



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

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

ELIZEU DA SILVA CUNHA

## **VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE PEQUENO PORTE PARA O MUNICÍPIO DE RIO MARIA – PA**

Palmas – TO

2019

ELIZEU DA SILVA CUNHA

**VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE  
PEQUENO PORTE PARA O MUNICÍPIO DE RIO MARIA – PA**

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

Orientador (a): Prof. Dra. Michele Ribeiro Ramos.

Palmas – TO

2019


ELIZEU DA SILVA CUNHA  
VIABILIDADE TÉCNICA DA INSTALAÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO DE  
PEQUENO PORTE PARA O MUNICÍPIO DE RIO MARIA – PA

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

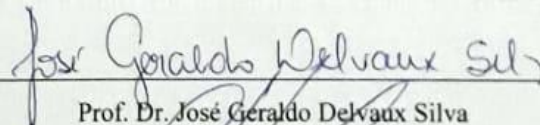
Orientador: Prof. Dr. Michele Ribeiro  
Ramos.

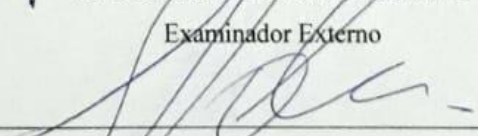
Aprovado em: 22/05/2014

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Michele Ribeiro Ramos.  
Orientadora

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. José Geraldo Delvaux Silva  
Examinador Externo

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Msc. Carlos Spartacus da Silva Oliveira  
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2019

## RESUMO

O potencial manejo de aterros sanitários tem contribuído a dar um destino final aos resíduos sólidos gerados nos municípios de pequenos portes. Nesse sentido, o presente trabalho aborda um estudo de viabilidade técnica e o dimensionamento de aterro sanitário em valas para o município de Rio Maria – PA. O objetivo da pesquisa foi propor a implantação de um aterro sanitário viável e visando o devido tratamento dos resíduos sólidos urbanos, e assim reduzir os impactos ambientais neste município. A metodologia baseou-se nas pesquisas bibliográficas e posterior coleta de dados em artigos científicos, livros, manuais, bem como sites de dados estatísticos oficiais da internet, tal como o IBGE e de Normas Brasileiras. Procedeu-se o levantamento da população, resíduos produzidos, densidade, índices pluviométricos. Com uma população de 17.697 habitantes em 2010, projetou-se uma produção de resíduos de 9.010,9 m<sup>3</sup>/ano, até que em 2039 com uma população de 20.510 habitantes e uma geração de 10.443 m<sup>3</sup>/ano de resíduos sólidos. Cada trincheira teve um volume médio de 1.636,2 m<sup>3</sup> levando em consideração que será preenchida totalmente em dois meses, assim serão necessárias 106 valas para atender a demanda da população dentro de um prazo de 20 anos. Portanto, a implantação desse aterro visa proporcionar à população de Rio Maria um sistema de tratamento de resíduos sólidos que contribua com a redução dos impactos ambientais, bem como implantar um plano de gerenciamento de resíduos a dar uma destinação final aos sólidos gerados naquele município.

**Palavras-chave:** aterro sanitário, valas, resíduos sólidos, impactos ambientais, tratamento de resíduos sólidos.

## **ABSTRACT**

Solid waste management activities include the collection, public cleaning and disposal of the waste. The implantation and operation of landfills are of great importance in any city, since it promotes improvements in the well-being of the population and avoids the pollution of the environment. There are several types of landfill to house urban solid waste, the landfill focus of this work is the Sanitary Landfill in Manual Troughs that according to Lange et al. (2008), generally implanted in flat areas, where ditches are excavated in the soil, with dimensions previously calculated to suit the city's waste demand. Studies were then carried out for the municipality chosen in the state of Pará, which generates up to 20 tons of solid waste per day. It was used as model for execution of this work was the municipality of Rio Maria - PA, located approximately 961 km away from the Capital Belém - PA. According to IBGE (2010) this municipality had a population of 17,697 inhabitants. Armed with the volumes of urban solid waste generated during the 20 years of life of the landfill, it was possible to verify the low growth of volumes generated annually. This is clearly because the population of the chosen city is small and the rate of population growth is low. This work allowed us to understand how important it is that the area for the implantation of a landfill has the necessary characteristics required by norm, avoiding possible damages to the environment, river distances recommended by the Forest Code, besides, it made possible to add clearly as is the dimensioning of each system that compose the respective sanitary landfill, where 106 ditches were designed to accommodate solid urban waste during its useful life. However, the project proposed in this work may be suitable for any municipality, since the given formula and demand can serve as a basis for the development of new projects.

Key words: sanitary landfill, ditches, solid waste, environment, useful life.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Mapa do município de Rio Maria - PA.....	15
Figura 02 – Área de implantação do aterro sanitário do município de Rio Maria - PA.....	16
Figura 03 – Fluxograma para o Chorume gerado no aterro sanitário.....	24
Figura 04 – Mapa Geológico do estado do Pará.....	26
Figura 05 – Localização do município de Rio Maria - PA no Mapa Geológico.....	27
Figura 06 – Legenda do Mapa Geológico do município de Rio Maria - PA.....	27
Figura 07 – Crescimento dos Municípios por Classe.....	29
Figura 08 – Dimensões da vala.....	37
Figura 09 – Comprimento da base maior e base menor da vala.....	38
Figura 10 – Dimensões de escavação das valas.....	39
Figura 11 – Parâmetros da Equação IDF.....	41

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 01 – Crescimento Populacional do Município.....	30
Gráfico 02 – Volumes de RSU gerados durante 20 anos.....	36

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Distâncias das APPs.....	17
Quadro 02 - Instruções para drenagem de gases.....	25
Quadro 03 – Previsão de Crescimento Populacional.....	29
Quadro 04 – Tempo de Retorno.....	42
Quadro 05 – Valores de C para superfícies, declividade e tempo de retorno.....	43



## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA .....	2
1.3 OBJETIVOS .....	2
1.3.1 Objetivo Geral.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos .....	2
1.4 JUSTIFICATIVA.....	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.5 DEFINIÇÕES .....	6
2.5.1 Resíduos sólidos.....	6
2.6 GERADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	6
2.6.1 Resíduo Sólido Domiciliar .....	6
2.6.2 Resíduos Sólidos hospitalares.....	7
2.6.3 Resíduos Sólidos Industriais.....	7
2.6.4 Resíduo Comercial.....	7
2.7 Aterro Sanitário de resíduos Sólidos Urbanos.....	8
2.8 Aterro Controlado.....	8
2.9 Lixão.....	9
3.0 Aterros Sanitários em Valas.....	9
3.1 Lei nº 12.305.....	10
3.2 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos.....	10
3.3 Chorume.....	11
3.4 Biogás.....	11
3.5 Sistema de Drenagem Lixiviados.....	12
3.6 Planejamento.....	12
3.7 Estudos Preliminares.....	12
3.8 Escolha da Área para Implantação do Aterro Sanitário.....	12
3.9 Licenciamento Ambiental.....	13
3.10 Coleta e Transporte.....	13
3.11 Incineração.....	14
4.0 Materiais e Métodos.....	15
4.1 Localização.....	15

4.2 Levantamento de dados da área selecionada para implantação do aterro.....	15
4.3 Determinação da Área Útil do Aterro.....	17
4.4 Dimensionamento das Valas.....	17
4.4.1 Previsão de Crescimento Populacional do Município.....	18
4.4.2 Produção diária de R.S.U e produção per capita .....	17
4.4.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os anos do projeto....	18
4.5 VOLUMES E DIMENSÕES DAS VALAS .....	18
4.5.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd) .....	18
4.5.2 Volume médio mensal de resíduos (Vmm) .....	18
4.5.3 Volume da trincheira (Vt).....	18
4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L) .....	19
4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo) .....	19
4.5.6 Volume de escavação das Valas (Ve) .....	19
4.6 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CÉLULAS (VALAS) PARA OS ANOS DE VIDA ÚTIL DO PROJETO .....	20
4.7 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA DO ATERRO SANITÁRIO .....	20
4.8 DIMENSIONAMENTO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DA BASE E LATERAIS DAS VALAS .....	20
4.8.1 Dimensionamento do solo .....	20
4.8.2 Dimensionamento da manta .....	21
4.9 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM DAS ÁGUAS PLUVIAIS ..	21
4.10 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE LIXIVIADOS .....	22
4.11 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE DRENAGEM E TRATAMENTO DE GASES .....	24
4.12 ISOLAMENTO DO ATERRO.....	25
4.13 COBERTURA FINAL .....	25
4.14 PROJETO EXECUTIVO .....	25
5.0 Resultados.....	26
5.1 Determinação do Tipo de Solo da Região pelo Mapa Geológico.....	26
5.2 Dimensionamento de valas.....	28
5.2.1 Previsão de crescimento populacional do município.....	28
5.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os 20 anos do projeto..	30
5.4 Volume e Dimensões da Valas.....	36

5.4.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd).....	36
5.4.2 Volume médio mensal de ocupação (Vmm).....	36
5.4.3 Volume da trincheira (Vt) e Comprimento médio da trincheira (L).....	37
5.4.4 Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo).....	38
5.4.5 Volume de escavação das Trincheiras (Ve).....	39
5.5 Determinação da quantidade de valas para os 20 anos de vida útil do projeto.....	40
5.6 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Valas.....	40
5.6.1 Dimensionamento do solo.....	40
5.6.2 Dimensionamento da manta.....	40
5.7 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais.....	41
5.7.1 Intensidade da chuva crítica (i).....	41
5.7.2 Área da bacia Contribuinte (A).....	42
5.7.3 Coeficiente de escoamento superficial (C).....	42
5.7.4 Vazão drenada.....	43
5.7.5 Dimensionamento do canal de drenagem de águas pluviais.....	43
5.8 Dimensionamento do Sistema de Drenagem de Tratamento de Lixiviados.....	44
5.8.1 Vazão.....	44
5.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases.....	44
5.10 Cobertura final.....	45
6 CONCLUSÃO.....	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## 1 INTRODUÇÃO

Os problemas com os resíduos passaram a ser visto com clareza desde o momento em que os primeiros seres humanos começaram a conviver em tribos, aldeias e cidades, e o acúmulo de resíduos tornou-se uma consequência da vida.

A partir do século XVIII com a Revolução Industrial, houve um progresso na industrialização com desenvolvimentos e um ritmo muito acelerado de produtos diversos, em relação a esse crescimento houve também um grande acréscimo na geração de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas com efeitos adversos no meio ambiente (ROCHA, 2006).

É importante caracterizar, inicialmente, que o grande crescimento populacional acompanhado das criações de novas tecnologias foi fundamental para originar sérios problemas ao planeta, o consumo da população produz uma grande quantidade de resíduos sólidos urbanos como baterias, plásticos, vidros, papéis, decomposição da matéria orgânica que causam sérios problemas ao meio ambiente quando são posicionados diretamente no solo.

É com base nestes dados, que na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que exige todos os municípios da Brasil devam fazer o descarte dos resíduos sólidos de formas correta, utilizando-se de aterros sanitários.

De acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), o impacto ambiental é determinado como qualquer variação física, química e biológica do meio ambiente provocada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das ações humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população em geral, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a característica dos recursos ambientais.

O aterro sanitário é uma técnica de que utiliza a engenharia para locação de resíduos sólidos urbanos – (RSU) em um local definido, de tal maneira que não prejudique o solo, a saúde e reduzindo os impactos ambientais, trabalho baseado na criação de células para direcionar os resíduos coletados e reduzir a quantidade do material, utilizando como cobertura camadas de terra ao atingir um volume estipulado ou no termino do dia (ABNT, 1992).

## **1.1 Problema de pesquisa**

Seria viável a instalação de um aterro sanitário de resíduos sólidos para município de Rio Maria – PA? Visto que o propósito é minimizar os impactos ambientais causados pela destinação incorreta dos resíduos sólidos residenciais no Município Rio Maria - PA, contribuindo para a melhoria de qualidade de vida da população.

## **1.2 Hipóteses**

- ▶ Com a instalação de um aterro sanitário o município será beneficiado de forma direta.
- ▶ Seguindo o modelo de aterro proposto atenderá ao crescimento populacional.
- ▶ O modelo de aterro proposto para o município mostra ser viável.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Avaliar a viabilidade técnica da construção de um aterro sanitário do tipo valas em Rio Maria – PA.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Escolher uma área do município de Rio Maria – PA, para a construção de um aterro sanitário.
- Estimar a taxa de crescimento populacional do município.
- Estimar a produção de lixo do município de Rio Maria para os próximos 20 Anos.

#### **1.4 Justificativa**

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

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

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

O aterro sanitário atende todas as diretrizes como normas e leis, visando o conforto, à saúde da população e o principal redutor de impactos ambientais causados pela destinação incorreta dos resíduos. O aterro sanitário consiste em atender por determinado tempo o município, armazenando todos os resíduos sólidos produzidos pela população, efetuando o tratamento do chorume gerado pela decomposição da matéria orgânica, o tratamento da lixiviação que acontece quando a água da chuva percorre por meio dos resíduos em decomposição, o tratamento do gás metano que é o principal responsável do efeito estufa e a proteção do solo com mantas impermeabilizantes evitando assim a percolação do chorume através do solo.

Ao implantar o aterro sanitário será possível a gerar emprego e renda para a população de Rio Maria. Podendo criar uma cooperativa onde serão realizadas atividades como a separação de materiais recicláveis como papéis, metais, vidros e plásticos. Pois através da separação do material reciclável é possível aumentar a vida útil do aterro sanitário de forma que o volume de resíduos será menor e ocupará menos espaço dentro das valas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Política Nacional dos Resíduos Sólidos**

A Lei nº 12.305/10, que elaborou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é muito atual que envolve instrumentos importantes para possibilitar a evolução necessária ao País ao desafiar os principais problemas ambientais, sociais, econômicos consequentes do manejo inapropriado dos resíduos sólidos, avaliando a prevenção e a redução na geração de resíduos, tendo como argumento a prática de hábitos de consumo sustentável e uma série de instrumentos para proporcionar o crescimento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aqueles objetos que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente correta dos rejeitos (aquele objeto que não pode ser reciclado ou reutilizado).

Ainda de acordo com a PNRS, deve ser instituída a responsabilidade compartilhada dos geradores de resíduos: dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, o cidadão e titulares de serviços de manejo dos resíduos sólidos urbanos na Logística Reversa dos resíduos e embalagens pós-consumo e pós-consumo, criando então, metas significativas que irão contribuir para a exclusão dos lixões e elabora ferramentas de planejamento nos níveis nacional, estadual, micro regional, intermunicipal e metropolitano e municipal; além de estabelecer que os particulares realizem seus Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

### **2.2 Problemática dos Resíduos sólidos**

Ao falarmos a respeito da problemática dos resíduos sólidos no mundo, os números são espantosos. Levando em consideração o lixo domiciliar e comercial são produzidas, por dia, 2 milhões de toneladas, o que representa 700 g/ habitante de áreas urbanas. Só em Nova York, são gerados 3 kg de lixo/dia por pessoa, ao mesmo tempo, em São Paulo esse número chega a 1,5 kg/dia por pessoa. E o Brasil por sua vez produz cerca de 125 a 130 mil toneladas/dia de lixo, resultando em 45 milhões de toneladas por ano. (NOVAES, 2003).

É necessário enfrentar essa questão, de maneira eficiente, procurando soluções que reduzem o impacto originado pelos resíduos, desprezando-os se possível na sua origem, ou oferecendo um destino útil, reciclando-os em novas matérias-primas (VALLE, 2004, p.96).

### **2.3 Definição de Aterro Sanitário de Pequeno Porte**

De acordo com a NBR 15849 (ABNT, 2010) o aterro sanitário de pequeno porte é definido como “aterro sanitário para disposição no solo de resíduos sólidos urbanos, até 20 t/dia ou menos, quando estabelecido por legislação local, em que, sabemos os condicionantes físicos locais, a elaboração do sistema possa ser simplificada, adequando os sistemas de proteção ambiental sem prejuízo da minimização dos impactos ao meio ambiente e à saúde pública”.

Considerando-se relevante, é fundamental a sua finalidade, pois segundo os critérios estabelecidos, os ASPP só podem ser adotados para disposição de até 20 toneladas por dia, conforme dito, o qual está prevista, na Resolução CONAMA nº 404/08 (IWAI, 2012).

Se porventura utilizar um aterro de pequeno porte, a ABNT (2010) propõe que a drenagem de fundo seja realizada com material rochoso ou algum outro material que possibilita espaços livres de forma a evitar a colmatação.

### **2.4 Saneamento Básico**

De acordo com a Lei Federal nº 11.445 de 5 de Fevereiro (BRASIL, 2007), a oferta do serviço de saneamento está associada aos sistemas constituídos por uma infraestrutura física e uma estrutura educacional, legal e institucional, que abrange os seguintes serviços:

- Água potável: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável;

- Esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários;

- Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;

- Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais.

A utilização do saneamento como um instrumento que promove a qualidade de saúde, implica a superação das barreiras tecnológicas, políticas e gerenciais que vêm dificultando a expansão dos benefícios à população.

A maioria dos problemas sanitários que afeta a população mundial está intrinsecamente relacionada com o meio ambiente. Um exemplo disso, segundo FUNASA



(2006) é a diarreia, com mais de quatro bilhões de casos por ano, é a doença que aflige a humanidade. Entre as causas podem-se destacar as condições impróprias de saneamento.

No Brasil, segundo dados da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2006), as doenças resultantes da falta ou inadequação de saneamento, especialmente em áreas pobres, têm agravado o quadro epidemiológico. No país, morrem 29 pessoas por dia de doenças decorrentes de falta de água encanada, esgoto e coleta de lixo.

## **2.5 Definições**

### **2.5.1 Resíduos sólidos**

A ABNT (2004) estabelece como resíduos sólidos aqueles nos estados sólidos e semissólidos, adquiridos através de origem industrial, domiciliar, hospitalar e agricultura. São considerados também como resíduos sólidos os lodos provenientes dos sistemas de tratamento de água, os processados em equipamentos de controle de poluição e líquidos com propriedades que não tem capacidades de descarte nas redes públicas de esgotos ou corpos hídricos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) descreve resíduos sólidos como objetos, materiais, substâncias resultantes da operação humana de uma sociedade, cujas características sejam no estado sólido ou semissólido, apresentando peculiaridade que não permitem o lançamento direto ao meio ambiente, sendo imposta uma solução técnica para descarte final.

## **2.6 Geradores de resíduos Sólidos**

### **2.6.1 Resíduo Sólido Domiciliar**

São resíduos gerados no ambiente residencial, composto por sua maioria de matéria orgânica como cascas frutas, restos de alimentos, verduras, jornais, papeis, garrafas, embalagem em geral, fraldas e outros itens (Cabral, 2009).

Mucelim e Bellini (2007) apontam dentre os impactos negativos criados a partir do lixo urbano, principalmente o domiciliar, estão às ações resultantes da prática de disposição inadequada de resíduos nos fundos e ao redor de canais, às margens de ruas ou cursos d'água. Práticas como essas podem provocar contaminação de corpos d'água, assoreamento, enchentes, fora a poluição visual, mau cheiro e contaminação do meio ambiente.

Pesquisas de Rutala e Mayhall (1992), Garcia e Ramos (2004) revelam que o lixo domiciliar pode acomodar microrganismos com um enorme potencial patogênico,

principalmente em alguns casos, podem até ser ainda mais nocivos que resíduos considerados perigosos como os de origem hospitalar.

### **2.6.2 Resíduos Sólidos hospitalares**

Os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), também conhecido como (Lixo hospitalar), são classificados em função de suas características físicas e químicas, conforme os riscos que podem manifestar ao meio ambiente por meio da contaminação do solo, da água e do ar e à saúde daqueles que têm contato com este tipo de resíduo (BARTHOLOMEU; CAIXETA, 2011).

De acordo com Bidone & Povinelli 1999, recentemente a comunidade específica aceitou que os (RSS) quando incorretamente manuseados apresentam risco enorme em três classes, sendo a primeira à saúde de quem manuseia esses resíduos, em seguida vem o aumento da taxa de infecção hospitalar e o impacto ao meio ambiente, por consequência, é proposto um projeto de capacitação com concepções básicas acerca dos resíduos sólidos hospitalares, por exemplo: a forma correta de instalação dos sacos, segurança durante o manuseio e os procedimentos de higiene após instalação e manuseio.

### **2.6.3 Resíduos Sólidos Industriais**

Os resíduos industriais são produzidos durante a etapa de produção e no decorrer das atividades auxiliares, como por exemplo, nos processos de manutenção, operação, limpeza, obras e outros serviços (PHILIPPI JR., 2005, P.292).

O conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), órgão que é vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, publicou a Resolução 313/02 (MMA, 2005b) em 2002, onde foi estabelecida a obrigação das Indústrias com sede no Brasil, a fornecer todos os dados relacionados aos resíduos sólidos industriais gerados, com a finalidade do Governo Federal e os Órgãos Estaduais de controle ambiental originem um inventário de resíduos.

### **2.6.4 Resíduo Comercial**

São todos aqueles resíduos gerados em empresas comerciais, com características dependentes das atividades desenvolvidas ali. “Em um processo de limpeza urbana, é importante que sejam criadas as subdivisões de "grandes" e "pequenos" geradores, uma vez que a coleta dos resíduos dos grandes geradores de resíduos pode ser tarifada e, portanto,

converter em fonte de receita adicional para suporte econômico do sistema.” (IBAM, 2001, p. 27).

## **2.7 Aterro Sanitário de resíduos Sólidos Urbanos**

De acordo com a ABNT (1992), aterro sanitário é um processo de acomodação de resíduos sólidos urbanos em uma área definida e correta, a fim de preservar a saúde pública e buscar a redução dos possíveis impactos ambientais. Essa técnica utiliza conhecimentos de engenharia, com a finalidade de inserir os resíduos sólidos em pequenas áreas e em menor volume aceitável, utilizando o solo como material de cobertura dos resíduos ao fim de cada dia trabalhado ou apenas quando necessário.

Conforme Obladen e Barros (2009, p. 7), o aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é uma obra de engenharia elaborada numa área pensada e estudada para o acolhimento dos resíduos, deve ser apropriadamente cercada em todo seu perímetro, com um controle essencial da rotina para o funcionamento adequado e projeto para o após fechamento da área.

## **2.8 Aterro Controlado**

O aterro controlado é definido como uma técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem provocar prejuízos ou algum risco à saúde pública e à sua segurança, reduzindo os impactos ambientais. Para o confinamento dos resíduos sólidos, são usados métodos que contam com princípios de engenharia, que consiste em cobrir os resíduos com uma camada de material inerte (não perigosos) ao final de cada jornada de trabalho, de forma semelhante ao aterro sanitário, mas, com dimensões menores, sem nenhum tipo de impermeabilização de base, sem sistemas de controles ou monitoramentos do chorume ou gases produzidos, ocasionando sérios riscos de contaminações ao meio ambiente (ABNT, 1992).

Técnica que consiste em fazer o confinamento adequado dos resíduos de sólidos urbanos, garantindo que o ambiente externo não seja poluído, através da cobertura das células de resíduos, mas, sem possibilitar a coleta e o tratamento dos efluentes líquidos e gasosos gerados (CORREA e LANÇA, 2008).

## 2.9 Lixão

O lixão é uma maneira de disposição final dos RSU, onde estes são lançados sobre o solo, sem nenhuma medida de segurança ao meio ambiente ou a saúde pública. Não existem controles sobre tipo, dimensão ou grau de periculosidade dos resíduos depositados. Os resíduos são apenas lançados sobre o solo natural sem ao menos receber qualquer tipo de procedimento mecânico para reduzir seu volume. Esta forma de disposição favorece a proliferação de inúmeros vetores (moscas, ratos, mosquitos), originando maus odores e principalmente a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração dos líquidos gerados pela decomposição dos RSU (NASCIMENTO, 2007).

Nos lixões a céu aberto, é possível contatar uma forma de deposição desordenada, sem uma apropriada compactação do lixo e sem qualquer tipo de proteção ou cobertura, destacando questões em relação à contaminação do solo, do lençol freático e a proliferação de macro e micro vetores (Castilhos Junior, 2003 e Paris, 2007).

## 3.0 Aterros Sanitários em Valas

De acordo com Savastano Neto *et al.* (2010), o aterro sanitário em valas é um método de descarte de resíduos sólidos, somente para municípios de pequenos portes, que produzem no máximo 20 toneladas de lixo por dia, caso produza mais que esse volume, será necessário abrir valas constantemente, tornando-se inviável, por conta do alto custo.

As bordas superiores devem possuir separação entre cada vala de no mínimo 1,0 metro, deixando então um espaço suficiente para poder operar e dar manutenção, já a profundidade de escavação das valas pode ser, no máximo, de 3,0 metros, observando as condições de estabilidade dos taludes e o nível do lençol freático, a largura da vala pode ir variando de acordo com o equipamento a ser usado na escavação, tomando cuidado para que não seja excessiva para que não dificulte a cobertura operacional dos resíduos, recomendando então que a largura da vala na superfície não exceda 3,0 metros (ABNT, 2010).

Tomando por base os dados do IBGE (2010) e também os dados da edição do estudo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2016, realizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), onde apresenta o Pará com uma coleta per capita de 0,558 (kg/hab./dia).

### **3.1 Lei nº 12.305**

De acordo com a Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), será necessário elaborar o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, pelos governos municipais, acabar com os lixões; estabelecer a coleta seletiva; fazer a distribuição; estabelecer então apenas os rejeitos para os aterros sanitários.

Caso estas determinações sejam desrespeitadas poderá ser punidos tanto pessoa física (gestor), quanto pessoa jurídica (município), de acordo com alguns trechos da lei. Se os municípios se omitirem, estarão sujeitos a sanções previstas na Lei de Crimes Ambientais – 9.605/1998, onde as punições alternam de detenção (reclusão de 01 a 04 anos), à multas que pode ser de R\$ 5 mil até R\$ 5 milhões e perda do mandato.

### **3.2 Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos**

O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos atribui pela ação de vários órgãos com intuito semelhante de desempenhar a limpeza urbana, coleta, tratamento e acomodação final do lixo, para trazer melhoria na saúde pública, conforme Monteiro et al. (2001).

Ao ser avaliado a situação presente do gerenciamento integrado de resíduos sólidos relatada à comunidade internacional é visivelmente a favor da prevenção e minimizar a fonte para viabilizar a redução das proporções de resíduos que envolvem o tratamento ou disposição, favorecendo a estruturação dos sistemas de reciclagem (WILSON, 2000).

Nos últimos 30 anos podemos visualizar a demanda pelo gerenciamento de resíduos sólidos, no momento em que, pessoas em número razoável começaram a observar os diversos efeitos do lixo em suas vidas, pois um conhecimento maior sobre os resíduos, sem sombra de dúvida, trouxe a sociedade melhoria na habilidade na hora de remover e jogar fora esses materiais, para assim então minimizar seus impactos sobre a saúde pública e no meio ambiente, melhorando também o conhecimento e a aceitação em recuperar. Um melhor conhecimento também aumentou a aceitabilidade para recuperar componentes úteis de certos tipos de resíduos e colocando então esse assunto em local de destaque na agenda social (RUSHBROOK, 2001).

### 3.3 Chorume

O significado da palavra ‘Chorume’, a princípio era designado apenas para substância gordurosa expelido pelo tecido adiposo da banha de um animal (WIKIPÉDIA, 2010).

No ponto de vista de Luz (1981 *apud* SCHALCH *et al.*, 2002), o chorume ou sumério é o líquido produzido na decomposição do lixo e que é originado por:

- Umidade do lixo, normalmente em grandes períodos chuvosos;
- Água de constituição dos materiais, que vai se acumula ao longo da decomposição;
- Líquidos resultantes da decomposição da matéria orgânica.

Trata-se de um líquido escuro de odor forte e desagradável gerado pela decomposição de da matéria orgânicas presentes nos resíduos sólidos, somando com a água da chuva no período chuvoso, acabam chegando até o meio ambiente, caso não realizem os tratamentos apropriados e com elevada Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO (COLUMB, 2012 *apud* RODRIGUES, 2014; ABNT, 1992).

### 3.4 Biogás

Segundo o IPCC (1996) os aterros sanitários são responsáveis por liberar média de 5 a 20% de metano por elementos que tem em sua origem a atividade humana.

Conforme a USEPA (1991) a formação do biogás pode ser alcançada a partir da vaporização, decomposição biológica e reações químicas. A vaporização é a variação de estado líquido para gasoso que acontece até que sejam atingidas concentrações de estabilidade nos gases do aterro. A decomposição biológica acontece quando compostos orgânicos de enorme massa molecular que são decompostos por bactérias, gerando compostos voláteis. A reação química ocorre como resultado do contato entre o resíduo e os gases reativos gerados no aterro.

### 3.5 Sistema de Drenagem Lixiviados

De acordo com Castilho Junior (2003), os lixiviados produzidos pela decomposição dos resíduos sólidos nas valas precisam ser escoados para fora, onde receberão tratamento

adequado. A drenagem do chorume pode ser planejada garantindo a percolação dele entre os resíduos sólidos, apressando o processo de biodegradação dos resíduos, logo que os microrganismos degradadores estão presentes no chorume.

### **3.6 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.

### **3.7 Estudos Preliminares**

É de grande importância que durante os estudos preliminares seja feito um diagnóstico da coordenação de resíduos sólidos no município em estudo, pois as etapas em geral, desde a produção até a conclusão final devem ser tratadas, juntamente com os dados qualitativos e quantitativos sobre as tarefas de gestão que são necessários para que se faça um bom planejamento que traga melhoria no sistema, informações como a geração per capita de resíduos sólidos domésticos e serviços de limpeza que são executados na cidade são de suma importância (CASTILHO JUNIOR, 2003).

### **3.8 Escolha da Área para Implantação do Aterro Sanitário**

No geral, para implantar um aterro sanitário, deve optar-se por áreas que a prefeitura já disponha, bastando apenas avaliá-los corretamente, com o propósito complementar de revigorar as áreas degradadas, na maioria das vezes são escolhidas áreas como pedreiras desativadas, cavas de mineração ou cortes de rodovias abandonados (BOSCOV, 2008).

É de extrema importância que se realize um estudo de viabilidade, etapa que é crucial na implantação e construção de qualquer tipo de empreendimento, onde esse estudo irá envolver os aspectos sociais, custos e impactos ambientais, se resumindo em três etapas importantíssimas para analisar uma área escolhida, que são elas: Levantamento de dados, Pré-Seleção de Áreas e Estudo de Viabilidade (CEMPRE, 2010).

Segundo Monteiro et al. (2001), a legislação federal, estadual e municipal possui requisitos mínimos que devem ser seguidos para selecionar a área para alocação dos resíduos

sólidos, isto é, necessário que esteja a uma distância de no mínimo de 1000 metros de residências que abriguem 200 ou mais habitantes e não poderá se situar próximo a aeroportos ou aeródromos.

### **3.9 Licenciamento Ambiental**

Conforme o Art. 5º da Resolução nº 308 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), o órgão ambiental competente, se for constatado que o aterro sanitário não produzirá o risco significativo de impacto ambiental, poderá então dispensar o Estudo de Impacto Ambiental / Relatório de Impacto Ambiental - EIARIMA, definindo para este caso, estudos ambientais que são necessários no processo de licenciamento.

### **3.10 Coleta e Transporte**

É dos municípios a competência de fazer toda a coleta e disposição final do lixo urbano. De acordo com os dados do IBGE (2002), cerca de 60% dos RSU coletados são dispostos em vazadouros no país. O método de gerenciamento do processo de coleta deve projetar a coleta de 100% do lixo gerado, ou seja, a globalização da coleta.

Cunha e Caixeta Filho (2002) contam que a coleta abrange desde a saída do veículo da garagem, atingindo todo o trajeto gasto na viagem para remoção dos resíduos dos locais onde foram acomodados aos locais de descarga, até o volta do veículo ao ponto de partida inicial.

Ainda sobre o sistema de coleta, Cunha e Caixeta Filho (2002, p.145) certificam que: O sistema de coleta pode ser classificado normalmente em dois tipos: sistema especial de coleta (resíduos contaminados) e sistema de coleta de resíduos não contaminados. No segundo sistema, a coleta então poderá ser executada de forma tradicional (resíduos são encaminhados para o destino final) ou rigorosa (resíduos recicláveis que são conduzidos para locais de tratamento e/ou recuperação).

Segundo os mesmos autores, são vários os tipos de veículos coletores, englobando os motorizados e não-motorizados (os que operam a tração animal como força motriz); caminhões compactadores, que consegue reduzir a 1/3 a dimensão original dos resíduos, e os veículos comuns (tratores, coletor de caçamba aberta e coletor com carrocerias ou tipo baú).



Há também os caminhões caçamba empregado na coleta seletiva, onde os materiais coletados recicláveis são colocados separados dentro da carroceria do caminhão.

### **3.11 Incineração**

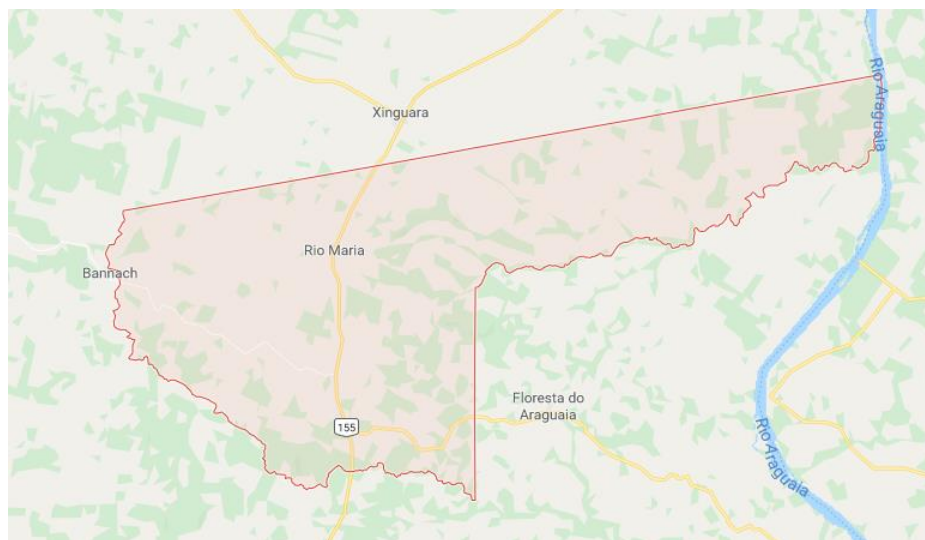
É o processo que busca reduzir a dimensão das matérias através de um sistema que utiliza a queima, sendo usado em especial nos locais onde não é possível a criação de aterros sanitários, devido os espaço territorial ser pequeno, já no Brasil esse sistema só é utilizado para queima de resíduos hospitalar e industrial (CABRAL, 2009).

## 4.0 Materiais e Métodos

### 4.1 Localização

O aterro sanitário proposto para o município de Rio Maria, localizado no interior do estado do Pará, região norte do país, que possui uma área de aproximadamente de 4.114,6 km<sup>2</sup> conforme a Figura 1, com uma população estimada de 17.697 habitantes com densidade demográfica é de 4,3 habitantes por m<sup>2</sup>, e sua distância da capital Belém é de 961 km, conforme o (IBGE,2010).

Figura 01 - Mapa do município de Rio Maria – PA.



Fonte: Adaptado de Google Earth Pro.

### 4.2 Levantamento de dados da área selecionada para implantação do aterro

A área selecionada para a implantação do aterro sanitário possui as seguintes características como apresenta a Figura 02:

Figura 02 – Área de implantação do aterro sanitário do município de Rio Maria – PA.



Fonte: Google Earth.

- Área aproximada de 96.800 m<sup>2</sup>;
- Distância aproximada de 3 km da cidade;
- O local possui pouca vegetação;
- O curso hídrico mais próximo fica aproximadamente 1,5 km de distância (Rio Maria);
- Expansão Urbana: a área está afastada de qualquer planejamento de expansão urbana.

Tendo em vista que o Código florestal determina algumas distâncias e limites para as margens dos cursos d'água variam entre 30 metros e 500 metros, dependendo da largura de cada curso d'água, contados a partir do leito maior. Também devem ser mantidas APPs em um raio de 50 metros ao redor das nascentes e “olhos d'água”, ainda que sequem em alguns períodos do ano. O Rio Maria que está a aproximadamente 1,5 km da área escolhida para a instalação do aterro, que tem a largura média de 3 a 5 m e uma extensão de aproximadamente 121,5 km, atendendo então aos critérios do Código Florestal.

### 4.3 Determinação da Área Útil do Aterro

Seguindo a norma ABNT (2010) para projetos de aterro sanitário em valas onde prescreve a vida útil de no mínimo 15 anos, onde a orientação para o município de Rio Maria – PA foi de 20 anos.

### 4.4 Dimensionamento das Valas

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

#### 4.4.1 Previsão de Crescimento Populacional do Município

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

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

Produção diária de R.S.U. (Pd):

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

Em que:

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

Produção de resíduos per capita (Ppc):

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

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

Volume diário de ocupação (Vd):

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

Em que:

$p$  = População urbana atual (habitantes)

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

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

$d$  = Densidade de resíduo 1 (kg/m<sup>3</sup>)

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/m<sup>3</sup>.

$T_c$  = Fator de material de cobertura (%)

Volume anual de ocupação ( $V_a$ ):

$V_a = V_d * 365$ , equação 4

#### **4.5 Volumes e dimensões das valas**

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

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

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

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

$V_{mm} = V_{md} * 30$  (m<sup>3</sup>/mês), equação 6

##### **4.5.3 Volume da trincheira ( $V_t$ )**

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

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

#### 4.5.4 Comprimento médio da trincheira (L)

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

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

Em que:

B = Base maior (m)

b = Base menor (m)

p = Profundidade (m)

#### 4.5.5 Volume de ocupação dos resíduos por trincheira (Vo)

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

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

Em que:

V<sub>o</sub> = Volume de ocupação dos resíduos por trincheira

h = Altura da trincheira

SB = área da base maior

Sb = área da base menor

#### 4.5.6 Volume de escavação das Valas (Ve)

Para calcular o volume de escavação das valas, também foi utilizada a fórmula criada por Marcelo Rigonatto que é especialista em estatística e modelagem matemática. Nesse caso

em razão do projeto de aterro sanitário dispor de impermeabilização através de geomembrana, a alteração fica em relação ao comprimento, largura e profundidade que em razão da impermeabilização necessitaram de acréscimo de 60 cm de solo adequado a este tipo de serviço.

$$V_e = \frac{h}{3} * (S B + (1 S B * S b) + S b)$$

#### **4.6 Determinação do número de células (valas) para os anos de vida útil do projeto**

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

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

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

#### **4.7 Dimensionamento da Área do Aterro Sanitário**

Área superficial (As):

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

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

#### **4.8 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Valas**

Devido não se saber a qualidade dos solos de cada cidade do estado do Pará e também para garantir maior segurança na proteção contra infiltrações, serão utilizadas mantas plásticas de alta densidade para a impermeabilização da base e laterais das valas. Segundo Castilhos Junior (2003), normalmente as geomembranas cobrem uma camada de solo compactado, com espessura mínima de 60 cm e k (condutividade hidráulica) menor que  $10^{-7}$  cm/s. A combinação desses dois critérios, garantem que não ocorra algum vazamento dos líquidos residuais para o lençol freático.

##### **4.8.1 Dimensionamento do solo**

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

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

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

#### 4.8.2 Dimensionamento da manta

Considerando 1,5 m de ancoragem para cada lado.

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

Em que:

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

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

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

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

Ancoragem = Perímetro do topo \* 1.5, equação 19

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

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

#### 4.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais

O dimensionamento do sistema de drenagem das águas pluviais foi necessário em razão do acúmulo das águas nas valas aumentarem o volume de chorume gerado, com isso podendo gerar uma sobrecarga no seu sistema de tratamento e prejudicar o preenchimento



adequado das valas. Conforme Oliveira (2013) para dimensionar a vazão do sistema, é utilizado o Método Racional, que consiste na utilização da seguinte fórmula:

$$Q = C * i * A, \text{ equação 22}$$

Em que:

Q = Vazão a ser drenada (m<sup>3</sup>/s);

A = Área da bacia contribuinte (m<sup>2</sup>);

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

i = Intensidade da chuva crítica (mm/h)

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

Em que:

T = período de retomo (anos)

t = duração da precipitação (minutos)

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

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

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

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

Em que:

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

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

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

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

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

#### 4.10 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Lixiviados

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

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

Em que:

$$Q = \text{Vazão (L/s)}$$

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

$$A = \text{Área do aterro (m}^2\text{)}$$

$$P = \text{Precipitação anual (mm/ano)}$$

$$t = 31.536.000 \text{ (seg/ano)}$$

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

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

Em que:

$$T = \text{Tempo de detenção em dias}$$

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

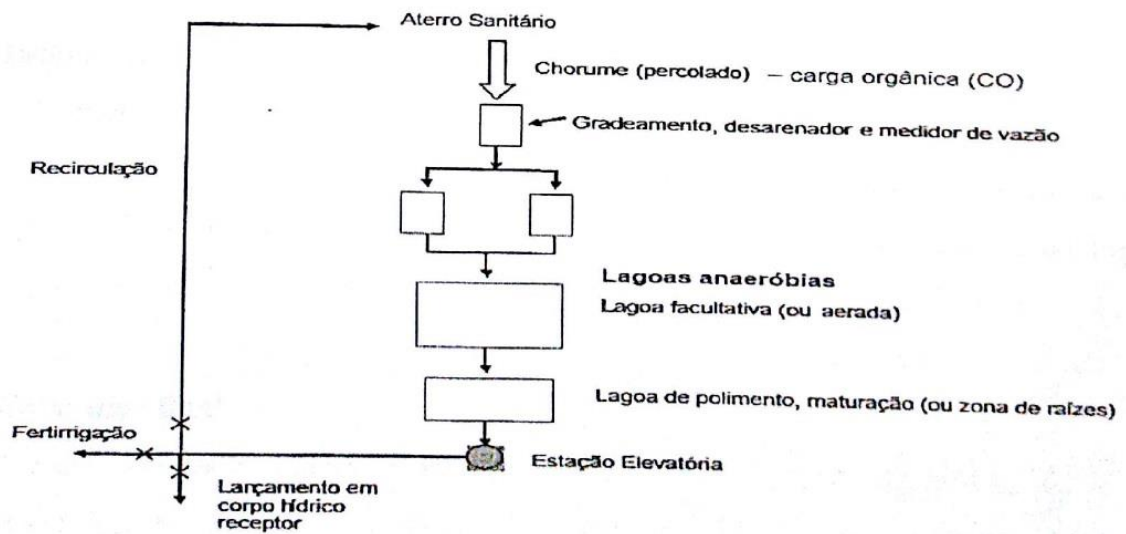
$Y = \text{DBO (Demanda bioquímica de oxigênio), (mg/l) - geralmente com redução de 50\% tendo em vista a eficiência do tratamento anaeróbio. Obtendo-se o tempo de detenção (T) é possível calcular o volume da lagoa.}$

#### Volume da Lagoa Facultativa:

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

Adotando-se a relação de 1:2 dos taludes, e a profundidade por volta de 1,50m, obtêm-se as dimensões de superfície e profundidade da lagoa. A profundidade poderá ser aumentada em cerca de 0,50 a 1,00m para compor o bordo livre da lagoa. O fundo e as laterais deverão ser impermeabilizados mediante o uso de geomantas. A Figura 03 apresenta o fluxograma previsto para o chorume.

Figura 03 – Fluxograma para o chorume gerado no aterro sanitário



Fonte: Obladen e Obladen (2009)

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

Quadro 02 – Instruções para drenagem dos gases

Características de operação		Altura final do aterro (m)	
		≤ 3	> 3
Fração orgânica dos resíduos (%)	≤ 30	Dispensar*	Dispensar*
	> 30	Dispensar*	Considerar*

\* Os termos "dispensar" e "considerar" são de caráter orientativo, cabendo ao projetista decidir e justificar a adoção ou não deste elemento de proteção ambiental.

Fonte: ABNT (2010, p. 5)

Se optasse por fazer o escoamento dos gases gerados, segundo Lange et al. (2008) aconselha que se utilizem drenos verticais ou horizontais para a retirada do gás. Os drenos verticais são mais utilizados, sendo interligados com os drenos horizontais de lixiviados. Para o dimensionamento do dreno vertical, utiliza-se as equações de fluxo de 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.

#### **4.12 Isolamento do aterro**

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

#### **4.13 Cobertura final**

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

#### **4.14 Projeto Executivo**

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

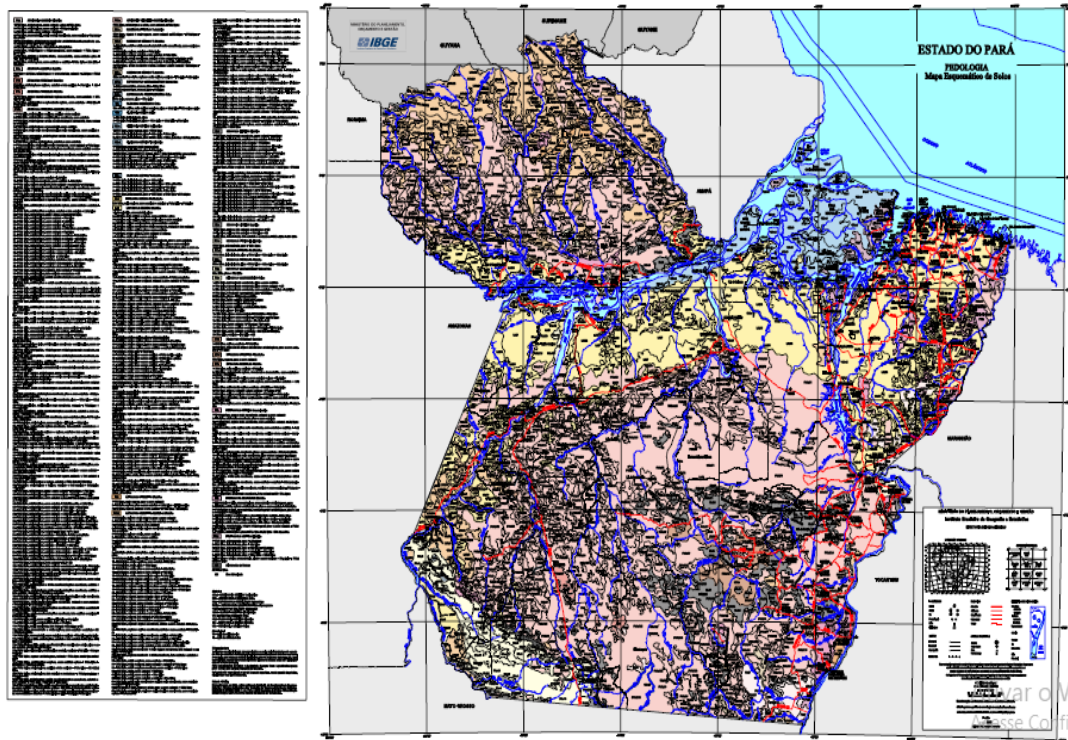
- a) Sequências construtivas do aterro sanitário com indicação de áreas de disposição dos resíduos, limites da área total que poderá ser utilizada, vias internas e preenchimento da área até o fim da vida útil do projeto;
- b) Configuração final do aterro;
- e) Acessos, portões, isolamento do aterro por meio de barreira física, guarita e edificações que sejam necessárias;
- d) Sistemas de proteção ambiental necessários;
- e) Localização dos pontos de coleta de águas superficiais.

### **5.0 Resultados**

#### **5.1 Determinação do Tipo de Solo da Região pelo Mapa Geológico.**

Como não foi possível à utilização de uma sondagem no local, foi consultado ao site do IBGE para verificar a composição do solo em Rio Maria – PA conforme apresenta o mapa na Figura 04.

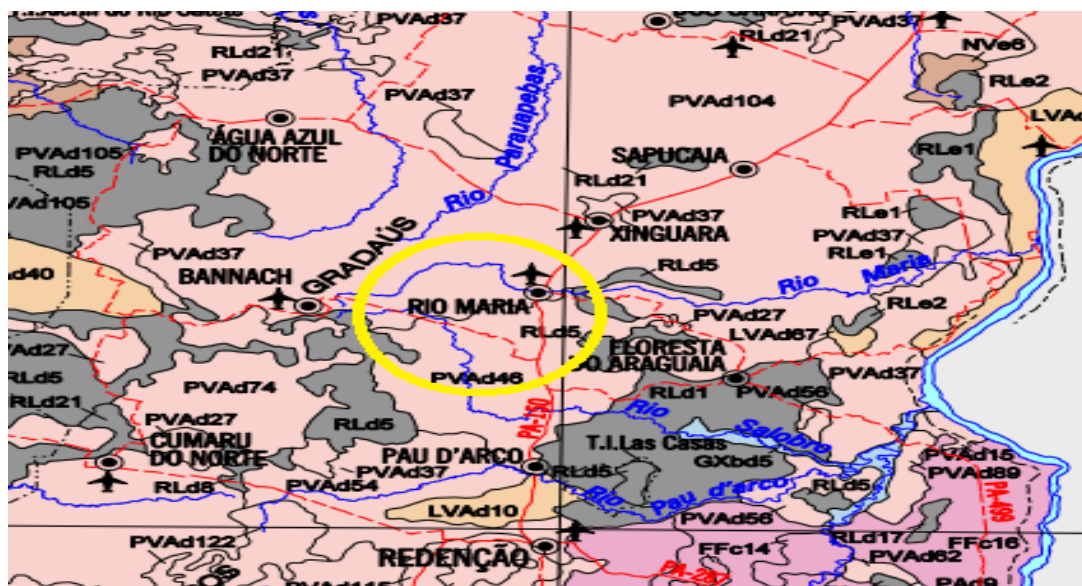
Figura 04 - Mapa geológico do estado do Pará



Fonte: IBGE(2019).

Na Figura 05 a seguir é possível ver a localização do município de Rio Maria – PA, através de uma aproximação do mapa geológico do estado do Pará.

Figura 05 – Localização do município de Rio Maria - PA no Mapa Geológico



Fonte: IBGE (2019).

Em seguida, a Figura 06 nos mostra a legenda do solo predominante da região em estudo.

Figura 06 – Legenda do Mapa Geológico do Município de Rio Maria – PA

PVAd	ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico
	1- PVAd típico, média/argilosa e argilosa, ondulado e forte ondulado
	2- PVAd típico, média/argilosa e média/argilosa cascalhenta, suave ondulado
	3- PVAd típico, média/argilosa e média cascalhenta/argilosa cascalhenta, suave ondulado e ondulado
	4- PVAd típico, média/argilosa e arenosa/média, suave ondulado
	5- PVAd típico, média muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta, suave ondulado e ondulado
	6- PVAd típico e petroplíntico, média/argilosa e média cascalhenta/argilosa cascalhenta, suave ondulado e ondulado
	7- PVAd típico e plíntico, média/argilosa, ondulado e suave ondulado
	8- PVAd petroplíntico, média/argilosa muito cascalhenta, suave ondulado + PVAd típico
	9- PVAd petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, suave ondulado e ondulado + LVAd típico
	10- PVAd petroplíntico, média cascalhenta/argilosa cascalhenta, ondulado e forte ondulado + LVAd típico
	11- PVAd petroplíntico, média cascalhenta e média cascalhenta/argilosa cascalhenta, suave ondulado + FFc argissólico
	12- PVAd plíntico, média muito cascalhenta/argilosa cascalhenta, média cascalhenta/argilosa e média cascalhenta/muito argilosa cascalhenta, plano + GXbd típico
	13- PVAd típico, argilosa/muito argilosa e argilosa, suave ondulado e ondulado + LAd típico
	14- PVAd típico, argilosa, suave ondulado + LAd típico
	15- PVAd típico, argilosa cascalhenta, suave ondulado + LVAd típico

Fonte: IBGE (2019)

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

- Para consistência e granulometria das camadas de subsolo na base do aterro recomenda-se a utilização de solos naturalmente pouco permeáveis (solos argilosos, argilo-arenosos ou 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 a área do aterro e núcleos populacionais vizinhos;
- Distância entre a área do aterro e o curso d'água pode variar de acordo com a largura do rio.

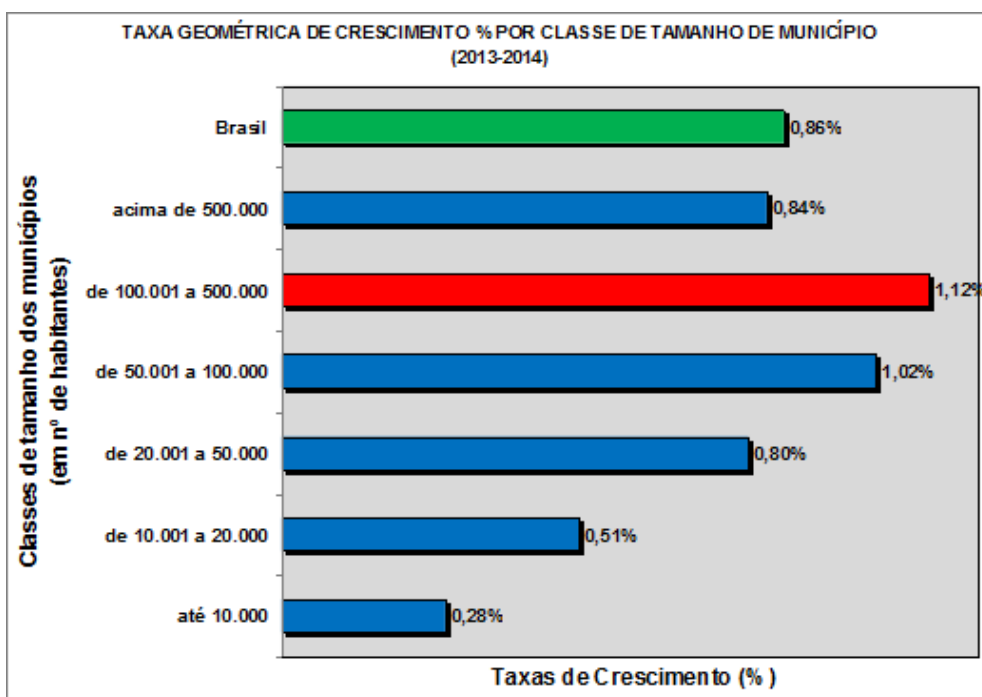


## 5.2 Dimensionamento de valas

### 5.2.1 Previsão de crescimento populacional do município

Conforme apresenta o IBGE 2010, o município de Rio Maria – PA possui uma população de 17.697 habitantes, na projeção da população foi utilizado um crescimento 0,51%, de acordo com o gráfico da taxa geométrica da Figura 07.

Figura 07– Crescimento dos municípios por classe



Fonte: IBGE (2014).

A partir da taxa de crescimento acima citada, fez-se a projeção da população do município em estudo para o ano de 2040, conforme o QUADRO 03 abaixo.

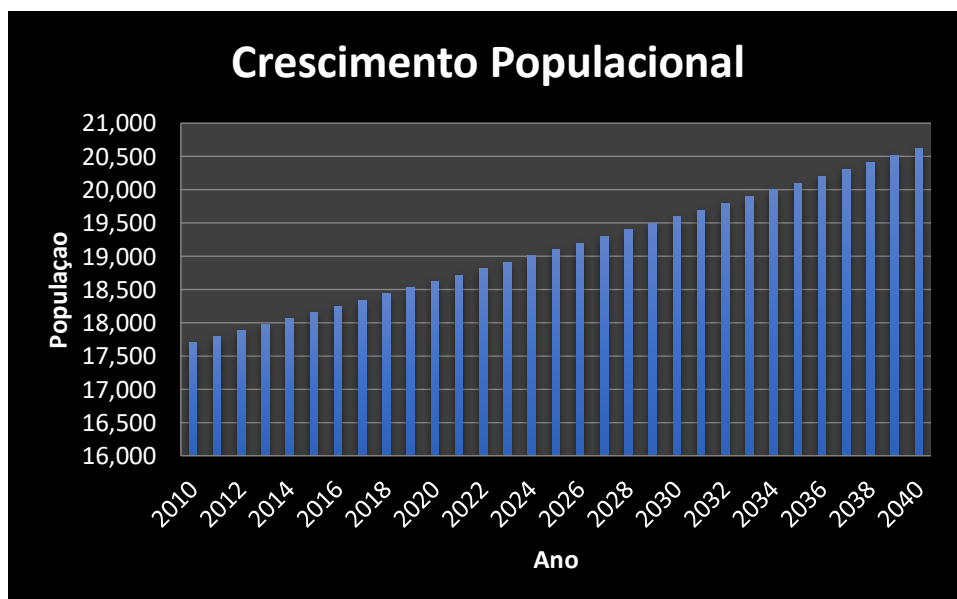
Quadro 03 – Previsão de Crescimento Populacional

Anos	Porcentagens de Crescimento	Quantidade de Pessoas que Nascem	População Total
2010	0,51	-	17.697
2011	0,51	90	17.787
2012	0,51	91	17.878
2013	0,51	91	17.969
2014	0,51	92	18.061
2015	0,51	92	18.153

2016	0,51	93	18.245
2017	0,51	93	18.339
2018	0,51	94	18.432
2019	0,51	94	18.526
2020	0,51	94	18.621
2021	0,51	95	18.716
2022	0,51	95	18.811
2023	0,51	96	18.907
2024	0,51	96	19.003
2025	0,51	97	19.100
2026	0,51	97	19.198
2027	0,51	98	19.296
2028	0,51	98	19.394
2029	0,51	99	19.493
2030	0,51	99	19.592
2031	0,51	100	19.692
2032	0,51	100	19.793
2033	0,51	101	19.894
2034	0,51	101	19.995
2035	0,51	102	20.097
2036	0,51	102	20.200
2037	0,51	103	20.303
2038	0,51	104	20.406
2039	0,51	104	20.510
2040	0,51	105	20.615

Fonte: Autor (2019).

Gráfico 01 - Crescimento Populacional do Município





Fonte: Autor (2019).

### **5.3 Levantamentos de volume diário e anual de ocupação para todos os 20 anos do projeto.**

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

#### **Levantamento para o 1º ano (2020):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 18.621 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(18.621 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 25,98 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $25,98 * 365 = 9.481 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 2º ano (2021):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 18.716 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(18.716 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26,11 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $26,11 * 365 = 9.530 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 3º ano (2022):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 18.811 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(18.811 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26,24 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $26,27 * 365 = 9.578 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 4º ano (2023):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 18.907 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(18.907 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26,37 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $26,37 * 365 = 9.627 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 5º ano (2024):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.003 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(19.003 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26,51 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $26,51 * 365 = 9.676 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 6º ano (2025):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.100 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(19.100 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26.64 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $26.64 * 365 = 9.725 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 7º ano (2026):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.198 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(19.198 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26.78 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $26,78 * 365 = 9.775 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 8º ano (2027):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.296 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(19.296 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 26,92 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $26,92 * 365 = 9.825 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 9º ano (2028):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.394 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.394 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,05 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,05 * 365 = 9.875 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 10º ano (2029):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.493 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.493 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,19 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,19 * 365 = 9.925 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 11º ano (2030):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.592 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.592 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,33 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,33 * 365 = 9.976 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 12º ano (2031):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.692 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.692 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,47 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,47 * 365 = 10.027 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 13º ano (2032):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.793 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.793 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,61 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,61 * 365 = 10.078 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 14º ano (2033):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.894 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.894 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,75 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,75 * 365 = 10.130 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 15º ano (2034):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 19.995 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(19.995 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 27,90 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $27,90 * 365 = 10.183 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 16º ano (2035):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 20.097 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%

Fator de material de cobertura = 25%

Volume diário de ocupação =  $(20.097 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 28,04 \text{ m}^3/\text{dia}$

Volume anual de ocupação =  $28,04 * 365 = 10.233 \text{ m}^3/\text{ano}$

#### **Levantamento para o 17º ano (2036):**

Produção de resíduos diário e anual

Dados:

População urbana = 20.200 habitantes

Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia

Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>

Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(20.200 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 28,18 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $28,18 * 365 = 10.285 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 18º ano (2037):**

Produção de resíduos diário e anual  
 Dados:  
 População urbana = 20.303 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(20.303 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 28,32 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $28,32 * 365 = 10.338 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 19º ano (2038):**

Produção de resíduos diário e anual  
 Dados:  
 População urbana = 20.406 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(20.406 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 28,47 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $28,47 * 365 = 10.390 \text{ m}^3/\text{ano}$

**Levantamento para o 20º ano (2039):**

Produção de resíduos diário e anual  
 Dados:  
 População urbana = 20.510 habitantes  
 Geração per capita de RSU = 0,558 kg/hab/dia  
 Densidade do RSU = 500 kg/m<sup>3</sup>  
 Abrangência de coleta do serviço = 100%  
 Fator de material de cobertura = 25%  
 Volume diário de ocupação =  $(20.510 * 0,558 * 1/500) * 1,25 = 28,61 \text{ m}^3/\text{dia}$   
 Volume anual de ocupação =  $28,61 * 365 = 10.443 \text{ m}^3/\text{ano}$

De posse dos volumes de resíduos sólidos urbanos gerados para todos os anos da vida útil do aterro sanitário, pode constatar logo abaixo através do Gráfico 01, o crescimento dos volumes gerados anualmente. Isto acontece em função da população de Rio Maria - PA ser pequena e a taxa de crescimento populacional ser baixa.

Gráfico 02 - Volumes de RSU gerados durante 20 anos



Fonte: Autor (2018)

## 5.4 Volume e Dimensões da Valas

### 5.4.1 Volume médio diário de ocupação (Vmd)

$$Vmd = (9481 + 9530 + 9578 + 9627 + 9676 + 9725 + 9775 + 9825 + 9875 + 9925 + 9976 + 10027 + 10078 + 10130 + 10183 + 10233 + 10285 + 10338 + 10390 + 10443) = 199100 \text{ m}^3$$

Volume Médio Diário (Vmd)

Tempo: 20 anos  
1 ano = 365 dias

Somatório de resíduos: 199100 m<sup>3</sup>

$$Vmd = 199100 / (20 \cdot 365)$$

Vmd = 27,27 m<sup>3</sup>

### 5.4.2 Volume médio mensal de ocupação (Vmm)

Volume médio mensal (Vmm)

1 mês: 30 dias

Vmd: 27,27 m<sup>3</sup>

Vmm:  $27,27 \text{ m}^3 * 30 \text{ dias}$   
 Vmm:  $818,1 \text{ m}^3$

#### 5.4.3 Volume da trincheira (Vt) e Comprimento médio da trincheira (L)

O cálculo do volume da trincheira foi feito considerando que cada trincheira será completamente preenchida em 2 meses, e os dados para geometria apresentada a seguir, estão dentro do limite imposto pela ABNT (2010), limitando estas dimensões para facilitar a operação manual deste tipo de aterro. A forma geométrica das valas foi à trapezoidal e a inclinação das paredes internas de 1:1, conforme Figura 08.

##### Volume da trincheira.

Volume médio mensal:  $818,1 \text{ m}^3$

Tempo: 2 meses

Vt:  $818,1 \text{ m}^3 * 2 \text{ meses}$

Vt:  $1636,2 \text{ m}^3$

##### Comprimento médio da trincheira.

Dados:

Base maior: 8 m

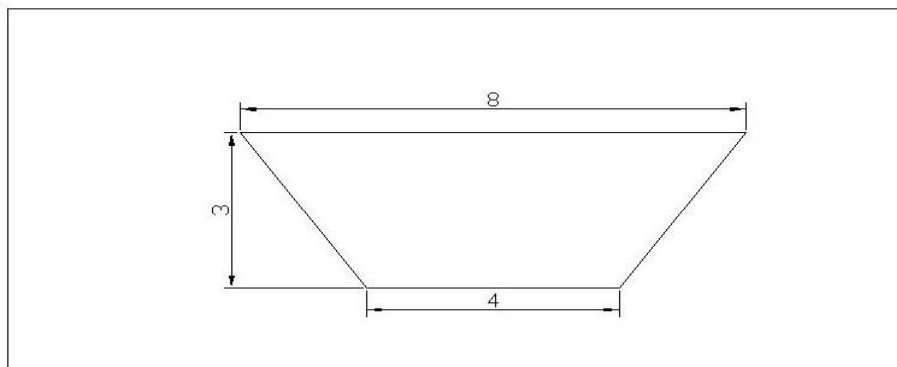
Base menor: 4 m

Profundidade: 3 m

Volume da trincheira:  $1636,2 \text{ m}^3$

L:  $1636,2 / ((8+4/2)*3) = 91 \text{ m}$

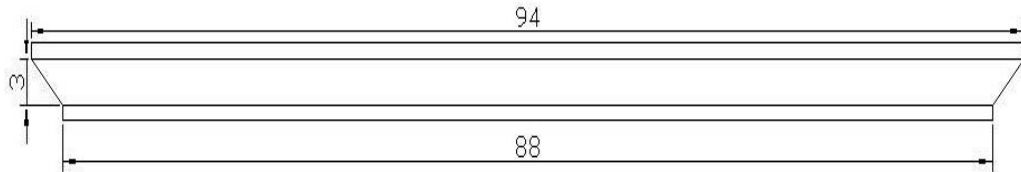
Figura 08 – Dimensões da vala



Fonte: Autor (2019)

Com base no cálculo feito pelo comprimento médio obtivemos 91 m, fazendo a relação entre a inclinação da vala de 1:1 e a profundidade de 3 m, vamos adotar a base maior de 94 m e a menor de 88 m conforme a Figura 09.

Figura 09 – Comprimento da base maior e base menor da vala



Fonte: Autor (2019)

#### 5.4.4 Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo)

Área superior da vala (superfície):

Comprimento = 94 m

Largura = 8,00 m

Área =  $94 * 8,00 = 752 \text{ m}^2$

Área inferior da vala (fundo):

Comprimento = 88 m

Largura = 4,00 m

Área =  $88 * 4 = 352 \text{ m}^2$

Profundidade da Vala:

Profundidade = 3,00 m

Volume de ocupação dos resíduos por vala (Vo):

$V_o = 3/3 * ((\sqrt{752 * 352}) + 352 + 752) = 1618 \text{ m}^3$

Base maior = 8,00 m

Base menor = 4,00 m

Profundidade = 3,00 m

Comprimento maior = 94 m

Comprimento menor = 88 m

Volume =  $1891 \text{ m}^3$



#### 5.4.5 Volume de escavação das Trincheiras (Ve)

Para que atenda a um bom sistema de impermeabilização, será feito camadas de 60 cm no fundo e nas laterais antes da aplicação da manta de PEAD para garantir a eficiência da impermeabilização. Para a escavação da vala foi adotado as seguintes dimensões conforme a figura 06.

Geometria da vala:

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

$$\text{Base menor} = 4,00 \text{ m}$$

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

$$\text{Comprimento maior} = 94 + (2 * 0,60) = 95,2 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento menor} = 88,00 \text{ m}$$

Área da base maior da vala (superfície):

$$\text{Comprimento} = 95,2 \text{ m}$$

$$\text{Largura} = 9,2 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 95,2 * 9,2 = 875,84 \text{ m}^2$$

Área da base menor da vala (fundo):

$$\text{Comprimento} = 88 \text{ m}$$

$$\text{Largura} = 4,00 \text{ m}$$

$$\text{Área} = 88 * 4,00 = 352 \text{ m}^2$$

Volume de escavação das valas (Ve):

$$\text{Ve} = 3,60/3 * ((\sqrt{875,84+352}) + 875,84 + 352) = 1515 \text{ m}^3$$

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

$$\text{Base menor} = 4,00 \text{ m}$$

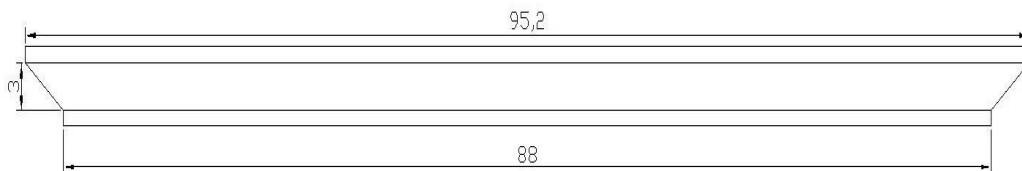
$$\text{Profundidade} = 3,00 + 0,60 = 3,60 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento maior} = 95,2 \text{ m}$$

$$\text{Comprimento menor} = 88 \text{ m}$$

$$\text{Volume} = 2196 \text{ m}^3$$

Figura 10 – Dimensões de escavação das valas



Fonte: Autor (2019)

### 5.5 Determinação da quantidade de valas para os 20 anos de vida útil do projeto

Quantidade de Valas =  $(9481 + 9530 + 9578 + 9627 + 9676 + 9725 + 9775 + 9825 + 9875 + 9925 + 9976 + 10027 + 10078 + 10130 + 10183 + 10233 + 10285 + 10338 + 10390 + 10443) / 1891 = 105$  valas.

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

### 5.6 Dimensionamento da Impermeabilização da Base e Laterais das Valas

As laterais das valas deverão ser limpas, retirando elementos que possa perfurar a manta de impermeabilização no ato ou depois da aplicação e o solo utilizado deverá possuir coeficiente de condutividade hidráulica abaixo  $10^{-7}$  cm/s e também deverá ser compactado com espessura mínima de 60 cm, pois caso haja perfuração da geomembrana, o revestimento mineral ajudará a impedir o vazamento do lixiviado.

#### 5.6.1 Dimensionamento do solo

Volume de solo necessário para uma célula:

$$V_0: 2196 - 1891 = 305 \text{ m}^3$$

Volume de solo necessário para 105 células:

$$\text{Volume total} = 305 * 105 = 32.025 \text{ m}^3$$

#### 5.6.2 Dimensionamento da manta

Foi aplicada uma manta de geomembrana PEAD com espessura de 1,00 mm, no fundo e nas laterais para melhorar o sistema de impermeabilização visando atender a norma e todos os parâmetros ambientais.

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

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

$$\text{Área lateral maior} = 4,24 * ((94 + 88)/2) = 385,84 \text{ m}^2$$

$$\text{Área lateral menor} = 4,24 * ((8 + 4)/2) = 25,44 \text{ m}^2$$

$$\text{Área da base} = 88 * 4 = 352 \text{ m}^2$$

$$\text{Ancoragem} = (94 + 94 + 8 + 8) * 1,5 = 306 \text{ m}^2$$

Área da manta por célula=  $(2 * 385,84) + (2 * 25,44) + 24 + 94 = 940,56 \text{ m}^2$

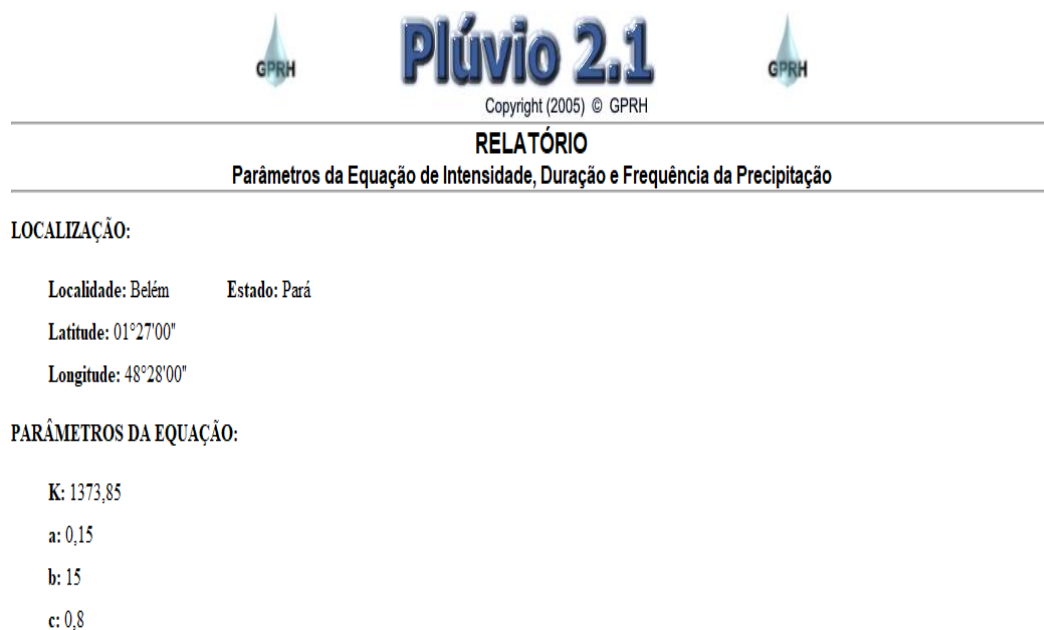
Área da manta para o aterro com 105 células =  $105 * 940,56 = 98.758,8 \text{ m}^2$

## 5.7 Dimensionamento do Sistema de Drenagem das Águas Pluviais

O sistema de drenagem das águas pluviais é muito importante, baseando-se que a quantidade de água que percola sobre os resíduos aumenta a quantidade de chorume. Para o dimensionamento foi adotando um período de retorno de 5 anos com precipitação de 30 minutos. Foi utilizado o programa Plúvio 2.1, para a obtenção dos parâmetros “K”, “a”, “b” e “c” para a aplicação nos cálculos conforme a figura 10.

Figura 11 - Parâmetros da Equação IDF

Data de emissão do relatório: 13/02/2019



Fonte: Plúvio 2.1 (2019)

### 5.7.1 Intensidade da chuva crítica (i)

Dados:

$K = 1373,85$

$A = 0,15$

$b = 15$

$c = 0,8$

$i = ((1373,85 * 5^{0,15}) / ((30 + 15)^{0,8})) = 83,21 \text{ mm/h}$

### 5.7.2 Área da bacia Contribuinte (A)

$$A = 96.800 \text{ m}^2$$

### 5.7.3 Coeficiente de escoamento superficial (C)

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

Quadro 04 – Tempo de Retorno

Obras	TR Adotado	Funcionamento
Drenagem profunda e superficial	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 à 100 anos	Canal

Fonte: DNIT (2005).

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

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

Fonte: Mello e Silva (2009).

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

#### 5.7.4 Vazão drenada

$$Q = (0,28 * (83,21 / 1000) * 96.800) / 3600 = 0,626 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 5.7.5 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 (m) =  $D/4$ ;

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

$0,626 = 1/0,013 * ((\pi * D^2)/8) * ((D^{2/3})/(4^{2/3})) * 0,02^{1/2}$

Então:

D = 1,32 m, logo: 1500mm

### 5.8 Dimensionamento do Sistema de Drenagem de Tratamento de Lixiviados

Foi previsto um sistema de drenagem e tratamento de chorume, com a finalidade de preservar o lençol freático de qualquer contaminação, por menor que venha a ser. O sistema projetado é constituído de drenos de brita (inclusive geotextil e dreno flexível), implantados no fundo da vala, rede de tubos em PVC, que levarão o chorume drenado até uma lagoa para tratamento do chorume.

#### 5.8.1 Vazão

Dados:

K = 0,35 (Este valor será utilizado em razão da densidade do RSU compactado de o aterro ser de 0,5 t/m<sup>3</sup> o que segundo Castilhos Junior (2003), normalmente utiliza-se a densidade entre 400 e 500 kg/m<sup>3</sup>).

Área do aterro (A):

Área de uma vala = 8,00 \* 113,00 = 904,00 m<sup>2</sup>

Área de 87 valas = 113 \* 904 = 102.152 m<sup>2</sup>

Precipitação anual (P) = 1934 mm (Segundo o site Climate-data (201, online)).

Tempo (t) = 31.536.000 segundos no ano

Vazão =  $(1/31.536.000) * 1934 * 43808 * 0,35 = 0,94 \text{ L/s}$

### **5.9 Dimensionamento do Sistema de Drenagem e Tratamento de Gases**

Foi aplicados tubos de PEAD (Polietileno de alta densidade) perfurado em todo o seu prolongamento, com o diâmetro de 500 mm cobertos com brita 3 para evitar a obstrução dos furos impedindo a saída dos gases. A altura dos tubos foi de 4,5 m para atender do fundo da célula, a cobertura final dos resíduos sobrando 0,5 m após a última camada. A distância de um dreno a outro é de 20 m em toda a extensão da célula.

### **5.10 Cobertura final**

Foi aplicada uma camada de solo com espessura de 60 cm. A cobertura final é de suma importância, pois além de proteger a célula contra possíveis fatores externos, também ajudará na recuperação ambiental.

## 6 Conclusão

De acordo com o presente estudo, concluímos que os aterros sanitários são de grande relevância para qualquer município independente de seu tamanho, sendo parte importantíssima do saneamento básico que visam evitar danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais. Na escolha da área para implantação do aterro foi levado em consideração alguns critérios como: distância de recursos hídricos, distâncias de residências, expansões habitacionais, a distância entre o aterro sanitário e a cidade é de 3 km, viabilizando o transporte de resíduos.

Através da estimativa do crescimento da população do ano de 2019 ao ano de 2039, possibilitou a projeção da produção de resíduos para os próximos 20 anos, até que em 2039 haverá uma geração de 10.443 m<sup>3</sup>/ano de resíduos sólidos. Cada trincheira teve um volume médio de 1.636,2 m<sup>3</sup>, assim serão necessárias 106 valas, os comprimentos das valas são de 113 m da borda superior e 107 m de inferior e com profundidade de 3 m, o diâmetro para a drenagem da água pluvial foi de 1500mm e o diâmetro para drenagem de chorume e gases foi de 500 mm.

Portanto a ausência de um aterro sanitário impacta diretamente no meio ambiente, provocando um desequilíbrio no ecossistema da região. Além da viabilidade técnica para a implantação desse aterro, o dimensionamento é rentável e requer a aplicação de pouca mão de obra e maquinário.



## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 10004 - **RESÍDUOS SÓLIDOS – Classificação**, de Novembro de 2004.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 8419 - **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**, de Abril de 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2010. NBR15849: Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública – **PANORAMA DOS RESIDUOS SOLIDOS NO BRASIL 2016** – São Paulo – SP, 2016.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA, J. V. Filho. Logística Ambiental de Resíduos Sólidos. São Paulo: Atlas, 2011.

BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos, EESC/USP Projeto REENGE. 1999.

BOSCOV, M. E. G. Geotecnia Ambiental. 1ª edição, São Paulo, Editora Oficina de Textos, 2008.

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.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências, 2010a. Código Civil. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm).

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de saneamento. 3. ed. rev. Brasília: FUNASA, 2006. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng\\_saneam.pdf](http://www.funasa.gov.br/internet/arquivos/biblioteca/eng/eng_saneam.pdf)

BRASIL. **Lei Federal nº 11.445**, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais  
BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 02 de agosto de 2010. Dispõe sobre a Política Nacional de

CABRAL, C.R., **Aproveitamento Do Biogás Em Aterros Sanitários – Especificações Construtivas Beneficiando Aspectos Ambientais e Energético** – Universidade de São Paulo (USP), SP, 2009.

CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges (Coord.) **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003.

CEMPRE. Lixo municipal. Manual de gerenciamento integrado. 3ª edição, São Paulo, 2010.

CHORUME. Disponível em <[http://pt.wikipedia.org/wiki/ Chorume](http://pt.wikipedia.org/wiki/Chorume)>.

CONAMA - Comissão Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 313 de 29/10/2002 publicada no Diário Oficial da União em 22/11/02 - Dispõe sobre o controle de resíduos gerados e existentes em atividades industriais.

CONAMA Resolução Nº 404/2008 - "**Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos.**" - Data da legislação: 11/11/2008 - Publicação DOU nº 220, de 12/11/2008.

CONAMA Resolução Nº306/2002. "**Estabelece os requisitos mínimos e o termo de referência para realização de auditorias ambientais**". – Data da legislação: 05/07/2002 - Publicação DOU nº 138, de 19/07/2002.

CORREA, J; LANÇA, S. S. B. Resíduos Sólidos – Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários – Guia do profissional em treinamento. 2008. Cátedra da Unesco de Educação à Distância - FAE/UFMG. Editora Sigma.

CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. *Gestão e Produção*. V.9, n.2, p.143-161, ago. 2002.

CUNHA, V; CAIXETA FILHO, J. V. Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 9, n. 2, p. 143-161, 2002.

<http://www.planalto.gov.br>

IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. Manual Integrado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS. **Censo populacional do município de Rio Maria-PA**, 2010.

IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pnsb2008/PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf)>.

IWAI, Cristiano Kenji. **Avaliação Da Qualidade Das Águas Subterrâneas E Do Solo Em Áreas De Disposição Final De Resíduos Sólidos Urbanos Em Municípios De Pequeno Porte: Aterro Sanitário Em Valas**. São Paulo – SP, 2012.

**I.Sólidos**. Rio de Janeiro: Ibam, 2001. 200 p.

MMM, ministério do meio ambiente. **Política nacional de resíduos sólidos**, <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>

MONTEIRO, José Henrique Penido *et al.* **Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos**

MUCELIN, C.A; BELLINI, L. M. Percepção ambiental em ecossistema urbano. In: Congresso de Ecologia do Brasil, 8. Anais. Caxambu-MG: UTFPR, UEM, 2007. Disponível em: <<http://www.sebecologia.org.br/viiiiceb/pdf/291.pdf>>.

NASCIMENTO, J.C.F, **Comportamento Mecânico de Resíduos Sólidos Urbanos.**, São Carlos: USP. 2007 disponível em :< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-10082007-132150/pt-br.php>>

NOVAES, Washington. **O Problema do Lixo no Mundo**. Disponível em: <<http://www.clickmacae.com.br/clubedarvoredemacae>>.

OBLADEN, Nicolau Leopoldo; OBLADEN, Neiva Terezinha Ronsani; BARROS, Kelly para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Disponível em: <

PHILIPPI JR., A (Ed.). Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manole, 2005. 842p. (coleção Ambiental, 2).

Publicada no Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Resíduos Sólidos altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências.

ROCHA, M.P. Implantação de um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos em uma fábrica de tintas. 2006.90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS, 2006.

RODRIGUES, Amanda Souza. **“Análise das repercussões sociais do processo de desativação do Aterro Controlado de Jardim Gramacho em Duque de Caxias”**. Rio de Janeiro – RJ, 2014.

Ronsani de. **Guia para Elaboração de Projetos de Aterros Sanitários para Resíduos**

RUSHBROKK, P.E. – Trinta anos de desenvolvimento científico no gerenciamento de resíduos: Do esclarecimento à armadilha, ISWA Times, Ed. No.1, 2001

RUTALA, W.A.; MAYHALL, C.G. Medical waste. *Infection Control and Hospital Epidemiology* 1992.

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

**Sólidos Urbanos**. 2. ed. Curitiba: Crea-PR, 2009. 64 p.

UNITED STATES ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (USEPA). Air Emissions from Municipal Solid Waste Landfills – Background Information for Proposed Standards and Guidelines. Emission Standards Division. 1991.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental. ISO 14000**. 5 ed. SENAC, São Paulo; 2004. 196p.

WILSON, D.C. – Direções no Gerenciamento de Resíduos – passado, presente e futuro. Livro anual da ISWA, pp.31-36, 1999/2000. <http://www.abrelpe.com.br/iswa/iswa-011.html>.

