



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII – ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL**

JARDELLY RAMALHO SILVEIRA FARIAS

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO PARA O MUNICÍPIO
DE SÃO BENTO - PB**

ARARUNA - PB

2021

JARDELLY RAMALHO SILVEIRA FARIAS

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO PARA O MUNICÍPIO
DE SÃO BENTO - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento.

Orientador: Prof. Me. Igor Souza Ogata.

ARARUNA - PB

2021

F224p Farias, Jardelly Ramalho Silveira.
Proposta de implantação de aterro sanitário para o município de São Bento - PB [manuscrito] / Jardelly Ramalho Silveira Farias. - 2021.
62 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2021.

"Orientação : Prof. Me. Igor Souza Ogata, Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Resíduos sólidos. 2. Aterro. 3. Drenagem urbana. I.
Título

21. ed. CDD 363.728 5

JARDELLY RAMALHO SILVEIRA FARIAS

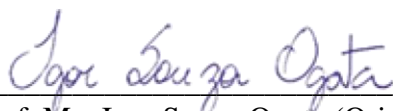
PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO PARA O MUNICÍPIO DE
SÃO BENTO - PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Coordenação do Curso de Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Saneamento.

Aprovado em: 27/07/2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Me. Igor Souza Ogata (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Daniel Baracuy da Cunha Campos
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Prof. Dr.



Profa. Dra. Maria Adriana de Freitas Mágero Ribeiro
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha família, que sempre esteve ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e determinação encontrados na fé, para conclusão deste trabalho.

A minha família, pela paciência, compreensão e apoio concebidos ao longo da vida.

Aos meus amigos de curso, em especial Claudia Gomes, Bianca Silva, Ailton Ferreira, Lettycia Santos, Barbarah Maria Montenegro, Mary Willianye grupos próximos, Atribuladas News, Ressacados, Titias do Théo.

Ao meu pai e avô (*in memoriam*), que sempre me deram força e coragem para realizar meus sonhos.

A coordenação do curso, em especial, Daniel Baracuy da Cunha Campos, coordenador do curso de Engenharia Civil, por seu empenho e cooperação.

Ao professor Igor Souza Ogata, por aceitar prontamente o convite de orientação, e sempre me ajudar e guiar perante os desafios encontrados.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UEPB, em especial, Eduardo Morais, Igor Ogata, Lauandes Marques e Valdecir Alves que contribuíram deveras, por meio das disciplinas e apoio, para uma ótima aprendizagem e formação pessoal.

Aos funcionários da UEPB, em especial, Joaline, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

A T8 pelos momentos de amizade, auxílio e compreensão, bem como pela prestatividade e carisma. Saibam que vocês são seres de luz em nossa existência.

Destarte, agradeço a todos, de forma incondicional, por terem contribuído para a concretização deste sonho. Meu muito obrigada e minha sempre gratidão.

“Não existe um resíduo sólido, mas inúmeros tipos e, assim, não se pode acreditar que haja apenas uma solução” (LIMA,2014, p.51).

RESUMO

A gestão dos resíduos sólidos urbanos causa grandes transtornos para os gestores responsáveis, relacionados principalmente a maneira como estes são dispostos inadequadamente ao ambiente. A maioria de municípios brasileiros utiliza formas inadequadas de disposição final de seus rejeitos como, vazadores a céu aberto e aterros controlados, sendo que, existe o aterro sanitário, uma forma de disposição final ambientalmente adequada a qual utiliza-se técnicas de engenharia para acondicionar seus resíduos no solo. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi propor um modelo de aterro sanitário para o município de São Bento – PB. Para tanto, foi selecionada uma área de 60.490,49 m² para implantação do aterro sanitário, com base nos critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais. Além disso, realizados os dimensionamentos das células de armazenamento de resíduos, da drenagem de chorume, da drenagem dos gases, da drenagem das águas pluviais, da lagoa anaeróbia e facultativa para tratar os efluentes e da infraestrutura de apoio. Na estrutura do aterro sanitário, foi proposto 20 células em formato de valas com dimensões 5mx10m e 380 m de comprimento, com horizonte de 20 anos de vida útil, sendo utilizar o método de espinha de peixe na drenagem do chorume composta por 12 drenos principais e 24 secundários, valetas para drenagem das águas pluviais constituído por dois sistemas principal e ou de contribuição das células com dimensões respectivamente de 60cmx60cm e 1mx1m, assim como os 24 tubos circulares para drenagem dos gases e instalação da lagoa anaeróbia com 54 m² e facultativa 303 m², além de, uma estrutura de apoio composta por estacionamento, galpão de triagem, guarita, cancela, alboxarifado, cercas, balança, escritório, refeitório, banheiros, vestiário, cozinha, sinalização. Uma vez que o município de São Bento – PB possa instalar o empreendimento nas condições que foi proposto no trabalho, é possível que este município esteja regularizado com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, evitando problemas ambientais e conseqüentemente muitas relacionadas com a má gestão dos resíduos e ainda proporcionar aos municípios vizinhos participação no empreendimento por meio de consócio.

Palavras-Chave: Disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos. Resíduos sólidos urbanos. Política Nacional de Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

The management of urban solid waste causes great inconvenience for responsible managers, mainly related to the way in which they are inappropriately disposed of in the environment. Most Brazilian municipalities use inappropriate forms of final disposal of their tailings, such as open-air drains and controlled landfills, and there is a landfill, a form of environmentally adequate final disposal which uses engineering techniques to store their residues in the soil. Thus, the objective of this work was to propose a landfill model for the city of São Bento – PB. Therefore, an area of 60,490.49 m² was selected for the implementation of the landfill, based on technical, economic-financial and political-social criteria. In addition, sizing of waste storage cells, slurry drainage, gas drainage, rainwater drainage, anaerobic and optional lagoon to treat effluents and support infrastructure were carried out. In the structure of the landfill, 20 cells were proposed in the form of ditches with dimensions 5mx10m and 380 m in length, with a horizon of 20 years of useful life, using the fishbone method to drain the slurry consisting of 12 main drains and 24 secondary, ditches for rainwater drainage consisting of two main and/or contribution cell systems with dimensions of 60cmx60cm and 1mx1m respectively, as well as 24 circular tubes for gas drainage and installation of the anaerobic lagoon with 54 m² and optional 303 m² , in addition to a support structure consisting of parking, sorting shed, guardhouse, gate, storeroom, fences, scale, office, cafeteria, bathrooms, dressing room, kitchen, signage. Once the municipality of São Bento - PB can install the project under the conditions proposed in the work, it is possible that this municipality is regularized with the National Solid Waste Policy, avoiding environmental problems and consequently fines related to poor waste management and also provide neighboring municipalities with participation in the project through a consortium.

Keywords: Environmentally adequate disposal of solid waste. Urban solid waste. National Solid Waste Policy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Etapas de implantação de um aterro sanitário	27
Figura 2 – Etapas de operação de um aterro sanitário.....	28
Figura 3 – Localização do município de São Bento – PB.....	32
Figura 4 - Área preliminar 1 para instalação do aterro sanitário em São Bento – PB.	33
Figura 5 - Área preliminar 2 para instalação do aterro sanitário em São Bento – PB.	34
Figura 6 - Área preliminar 3 para instalação do aterro sanitário em São Bento – PB.	34
Figura 7 - Área selecionada para implantação do aterro sanitário.....	49
Figura 8 - Corte transversal de uma célula.....	52
Figura 9 - Sistema de drenagem do chorume da célula.....	52
Figura10 - Dreno circular para drenagem dos gases.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Plano de acompanhamento do aterro sanitário.....	29
Quadro 2 – Plano de encerramento do aterro sanitário.....	29
Quadro 3 – Elementos básicos a serem monitorados ao longo e após o encerramento do aterro.....	30
Quadro 4 – Critérios técnicos de seleção de área do aterro.....	35
Quadro 5 – Critérios econômico-financeiros e político-sociais de seleção de área de aterro.....	36
Quadro 6 – Absorção relativa do solo.....	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Hierarquização de critérios estipulando prioridades e pesos responsáveis para escolha da área do empreendimento.....	37
Tabela 2 – Estimativa volumétrica de RSU a serem dispostas no aterro sanitario.....	38
Tabela 3 – Ensaio de permeabilidade do solo utilizando o tempo de detenção x coeficiente de permeabilidade.....	39
Tabela 4 – Critério para dispensa de impermeabilização complementar.....	40
Tabela 5 – Escolha da área do empreendimento considerando as características das áreas pre-selecionadas.....	49
Tabela 6 – Infraestrutura do empreendimento.....	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EUROSTAT	Gabinete de Estatísticas da União Europeia
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMSB	Prefeitura Municipal de São Bento
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos específicos	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1 Métodos de deposição final de resíduos sólidos urbanos	19
3.1.1 Vazadouro a céu aberto	19
3.1.2 Aterro controlado	20
3.1.3 Aterro sanitário	20
3.2 Necessidade de aterros sanitários no Brasil	21
3.3 Vantagens do aterro sanitário	22
3.3.1 Ambientais	22
3.3.2 Sociais	23
3.3.2 Econômicas	23
3.4 Limitações do aterro sanitário	24
3.4.1 Ambientais	24
3.4.2 Sociais	25
3.4.3 Econômicas	25
3.5 Aspectos técnicos de um aterro sanitário	26
3.5.1 Implantação	26
3.5.2 Operação	27
3.5.3 Manutenção	28
3.5.3 Encerramento e monitoramento	29
3.6 Aterros sanitários para municípios de pequeno porte	30
4 METODOLOGIA	32
4.1 Caracterização da pesquisa	32

4.2 Local do estudo	32
4.3 Seleção da área de implantação	33
4.4 Resíduos sólidos urbanos a serem depositados no aterro sanitário	37
4.5 Células do aterro sanitário	38
4.6 Revestimento de fundo	39
4.7 Drenagem do chorume	40
4.8 Drenagem dos gases	42
4.9 Drenagem de águas pluviais	42
4.10 Dimensionamento da lagoa anaeróbia	44
4.11 Dimensionamento da lagoa facultativa	45
4.12 Infraestrutura de apoio	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 Caracterização do manejo dos resíduos sólidos do município de São Bento - PB	48
5.2 Localização da área selecionada para construção do empreendimento	48
5.2.1 Infraestrutura de apoio do aterro sanitário	50
5.3 Revestimento de fundo	51
5.4 Dimensionamento das células do aterro	51
5.5 Drenagem do chorume	52
5.6 Drenagem dos gases	52
5.7 Drenagem de águas pluviais	53
5.8 Lagoa anaeróbia e facultativa	54
6 CONCLUSÃO	55
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

Uma das grandes preocupações da atualidade refere-se ao crescimento populacional vinculado à geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), produzido em abundância e dispostos em locais ambientalmente inadequados, como vazadouros a céu aberto (lixões) e aterros controlados, levando a problemas socioeconômicos, ambientais e de saúde pública.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011), a Lei 12.305/2010 estabeleceu prazos e limites temporais para ações emergenciais da gestão dos RSU tais como a eliminação de lixões e a consequente disposição final ambiental adequada dos rejeitos até 2014.

Entretanto, dados disponibilizados pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) nos anos de 2018 e 2019 mostram que foram gerados 79 milhões de toneladas de resíduos, sendo que destes, 92% foram coletados, 59,5% dispostos adequadamente em aterros sanitários e 40,5% despejados inadequadamente em lixões ou aterros controlados, de maneira que 3.001 municípios se encontram em situação irregular.

Nesse cenário, o Nordeste brasileiro se destaca negativamente quando se trata de manejo dos seus resíduos, já que, segundo a ABRELPE (2019), em 2018, a região apresentou o menor índice de coleta de RSU do país, quando seus 1.794 municípios geraram 53.975 toneladas de RSU, e apenas 81,1% foram coletados além disso, dos resíduos coletados 28 mil toneladas diárias foram dispostos em locais inadequados, compondo um total de 1.340 municípios que utilizam lixões e aterro controlado como forma de disposição final dos seus resíduos. Diante dessa realidade é clara a necessidade de uma solução eficiente e ambientalmente adequada de disposição final dos RSU.

Até porque, segundo Jacobi e Besen (*apud* BESEN, 2010, p. 135):

A gestão e a disposição inadequada dos resíduos sólidos causam impactos socioambientais, tais como degradação do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, intensificação de enchentes, contribuição para a poluição do ar e proliferação de vetores de importância sanitária nos centros urbanos e catação em condições insalubres nas ruas e nas áreas de disposição final (JACOBI; BESEN, 2010, p.135).

Sendo assim, os aterros sanitários são uma opção de disposição final segura e ambientalmente adequada. Conforme a NBR 8.419/1992 da ABNT, o aterro sanitário utiliza o solo como forma de distinção dos resíduos sólidos urbanos, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente, minimizando os impactos ambientais e utilizando princípios da engenharia para o confinamento dos mesmos.

Com base nisso, o presente trabalho apresenta uma proposta de implantação de um aterro sanitário para o município de São Bento - PB, localizado no semiárido nordestino, que é caracterizado por ser um centro comercial e industrial da região, e conseqüentemente um grande gerador de resíduos que necessita de uma forma ambientalmente correta para disposição dos resíduos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Propor modelo de aterro sanitário para o município de São Bento – PB, atendendo às condicionantes legais, referente as normas técnicas e ambientais além dos aspectos econômicos, sociais e políticos.

2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o manejo dos resíduos sólidos do município de São Bento – PB.
- Selecionar a área para implantação do aterro sanitário, segundo critérios técnicos, econômicos, sociais e ambientais.
- Elaborar modelo de aterro sanitário, com horizonte de projeto de 20 anos, para dispor os Resíduos Sólidos Urbanos de São Bento – PB.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os RSU, conhecidos popularmente com lixo, são definidos de acordo com a NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010), como:

Resíduos que, em conformidade com o estabelecido na Resolução CONAMA no 404/2008, sejam provenientes de domicílios, serviços de limpeza urbana, pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestação de serviços, que estejam incluídos no serviço de coleta regular de resíduos e, que tenha características similares os resíduos sólidos domiciliares (ABNT, 2010, p. 4).

Portanto, esses resíduos são consequência das diversas atividades econômicas e sociais dos municípios, como comercial e residencial. Assim, os RSU gerados são encaminhados em várias formas de disposição final, depende da infraestrutura do município, que muitas vezes são impróprias, como aterro controlado de vazadouros a céu aberto, ou em áreas ambientalmente adequadas, como os aterros sanitários.

O aterro sanitário é um método ambientalmente adequado por ser uma obra da engenharia projetada sob critérios técnicos além de seguir a legislação ambiental específica, construído com a principal finalidade de evitar danos à saúde pública, solo, água e ao ambiente em geral (SANTIAGO et al.,2020).

3.1 Métodos de deposição final de resíduos sólidos urbanos

No Brasil só é permitido aterro sanitário como forma de disposição de RSU. No entanto, a realidade do país é outra, vários municípios ainda utilizam vazadouros a céu aberto e aterros controlados como meio de disposição, sendo assim, vale a pena conceituar os diferentes tipos de tecnologias para disposição final existentes no país.

3.1.1 Vazadouro a céu aberto

Os vazadouros a céu aberto são locais de disposição de RSU totalmente inadequados do ponto de vista ambiental e socioeconômico. Os resíduos que são encaminhados aos vazadouros não recebem tratamento sanitário algum, os mesmos são depositados diretamente no solo, ficando exposto, assim contaminando a água, o solo, o ar, além de atrair diversos vetores, se tornado um problema de saúde pública. De acordo com o pensamento de Jacobi e Besen (2011,

p. 135), a disposição de resíduos em locais inadequados traz sérios efeitos negativos para uma área ecológica, como a poluição da superfície, mananciais próximos, além da poluição visual.

Os vazadouros, por sua vez, agravam o cenário de poluição e degradação ambiental de um determinado local. Lanza (2009) destaca que os vazadouros têm efeitos nocivos ao ar, solo e águas, ocasionando poluição visual do meio em que se encontram.

Além disso, por se tratar de um local aberto, possibilita a entrada de pessoas (catadores), os mesmos são expostos a diversos agentes causadores de doenças presentes no local.

3.1.2 Aterro controlado

Oliveira et.al.(2019), relaciona, os aterros controlados são um estágio intermediário entre o lixão e aterros sanitários, visto que possui um certo controle ambiental, mas não atende as recomendações da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).

O aterro controlado é definido de acordo com a NBR 8.849/1985 como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar à saúde pública e à sua segurança, 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, p. 10).

O aterro controlado é um método menos prejudicial ao meio ambiente se comparado aos vazadores a céu aberto, pois o mesmo consiste em um maior controle da composição dos resíduos a serem depositados e possui cobertura diária do mesmo. Pinto (1992) complementa que esse método de disposição traz danos ao ambiente, assim como a saúde pública. Já, Olher et al. (2012) destacam que o aterro ajuda tanto a redução da poluição visual quanto evita a disseminação de odores.

No entanto, esse método ainda é danoso ao meio ambiente, pois o solo muitas vezes não é impermeabilizado e não há coleta nem tratamento do chorume ou gases gerados pelos RSU.

3.1.3 Aterro sanitário

As formas inadequadas utilizadas na gestão dos RSU, mostra como é clara a necessidade de se utilizar formas adequadas no tratamento dos resíduos produzidos. O aterro é uma alternativa viável, já que, trata seus resíduos de forma ambientalmente correta.

O aterro sanitário é definido de acordo com a NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010) como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com um cada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 2010, p. 2).

Portella e Ribeiro (2014), defendem a importância dos aterros sanitários na gestão dos resíduos sólidos, sendo estes instrumentos de controle técnico e ambiental adequado de armazenamento dos resíduos, que por consequência de uma sociedade altamente consumista, acarretam prejuízos ao meio ambiente.

Nesse contexto, fazendo-se uso desse método, os danos sobre o meio ambiente e a qualidade de vida populacional são de menor proporção, incorrendo na proteção do equilíbrio ecológico e ambiental.

3.2 Necessidade de aterros sanitários no Brasil

O Brasil enfrenta um grande problema de disposição final dos RSU, trazendo consigo os aspectos de natureza socioeconômica, ambiental e de saúde pública associada. Isso ocorre devido ao descarte dos resíduos feito de forma desestruturada em locais irregulares, causando a proliferação de vetores e doenças, bem como contaminação do solo, ar e mananciais próximos.

Essa realidade é latente no país, pois segundo dados disponibilizados pela ABRELPE (2019) fazendo um comparativo entre os anos 2018 e 2019, observou-se que houve uma pequena queda em relação a forma de disposição final dos RSU, isso porque de acordo com a ABRELPE (2019), em 2018 foram gerados 79 milhões de toneladas de RSU, 59,5% receberam destinação adequada nos aterros sanitários, uma melhora de 2,4% em relação a 2017. Em 2019, por sua vez, os percentuais não obtiveram uma mudança significativa. Das mais de 79 milhões de toneladas de lixo geradas em 2019, 72,7 milhões foram coletadas, desse montante, 40% foram descartado incorretamente, ou seja, em aterro controlado ou lixão, que são prejudiciais ao meio ambiente.

Como França possuem uma realidade bem diferente da encontrada no Brasil, quando se trata disposição final de RSU. Dados disponibilizados pela Eurostat (2021), mostram que, já no ano de 2014, das 34.260 mil toneladas de RSU gerados no país, 75% foram reaproveitados na reciclagem, compostagem ou geração de energia e o restante foi disposto exclusivamente em aterro sanitário.

Diante desse cenário, é clara a necessidade de extinguir os meios de disposição final inadequados como vazadouros a céu aberto e aterros controlados no Brasil, além de investir nos aspectos de tratamentos dos resíduos, que permitam a reinserção dessa matéria-prima no mercado. De acordo com MDL (2007, p. 153):

O aterro sanitário é uma obra de engenharia projetada sob critérios técnicos, cuja finalidade é garantir a disposição dos resíduos sólidos urbanos sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente. É considerado uma das técnicas mais eficientes e seguras de destinação de resíduos sólidos, pois permite um controle eficiente e seguro do processo e quase sempre apresenta a melhor relação custo-benefício. Pode receber e acomodar vários tipos de resíduos, em diferentes quantidades, e é adaptável a qualquer tipo de comunidade, independentemente do tamanho (MDL, 2007, p. 153).

Dessa forma, mesmo o aterro sanitário sendo uma alternativa adequada para solucionar a necessidade de disposição final de RSU esta não é uma técnica eficiente, pois enterra um material que poderia ser aproveitado novamente no setor produtivo. Logo, é visto que a reutilização não é fomentada.

3.3 Vantagens do aterro sanitário

3.3.1 Ambientais

Os impactos ambientais que se originam do RSU dispostos em valas, as margens de ruas ou cursos d'água, consideradas práticas habituais no Brasil provocam entre outras coisas, contaminação de corpos d'água, assoreamento, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, e, somado a isso, poluição visual, mau cheiro e contaminação do ambiente (MUCELIN; BELLINI, 2008).

De acordo com Freitas et al. (2014), a poluição do ar, nesses locais ocorre devido aos gases produzidos pela decomposição da matéria orgânica que são capazes de entrar em autocombustão e muitas vezes favorecem incêndios criminosos realizados com intuito de reduzir o volume de resíduos no local. Além disso, esses gases são mal-cheirosos, incomodando a população local e possuem efeito estufa, afetando o processo de mudança climática.

Além desses aspectos de poluição, o depósito a céu aberto ainda apresenta aspecto visual desagradável, abriga vetores de doenças e afeta a fauna e a flora local, alcançando consequentemente a saúde da população.

Por sua vez, os corpos de água e o solo são contaminados, mediante a presença de chorume, um líquido formado por meio da decomposição dos resíduos orgânicos, associados a

outros resíduos que contribuem com metais pesados e outras poluentes. Esse líquido escoar e infiltra, alcançando, inclusive, corpos de água superficiais e subterrâneos.

Sendo assim, o aterro sanitário vem com finalidade de minimizar danos ambientais relacionados à má gestão dos RSU, dispostos inadequadamente no meio ambiente, sendo causadores da poluição da paisagem, atmosférica, mananciais próximos e solo. Nesse sentido, os aterros sanitários atuam de maneira satisfatória na solução dos problemas ambientais ocasionados por uma má gestão de resíduos.

3.3.2 Sociais

A disposição final dos RSU em locais inadequados é também um problema social, visto que, comumente as áreas escolhidas para esse depósito se encontram longe dos centros urbanos onde geralmente a população é carente. De maneira que essas comunidades do entorno, são expostas a solo, ar e águas contaminadas, bem como vetores que causam doenças.

De acordo com Silva et al. (2002) com um estudo de caso da situação de vulnerabilidade de uma comunidade que se encontra nos arredores do Lixão do Roger na cidade de João Pessoa - PB, onde a população é carente e vive em situação de precariedade e exclusão social, com falta de saneamento básico, moradia e saúde, relacionados à presença dessa forma de disposição final de resíduos.

Assim, o aterro sanitário em João Pessoa - PB surgiu com uma proposta não apenas de cunho ambiental, mas também social também, em que associado a uma iniciativa de coleta seletiva, foi gerado empregos para catadores que antes trabalhavam em situações de risco e eram marginalizados, realizando, agora, uma ocupação e condições de trabalho seguras. (SILVA et al. 2009).

Nesse contexto, o aterro sanitário, se combinado com a iniciativa de coleta seletiva, passa a ser mais que uma forma de disposição final de rejeitos, e sim, uma alternativa para as comunidades que antes viviam do lixo, no lixo, terem condições de trabalho adequadas, melhorando a vida dessa população tão excluída.

3.3.2 Econômicas

Os locais de disposição inadequada, como os vazadouros a céu aberto, geram vários problemas às comunidades vizinhas, além de afetar financeiramente os responsáveis pelo manejo dos resíduos, que adquirem multas como consequência da má gestão de seus RSU.

Isso ocorre, pois o município que não gerir adequadamente seus RSU estará suscetível a penalidades, conforme o Decreto 6.514/08, “em que causar poluição que resulte em danos à saúde humana ou ao meio ambiente, incluindo a disposição inadequada de RSU estará sujeito a multa de R\$ 5.000,00 a R\$ 50 milhões de reais, previsto na lei de crimes ambientais”.

Ademais, é comum que população que vive nas proximidades desses locais retirem sua renda da catação para reciclagem do resíduo, assim como de trabalhos informais, o que os torna suscetível a benefícios governamentais, desse modo possuindo uma renda instável e baixa (SILVA et al. 2009).

A solução para os problemas econômicos com a disposição final de resíduos, enfrentados pelas prefeituras e que ocasiona multas, vem por meio da implantação de um aterro sanitário. Por sua vez, sabe-se que os custos para a estruturação de um aterro são altíssimos e se faz necessária a captação de recursos próprios, pois os municípios sozinhos, por ora, não são capazes de destinar milhões em uma única obra. Sendo necessário que haja participação efetiva do governo estadual e federal também. Assim, as prefeituras podem solucionar os problemas de geração de renda da população que trabalha na catação de resíduos estabelecendo uma cooperativa de reciclagem, assim gerando empregos para os catadores.

Por isso, a implantação de um aterro sanitário pode proporcionar à formação de cooperativas de catadores das quais irão garantir empregos e condições de trabalho melhores, trazendo renda e segurança a várias famílias que dependem de formas inadequadas de disposição final de resíduos.

3.4 Limitações do aterro sanitário

3.4.1 Ambientais

Os danos ao ambiente relacionados à disposição de RSU podem ocorrer mesmo utilizando métodos adequados. No caso dos aterros sanitários podem decorrer de erros de projeto, implantação ou operação, provocando a contaminação do solo, mananciais e ar.

Diniz (2012) destaca que em relação ao chorume produzido decorrente da decomposição dos RSU a contaminação se dá, por meio da impermeabilização inadequada do solo ou até mesmo inexistência. Assim sendo, o aterro não é projetado para coletar e tratar todo o chorume gerado, é provável que ocorra a contaminação dos recursos hídricos adjacentes, acelerando a dispersão dos poluentes no ambiente.

3.4.2 Sociais

Uma das limitações sociais da implementação de um aterro sanitário é que a realidade enfrentada por aqueles que vivem da catação de resíduos, nem sempre muda para melhor, quando se utiliza uma forma ambientalmente adequada de disposição final de RSU, pois muitas vezes os programas sociais criados para dar suporte a esses trabalhadores são ineficientes e incapazes de garantir uma melhor qualidade de vida.

Assim como já apresentado, o trabalho de Silva et al. (2009) apresenta um relato de ações para melhoria das condições sociais de uma comunidade que vivia da catação de resíduos em um vazadouro a céu aberto na cidade de João Pessoa - PB. Nessas ações foi incluído o "Projeto É Pra-Morar", que possuía o objetivo de transformar a área da comunidade, realocando as pessoas para apartamentos. Contudo, o projeto não foi capaz de absorver todos os moradores que dependiam da catação, resultando em transtornos e desemprego para a maioria delas.

Existem múltiplos desafios quando o assunto é a coleta seletiva no país. Isso porque muitas vezes, o Poder Público é omissivo na promoção da coleta seletiva nas comunidades, principalmente, daquelas que mais necessitam. Nesse contexto, de acordo com Besen et al. (2017), destacam que um dos grandes desafios que a gestão enfrenta é consequência da falta de garantia na promoção da sustentabilidade dentro do ambiente urbano.

Portanto, a necessidade de uma alternativa de disposição final ambientalmente adequada é clara, entretanto com base nesse exemplo foi mostrado a necessidade de que os gestores procurem soluções eficientes para os problemas sociais vinculados à gestão dos RSU.

3.4.3 Econômicas

Em consonância com o IBGE (2017), a falta de investimento em saneamento básico enfrentada por muitos municípios, em que a grande maioria é de pequeno porte, dificulta a utilização de formas ambientalmente adequadas à disposição de seus RSU. Sem incentivos governamentais, as prefeituras se encontram em uma situação difícil, tornando assim, mais vantajoso pagar multas ambientais, do que arcar com o custo necessário para se implementar uma forma ambientalmente adequada.

Segundo o BNDES (2014), os estados têm a obrigação de coordenar os municípios de modo a criar soluções que permitam o compartilhamento e a minimização dos custos, já que, a maioria dos municípios é de pequeno porte e têm poucos recursos financeiros e humanos para planejar e executar ações necessárias para lidar com os seus resíduos sólidos, onde a maioria

destes municípios não tem receita específica e utilizam o orçamento ordinário para gerir os mesmos.

Além do mais, a maior parte dos gestores municipais, não incentivam organizações de catadores, optando quando necessário por empresas privadas para realizar coleta seletiva do município, prejudicando os catadores que dependem da coleta para sobrevivência. Uma prova disso é que segundo o Ministério do Meio Ambiente (2019), os municípios que declararam realizar coleta seletiva com cooperativa de catadores no país foi de 1.256, destes, apenas 169 fazem pagamentos a organizações de catadores, representando 13,5% do total, concentrando-se nas regiões Sul e Sudeste com 79 e 62 municípios respectivamente. O Nordeste, por sua vez, não é bem desenvolvido nesse aspecto, com apenas 14 municípios, realizando coleta seletiva com catadores deixando clara a preferência dos gestores municipais por empresas privadas ou políticas estatais.

Desse modo, Gonçalves et al. (2019) destacam que a falta de incentivos governamentais somado com a inabilidade das prefeituras em possuir receita específica para gestão de seus resíduos, dificulta a implantação de métodos adequados de disposição dos RSU, justificando o porquê muitos municípios ainda utilizam vazadouros a céu aberto e aterros controlados com forma de destinação de seus resíduos. Por outro lado, a extinção dos vazadouros, ocasionam transtornos para quem depende financeiramente do trabalho nesses locais, como é o caso dos catadores, que não recebem apoio dos municípios e muitas das vezes são deixados por conta própria.

3.5 Aspectos técnicos de um aterro sanitário

3.5.1 Implantação

Os aterros sanitários são obras de engenharia, criados com o intuito de minimizar os danos ambientais resultantes do descarte de RSU e atendem a uma série de normas e diretrizes em seu processo de implantação. As normas responsáveis por regulamentar os aterros sanitários são NBR 8.419/1992 (ABNT, 1992) para aterros sanitários convencionais e a NBR 15.849/2010 (ABNT, 2010) para aterros sanitários de pequeno porte, considerando os aspectos físicos e locais de cada município em que será implantado.

Segundo as normas, essa implantação deve ocorrer com participação de uma equipe de profissionais da área de Engenharia Civil, Sanitária ou Ambiental, onde devem acompanhar

todos os procedimentos apresentados na Figura 1 em que, para se instalar deve ser realizado ações desde a seleção de área até o planejamento do sistema de monitoramento ambiental.

Figura 1 – Etapas de implantação de um aterro sanitário



Fonte: JUNIOR (2001).

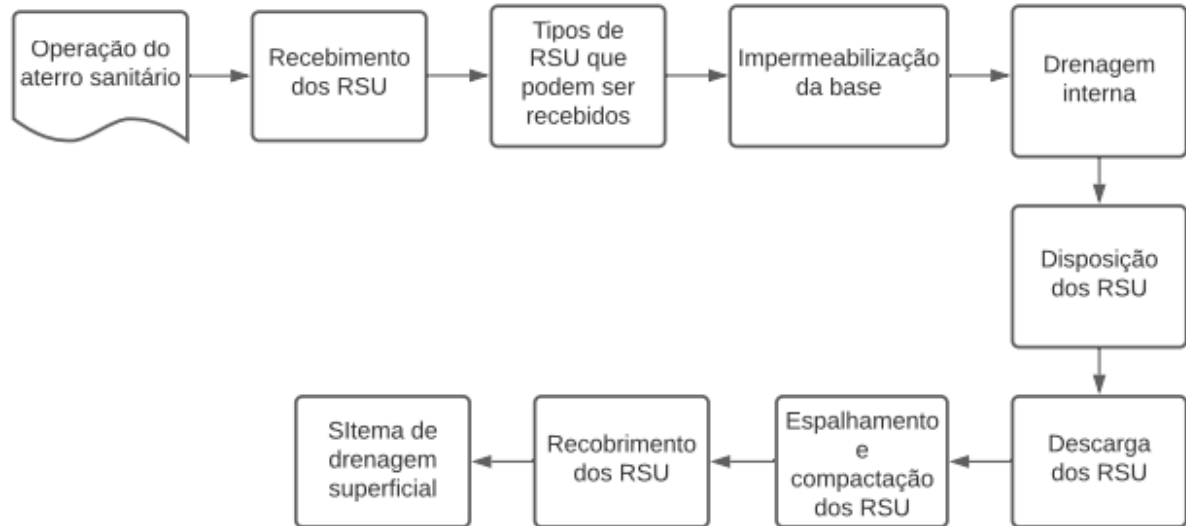
Seguindo a ordem da Figura 1, Obladen et al. (2009) et al estabelecem, que a seleção da área para se instalar um aterro sanitário deve levar em consideração vários critérios, como o uso do solo (legislação), proximidade dos corpos de água, proximidade dos núcleos residenciais e distância do lençol freático. Além dos critérios estabelecidos, ainda existe dificuldade em achar esses locais, que estão cada vez mais escassos devido ao constante crescimento dos centros urbanos.

3.5.2 Operação

Em correspondência ao pensamento de Silva (2016), a operação de um aterro sanitário abrange desde o recebimento dos RSU na guarita, onde os mesmos serão pesados e classificados. Acontecera o processo de impermeabilização da base, drenagem interna e o sistema de drenagem superficial. Em seguida, os RSU são dispostos, descarregados, espalhados e compactação. O recobrimento desses RSU acontece em duas etapas diária e final, sendo que

a primeira tem o objetivo de evitar o arraste dos materiais pela ação do vento, assim como odores e proliferação de vetores, como mencionado está exposto na Figura 2.

Figura 2 – Etapas de operação de um aterro sanitário



Fonte: JUNIOR (2001).

Ademais para o processo de operação ser adequado, é necessário equipamento específicos, segundo a quantidade de RSU a ser disposto, método operacional do aterro e material para cobertura das células, geralmente caracterizado pelo uso de trator de esteira, scraper, draga e caminhão pipa (OBLADEN et al., 2009).

3.5.3 Manutenção

O sistema de manutenção de um aterro sanitário equivale à constatação de eventuais problemas, com o intuito de corrigi-los rapidamente, evitando o seu agravamento. A elaboração de um plano de acompanhamento do aterro sanitário que estará vinculado à fase de operação, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Plano de acompanhamento do aterro sanitário

Componentes, estrutura ou equipamentos do aterro sanitário	Frequência de inspeção
Higienização das edificações	Diária
Limpeza da unidade, com remoção dos materiais espalhados pelo vento	Diária
Capina da área, para manutenção do paisagismo	Mensal
Manutenção dos portões e cerca de isolamento	Mensal
Manutenção do cinturão verde	Mensal
Limpeza e manutenção dos dispositivos de drenagem pluvial	Semanal
Limpeza e manutenção das estruturas de drenagem de chorume	Semanal
Manutenção dos dispositivos de queima dos gases	Diária
Verificação do sistema de cobertura das plataformas	Semanal
Limpeza e manutenção das vias de acesso	Semanal
Inspeção e manutenção dos instrumentos de monitoramento	Mensal
Limpeza e manutenção dos veículos e equipamentos	Diária
Sistema de fiscalização, controle e inspeção dos resíduos	Diária
Limpeza e manutenção do sistema de tratamento de chorume	Semanal
Controle da saúde dos funcionários	Semanal

Fonte: Junior (2001).

3.5.3 Encerramento e monitoramento

De acordo com Silva (2016), o encerramento de um aterro sanitário se dá quando o empreendimento atingiu o limite da sua vida útil para o qual foi projetado. Mesmo após o encerramento das atividades o aterro deve continuar funcionando como uma unidade para o controle ambiental dos RSU, durante um longo período, sendo necessário um plano de encerramento que contemple as características do local e identifique as entidades responsáveis pelo fechamento do mesmo. Esse plano pode ser modificado durante a operação do aterro sanitário, sendo necessário a atualização periódica. É necessário que o plano de encerramento contemple alguns pontos presentes no Quadro 2.

Quadro 2 – Plano de encerramento do aterro sanitário

Projeto da camada de cobertura de selagem
Sistema de controle de águas superficiais e de drenagem
Controle dos gases do aterro
Controle do tratamento dos percolados
Sistema de monitoramento ambiental

Fonte: Junior (2002).

O monitoramento de uma área em que se encontra um aterro sanitário, deve ocorrer desde sua implantação e se estende até após o encerramento, sendo finalizado quando o aterro não apresenta mais um risco ao meio ambiente. Esse procedimento está pautado na Lei de Crimes Ambientais (Lei 9.605/1998) e possui instruções nas normativas IBAMA 146/2007 e 154/2007, que orientam a supervisão e monitoramento de áreas afetadas pela operação de um aterro sanitário, para a prevenção de eventuais contaminação ao ambiente em que se encontra.

Nesse sentido, existem elementos básicos a serem monitorados ao longo e após o encerramento do aterro, assim como apresentado pelo Quadro 3.

Quadro 3 – Elementos básicos a serem monitorados ao longo e após o encerramento do aterro

A qualidade do ar
A poluição sonora
A qualidade das águas superficiais e subterrâneas
O controle do solo
A recuperação vegetal
A preservação da fauna terrestre
A preservação dos ecossistemas aquáticos
O controle do efluente tratado

Fonte: Obladen et. al. (2009).

3.6 Aterros sanitários para municípios de pequeno porte

No Brasil, municípios com população menor que 50 mil habitantes são classificados como de pequeno porte e esse tipo de município é predominante no país, com mais de 4.400 territórios dentre os 5.565 existentes. O que é um problema, dado que em geral esses municípios não possuem recursos financeiros suficientes para manejar seus resíduos a contento. Prova disso são dados do IBGE (2020) que apontam uma morosidade dos municípios em construir um aterro com recursos próprios.

Outro aspecto demográfico importante na disposição final dos RSU é a densidade demográfica, pois, o município terá que arcar com os custos por meio de verbas próprias, uma vez que não viável para a iniciativa privada assumir, sendo assim o BNDES (2014, p. 15) afirma que "pequenos municípios, com menor escala de arrecadação de impostos, ficam limitados soluções de pequena escala ou alternativa tecnológicas para tratamento de seus resíduos".

Isso ocorre devido ao fato de que os investimentos necessários para se instalar um aterro sanitário variam de acordo com t/dia depositado nesses locais. O BNDES (2014), por sua vez faz uma estimativa de custo necessário nas etapas de pré-implantação, implantação, operação, encerramento, pós-encerramento para se ter um aterro sanitário, em que aterros de grande porte custam 525.794.167 milhões e aterros de pequeno porte 52.444.449 milhões.

Desta maneira, uma solução ambientalmente indicada para municípios de pequeno porte, seria a instalação de aterros sanitários de pequeno porte, que, segundo a NBR 15.849/2010 ABNT, é um método de disposição final utilizando conceitos de engenharia para armazenamento de resíduos no solo com capacidade de recebimento de até 20 toneladas por dia de resíduos e necessitam ser considerados os aspectos físicos locais, para que a concepção do sistema possa ser simplificada, adequando-se aos sistemas de proteção ambiental, sem causar prejuízo e minimizando os impactos ao meio ambiente e a saúde pública.

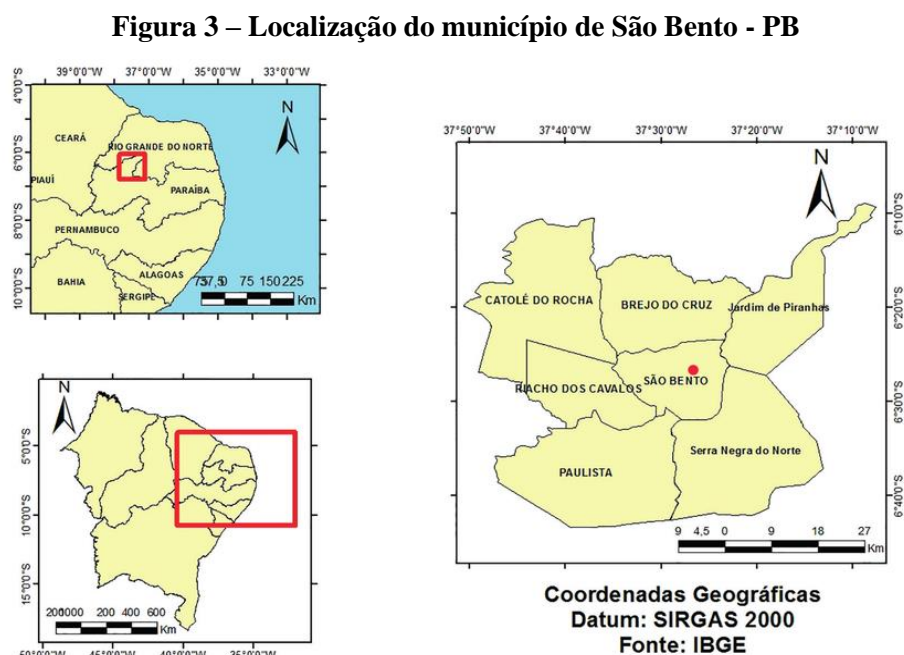
4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização da pesquisa

A presente pesquisa se caracteriza como um estudo de caso, das condições para instalação de um aterro sanitário de pequeno porte no município de São Bento - PB, com base em parâmetros. Sendo assim, pela classificação apresentada em Prodanov e Freitas (2013) é uma pesquisa aplicada, descritiva e quantitativa.

4.2 Local do estudo

A implantação do aterro sanitário será no município de São Bento - PB, localizado na Mesorregião do Sertão paraibano. São Bento está localizado a 38 km ao sudoeste de Patos, a maior cidade da mesorregião, sua altitude é de 612 metros, posicionado a uma latitude de 7°16'60" sul e longitude 37°30'0" oeste. Limita-se com os municípios de Paulista, Riacho dos Cavalos, Serra Negra do Norte (RN) e Jardim de Piranhas (RN), conforme mostra na Figura 3. Ademais, com uma área de 245,840 km² e 34.344 habitantes, segundo estimativa de 2020, é um município considerado como polo industrial e um centro comercial para os municípios próximos (IBGE, 2020).



Fonte: IBGE (2000).

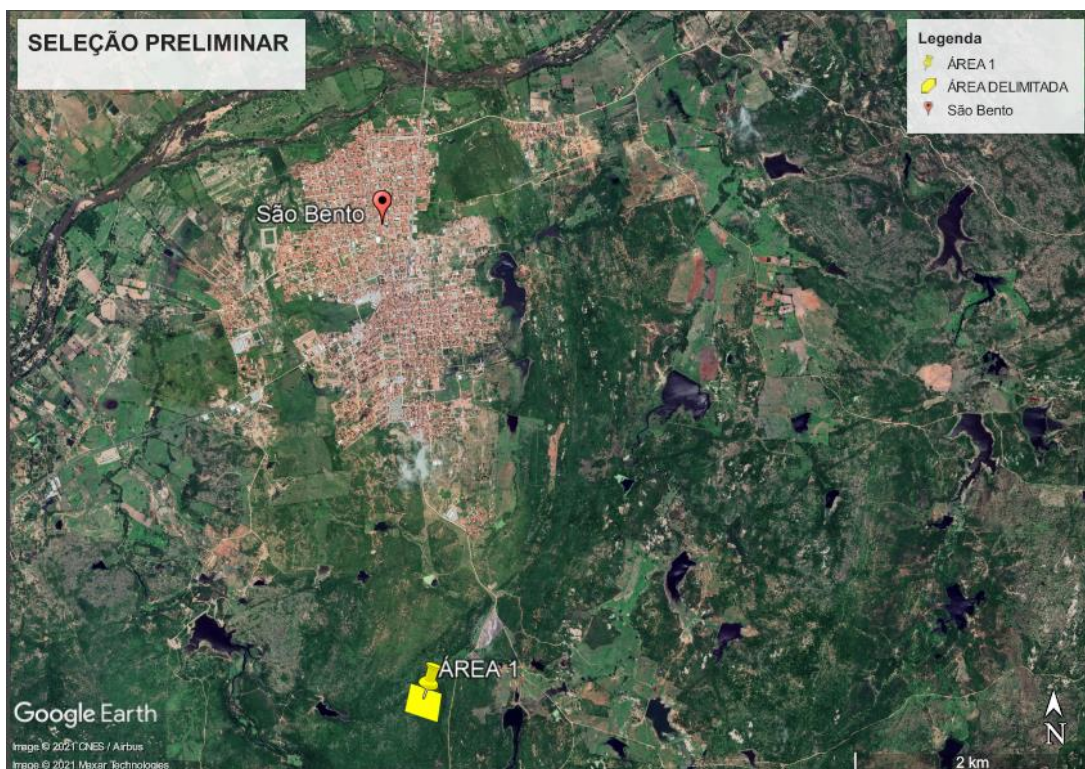
4.3 Seleção da área de implantação

No processo de seleção da área do aterro é necessário levar em consideração vários aspectos, limitando bastante as áreas passíveis de instalação desse empreendimento. Desta maneira, foi selecionado, dentro da área do município de São Bento - PB, áreas que possivelmente pudessem receber um aterro sanitário, levando em consideração critérios estabelecidos pelo Manual de Gerenciamento dos Resíduos Sólidos do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (MONTEIRO et al., 2001).

Seguindo a metodologia de Monteiro et al. (2001), para seleção da área do aterro é necessário delimitar áreas preliminares, estabelecer os critérios de avaliação dessas áreas, definir as prioridades desses critérios e por fim, analisar criticamente todas as áreas para verificar qual a que melhor se adequa às necessidades.

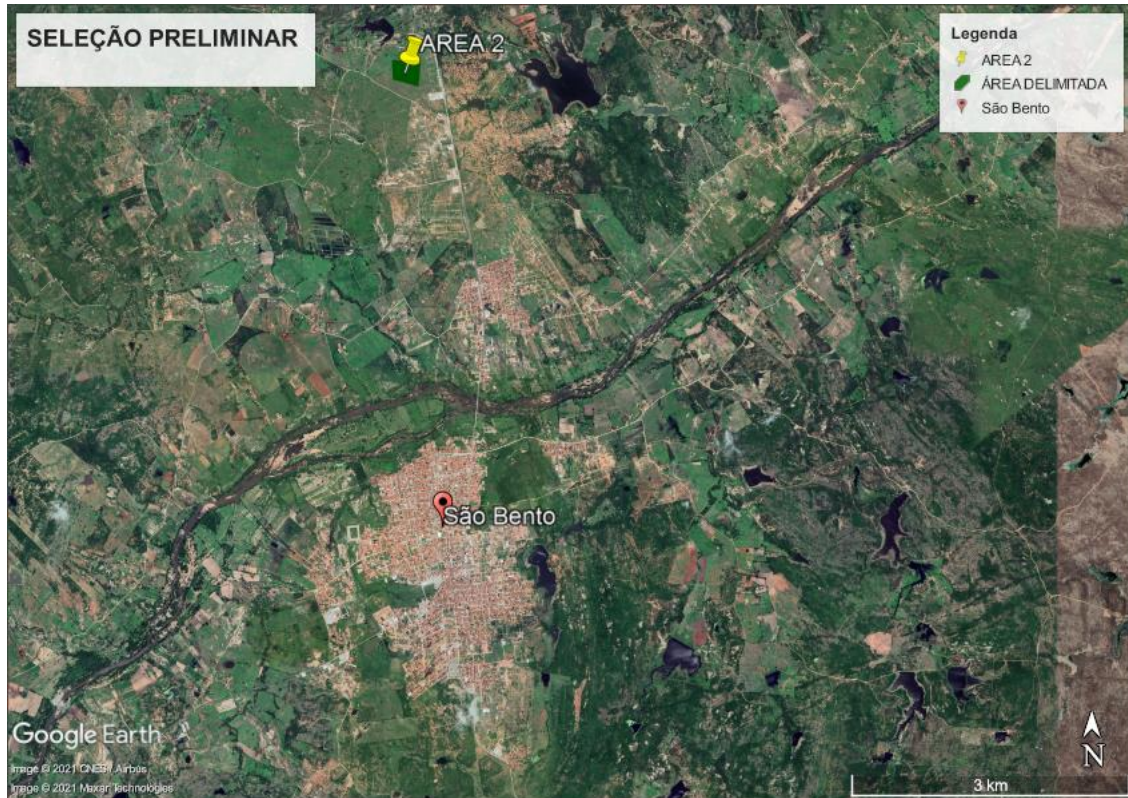
Sendo assim, o primeiro passo foi selecionar três áreas preliminares de aproximadamente 60.490,49 m² área considerada suficiente para comportar os RSU de São Bento durante 20 anos, foram selecionadas (Figura 4, 5 e 6), levando em consideração a distância de centros urbanos, de unidades de conservação, de assentamentos rurais e de atividades industriais, bem como do respectivo proprietário e da situação documental.

Figura 4 – Área preliminar 1 para instalação do aterro sanitário em São Bento – PB



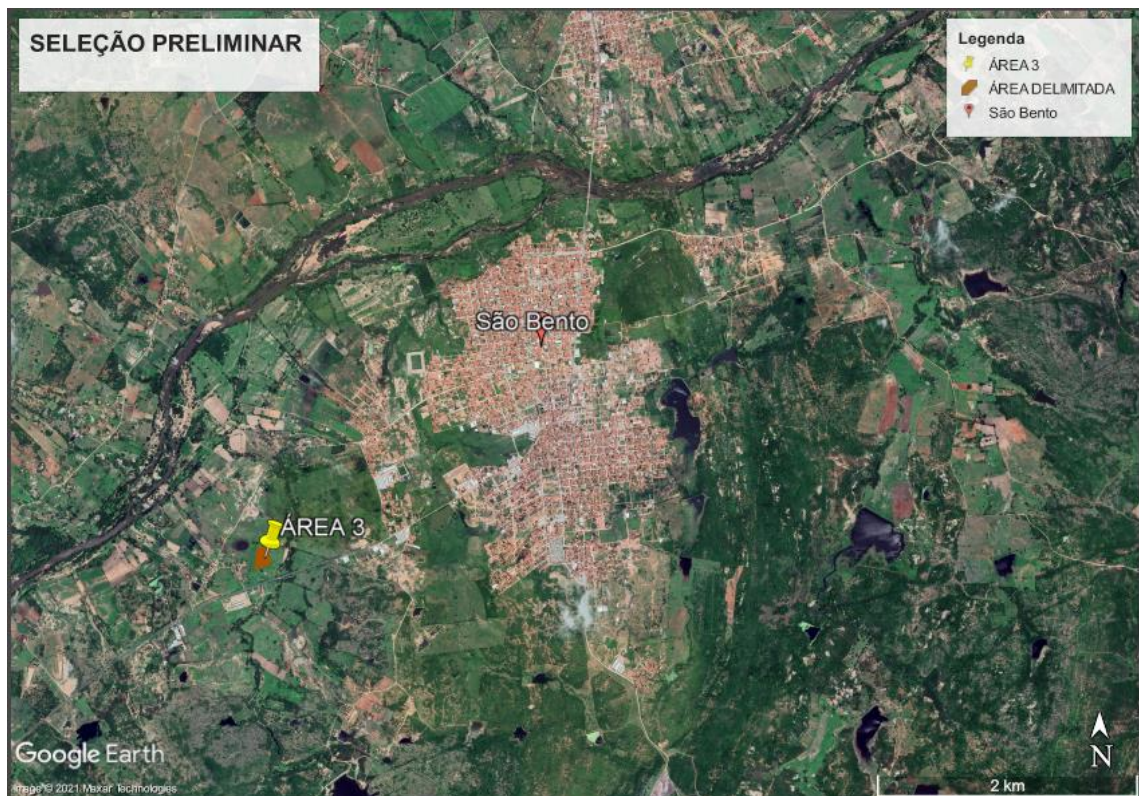
Fonte: Google Earth (2021).

Figura 5 – Área preliminar 2 para instalação do aterro sanitário em São Bento - PB



Fonte: Google Earth (2021).

Figura 6 – Área preliminar 3 para instalação do aterro sanitário em São Bento – PB



Fonte: Google Earth (2021).

Assim como já discutido, os critérios selecionados foram baseados nos critérios apresentados em Monteiro et al. (2001), sendo classificados em Técnicos, Econômico-financeiros e Político-sociais, a apresentação dos critérios é apresentada no Quadro 4 e 5.

Quadro 4 – Critérios técnicos de seleção de área do aterro

CRITÉRIOS TÉCNICOS	
CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Uso do solo	As áreas têm que se localizar numa região onde o uso do solo seja rural (agrícola) ou industrial e fora de qualquer Unidade de Conservação Ambiental.
Proximidade a cursos d'água relevantes	As áreas não podem se situar a menos de 200 metros de corpos d'água relevantes, tais como, rios, lagos, lagoas e oceanos. Também não poderão estar a menos de 50 metros de qualquer corpo d'água, inclusive valas de drenagem que pertençam ao sistema de drenagem municipal ou estadual.
Proximidade a núcleos residenciais urbanos	As áreas não devem se situar a menos de mil metros de núcleos residenciais urbanos que abriguem 200 ou mais habitantes.
Proximidade a aeroportos	As áreas não podem se situar próximas a aeroportos ou aeródromos e devem respeitar a legislação em vigor.
Distância do lençol freático	Para aterros com impermeabilização inferior através de manta plástica sintética, a distância do lençol freático a manta não poderá ser inferior a 1,5 metros. Para aterros com impermeabilização inferior através de camada de argila, a distância do lençol freático a camada impermeabilizante não poderá ser inferior a 2,5 metros e a camada impermeabilizante deverá ter um coeficiente de permeabilidade menor que 10 ⁻⁶ cm/s.
Vida útil mínima	É desejável que as novas áreas de aterro sanitário tenham, no mínimo, cinco anos de vida útil.
Permeabilidade do solo natural	É desejável que o solo do terreno selecionado tenha uma certa impermeabilidade natural, com vistas a reduzir as possibilidades de contaminação do aquífero. As áreas selecionadas devem ter características argilosas e jamais deverão ser arenosas.
Extensão da bacia de drenagem	A bacia de drenagem das águas pluviais deve ser pequena, de modo a evitar o ingresso de grandes volumes de água de chuva na área do aterro.
Facilidade de acesso a veículos pesados	O acesso ao terreno deve ter pavimentação de boa 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.
Disponibilidade de material de cobertura	Preferencialmente, o terreno deve possuir ou se situar próximo a jazida de material de cobertura, de modo a assegurar a permanente cobertura do lixo a baixo custo.

Fonte: Monteiro et al. (2001).

Quadro 5 – Critérios econômico-financeiros e político-sociais de seleção de área de aterro

CRITÉRIOS ECONÔMICO-FINANCEIROS	
CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Distância ao centro geométrico de coleta	É desejável que o percurso de ida (ou de volta) que os veículos de coleta fazem até o aterro, através das ruas e estradas existentes, sejam o menor possível, com vistas a reduzir o seu desgaste e o custo transporte do lixo.
Custo de aquisição do terreno	Se o terreno não for de propriedade da prefeitura, deverá estar, presencialmente, em área rural, uma vez que o seu custo de aquisição será menor do que o de terrenos situados em áreas industriais.
Custo de investimento em construção e infraestrutura	É importante que áreas escolhidas disponha de infraestrutura completa, reduzindo os gastos de investimento em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgotos, drenagem de águas pluviais, distribuição de energia elétrica e telefonia.
Custos com a manutenção do sistema de drenagem	A área escolhida deve ter um relevo suave, de modo a minimizar a erosão do solo e reduzir os gastos com limpeza e manutenção dos componentes do sistema de drenagem.
CRITÉRIOS POLÍTICO-SOCIAIS	
CRITÉRIOS	OBSERVAÇÕES
Distância de núcleos urbanos de baixa renda	Aterros são locais que atraem pessoas desempregadas, de baixa renda ou sem outra qualificação profissional, que buscam a catação do lixo como forma de sobrevivência e que passam a viver desse tipo de trabalho em condições insalubres, gerando, para a prefeitura, uma série de responsabilidades sociais e políticas. Por isso, caso a nova área se localize próxima a núcleos urbanos de baixa renda, deverão ser criados mecanismos alternativos de geração de emprego e/ou renda que minimizem as pressões sobre a administração do aterro em busca da oportunidade de catação. Entre tais mecanismos poderão estar iniciativas de incentivos formação de cooperativas de catadores, que podem trabalhar em instalações de reciclagem dentro do próprio aterro ou mesmo nas ruas da cidade, de forma organizada, fiscalizada e incentivada pela prefeitura.
Acesso a área através de vias com baixa densidade de ocupação	O tráfego de veículos transportando lixo é um transtorno para os moradores das ruas por onde estes veículos passam, sendo desejável que o acesso a área do aterro passe por locais de baixa densidade demográfica.
Inexistência de problemas com a comunidade local	É desejável que, nas proximidades da área selecionada, não tenha havido nenhum tipo de problemas da prefeitura com a comunidade local, com organizações não-governamentais (ONG's) e com a mídia, pois esta indisposição com o poder público irá gerar reações negativas a instalação do aterro.

Fonte: Monteiro et al. (2001).

Sendo definido a hierarquização de critérios com base na prioridade estabelecidas para seleção da área responsável por suportar o empreendimento como demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Hierarquização de critérios estipulando prioridades e pesos responsáveis para escolha da área do empreendimento

Hierarquização de critérios	
CRITÉRIOS	PRIORIDADE
Atendimento ao SLAP* e à legislação ambiental em vigor	1
Atendimento aos condicionantes político-sociais	2
Atendimento aos principais condicionantes econômicos	3
Atendimento aos principais condicionantes técnicos	4
Atendimento aos demais condicionantes econômicos	5
Atendimento aos demais condicionantes técnicos	6
Pesos dos critérios e do tipo de atendimento	
PRIORIDADE DOS CRITÉRIOS	PESO
1	10
2	6
3	4
4	3
5	2
6	1
TIPO DE ATENDIMENTO	PESO
Total	100%
Parcial ou com obras	50%
Não atendido	0%

Fonte: Monteiro et al. (2001).

Para realização da análise crítica foi atribuído o peso referente a cada critério para cada área, e, em seguida, esses pesos foram somados para compor a pontuação final da área. Essa pontuação se dá, de maneira que, quando a área atende totalmente o critério estabelecido obtera 100% do peso, quando atende parcialmente 50% e quando não atende 0%. Sendo assim, a área com maior pontuação será selecionada para instalação do aterro.

4.4 Resíduos sólidos urbanos a serem depositados no aterro sanitário

Assim como já mencionado, o aterro sanitário proposto foi dimensionado para 20 anos de vida útil. Sendo assim, é necessário determinar quanto de RSU será produzido nesse período para o armazenamento nas células. Para essa estimativa volumétrica (Tabela 2) se adotará os dados populacionais, de crescimento populacional, de produção per capita de RSU e de massa específica dos RSU compactados.

Tabela 2 – Estimativa volumétrica de RSU a serem dispostos no aterro sanitário

ESTIMATIVA VOLUMÉTRICA DE RESÍDUOS A SEREM DISPOSTOS NO ATERRO SANITÁRIO				
Ano	População anual (hab.)	RSU		
		Massa (ton/ano)	Volume (m ³ /ano)	Volume acumulado (m ³)
1	36298	7950	19080	19080
2	36890	8079	19390	38470
3	37491	8211	19707	58177
4	38102	8345	20028	78205
5	38723	8481	20355	98560
6	39354	8619	20686	119246
7	39996	8760	21024	140270
8	40648	8902	21365	161635
9	41310	9047	21713	183348
10	41984	9195	22068	205416
11	42668	9345	22428	227844
12	43363	9497	22793	250637
13	44070	9652	23165	273802
14	44789	9809	23542	297344
15	45519	9969	23926	321270
16	46261	10132	24317	345587
17	47015	10297	24713	370300
18	47781	10465	25116	395416
19	48559	10635	25524	420940
20	49350	10808	25940	446880

Fonte: Elaborada pela autora.

Dados obtidos pelo Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de São Bento (PMSB, 2014), apontam que:

- A população de São Bento para o ano base de 2020 é 36.298 habitantes;
- Será adotado uma taxa de crescimento geométrico de 1,63% ao ano
- A geração per capita de RSU na cidade é de 0,6 kg/hab./dia
- A massa específica dos RSU compactados é de 0,5 t/m³.

4.5 Células do aterro sanitário

Para fins de facilidade operacional, o aterro sanitário possuirá 20 células idênticas de 446.880 m³ de volume, a fim de que cada célula seja utilizada por um ano da vida útil do aterro. As células projetadas são do tipo vala, as quais são escavações no solo, de maneira que não modificam a topografia natural do terreno e ainda se aproveita o material escavado para cobertura dos resíduos (CRE, 2010). O único entrave desse tipo de célula é a proximidade com o lençol freático, no entanto, as células foram projetadas para 5 metros de profundidade, 3

metros de distância da profundidade média de poços na região que é de 8 metros (JÚNIOR, 2001).

4.6 Revestimento de fundo

Para melhorar a impermeabilização do fundo do aterro, foi avaliado a necessidade de revestimento de fundo, em de resíduos orgânicos nos RSU do município, a profundidade do lençol freático local, o excedente hídrico local e a permeabilidade do solo.

Segundo a NBR 15.849/2010, para aterros de pequeno porte, deve ser feito uma avaliação em relação a porcentagem, relacionada a fração orgânica dos resíduos sólidos de São Bento que foi de 45% (PMSB, 2014), profundidade média do lençol freático de 8 m e excedente hídrico de 718,1 mm/ano (PMSB, 2014).

Quanto a permeabilidade do solo, foi realizado um ensaio de absorção de solo na área selecionada para ser o aterro, como base na NBR 7229/93 e alcançando um valor de permeabilidade de 10^{-3} mm/s de acordo com o solo classificado como de absorção media. Os dados do ensaio são apresentados na Tabela 3 e Quadro 7.

Tabela 3 – Ensaio de permeabilidade do solo utilizando o tempo de detenção x coeficiente de permeabilidade

Ensaio de Permeabilidade do solo	
t (min)	c
1	140
1	140
1,3	130
1,57	117
2,1	106
2,6	96
2,9	91
3	89
3	89
3	89

Fonte: Elaborada pela autora.

Quadro 6 – Absorção relativa do solo

Tipos de solo	Coefficiente de infiltração litros/ m ² x dia	Absorção relativa
Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalho.	Maior que 90	Rápida
Areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com humos e turfas variando a solos constituídos predominantemente de areia e silte.	60 a 90	Média
Argila arenosa e/ ou siltosa, variando a areia argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa
Argila de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argila pouco siltosa e/ou arenosa.	20 a 40	Semi-impermeável
Rocha, argila compactada de cor branca, cinza ou preta, variando a rocha alterada e argila medianamente compactada de cor avermelhada.	Menor que 20	Impermeável

Fonte: ABNT NBR 7229/93.

Tabela 4 – Critério para a dispensa de impermeabilização complementar

Limites máximos do excedente hídrico (EH, mm/ano) para a dispensa da impermeabilização complementar		Critérios para a dispensa de impermeabilização complementar							
		Fração orgânica dos resíduos ≤ 30%				Fração orgânica dos resíduos > 30%			
		Profundidade do freático m				Profundidade do freático m			
		1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n < 9	n ≥ 9	1,50 < n ≤ 3	3 < n < 6	6 ≤ n < 9	n ≥ 9
Coefficiente de permeabilidade do solo local K (cm/s)	$k \leq 1 \times 10^{-6}$	250	500	1000	1500	188	375	750	1125
	$1 \times 10^{-6} < k \leq 1 \times 10^{-5}$	200	400	800	1200	150	300	600	900
	$1 \times 10^{-5} < k \leq 1 \times 10^{-4}$	150	300	600	900	113	225	450	675

Fonte: ABNT.

4.7 Drenagem do chorume

Inicialmente, para dimensionamento do sistema de drenagem de chorume é necessário determinar a vazão gerada desse líquido no aterro. Para tanto, será empregado o Método Suíço (Equação 1), devido a sua simplicidade e adequação com a realidade que ocorrerá no aterro. Vale a pena ressaltar que o valor do coeficiente de dependência do grau de compactação foi de 0,25. Utilizou o Método Suíço.

$$Q_{cho} = \frac{PAK}{t} \quad (1)$$

Q_{cho} = vazão do chorume (L/s);

P = precipitação (mm);

A = área da célula (m²);

t = tempo de medição (s);

K = coeficiente de dependência do grau de compactação do RSU.

Com base no volume do percolado gerado pelas células do aterro sanitário o sistema de drenagem de chorume foi dimensionado, esse dispositivo será constituído de valas com drenos implantados sobre o revestimento de fundo, nessas valas serão instalados tubos perfurados, organizados na forma de espinha de peixe, com drenos principais e drenos secundários interligados a 45°, além disso, esses drenos serão cobertos por brita para evitar a colmatação dos furos pelo contato direto com os resíduos.

Para determinação dos diâmetros dos drenos e da distância entre um dreno principal e outro serão utilizadas as Equações 2 e 3.

$$Q = K \cdot i \cdot A \quad (2)$$

$$L = \sqrt{A} \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão a ser drenada(m³/s);

K = condutividade hidráulica (m/s);

i = gradiente hidráulico;

A =área da seção transversal do dreno(m²);

L = espaço máximo entre drenos principais (cm).

Para o referido projeto adotou-se uma seção quadrada.

4.8 Drenagem dos gases

O dimensionamento do sistema de drenagem de gases não obedece a nenhuma regra matemática, apenas deve ser disposto sobre os nós da drenagem de chorume, sempre verificado se encontra em um raio de 30 m um do outro, e que toda a área do aterro está coberta, com se haverá a necessidade de inserir mais drenos, se não, deve ser inserido uma quantidade tal de drenos que levando em consideração o raio supracitado, cubra toda a área da célula.

4.9 Drenagem de águas pluviais

Para dimensionar o sistema de drenagem pluvial, primeiramente deve-se determinar a vazão de chuva que uma única célula intercepta, para isso Millar (1974) sugere o método racional, apresentado na Equação 4.

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 C . i . A \quad (4)$$

Onde:

Q máx = vazão de cheia (m³/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

i = intensidade de precipitação para o sertão oriental nordestino (mm/h);

A = área da bacia de contribuição.

No cálculo da vazão máxima de chuva a ser interceptada e escoada sobre a célula do aterro é necessário determinar as características de cobertura dessa célula. Para isso, se utiliza o coeficiente de escoamento superficial (C), que para Millar (1974) deve ser de 0,3, uma vez que após o encerramento da célula está receberá uma camada de argila e depois uma camada de solo com grama, além de possuir uma topografia plana, com 2% de declividade.

Outra grandeza para cálculo da vazão máxima de chuva que pode ser interceptada pela célula é a intensidade da chuva crítica (i), que foi determinada pela Equação 5, que é a equação, segundo Festi (2001) que representa a intensidade da chuva para o sertão oriental nordestino. Essa equação foi selecionada pelo fato de não existir nenhuma determinação de intensidade de chuva para o município de São Bento - PB e municípios vizinhos. Além disso, em seu processo de cálculo, o tempo de retorno foi de 20 anos, tempo de vida útil estipulado para o aterro.

$$i = \frac{3609,11T_r^{0,12}}{(t_c + 30)^{0,95}} \quad (5)$$

Onde:

i = intensidade de precipitação para o sertão oriental nordestino (mm/h);

T_r = tempo de retorno (anos);

t_c = tempo de concentração (min).

Para calcular a intensidade da chuva, é necessário a determinação do tempo de concentração, que é o tempo em que o ponto mais distante da célula do aterro, contribui para o escoamento de água da chuva (SILVA. 2016). Essa grandeza foi determinada pela Equação 6.

$$t_c = 0,01947L^{0,77}I^{-0,385} \quad (6)$$

Onde:

T_c = tempo de concentração;

L = comprimento máximo da célula (m);

I = declividade (m/m).

O sistema de drenagem constará apenas de valas para coletar a água da chuva que escoar sobre as células, para posterior lançamento fora da área do aterro. Para dimensionamento dessas valas será utilizada a formulação de Chezy-manning para canais com escoamento livre, utilizando a vazão máxima calculada, uma declividade de 2%, o coeficiente de manning para o concreto de 0,013 e a Tabela apresentada no Anexo A.

$$\frac{Q}{\sqrt{I}} = \frac{1}{n}AR_h^{2/3} \quad (7)$$

Onde:

Q = vazão;

I = declividade;

n = n de Manning;

A = área do condutor;

Rh = raio hídrico.

4.10 Dimensionamento da lagoa anaeróbia

O dimensionamento da lagoa anaeróbia determinado, com base, dimensionamento proposto por Jordão (2014). Pra realização dos cálculo necessários utilizou-se as Equações 8, 9, 10.

Dados considerados no cálculo:

- Carga de DBO afluente de 7,47611 m³/d
- Taxa de aplicação de carga orgânica adotada 10000 mg/l
- Profundidade adotada de 3,5 m

Volume da lagoa:

$$V = \frac{\text{carga de DBO afluente}}{\text{taxa de aplicação de carga orgânica adotada}} \quad (8)$$

Tempo de detenção resultante aceitável:

$$t = \frac{V}{Q} \quad (9)$$

Área media:

$$A_m = \frac{V}{h} \quad (10)$$

Onde:

A_m = área media (m²);

V = volume da lagoa (m^3);

h = profundidade adotada (m);

Q = contribuição do efluente utilizado.

4.11 Dimensionamento da lagoa facultativa

O dimensionamento da lagoa facultativa com base, dimensionamento o dimensionamento proposto por Jordão (2014). Pra realização dos cálculo necessários utilizou-se as Equações 11, 12, 13

Valores considerados para o cálculo:

- Volume de afluente de 7,47611 m^3/d ;
- Profundidade adotada de 2 m;
- O método considera a DBO total de 1° estagio de 14200 mg/l;
- Carga afluente (em relação a DBO total) de 106,1608 kg/d;
- Carga possível da lagoa 350 kg DBO/há.d.

Área superficial da lagoa:

$$A = \frac{C_a}{C} \quad (11)$$

Volume

$$V = 3,5 \times 10^{-2} \times Q L_a (1,085)^{35-T} \quad (12)$$

Tempo de detenção

$$T = \frac{V}{Q} \quad (13)$$

Onde:

C_a = carga do efluente (kg/d);

C = carga possível da lagoa suportar (kg DBO/há.d);

Q = carga de DBO do efluente (m³/d);

L_a = relacionado a DBO total de 1º estágio (mg/l);

V = volume (m³);

T = tempo de detenção (dias);

A = area superficial da lagoa (m²).

4.12 Infraestrutura de apoio

- O empreendimento conta com uma estrutura de apoio. A mesma seguiu os parâmetros e critérios estabelecidos em norma para os projetos elétricos, de esgoto, hidráulicos e estruturais, sendo elas, ABNT NBR 5410, NBR 5626, NBR 8160, NBR 6118, NBR 3893 e NBR 15849 que são de suma importância para construção adequada do empreendimento.
- Desse modo, será implantada a seguinte infraestrutura apresentada a seguir:
- Estacionamento: local destinado a veículos utilizados para o funcionamento do aterro.
- Almoxarifado: tem como função guardar os utensílios que forem usados no aterro e outros materiais.
- Guarita / Cancela: esta parte tem como escopo realizar o controle da locomoção dentro da área do aterro.
- Galpão de Triagem: a triagem tem como escopo área de transbordo e de resíduos da construção civil e resíduos volumosos.
- Caixa D'água elevada: reservatório de água que se apresenta como escopo principal de auxiliar no manejo das atividades.
- Cerca: tem como objetivo evitar que ocorram entradas inconvenientes no local, resguardando as funções do aterro.
- Cerca viva: função de isolar a área entorno do empreendimento de pessoas e animais.
- Balança: no escopo central da balança é verificada a quantidade de resíduos que é disposta no aterro.

- Barreira vegetal: também auxilia na proteção do aterro e, ainda, evita que odores cheguem à cidade.
- Escritório: esse setor tem o objetivo de ser o local para a execução das atividades administrativas do aterro como, por exemplo, verificar a quantidade de lixo depositada mensalmente e os tipos de dejetos.
- Edif. Refeitório/Vestiário/Cozinha: esse local tem como escopo garantir as atividades de alimentação e outras atividades de manutenção da vida dos trabalhadores.
- Sinalização: compreende elementos que tem o objetivo de evitar ou diminuir possíveis riscos de acidentes na estação de transferência formado por placas de regulamentação e orientação.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do manejo dos resíduos sólidos do município de São Bento - PB

Retirados PMSB (2014), o manejo dos resíduos sólidos do município de São Bento - PB é de responsabilidade da Secretaria de Infraestrutura da Prefeitura, que acondiciona, coleta e dispõe resíduos domésticos, comerciais e até industriais na zona urbana e parte da zona rural.

A secretaria de infraestrutura disponibiliza para a população tambores com capacidade de 200 L, utilizados para acondicionamento de resíduos e distribuídos na zona urbana. Também são usadas outras formas de acondicionamento como caixas e sacolas plásticas.

Em relação a coleta e transporte dos resíduos sólidos, o município dispõe de uma frota composta por dois caminhões compactadores, responsáveis por coletar em média três vezes ao dia, totalizando 6 m³ de resíduos por caminhão, sendo responsáveis pela coleta nas zonas rurais e urbanas, não cobrindo todo território rural do município.

Os RSU coletados são encaminhados ao vazador a céu aberto (Lixão), localizados nos arredores do município, aproximadamente a 5 km do centro urbano, já que, o mesmo não possui uma forma ambientalmente adequada para o tratamento dos RSU.

Diante desta realidade, observou-se a carência do município em relação ao gerenciamento de seus RSU, sendo que o mesmo, não possui uma forma de disposição final ambientalmente adequada, por utilizar um vazador a céu aberto para destinar os seus resíduos municipais.

5.2 Localização da área selecionada para construção do empreendimento

Diante da análise dos critérios técnicos, econômico-financeiros e político-sociais a área 1 (Figura 7) foi a selecionada, pois o local escolhido ficará situado a 3,2 km da BR-247, rodovia esta que liga os municípios de São Bento a Paulista, 4 km do centro do urbano, se encontrando próximo ao vazadouro a céu aberto existente no município.

Figura 7 – Área selecionada para implantação do aterro sanitário



Fonte: Google Earth (2021).

Sendo que, a implantação nesta região é devido à necessidade de manter a gestão de resíduos fora do ambiente urbano, evitar a proliferação de doenças e, também, prezar pela saúde coletiva, obedecendo os critérios de escolha estabelecidos. Os resultados da análise é apresenta na Tabela 5.

Tabela 5 – Escolha da área do empreendimento considerando as características das áreas pré-selecionadas

CRITÉRIOS	PRIORIDADES	CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS										
		PONTOS PRIORIDADES	ATENDIMENTO			PONTUAÇÃO DA ÁREAS			PONTOS DE ATENDIMENTO (%)			
			ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	ÁREA 1	ÁREA 2	ÁREA 3	
Proximidade a cursos d'água	1	10	T	T	T	10	10	10	100	100	100	
Proximidade a núcleos residenciais	1	10	N	N	N	0	0	0	0	0	0	
Proximidade a aeroportos	1	10	T	T	T	10	10	10	100	100	100	
Distância do lençol freático	1	10	T	T	T	10	10	10	100	100	100	
Distância de núcleos de baixa renda	2	6	T	T	T	6	6	6	100	100	100	
Vias de acesso com baixa ocupação	2	6	T	T	T	6	6	6	100	100	100	
Problemas com a comunidade local	2	6	T	T	P	6	6	3	100	100	50	
Aquisição do terreno	3	4	T	P	P	4	2	2	100	50	50	
Investimento em infra-estrutura	3	4	P	P	P	2	2	2	50	50	50	
Vida útil mínima	4	3	T	T	T	3	3	3	100	100	100	
Uso do solo	4	3	T	T	T	3	3	3	100	100	100	
Permeabilidade do solo natural	4	3	P	P	P	1,5	1,5	1,5	50	50	50	
Extensão da bacia de drenagem	4	3	T	T	T	3	3	3	100	100	100	
Acesso a veículos pesados	4	3	P	T	T	1,5	3	3	50	100	100	
Material de cobertura	4	3	P	P	P	1,5	1,5	1,5	50	50	50	
Manutenção do sistema de drenagem	5	2	T	T	T	2	2	2	100	100	100	
Distância ao centro de coleta	6	1	T	T	T	1	1	1	100	100	100	
Distância da rodovias	6	1	T	T	T	1	1	1	100	100	100	
Proteção contra enchente	4	3	T	T	T	3	3	3	100	100	100	
Ventos	4	3	T	T	N	3	3	0	100	100	0	
Declividade	4	3	T	T	T	3	3	3	100	100	100	
TOTAL						80,5	80	74				

Nota: T – atende integralmente; P – atende parcialmente; N – não atende.

Fonte: Elaborada pela autora.

Além deste local obedece os critérios de implantação para o empreendimento, proporcionara as rotas estabelecidas para a coleta dos resíduos pelo município permanecer as mesmas, devido à sua localização ser próximo ao local de disposição já utilizado, o que este ser mais um ponto positivo para escolha da área.

5.2.1 Infraestrutura de apoio do aterro sanitário

A infraestrutura do empreendimento vai além das células para armazenar os resíduos, sendo composto também por sinalização, estacionamento, almoxarifado, guarita, galpão de triagem, cerca, cerca viva, balança, escritório, refeitório, cozinha, vestiário e banheiros. As especificações dessas unidades estão apresentadas na Tabela 6, além disso o croqui com a localização das unidades na área selecionado para o aterro e as plantas hidrossanitárias, elétrica e estrutural da infraestrutura de apoio são apresentadas nos Apêndices A, B, C, D e E.

Tabela 6 – Infraestrutura do empreendimento

INFRAESTRUTURA DO EMPREENDIMENTO	
Componentes	Descrição
Estacionamento	Com capacidade para 8 veículos, sendo 4 destinadas a veículos pesados.
Almoxarifado	6 m ²
Guarita	9 m ² , com banheiro
Cancela	Dimensões de 1,20x3,5 m
Galpão de triagem	60 m ² com quatro divisorias
Cerca	2,00 m de altura e serão construídas com utilização de estacas pré-moldadas de concreto, tipo ponta virada de seção 10x10 cm, cravadas diretamente no solo, distanciadas a 3,00 m. o fechamento horizontal se dará por 11 fios paralelos de arame farpado galvanizado.
Cerca viva	Espécies nativas da área distanciadas em 2 m da espécie Juazeiro (<i>Ziziphus joazeiro</i>). E para a área de preservação ambiental eucalípto (<i>Eucalyptus</i>)
Balança	Balança tipo rodoviária, com capacidade mínima de 30 t, para o controle de entrada no terro de resíduos, terra e materiais em geral (areia, brita, etc.).
Escritório	4 m ² com Banheiro
Refeitório	20 m ² com capacidade para 20 funcionários
Banheiro	21 m ² projetado para 20m funcionários
Vestiário	13, 5 m ² projetado para 20 funcionários
Cozinha	12 m ² , completa
Sinalização	Placas com dimensões 20x10 e 24x12

Fonte: Elaborada pela autora.

A área escolhida para implantação do empreendimento se mostrou eficiente, pois contemplou toda a estruturas de apoio e operação tal como, guarita, estacionamento, alocação das células, lagoas e etc.

5.3 Revestimento de fundo

No tocante ao revestimento de fundo, de acordo com análise feita, o aterro sanitário precisa do mesmo, tendo em vista que para a dispensa do sistema de impermeabilização da base dados os valores utilizados em projeto, teria que atender ao limite do excedente hídrico referente a Tabela 4 de 450 mm/ano, no entanto o excedente hídrico do município é de 718,1 mm/ano, logo será necessário o sistema de acordo com a NBR 15849.

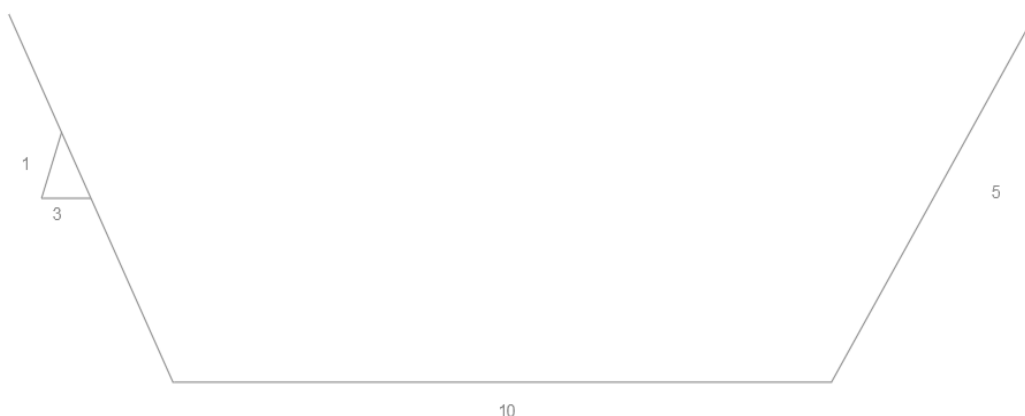
O ensaio de campo foi realizado, com o intuito de definir o coeficiente de permeabilidade do local, com tudo poderia poderá existir regiões de permeabilidade maiores ou menores do que 10^{-3} mm/s, no local de implantação do aterro.

Dito isso, mesmo que, o sistema de revestimento de fundo complementar fosse dispensado, por motivos de segurança seria utilizado.

5.4 Dimensionamento das células do aterro

O aterro possuirá 20 células, todas com mesma dimensão, cada uma sendo responsáveis pelo armazenamento dos RSU por aproximadamente um ano. As células possuem dimensões 5m x 10m com 380 metros de comprimento, com declividade de 1(V): 3(H), sendo assim, volume médio do aterro para essa geometria é de 446.880 m³, com grau de compactação de 2:1. Como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Corte transversal de uma célula



Fonte: Elaborada pela autora.

5.5 Drenagem do chorume

Para o sistema de drenagem do chorume serão usadas valetas com um sistema de drenos primários e secundários implantados sobre a camada de impermeabilização inferior no terreno, sob a forma de espinha de peixe, onde o sistema de drenos secundários possuem uma inclinação de 45°, na pretensão de garantir a eficiência do sistema e preconizar a efetividade do sistema de drenagem. Além disso será colocado uma manta geotécnica (bidim) na parte superior dos drenos, com intuito de proteger o sistema evitando o contato direto com os resíduos dispostos.

Desta maneira, serão instalados 12 drenos principais de 300 mm de diâmetro e para cada dreno principal 24 drenos secundários de 300 mm de diâmetro, espaçados a cada 30 m um do outro. A instalação desses tubos ocorrerá em valas de 30 cm cobertas com 60 cm de brita nº 2, a fim de que a vazão de chorume de 0,0865 L/s não acumule mais que 13 cm de lâmina na célula, conforme representados na Figura 9.

Figura 9 – Representação do sistema de drenagem do chorume na célula



Fonte: Elaborada pela autora.

O sistema composto por valetas com drenos primários e secundários em formato de espinha de peixe, se mostrou ser o mais adequado para a topografia da área, onde serão escavadas as valetas, permitindo uma drenagem eficiente do sistema.

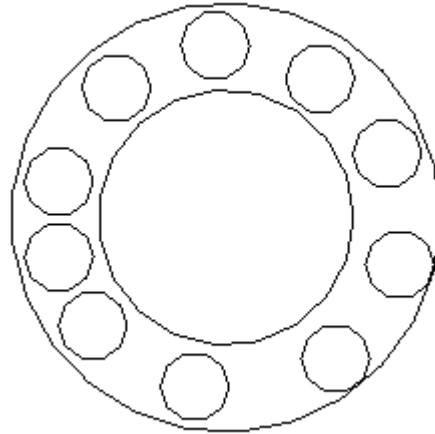
5.6 Drenagem dos gases

Na drenagem dos gases serão usados 24 drenos circulares verticais formados por tubos perfurados envolvidos em uma camada de brita nº 4, esses tubos serão de concreto armado distribuídos uniformemente na célula, com diâmetro de 30 cm, será adotado o espaçamento máximo de 30 m entre eles, estabelecido na NBR 15.849/2010.

Com o intuito de proteger a tubulação dos gases coloca-se uma camada de 10 cm de brita nº5 ao redor dos tubos, fixando com uma tela de aço galvanizada. Esse sistema tem a

função de liberar os gases produzidos pelos resíduos, onde cada dreno terá uma altura de 0,5 m acima da cota final prevista para o aterro no ponto, conforme representado na Figura 10.

Figura 10 – Dreno circular para drenagem dos gases



Fonte: Elaborada pela autora.

Esse sistema de drenagem se encontra no limite estabelecido por norma, referente ao distanciamento entre seus drenos, apesar deste fato, o mesmo não oferece riscos de desempenho, o que assegura a efetiva função dessa drenagem.

5.7 Drenagem de águas pluviais

As valas tem a função de escoar as águas para que não ocorram infiltração das células, afim de não sobrecarregar seu sistema de drenagem. Elas foram projetadas para a vazão de cheia de 0,284 m³/s, com dimensões de 60 cm e profundidade de 60 cm as principais, e de contribuição de 1 m, com profundidade de 1 m, sendo feitas de concreto simples com preenchimento de fundo utilizando brita n° 2, a fim de obter a declividade necessária para seu escoamento.

A necessidade de valas de drenagem com dimensões diferentes, se deve a evitar o colapso do sistema. Onde as valas tem igual importância e possuem diferente funções, sendo uma responsável por drenar as águas pluviais de uma só célula e outra maior responsável pela contribuição de cada célula, o que faz com que n se sobrecarregar o sistema evitando risco de colapso do mesmo, sendo um fator de segurança.

5.8 Lagoa anaeróbia e facultativa

Na lagoa anaeróbia, a matéria orgânica é submetida a um processo de degradação na ausência de oxigênio com produção de gás metano e gás carbônico. A profundidade desta lagoa será de 3,5 m e sua área 54 m² com tempo de detenção de 25 dias, e funciona sem muitos cuidados operacionais e, em geral, a remoção de DBO e DQO na lagoa anaeróbia fica em torno de 40%. Já a lagoa facultativa, terá uma profundidade de 2 m com área 303 m², e seu tempo de detenção 2 dias. As mesmas serão escavadas de acordo com suas respectivas dimensões, utilizado material de primeira categoria obtidos no local para o revestimento de fundo, assim como, uma camada de 50 cm de argila compactada, e por fim, colocado uma manta de PEAD de 1,5 mm. Sendo esse um método eficiente para o tratamento dos efluentes gerados no aterro sanitário tanto pelas células como áreas de apoio.

6 CONCLUSÃO

Diante do estudo realizado, constatou-se que São Bento dispõe de área viável para instalar um aterro sanitário, assim como, a possibilidade técnica de comportar toda a sua infraestrutura necessária, sendo que, a área escolhida para o empreendimento é capaz de suportar as dimensões necessárias de implantação de 60.490,49 m², a qual comportar toda a sua infraestrutura de apoio como: guarita, balança, estacionamento, almoxarifado, cancela, cerca viva, banheiros, refeitório, cozinha, escritório, vestiário, sinalizações, galpão de triagem, além da, lagoa anaeróbia de 54 m² e facultativa 303 m², as 20 células de armazenamento dos resíduos de dimensões 5mx10m com comprimento de 380 metros com capacidade para 446.880 m³ de resíduos.

Assim como, o dimensionamento do sistema de drenagem do chorume no formato de espinha de peixe, utilizando 12 drenos principais e 24 secundários, ambos com 330 mm de diâmetro espaçados a cada 30 metros, sendo instalados em valas de 30 cm. Além da drenagem dos gases utilizando 24 drenos circulares com dimensão de 30 cm espaçados entre eles a 30 m, estando dentro dos parâmetros estabelecidos na NBR 15.849/10 e o dimensionamento das águas pluviais feito por valas principais de 60cmx60cm, e de contribuição 1mx1m.

A implantação do aterro sanitário, permitirá ao município se adequar à Lei 12.305/10, caso seja implantado, além disso, o empreendimento poderia servir para outros municípios da região por meio de consórcio, do qual São Bento é o polo urbano, e estes municípios contêm características semelhantes, incluindo a maneira como gerenciam seus resíduos sólidos urbanos, mas para que isso ocorra será necessário redimensionar para a quantidade de resíduos que esses outros municípios geram.

Para fins de melhor adequação do município à Lei 12.305/10, um projeto mais completo será necessário, que contemple a criação de um plano de instalação, operação, encerramento e monitoramento para o empreendimento, assim como o orçamento. Sendo necessário também se adequar esses dimensionamentos ao licenciamento ambiental.

7 REFERÊNCIAS

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992. **NBR 8419** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.

ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15849**: Resíduos sólidos urbanos- aterros sanitários de pequeno porte- Diretrizes pra localização, projeto, implantação, operação e encerramento. 1 ed. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010. 24 p.

ABRELPE. Panorama dos resíduos sólidos no Brasil.2018/2019. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: 03 de dezembro de 2020

Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana: Programa Nacional Lixão Zero [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental, Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos, Coordenação-Geral de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. – Brasília, DF: MMA, 2019.

BRASIL. **Decreto nº 6.514, de 22 de julho de 2008**. Dispõe sobre as infrações e sanções administrativas ao meio ambiente, estabelece o processo administrativo federal para apuração destas infrações, e dá outras providências. Brasília, [2008].

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Plano nacional de resíduos sólidos. Brasília: SETEMBRO, 2011. p.102.

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. Agenda Nacional de Qualidade Ambiental Urbana :Programa Nacional Lixão Zero [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Qualidade Ambiental, Departamento de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos, Coordenação-Geral de Qualidade Ambiental e Gestão de Resíduos. – Brasília, DF: MMA, 2019.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Fundação Nacional de Saúde. Manual de orientações técnicas para elaboração de propostas para o programa de resíduos sólidos - Funasa / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014, P. 144.

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento Regional**. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244 p.

Banco Nacional Do Desenvolvimento -BNDES. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. **Saneamento Ambiental**, Rio de Janeiro, n. 40, p. 43-92, 2014.

EUROSTAT. **Municipal waste statistics**. Estatísticas de resíduos municipais. 2021.

FUNASA (org.). **Manual de orientações técnicas para o programa de resíduos sólidos urbanos**. Brasil, p.1-34, 2017.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v 25, n. 71, p. 135, 2021.

JORDÃO. Tratamento de esgotos domésticos. **ABES**, Rio de Janeiro, n. 7, p. 65-66, 2014.

LANZA, V. C. V. Caderno Técnico de reabilitação de áreas degradadas por resíduos sólidos urbanos. – Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2021. 36p. Disponível em: MUCELIN, Carlos Alberto *et al.* Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, p. 111-124, 25 fev. 2008.

PMSB. Plano Municipal de Resíduos Sólidos de São Bento. **Secretaria Municipal de Meio Ambiente**. São Bento, Paraíba, p 100, 2014.

OBLADEN. Guia para elaboração de projetos de aterros sanitários para resíduos sólidos urbanos- volume II. **Série de publicações temáticas do CREA-PR**, Brasil, v. II, ed. 4, p. 1-64, 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO (MA). IV Jornada Internacional de Políticas Públicas *et al.* A COMUNIDADE DO S: Uma situação de vulnerabilidade socioambiental.

Neoliberalismo e lutas sociais: Perspectivas para as políticas públicas, São Luís, ano 2009, ed. 4, p.13,2009.

VITAL. Estimativa de investimentos em aterros sanitários para atendimento de metas estabelecidas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos entre 2015 e 2019. **Saneamento Ambiental**, Rio de Janeiro, n. 40, p. 43-92, 2014.

Revista Geografia em Atos, Departamento de Geografia, Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, Presidente Prudente, n. 14, v. 07, p. 203-221, mês dez. Ano 2019. ISSN: 1984-1647

Revista eletrônica interdisciplinar, Aterro sanitário: relevância e técnicas de impermeabilização do solo, Matinhos, v.13, n.2, p.142-153, jul./dez.2020. ISSN 1983-8921

ANEXO A – Tabela de Manning para a geometria da vala

ESCOAMENTO EM REGIME PERMANENTE UNIFORME

393

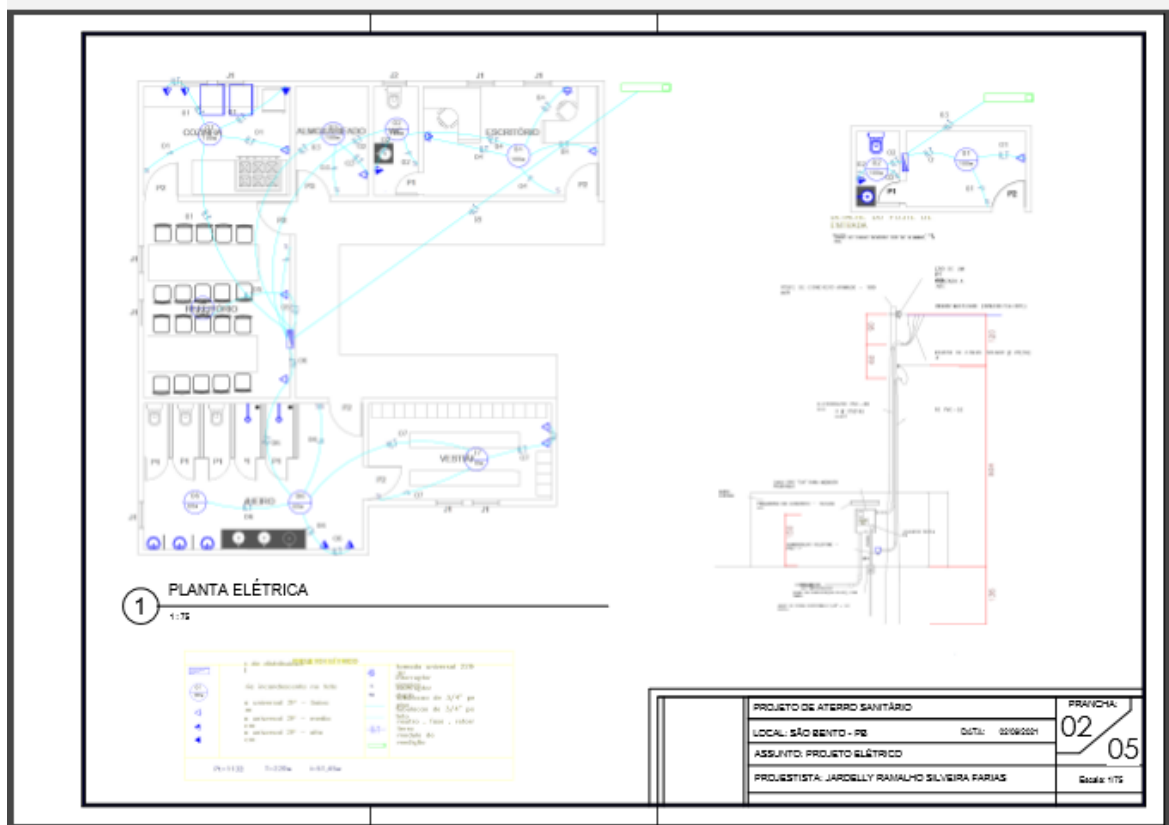
y/b	VALORES DE "m" (indicador horizontal de talude para vertical = 1)									
	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	4,00
0,49	0,1931	0,2317	0,2678	0,3009	0,3314	0,3700	0,4385	0,4880	0,5364	0,6319
0,50	0,1984	0,2389	0,2769	0,3118	0,3439	0,4025	0,4569	0,5092	0,5603	0,6611
0,51	0,2037	0,2462	0,2861	0,3228	0,3566	0,4184	0,4758	0,5309	0,5849	0,6912
0,52	0,2090	0,2535	0,2954	0,3340	0,3696	0,4346	0,4951	0,5531	0,6100	0,7220
0,53	0,2144	0,2609	0,3049	0,3454	0,3828	0,4512	0,5148	0,5759	0,6358	0,7537
0,54	0,2198	0,2684	0,3145	0,3569	0,3962	0,4681	0,5350	0,5993	0,6623	0,7862
0,55	0,2251	0,2760	0,3242	0,3687	0,4099	0,4854	0,5556	0,6232	0,6893	0,8196
0,56	0,2305	0,2836	0,3340	0,3806	0,4238	0,5030	0,5767	0,6476	0,7171	0,8538
0,57	0,2360	0,2913	0,3440	0,3928	0,4380	0,5210	0,5983	0,6727	0,7455	0,8888
0,58	0,2414	0,2981	0,3541	0,4051	0,4524	0,5394	0,6203	0,6982	0,7745	0,9248
0,59	0,2469	0,3070	0,3643	0,4176	0,4671	0,5581	0,6428	0,7244	0,80430	0,9615
0,60	0,2523	0,3149	0,3747	0,4303	0,4820	0,5771	0,6658	0,7511	0,8347	0,9992
0,61	0,2578	0,3229	0,3852	0,4432	0,4972	0,5965	0,6892	0,7784	0,8658	1,0378
0,62	0,2633	0,3309	0,3958	0,4563	0,5126	0,6153	0,7131	0,8063	0,8976	1,0772
0,63	0,2688	0,3391	0,4065	0,4695	0,5283	0,6365	0,7375	0,8348	0,9300	1,1176
0,64	0,2744	0,3473	0,4174	0,4830	0,5442	0,6570	0,7624	0,8638	0,9632	1,1589
0,65	0,2799	0,3555	0,4284	0,4967	0,5604	0,6779	0,7877	0,8935	0,9971	1,2011
0,66	0,2855	0,3639	0,4396	0,5105	0,5768	0,6992	0,8136	0,9238	1,0317	1,2442
0,67	0,2911	0,3723	0,4508	0,5246	0,5935	0,7209	0,8399	0,9547	1,0670	1,2883
0,68	0,2966	0,3807	0,4623	0,5388	0,6104	0,7429	0,8668	0,9862	1,1031	1,3333
0,69	0,3022	0,3893	0,4738	0,5532	0,6277	0,7653	0,8941	1,0183	1,1399	1,3793
0,70	0,3079	0,3979	0,4855	0,5679	0,6451	0,7881	0,9220	1,0510	1,1774	1,4262
0,71	0,3135	0,4066	0,4973	0,5827	0,6629	0,8113	0,9503	1,0843	1,2156	1,4741
0,72	0,3191	0,4153	0,5092	0,5977	0,6829	0,8349	0,9792	1,1183	1,2546	1,5229

0,73	0,3248	0,4242	0,5213	0,6130	0,6991	0,8589	1,0086	1,1529	1,2944	1,5728
0,74	0,3304	0,4330	0,5335	0,6284	0,7177	0,8833	1,0385	1,1882	1,3349	1,6236
0,75	0,3361	0,4420	0,5458	0,6440	0,7365	0,9081	1,0689	1,2241	1,3762	1,6755
0,76	0,3418	0,4510	0,5583	0,6599	0,7555	0,9332	1,0998	1,2607	1,4182	1,7283
0,77	0,3475	0,4601	0,5709	0,6759	0,7749	0,9588	1,1314	1,2979	1,4610	1,7822
0,78	0,3532	0,4693	0,5836	0,6921	0,7945	0,9848	1,1634	1,3357	1,5046	1,8371
0,79	0,3589	0,4785	0,5965	0,7086	0,8144	1,0112	1,1959	1,3742	1,5490	1,8930
0,80	0,3646	0,4878	0,6095	0,7252	0,8345	1,0380	1,2290	1,4134	1,5942	1,9499
0,81	0,3703	0,4971	0,6226	0,7421	0,8549	1,0652	1,2627	1,4533	1,6401	2,0079
0,82	0,3760	0,5064	0,6399	0,7611	0,8764	1,0928	1,2972	1,4943	1,6891	2,0669
0,83	0,3818	0,5161	0,6583	0,7806	0,8986	1,1208	1,3316	1,5350	1,7345	2,1271
0,84	0,3876	0,5256	0,6678	0,7999	0,9179	1,1493	1,3668	1,5769	1,7829	2,1883
0,85	0,3934	0,5353	0,6775	0,8116	0,9394	1,1782	1,4027	1,6195	1,8321	2,2505
0,86	0,3991	0,5450	0,6893	0,8294	0,9613	1,2075	1,4391	1,6628	1,8821	2,3138
0,87	0,4049	0,5547	0,7043	0,8475	0,9834	1,2372	1,4760	1,7068	1,9330	2,3783
0,88	0,4107	0,5645	0,7183	0,8658	1,0058	1,2673	1,5136	1,7514	1,9847	2,4438
0,89	0,4165	0,5744	0,7326	0,8844	1,0284	1,2979	1,5516	1,7968	2,0372	2,5104
0,90	0,4223	0,5844	0,7469	0,9031	1,0514	1,3289	1,5903	1,8429	2,0906	2,5781
0,91	0,4281	0,5944	0,7614	0,9220	1,0746	1,3604	1,6295	1,8897	2,1448	2,6470
0,92	0,4339	0,6045	0,7761	0,9412	1,0982	1,3922	1,6694	1,9372	2,1999	2,7169
0,93	0,4398	0,6147	0,7908	0,9605	1,1220	1,4246	1,7098	1,9855	2,2558	2,7890
0,94	0,4456	0,6249	0,8058	0,9801	1,1461	1,4573	1,7508	2,0344	2,3126	2,8603
0,95	0,4514	0,6352	0,8208	0,9999	1,1695	1,4905	1,7923	2,0841	2,3703	2,9337
0,96	0,4573	0,6456	0,8360	1,0199	1,1932	1,5242	1,8345	2,1346	2,4289	3,0082
0,97	0,4631	0,6560	0,8513	1,0402	1,2202	1,5583	1,8773	2,1858	2,4883	3,0839
0,98	0,4690	0,6665	0,8668	1,0606	1,2455	1,5928	1,9206	2,2377	2,5486	3,1608
0,99	0,4690	0,6665	0,8668	1,0606	1,2455	1,5928	1,9206	2,2377	2,5486	3,1608
1,00	0,4807	0,6877	0,8982	1,1022	1,2970	1,6632	2,0091	2,3438	2,6719	3,3181

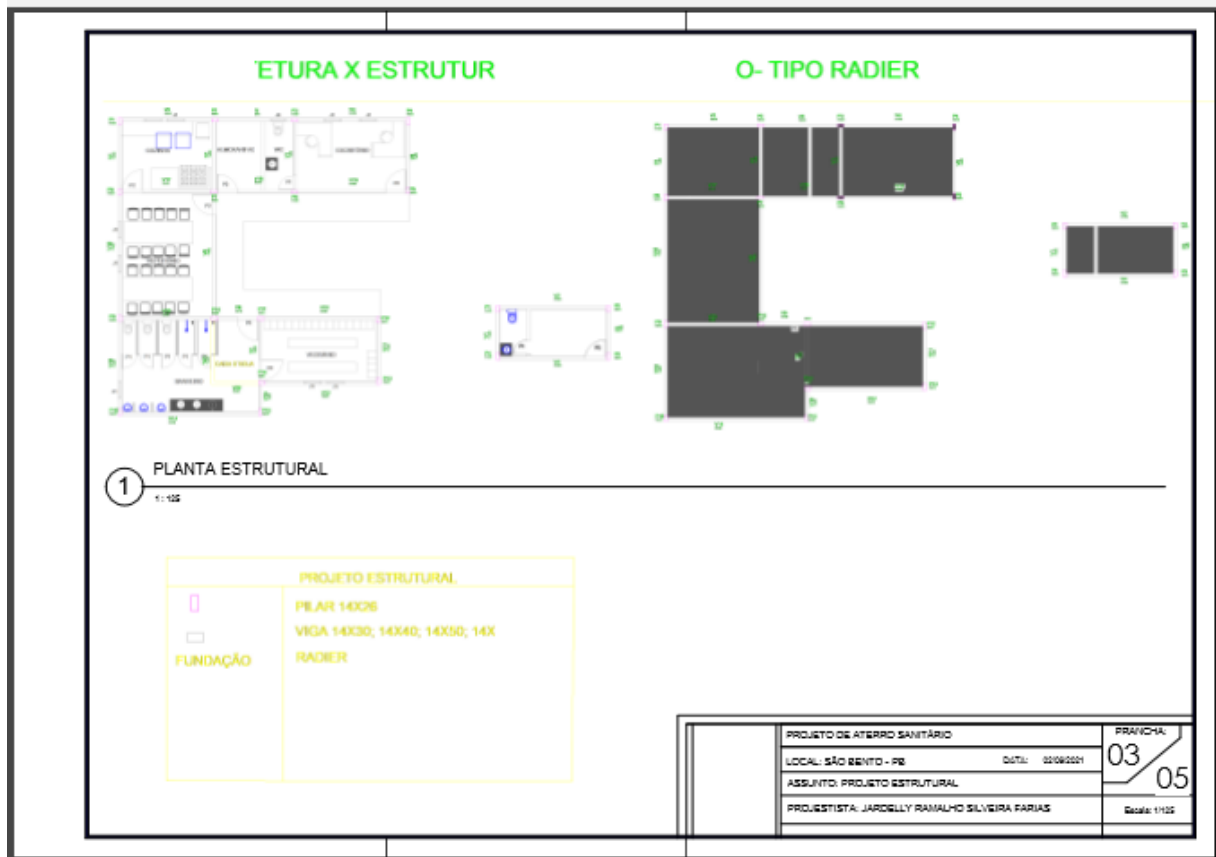
APÊNDICE A - Projeto hidráulico da área de apoio

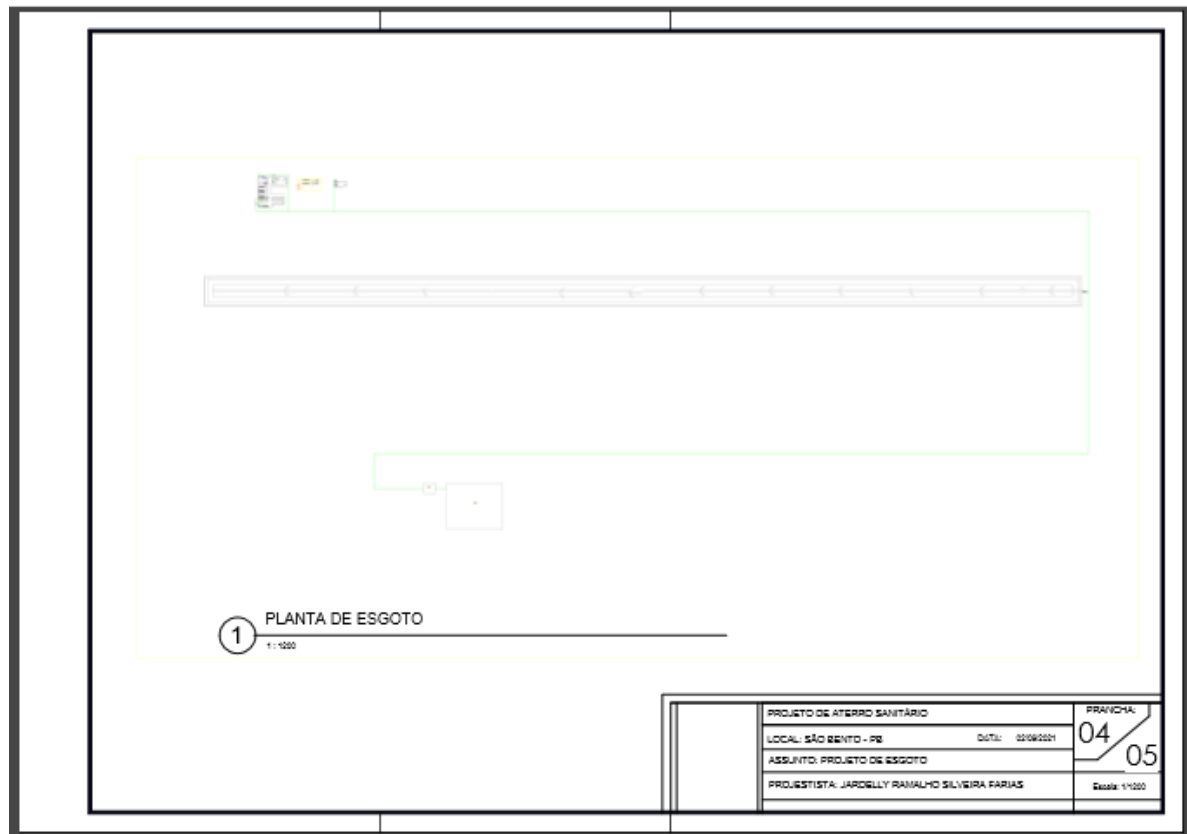


APÊNDICE B – Projeto elétrico da área de apoio



APÊNDICE C – Projeto estrutural da área de apoio



APÊNDICE D – Projeto de efluentes do aterro sanitário

APÊNDICE E – Croqui do aterro sanitário

