$

4.5.3 Volume da trincheira (V_t)

Para o cálculo do volume da trincheira foi utilizada a quantidade de 02 meses para preenchê-la. De acordo com Castilhos Junior (2003), normalmente esse período varia entre 2 e 4 meses.

Dados:

Volume médio mensal de resíduos = $169,29 \text{ m}^3$

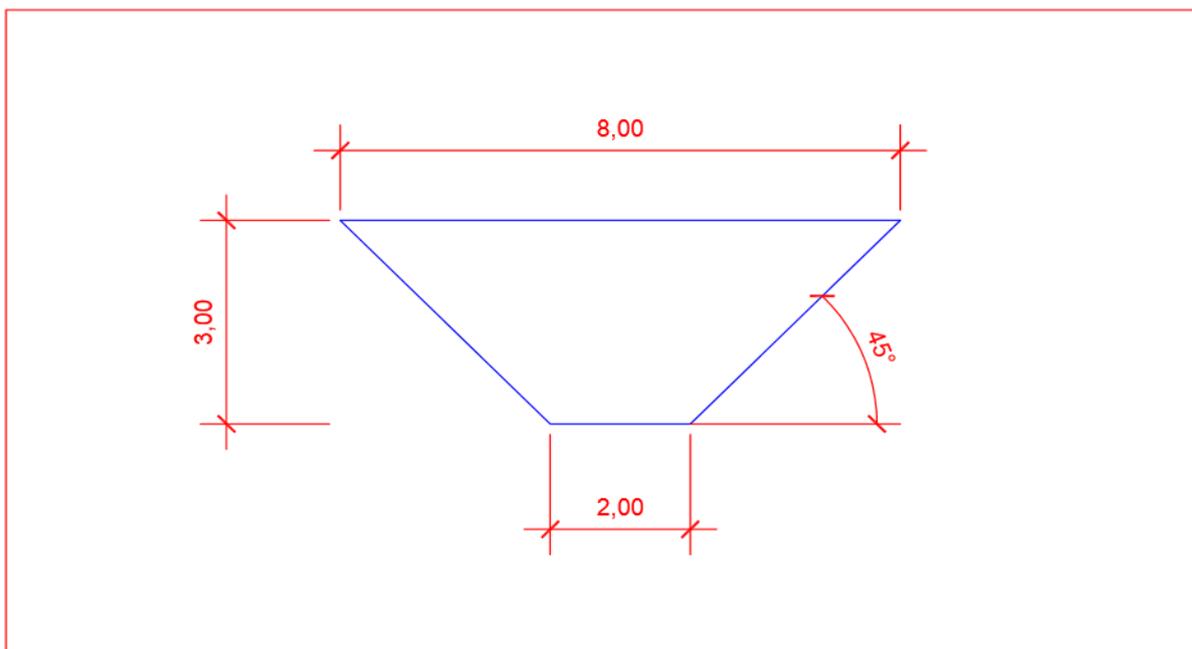
Quantidade de meses = 2 meses

Volume da trincheira = $169,29 * 2 = 338,58 \text{ m}^3$

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 trincheiras foi a trapezoidal e a inclinação das paredes internas de 1:1 de acordo com a Figura 12.

Figura 12 – Dimensões da seção transversal da célula



Fonte: Do Autor (2015).

Dados:

Base maior = 8 m

Base menor = 2 m

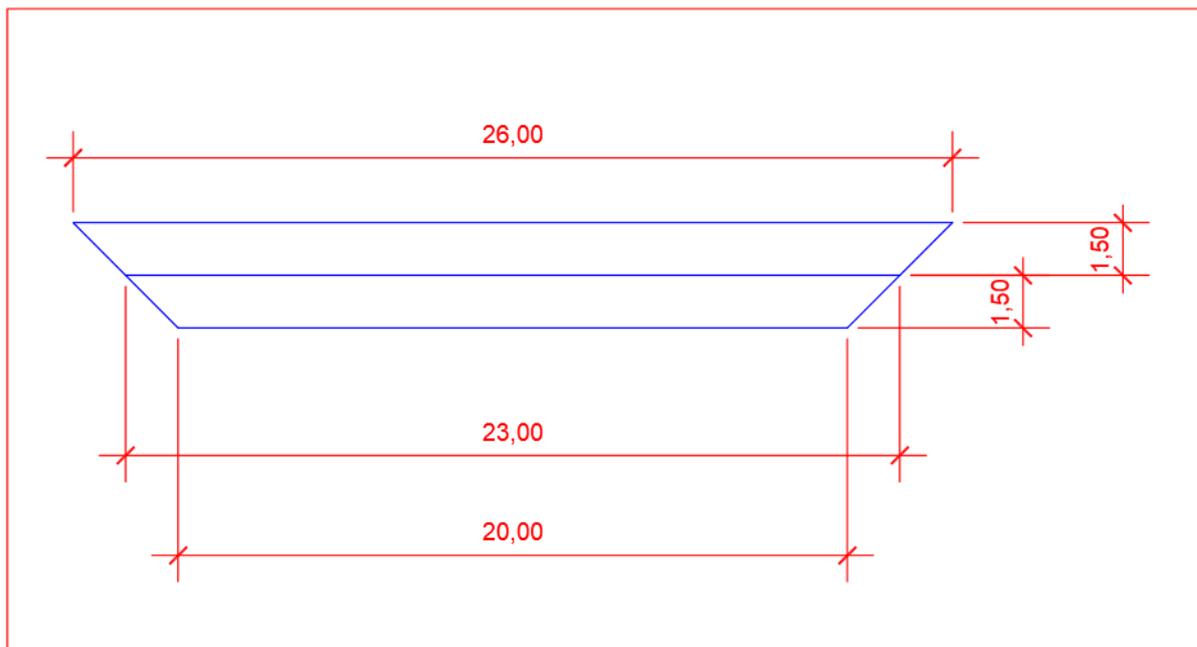
Profundidade = 3 m

Volume da trincheira = 338,58 m³

$$L = 338,58 / ((8+2)/2)*3,00) = 22,57 \text{ m, ou seja, } \mathbf{23,00 \text{ m.}}$$

Portanto, em razão do comprimento médio ser de 23,00 m, a inclinação das paredes ser de 1:1 e a profundidade ser de 3 m, conseqüentemente o comprimento do topo da célula será de 26,00 m e da base será de 23,00 m, conforme a Figura 13.

Figura 13 – Comprimentos de topo, médio e da base da célula



Fonte: Do Autor (2015).

4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo)

Área da base maior da trincheira (superfície):

Comprimento = 26,00 m

Largura = 8,00 m

Área = 26,00 * 8,00 = **208,00 m²**

Área da base menor da trincheira (fundo):

Comprimento = 20,00 m

Largura = 2,00 m

Área = 20,00 * 2 = **40,00 m²**

Profundidade da trincheira:

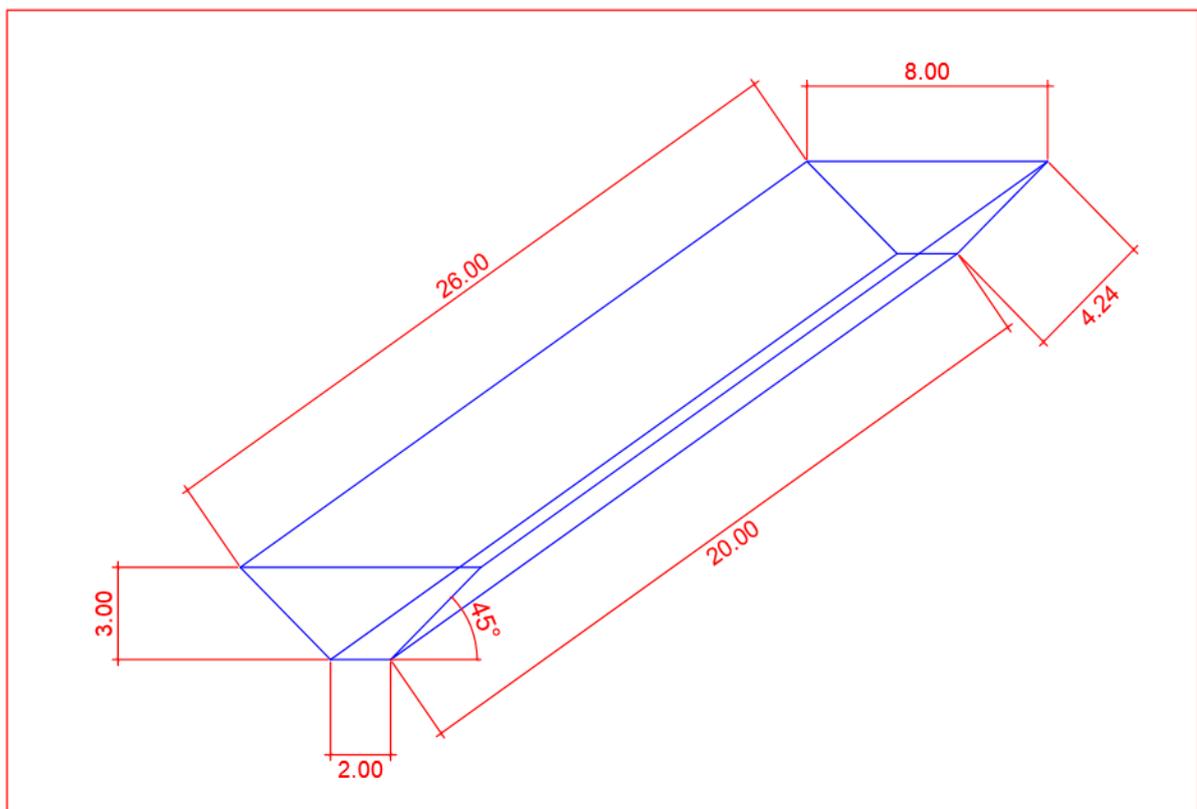
Profundidade = **3,00 m**

Volume de ocupação dos resíduos por Trincheira (Vo):

$$V_o = \frac{3}{3} * (208 + (\sqrt{208 * 40}) + 40) = \mathbf{339,21 \text{ m}^3}$$

Portanto as dimensões utilizadas para todas as células de ocupação dos resíduos sólidos urbanos foram conforme a Figura 14:

Figura 14 - Dimensões das células para depósito dos RSU



Fonte: Do Autor (2015).

Base (largura) maior = 8,00 m

Base (largura) menor = 2,00 m

Profundidade = 3,00 m

Lateral inclinada = 4,24 m

Comprimento maior = 26,00 m

Comprimento menor = 20,00 m

Volume = 339,21 m³

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

Base menor = **2,00 m**

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

Comprimento maior = $26,00 + (2 * 0,60) = \mathbf{27,20\ m}$

Comprimento menor = **20,00 m**

Área da base maior da trincheira (superfície):

Comprimento = 27,20 m

Largura = 9,20 m

Área = $27,20 * 9,20 = \mathbf{250,24\ m^2}$

Área da base menor da trincheira (fundo):

Comprimento = 20,00 m

Largura = 2,00 m

Área = $20,00 * 2,00 = \mathbf{40,00\ m^2}$

Profundidade da trincheira:

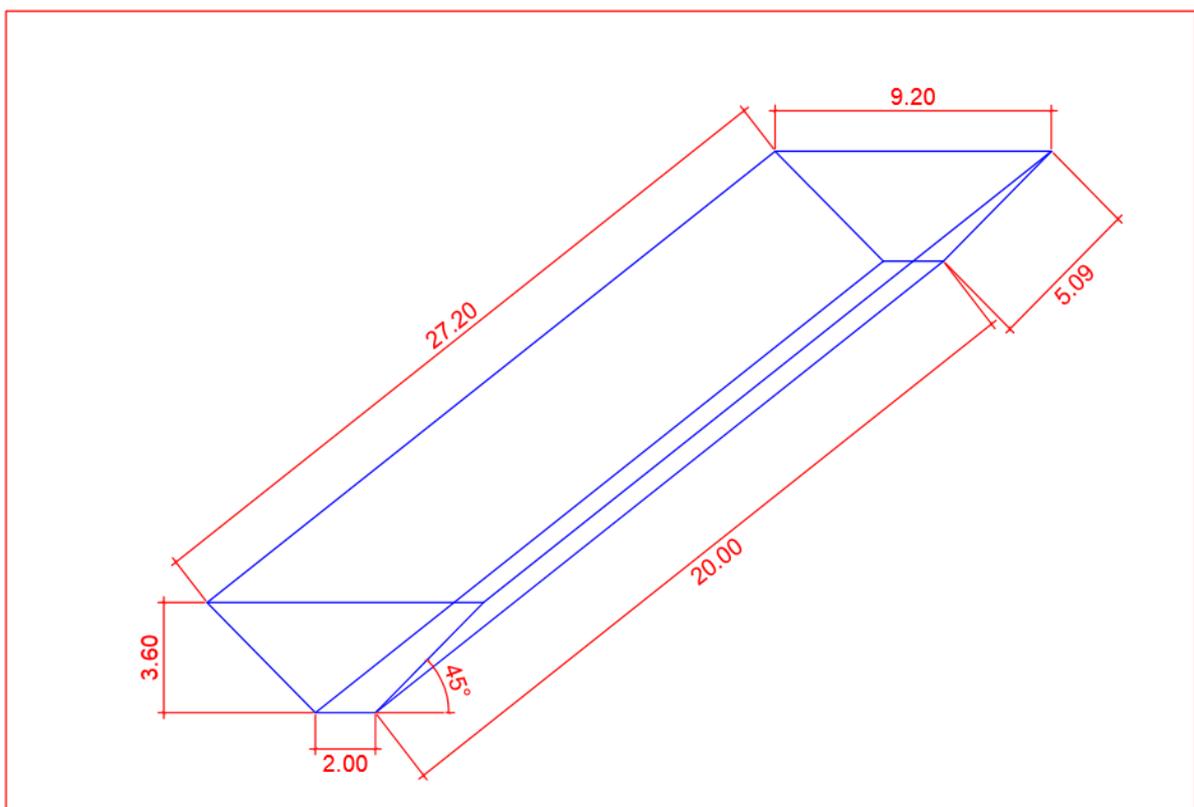
Profundidade = **3,60 m**

Volume de escavação das trincheiras (Ve):

$$V_e = \frac{3,60}{3} * (250,24 + (\sqrt{250,24 * 40,00}) + 40,00) = 468,35 \text{ m}^3$$

Portanto, as dimensões de escavação utilizadas para todas as valas de foram conforme a Figura 15:

Figura 15 - Dimensões de escavação das células



Fonte: Do Autor (2015).

Base (largura) maior = 9,20 m

Base (largura) menor = 2,00 m

Profundidade = 3,60 m

Lateral inclinada = 5,09 m

Comprimento maior = 27,20 m

Comprimento menor = 20,00 m

Volume = 468,35 m³

4.6 Determinação do número de células (trincheiras) para os 15 anos de vida útil do projeto

N° de Células = $(2019,91 + 2025,02 + 2031,23 + 2036,70 + 2042,54 + 2048,02 + 2053,86 + 2060,06 + 2065,17 + 2071,38 + 2077,22 + 2082,69 + 2088,53 + 2094,74 + 2100,58) / 339,21 = 91,09$, portanto **92 células**.

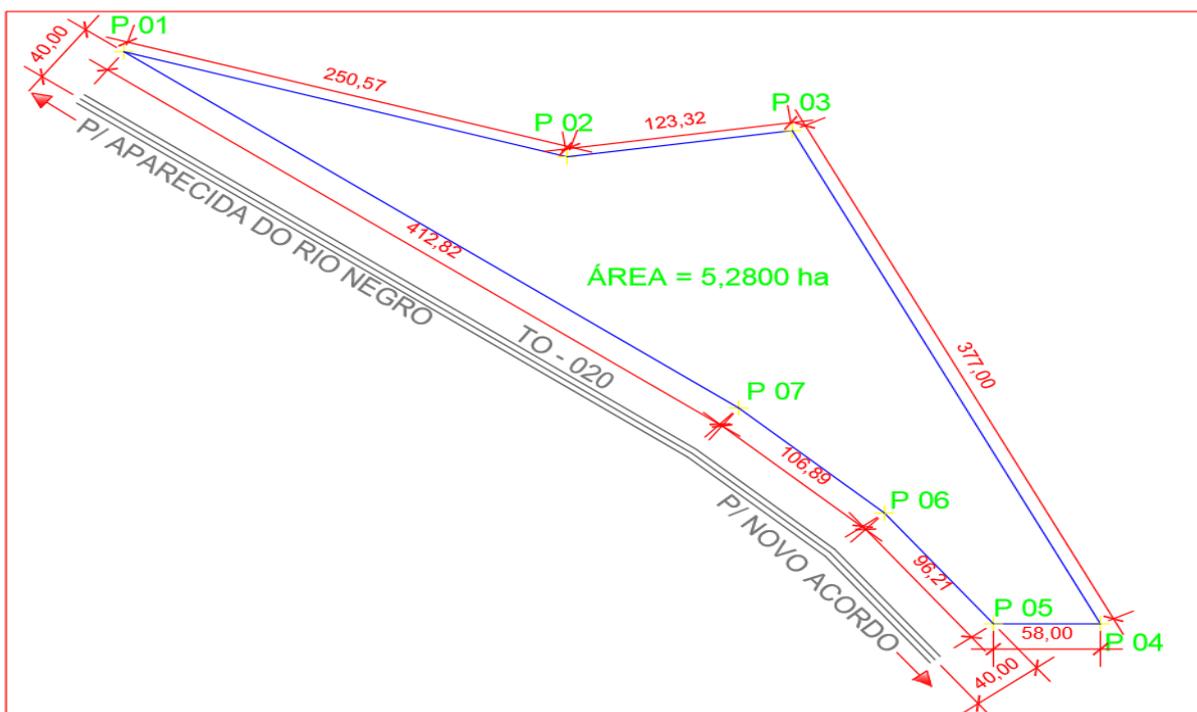
O espaçamento entre as bordas das células foi de 2,5 m, respeitando o que a ABNT (2010) estabelece para este espaçamento, que deve ser de no mínimo 1 m.

4.7 Área do Aterro Sanitário

A princípio seria calculada uma área ideal para a implantação do aterro, mas em razão de já haver uma área utilizada, o projeto foi adequado para esta área. Segundo o Cartório de Registro de Imóveis da cidade de Aparecida do Rio Negro – TO, a área fica localizada na TO-020, lote 12, loteamento São Silvestre, 7ª Etapa, com área de 5,2800 há (Cinco Hectares e vinte e oito ares), no Município de Aparecida do Rio Negro – TO.

De posse das medidas e azimutes da área extraídos do memorial descritivo, foi possível representá-la graficamente através da ferramenta autocad e assim conhecer a planta baixa do terreno do aterro conforme a Figura 16.

Figura 16 – Representação gráfica da área do aterro sanitário



Fonte: Do Autor (2015).

4.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Trincheiras

As trincheiras (fundos e laterais) deverão ser limpas, 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.

4.8.1 Dimensionamento solo

Volume de solo necessário para 01 célula:

$$468,35 - 339,21 = \mathbf{129,14 \text{ m}^3}$$

Volume de solo necessário para 92 células:

$$\text{Volume total} = 129,14 * 92 = \mathbf{11880,88 \text{ m}^3}$$

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.

4.8.2 Dimensionamento da manta

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

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

$$\text{Área lateral maior} = 4,24 * ((26 + 20)/2) = \mathbf{97,52 \text{ m}^2}$$

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

$$\text{Área da base} = 20 * 2 = \mathbf{40,00 \text{ m}^2}$$

$$\text{Ancoragem} = (26+26+8+8) * 1,5 = \mathbf{102,00 \text{ m}^2}$$

$$\text{Área da manta por célula} = (2 * 97,52) + (2 * 21,20) + 40 + 102 = \mathbf{379,44 \text{ m}^2}$$

$$\text{Área da manta para o aterro com 92 células} = 379,44 * 92 = \mathbf{34908,48 \text{ m}^2}$$

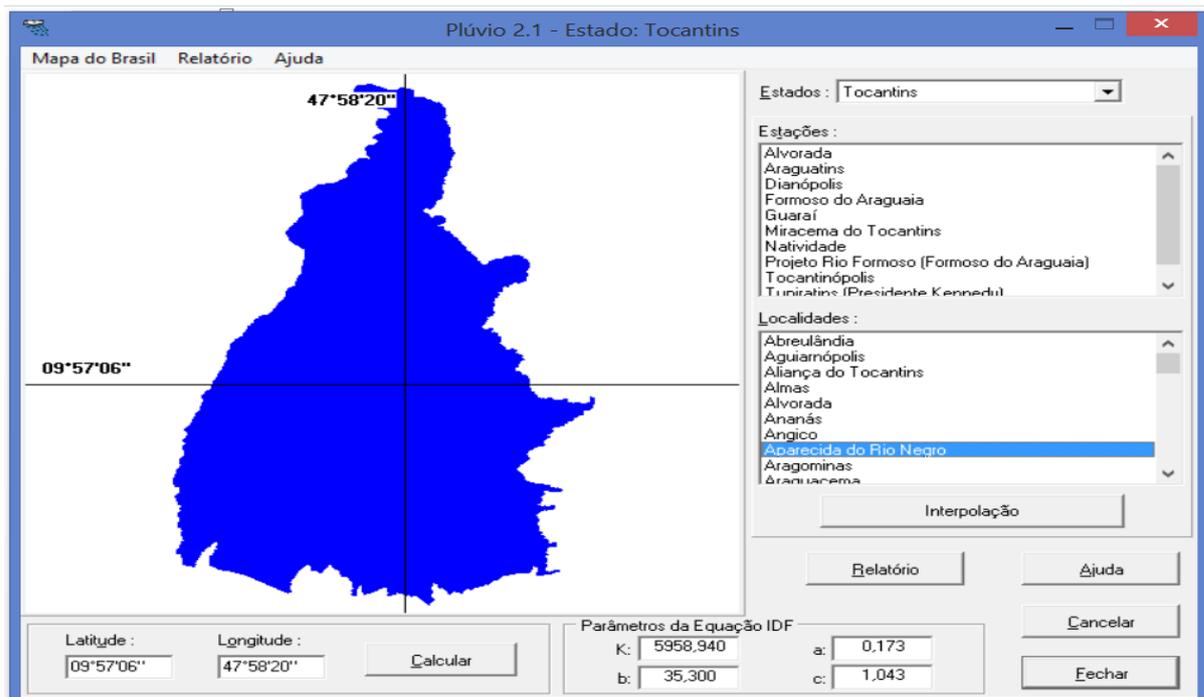
É importante saber que na impermeabilização das trincheiras o tipo de manta utilizado será a geomembrana pead com espessura de 1,00 mm, que é o usual em aterros de pequeno porte.

Também é importante lembrar que a escavação e impermeabilização das células será executada uma a uma, ou seja, cada vez que uma célula estiver próxima de seu total preenchimento, o que levará em média 2 meses, uma nova célula será escavada e impermeabilizada. Isso será feito conforme numeração em projeto, e além de evitar valas abertas acumulando água da chuva, também facilitarão o transito de veículos.

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, conforme a Figura 17.

Figura 17 – Parâmetros da Equação IDF



Fonte: Plúvio 2.1

4.9.1 Intensidade da chuva crítica (*i*)

Dados:

$$K = 5958,940$$

$$a = 0,173$$

$$b = 35,300$$

$$c = 1,043$$

$$i = ((5958,940 * 5^{0,173}) / ((30 + 35,300)^{1,043}))$$

$$i = 100,72 \text{ mm/h}$$

O período de retorno 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.

4.9.2 Área da bacia Contribuinte (A)

$$A = 5,2800 * 10000,00 = 52800,00 \text{ m}^2$$

4.9.3 Coeficiente de escoamento superficial (C)

Para encontrar o valor do coeficiente de escoamento superficial, primeiramente foi encontrado o tempo de retorno, que segundo o DNIT (2005), por a canaleta de concreto que será utilizada no escoamento das águas pluviais ser um dispositivo de drenagem superficial, o tempo de retorno foi de 5 anos, conforme o Quadro 04.

Quadro 04 – 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
Verificação de Bueiros tubulares e Celulares	25 anos	Orifício
Ponte, pontilhão	50 a 100 anos	Canal

Fonte: DNIT (2005).

De posse do tempo de retorno e sabendo que a área selecionada para o aterro é plana e a vegetação que predomina é o pasto, foi possível através Tabela 01, encontrar o valor de 0,28 para o coeficiente de escoamento superficial.

Tabela 01 - 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).

4.9.4 Vazão drenada

Portanto, a vazão a ser drenada foi de:

$$Q = (0,28 * (100,72/1000) * 52800) / 3600 = \mathbf{0,414 \text{ m}^3/\text{s}}$$

4.9.5 Dimensionamento do canal de drenagem de águas pluviais

Dados:

Coefficiente 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;

$$0,414 = 1 / 0,013 * ((\pi \times D^2)/8) * ((D^2/3)/(4^2/3)) * 0,02^{1/2}$$

Diâmetro = **0,589 m**

Portanto o diâmetro da canaleta de concreto foi de **600 mm**

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 sobrecarregamento do sistema de drenagem dimensionado para o aterro.

4.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados

Para o dimensionamento do sistema, primeiramente é necessário que se saiba a vazão em L/s do lixiviado gerado no aterro sanitário.

4.10.1 Vazão

Dados:

$K = 0,35$ (Este valor será utilizado em razão da densidade do RSU compactado do aterro ser de $0,5 \text{ t/m}^3$, ou seja, dentro do intervalo de $0,4$ há $0,7 \text{ t/m}^3$, que é o que o CREA-PR recomenda em seu guia para elaboração de projetos de aterros sanitários);

Área do aterro (A):

Área de 01 Trincheira = $8,00 * 26,00 = 208,00 \text{ m}^2$

Área de 92 Trincheiras = $92 * 208 = 19136,00 \text{ m}^2$

Precipitação anual (P) = **1619 mm** (De acordo com o site Climate-data (2015, online)).

Tempo (t) = **31.536.000 s**

Vazão = $(1/31.536.000) * 1619 * 19136 * 0,35 = 0,344 \text{ L/s}$

O dimensionamento do restante do sistema para tratamento dos lixiviados através de lagoas, será realizado após a caracterização da água resíduaria.

4.11 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases

Por não se conhecer a composição gravimétrica dos resíduos gerados em Aparecida do Rio Negro – TO e haver a necessidade de se saber qual a fração orgânica presente, foi utilizada como referência a média nacional, conforme a Tabela 02.

Tabela 02 – Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (t/dia)
Material reciclável	31,9	58.527,40
Metals	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão e tetrapak	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100,0	183.481,50

Fonte: ABRELPE (2013).

Sabendo que a fração orgânica dos resíduos é de 51,4 % e que a altura final do aterro facilmente ultrapassará os 3 m, 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 que comprovem essa geração na prática.

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 passando pelos 3 metros de profundidade e chegando a superfície com sobra de 0,5 m a partir do nível final do aterro 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 30 m, e em razão do comprimento das valas do aterro serem de 26 m e largura de 8 m, será utilizado um dreno para cada vala, que ficará instalado no centro da célula.

É importante ressaltar que este gás é altamente prejudicial ao meio ambiente e em razão disto, foi adotado mecanismo de queima deste gás nas extremidades superiores de todos os drenos, afim de diminuir a poluição do meio ambiente;

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 torno do perímetro da área do aterro com espaçamento de 3 metros. 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 blindar a célula contra possíveis vetores, também ajudará na recuperação de parte da vegetação que foi perdida devido a implantação do aterro.

4.14 Projeto Executivo

Em anexo.

5 CONCLUSÃO

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

O grande problema enfrentado pelos municípios quanto a implantação de aterros é a falta de conscientização de seus administradores, além da parte burocrática e também o custo de operação deste tipo de empreendimento ser um pouco elevado em virtude do maquinário utilizado. O que muitos não sabem é que existem vários tipos de aterros sanitários e que estes podem ser escolhidos de acordo com o perfil do município e da área selecionada para implantação. Utilizando o estado do Tocantins como exemplo, foi possível constatar que mais de 90% dos seus municípios são considerados de pequeno porte, ou seja, de acordo com a NBR 15849/2010, não chegam a gerar 20 toneladas/dia de resíduos sólidos.

Visando um menor custo de operacionalidade, bem como menor burocracia junto a legislação vigente, foi proposto neste trabalho um projeto de aterro sanitário em valas manual para cidades de pequeno porte, utilizando o município de Aparecida do Rio Negro como referência.

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

Contudo o projeto proposto neste trabalho pode ser adequado para qualquer município sendo ele de pequeno porte, pois os dados, fórmulas e demandas gerados poderão servir de base para o desenvolvimento de novos projetos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS - ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: Grappa Editora e Comunicação, 2013. 114 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.

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.

BIODIESELBR. **Biogás em Aterros Sanitários**. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/energia/biogas/biogas-aterros-sanitarios.htm>>. Acesso em: 02 abr. 2015.

CARVALHO, Geila Santos. **Lixo: conseqüências, desafios e soluções**. Disponível em: <<http://www.cenedcursos.com.br/lixo-consequencias-desafios-e-solucoes.html>>. Acesso em: 19 abr. 2015.

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.

CETESB. **Aterro Sanitário**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/mudancas-climaticas/biogas/Aterro%20Sanitário/21-Aterro%20Sanitário/>>. Acesso em: 14 mar. 2015.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). **Procedimentos para implantação de Aterro Sanitário em Valas**. São Paulo: Governo de São Paulo, 2005. 34 p.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução n° 308 de 21 de março de 2002. Brasília – DF, 2002.

GONÇALVES, Pólita. **Lixão x Aterro**. Disponível em: <<http://www.lixo.com.br/content/view/144/251/>>. Acesso em: 21 mar. 2015.

IBGE. **Mapa e Municípios**. Disponível em:

<http://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?lang=&uf=to>. Acesso em: 20 abr. 2015.

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

<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 26 fev. 2015.

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.

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

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

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Lei Federal nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 – **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília – DF, 2010.

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

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

VOLPATO, Luiz Carlos. **Aterro Sanitário de Mandaguacu**. Disponível em:

<<http://blogdemandaguacu.blogspot.com.br/2013/07/aterro-sanitario-de-mandaguacu.html>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 133 p.

Google. **Google Maps**. Disponível em:

<<https://www.google.com.br/maps/place/9%C2%B057'57.0%22S+47%C2%B056'34.0%22W/@-9.9658889,-47.9427233,1918m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0x0>>. Acesso em: 10 ago. 2015.

IBGE. **Estimativas da População dos Municípios Brasileiros**. Brasília, 2014. 18 p.

Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente - SEPLAN (Org.). **Uma Indicação de Potencial de Uso das Terras no Tocantins**. Palmas, 2000. 14 p.

MELLO, Carlos Rogério de; SILVA, Antônio Marciano da. **Escoamento Superficial**. Lavras: s/editora, 2009. 23 p.

CLIMATE-DATA. **CLIMA: APARECIDA DO RIO NEGRO**. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/312505/>>. Acesso em: 22 ago. 2015.

ANEXO I