



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE CARAÚBAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA YAMAGUCHE SILVA CARNEIRO

**PROPOSIÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO SUSTENTÁVEL PARA O
MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN**

CARAÚBAS/RN

2021

FERNANDA YAMAGUCHE SILVA CARNEIRO

**PROPOSIÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO SUSTENTÁVEL PARA O
MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ana Cláudia Araújo
Fernandes Prof. MSc.

CARAÚBAS/RN

2021

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

C289p Carneiro, Fernanda Yamaguche Silva.
Proposição um aterro sanitário sustentável para
o município de Caraúbas/RN / Fernanda Yamaguche
Silva Carneiro. - 2021.
75 f. : il.

Orientadora: Ana Cláudia Araújo Fernandes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2021.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Lixiviados. 3.
Coleta Seletiva. 4. Impacto Ambiental. I.
Fernandes, Ana Cláudia Araújo, orient. II. Título.

FERNANDA YAMAGUCHE SILVA CARNEIRO

**PROPOSIÇÃO DE UM ATERRO SANITÁRIO SUSTENTÁVEL PARA O
MUNICÍPIO DE CARAÚBAS/RN**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como
requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Ana Cláudia Araújo
Fernandes Prof. MSc.

APROVADO EM: 31/05/2021

BANCA EXAMINADORA

ANA CLAUDIA ARAUJO
FERNANDES:07104587462

Assinado de forma digital por ANA
CLAUDIA ARAUJO
FERNANDES:07104587462
Dados: 2021.06.08 01:12:15 -03'00'

Prof.^a Ma. Ana Cláudia Araújo Fernandes
Presidente

Thâmara Dayane Batista Alves

Assinado de forma digital por Thâmara
Dayane Batista Alves
Dados: 2021.06.03 16:13:13 -03'00'

Eng.^a Civil Thâmara Dayane Batista Alves
Membro da Banca

ANTONIO FERREIRA NETO

Assinado de forma digital por ANTONIO
FERREIRA NETO
Dados: 2021.06.07 18:15:40 -03'00'

Eng. Civil Antônio Ferreira Neto
Membro da Banca

CARAÚBAS

2021

*Dedico este trabalho a minha mãe, que sempre
batalhou para que nossos sonhos fossem
alcançados!*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar todo meu caminho, pois sem Ele nada disso seria possível. Gratidão por nunca ter me abandonado nos dias difíceis e que me deu coragem para superar os dias difíceis. Agradeço também pelo dom da vida e pela saúde de todos da minha família.

À minha mãe, Liliam da Silva. Você é o meu porto seguro e eu nunca serei capaz de agradecer tudo que a senhora fez e continua fazendo por mim. Obrigada por me proteger com sua fé inabalável e por ser a minha melhor amiga e pelo seu amor incondicional. Isso tudo é por você!

Ao meu pai, Charles Edson. Você é aquele herói que toda criança sonha em ter como pai. Obrigada por me inspirar com sua capacidade e por todas as contribuições que foram feitas ao longo dessa trajetória, pela motivação e pelo apoio.

À minha irmã, Mayara Yamaguche. Às vezes acho que você não faz ideia do quanto admiro a mulher que você é. Estaremos sempre juntas! Aos meus sobrinhos Felipe e Matheus. Vocês sempre me fazem lembrar a importância da família. Obrigada pela confiança depositada em mim.

À Luara, minha companheira de vida e em poucos dias de profissão também. Agradeço pela sua admiração, paciência e apoio. Você me fez acreditar que eu consigo realizar todos os meus sonhos. Você é minha inspiração! Desejo todo sucesso do mundo pra nós.

Ao meu avô, Juarez Carneiro (*in memoriam*). Gostaria que o senhor estivesse aqui me vendo tudo que tem acontecido comigo. O tempo passa rápido e eu continuo sentindo sua falta.

À minha avó, Maria Carneiro. Pelo amor, carinho e pela disposição de me escutar sempre. Aos meus tios Cláudio e Iracy, pelo incentivo e apoio.

À minha orientadora Ana Cláudia, pela sabedoria, ensinamentos e confiança depositada em mim ao possibilitar o desenvolvimento deste trabalho.

À banca examinadora, pela disponibilidade e colaboração.

A todos que de alguma forma contribuíram de forma direta ou indireta para minha graduação e estiveram comigo ao longo desses anos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou
o que era antes”.

Martin Luther King

RESUMO

Na maioria das vezes, os municípios de pequeno porte não possuem recursos técnicos e financeiros suficientes para dar uma destinação ambientalmente correta para os resíduos sólidos urbanos. Então, são utilizados os lixões para descartar os resíduos coletados nos municípios. Essa técnica é considerada inadequada, pois causa contaminação do solo, do ar e dos corpos hídricos. A implantação de aterros sustentáveis nesses municípios promove melhorias na qualidade de vida da população e reduz a poluição ambiental, já que esse sistema possui uma unidade de tratamento dos lixiviados e reaproveitamento do biogás, que são os principais responsáveis pela poluição. Esse trabalho tem como objetivo propor um aterro sustentável modelo para o município de Caraúbas – RN, com o intuito de minimizar os impactos ambientais negativos e aplicar o desenvolvimento sustentável. Para sua realização foi feito um diagnóstico da situação do gerenciamento de resíduos sólidos da cidade através de pesquisas bibliográficas e entrevistas para obter informações suficientes para utilizar no dimensionamento do aterro sustentável, no qual seguiu as recomendações propostas pelo PROSAB para aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte e pela ABNT NBR 15849/2010, norma que retrata aterros sanitários de pequeno porte. Diante disso, foi possível obter as dimensões do aterro sustentável e os sistemas que o compõe. Além da destinação final adequada dos resíduos, notou-se a necessidade de investimento financeiro da gestão pública nos serviços de coleta seletiva realizados pela associação de catadores do município, juntamente com políticas públicas e ações de educação ambiental para promover conscientização da população para que seja possível um bom funcionamento do aterro ao longo de sua vida útil.

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos; Lixiviados; Coleta Seletiva; Impacto Ambiental.

ABSTRACT

Most of the time, small towns don't have sufficient technical and financial resources to give an environmentally correct destination for solid urban waste. So, open air dumps are used to dispose of the waste collected in these towns. This technique is considered inadequate because it causes contamination of the soil, the air and the water. The implementation of sustainable landfills in these towns promotes improvements in the quality of life of the population and reduces environmental pollution, since this system has a unit for the treatment of leachate and the reuse of biogas, which are the main responsible for pollution. This work aims to propose a model sustainable landfill for Caraúbas - RN, in order to minimize negative environmental impacts and apply sustainable development. For this realization, a diagnosis of the situation of the solid waste management in the city was carried out through bibliographic research and interviews to obtain enough information to use in the dimensioning of the sustainable landfill, in which it followed the recommendations proposed by PROSAB for sustainable landfills for small municipalities. and by ABNT NBR 15849, a standard that portrays small landfills. Therefore, it was possible to obtain the dimensions of the sustainable landfill and the systems that comprise it. In addition to the proper final disposal of waste, there was a need for financial investment by public management in selective collection services performed by the towns's waste pickers association, along with public policies and environmental education actions to promote awareness of the population so that it is possible a good functioning of the landfill throughout its useful life.

Keywords: Urban Solid Waste; Leachate; Selective Collect; Environmental Impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Atividades operacionais relacionadas ao gerenciamento dos RSU	27
Figura 2 - Fluxograma demonstrando a metodologia do trabalho.....	30
Figura 3 - Município de Caraúbas/RN	31
Figura 4 - Localização de corpos d'água nas proximidades de Caraúbas/RN	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto a periculosidade	17
Quadro 2 - Propostas de ações estruturais e administrativas de cunho imediato	41
Quadro 3 - Propostas de ações estruturais e administrativas de curto prazo	41
Quadro 4 - Propostas de ações estruturais e administrativas de médio prazo	42
Quadro 5 - Composição gravimétrica do RN	45
Quadro 6 - Composição gravimétrica dos resíduos coletados pela ACRESEA.....	45
Quadro 7 - População do município de Caraúbas – RN.....	46
Quadro 8 - População projetada para 2036	46
Quadro 9 - Geração estimada dos resíduos gerados, reciclados e que serão enterrados no aterro	47
Quadro 10 - Critérios ambientais para escolha da área do aterro sustentável	57
Quadro 11 - Critérios de uso e ocupação do solo para escolha da área do aterro sustentável..	58
Quadro 12 - Critérios operacionais para a escolha da área do aterro sustentável	58
Quadro 13 - Procedimentos operacionais do aterro sustentável.....	60
Quadro 14 - Metas e estratégias para auxiliar no bom funcionamento do aterro	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil	18
Tabela 2 - Geração de Resíduos Sólidos Urbanos por Região no Brasil	18
Tabela 3 - Disposição final dos resíduos do Brasil em 2019.....	22
Tabela 4 - Considerações adotadas para dimensionamento	48
Tabela 5 - Volume de resíduos trincheira.....	48
Tabela 6 - Dimensões da trincheira	49
Tabela 7 - Dimensões da trincheira do aterro sustentável	49
Tabela 8 - Cálculo da vazão das águas pluviais	50
Tabela 9 - Dimensionamento do canal da trincheira	51
Tabela 10 - Área total a ser revestida pela camada de solo com espessura de 60 cm	52
Tabela 11 – Dimensionamento da manta de geomembrana	52
Tabela 12 - Cálculo da vazão de lixiviados	53
Tabela 13 - Dimensionamento do dreno de lixiviados	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACRESEA	Associação Caraubense de Reciclagem, Serviços e Educação Ambiental
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte
ETE	Estação de tratamento de esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
kg	Quilograma
km	Quilometro
km ²	Quilometro quadrado
kW	Quilowatt
m	Metro
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
NBR	Norma Técnica Brasileira
PEV	Ponto de entrega voluntária
PEAD	Polietileno de alta densidade
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PROSAB	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RCD	Resíduos da Construção e Demolição
RN	Rio Grande do Norte
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMARH	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
t	Tonelada

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
2.	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS	16
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	17
3.2.1	Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos.....	19
3.3	MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS.....	20
3.3.1	Coleta	20
3.3.2	Transporte	20
3.3.3	Tratamento	21
3.3.4	Disposição final	21
3.3.4.1	Lixões	22
3.3.4.2	Aterros controlados.....	22
3.3.4.3	Aterros sanitários	23
3.3.5	Disposição final inadequada e os impactos ambientais	24
3.4	ATERRO SANITÁRIO SUSTENTÁVEL PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE	26
3.4.1	Estudos preliminares	27
3.4.2	Seleção de áreas.....	28
3.4.3	Projeto.....	28
3.4.4	Monitoramento	28
3.4.5	Implantação.....	28
3.4.6	Operação.....	29
4.	METODOLOGIA.....	30
4.1	ESTUDO PRELIMINAR	30
4.1.1	Caracterização da área.....	30
4.1.2	Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município	31
4.2	PROJEÇÃO POPULACIONAL E DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	32
4.2.1	Projeção populacional	32
4.2.1.1	Projeção aritmética	32

4.2.1.2	Projeção geométrica.....	33
4.2.1.3	Taxa decrescente de crescimento.....	33
4.2.1.4	Crescimento logístico	34
4.2.2	Projeção das quantidades de resíduos sólidos urbanos.....	34
4.3	DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SUSTENTÁVEL	34
4.3.1	Dimensionamento das trincheiras	35
4.3.2	Sistema de drenagem superficial	36
4.3.2.1	Cálculo da vazão das águas pluviais.....	36
4.3.2.2	Dimensionamento do canal.....	36
4.3.3	Sistema de impermeabilização.....	37
4.3.3.1	Dimensionamento da geomembrana.....	37
4.3.4	Sistema de cobertura	38
4.3.5	Sistema de drenagem de lixiviados.....	38
4.3.6	Sistema de drenagem dos gases	39
4.4	ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE LIXIVIADOS	39
4.5	REAPROVEITAMENTO DO BIOGÁS.....	39
4.6	SELEÇÃO DA ÁREA, PROJETO, MONITORAMENTO E OPERAÇÃO.....	39
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
5.1	DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CARAÚBAS/RN.....	40
5.1.1	Geração per capita de resíduos sólidos urbanos no município.....	44
5.1.2	Composição gravimétrica dos resíduos sólidos de Caraúbas/RN	45
5.2	PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS – RN E DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADOS	46
5.2.1	Projeção populacional	46
5.2.2	Projeção da quantidade de resíduos gerados no município.....	47
5.3	DIMENSIONAMENTO DO ATERRO SUSTENTÁVEL	47
5.3.1	Dimensionamento da trincheira	47
5.3.2	Sistema de drenagem superficial	49
5.3.2.1	Cálculo da vazão das águas pluviais.....	50
5.3.2.2	Dimensionamento do canal.....	50
5.3.3	Sistema de impermeabilização.....	51
5.3.3.1	Dimensionamento da geomembrana.....	51
5.3.4	Sistema de cobertura	53

5.3.5	Sistema de drenagem de lixiviados.....	53
5.3.6	Sistema de drenagem dos gases	54
5.4	ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE LIXIVIADOS.....	54
5.5	REAPROVEITAMENTO DO BIOGÁS.....	55
5.6	SELEÇÃO DA ÁREA, PROJETO, MONITORAMENTO E OPERAÇÃO.....	56
5.6.1	Seleção de área	56
5.6.2	Projeto.....	59
5.6.3	Monitoramento	59
5.6.4	Operação.....	59
5.7	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	60
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64
APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA PARA O PRESIDENTE DA ACRESEA		70
APÊNDICE B – PROJEÇÃO POPULACIONAL DE CARAÚBAS – RN DE ACORDO COM A VIDA ÚTIL DO ATERRO		71
APÊNDICE C – PROJEÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CARAÚBAS DE ACORDO COM A VIDA ÚTIL DO ATERRO.....		72

1. INTRODUÇÃO

A situação de destinação de resíduos sólidos urbanos no Brasil ainda é insatisfatória, visto que até 2019 cerca de 48% das unidades de disposição dos resíduos eram em lixões (SNIS, 2020). Além disso, a maior parcela dos municípios em que utilizam essa forma de disposição são de pequeno porte e isso acontece devido aos recursos técnicos e financeiros limitados (SILVA FILHO, 2017). Visto isso e também devido aos impactos negativos que esse modo de disposição traz ao meio ambiente e a sociedade, a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) instituiu em 2010 que todos os lixões devem ser exterminados até 2024.

Arelado a isso, os municípios precisam elaborar seus planos de gestão de resíduos sólidos e isso inclui os serviços de manejo, desde a coleta dos resíduos gerados até a disposição final. De tal forma que apenas a parcela de materiais que não poderão ser recuperados através da reciclagem ou compostagem seja encaminhada a destinação final, pois quanto menor a quantidade de rejeitos, maior a sustentabilidade do sistema de manejo de resíduos sólidos (SNIS, 2020).

O modo de disposição final mais adequado é em aterros sanitários pois estes possuem em controle mais rigoroso de forma a impedir a contaminação das águas, do solo e do ar, através de sistemas que drenam as substancias contaminantes (SILVA, 2016). A fim de incentivar ainda mais a sustentabilidade, os aterros sustentáveis se mostram uma alternativa simplificada de disposição final para os resíduos sólidos de municípios de pequeno porte, onde deverão ser realizados a drenagem e tratamento dos lixiviados e ainda poderá ser feito um reaproveitamento do biogás gerados no aterro (CASTILHOS JR et al, 2003).

O município de Caraúbas, no Rio Grande do Norte enfrenta dificuldade na sua gestão de resíduos sólidos e isso acarreta em uma destinação inadequada dos resíduos sólidos urbanos. Então, como forma de minimizar os impactos negativos causados pela disposição no lixão municipal e também em busca de alternativas que sejam tecnicamente viáveis e sustentáveis, este trabalho busca realizar uma proposta de um aterro sustentável que seja suficiente para suprir as necessidades do município e traga benefícios para a população e também possa contribuir para o desenvolvimento sustentável.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Propor um aterro sanitário sustentável modelo para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Caraúbas/RN.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar a situação atual de resíduos sólidos urbanos de Caraúbas/RN;
- Apontar os problemas causados pela destinação final inadequada de resíduos sólidos urbanos no município de Caraúbas;
- Propor um aterro sanitário sustentável modelo para a destinação final dos resíduos sólidos urbanos do município de Caraúbas;
- Elaborar metas e estratégias para um bom funcionamento do aterro sustentável.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção traz os tópicos que embasam a problemática deste trabalho. Abordando os conceitos de resíduos sólidos, com enfoque nos resíduos sólidos urbanos, apontando como funciona as etapas do seu manejo e apresentando os aterros sanitários sustentáveis como uma alternativa para municípios de pequeno porte para minimizar os danos causados pela disposição inadequada dos resíduos.

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

O crescimento desenfreado da população e o desenvolvimento tecnológico tem aumentado a quantidade de materiais descartáveis e vem afetando diretamente o desenvolvimento sustentável e um dos principais fatores que demonstram isso é o aumento significativo da quantidade de lixo gerado, provocando consequências para a sociedade como a disseminação de doenças, proliferação de vetores e degradação do meio ambiente (BARBOSA; IBRAHIN, 2014).

Ainda de acordo com Barbosa e Ibrahim (2014), a palavra lixo se refere a sobras e restos. Porém, é importante destacar que tecnicamente devem ser chamados de resíduos sólidos. A Associação Brasileira de Normas Técnicas possui uma norma específica para tratar de definições e classificações dos resíduos sólidos, a NBR 10004 – Resíduos Sólidos – Classificação. Validada a partir de 2004, essa Norma Técnica tem como objetivo de classificar os resíduos sólidos de forma correta para que, a partir disso, haja o gerenciamento adequado desses resíduos com o objetivo de minimizar os danos causados ao meio ambiente e a saúde da sociedade.

Os resíduos sólidos então são definidos como resultado de atividades humanas, podendo ser de origem industrial, doméstica, comercial, hospitalar, agrícola, de serviços, bem como de varrições (ABNT NBR 10004, 2004). Além da origem, os resíduos também podem ser classificados como perigosos, não perigosos, inertes e não inertes. A classificação dos resíduos sólidos descritos no quadro 1 são baseados na ABNT NBR 10004/2004.

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos quanto a periculosidade

Classificação	Característica
Classe I - Perigosos	Esses resíduos podem apresentar risco ao meio ambiente e a saúde da população, podem ser caracterizados em inflamáveis, corrosivos, tóxicos ou patogênicos.
Classe II – Não perigosos	São os resíduos que não se enquadram na classe I, ou seja, não apresentam riscos ao meio ambiente ou a sociedade. Estes ainda são subdivididos nas classes II A e II B.
Classe II A – Não inertes	Resíduos que não se enquadrem na classe I ou II B. Podem possuir características de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
Classe II B - Inertes	São os resíduos que submetidos a testes com águas destiladas e desionizada e a temperatura ambiente não apresentaram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade.

Fonte: Autora (2021)

O Brasil possui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que é instituída pela Lei nº 12.305 sancionada em agosto de 2010. Dentre as diretrizes desta Lei, pode-se citar o Capítulo III, o qual trata das responsabilidades dos geradores e do poder público para o serviço de coleta dos resíduos sólidos. De forma geral, o poder público, o setor empresarial e a sociedade são responsáveis pela efetividade das ações instituídas pela PNRS. Porém, é possível determinar quem são os responsáveis para coleta dos resíduos a depender da sua classificação quanto à origem.

É de incumbência municipal a coleta e disposição dos resíduos sólidos urbanos, sejam eles domiciliares, comerciais ou de varrição e limpeza das ruas. No caso dos resíduos gerados por serviços públicos de saneamento, indústrias, hospitais, empresas da construção civil, empresas que gerem resíduos classificados como perigosos e de atividades agrícolas, a responsabilidade de coleta e disposição são dos próprios geradores, através de um plano de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Dentre todos os tipos de resíduos já citados anteriormente, para este trabalho o foco será direcionado para os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), definidos como resíduos de origem

domiciliar, como também de pequenos estabelecimentos comerciais, industriais e de prestadores de serviços, desde que esses resíduos tenham características similares aos resíduos sólidos domiciliares. Além desses, também são considerados RSU aqueles gerados pela limpeza de vias públicas e logradouros (ABNT NBR 15849, 2010).

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020), o Brasil teve um aumento significativo de aproximadamente 10 milhões de toneladas geradas entre os anos de 2010 e 2019, os valores da geração de RSU podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1 - Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil

Geração de RSU	Geração total (t/ano)	Geração per capita (kg/hab/ano)
2010	66.695.720	348,3
2019	79.069.585	379,2

Fonte: ABRELPE, 2020.

O Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2020 também traz dados sobre o crescimento dos índices da geração de resíduos sólidos urbanos das cinco regiões brasileiras entre os anos de 2010 e 2019, como está descrito na tabela 2, na qual nota-se que a região Sudeste possui as maiores geração de RSU do país, logo atrás, vem a região Nordeste.

Tabela 2 - Geração de Resíduos Sólidos Urbanos por Região no Brasil

Região	Geração total (t/ano)		Geração per capita (kg/hab/dia)	
	2010	2019	2010	2019
Norte	4.406.280	5.866.645	286,9	322,7
Nordeste	17.397.725	19.700.875	324,6	347,1
Centro-oeste	5.076.055	5.815.180	365,3	361,4
Sudeste	32.652.900	39.442.995	403,5	449,7
Sul	7.162.760	8.243.890	258,4	277,0

Fonte: ABRELPE, 2020

Em nível regional, o Nordeste coletou em 2019 cerca de 15.973.495 toneladas ao ano de resíduos sólidos urbanos, esse valor corresponde a 81% do valor gerado no mesmo ano. Dentre os estados, o Rio Grande do Norte (RN) gerou 992.070 toneladas ao ano de RSU em 2019 e 89% desses foram coletados (ABRELPE, 2020). Mas, é importante frisar que nem

sempre os resíduos coletados terão uma disposição final correta (PHILIPPI JR; ROMÉRO; BRUNA, 2014)

O estado do RN é contemplado por uma área de 52.811,107 km², possui 167 municípios (IBGE, 2020) e de acordo com o Plano Estadual de Gestão Integrada do Rio Grande do Norte, foi elaborado um diagnóstico sobre o manejo dos resíduos sólidos, onde informa que 98,55% das áreas de disposição final para resíduos sólidos no estado são de lixões e apenas 1,45% são aterros sanitários (SEMARH, 2012). Esses dados reforçam a necessidade de um gerenciamento de resíduos sólidos mais eficaz, principalmente, quanto a disposição final desses resíduos.

3.2.1 Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos tem como objetivo a gestão integrada de resíduos sólidos, isto é, a tomada de decisões em âmbitos políticos, econômicos, socioambientais e culturais a fim de solucionar problemas relacionados aos resíduos sólidos considerando a sociedade perante o princípio do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010). Logo, pode-se perceber que a gestão está voltada ao diagnóstico da situação dos resíduos sólidos e ao planejamento para solucionar os problemas encontrados.

Então, a partir daí que deverá ser realizado o gerenciamento dos resíduos sólidos para que se tenha a operacionalização dos processos, desde que seja ambientalmente correto, de acordo com a realidade de cada município. O gerenciamento dos resíduos sólidos também é definido no PNRS como um conjunto de ações técnicas que consistem nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A Lei tem como objetivo impor uma hierarquia no gerenciamento dos resíduos sólidos, a qual dá uma ordem de prioridade para a geração dos resíduos sólidos, com o propósito de fazer o máximo aproveitamento possível de materiais e, conseqüentemente, diminuir a quantidade de resíduos sólidos gerados pela sociedade. Então, em primeiro lugar, deve-se dar prioridade a não geração de resíduos sólidos, mas caso isso não aconteça, segue a hierarquia com a ideia de redução. Em seguida, tem-se a reutilização, onde o material que seria descartado passará a ter outra utilização, deixando de ser um resíduo. Continuando com a ordem de prioridade, cita-se a reciclagem, onde ocorre o tratamento dos resíduos e estes passam a ter outra funcionalidade, por último, tem-se o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada para os resíduos sólidos (FILHO; SOLER, 2019).

3.3 MANEJO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Em 2020 foi sancionada a Lei nº 14.026, considerada o novo marco do saneamento básico, onde este é definido como um conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais.

Logo, a limpeza urbana é composta pela varrição manual e mecanizada das ruas, asseio e conservação urbana; e o manejo dos resíduos sólidos é constituído pelas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e disposição final adequada dos resíduos sólidos urbanos e dos resíduos resultantes da limpeza urbana.

3.3.1 Coleta

Inicialmente, os consumidores são os responsáveis por fazer o acondicionamento dos resíduos sólidos de forma a identificar os resíduos que podem ser reutilizáveis ou recicláveis (BRASIL, 2010), facilitando o manuseio para os responsáveis pela coleta e o transporte. Jucá et al. (2014) afirma que a coleta pode ser feita de forma convencional (indiferenciada), onde o consumidor não fará uma separação prévia entre recicláveis e não recicláveis ou de forma diferenciada, quando o consumidor faz a separação prévia dos resíduos sólidos, como uma coleta seletiva, sendo esta última a mais recomendada.

No Brasil, a coleta seletiva não é o mais usual, geralmente, a maioria dos materiais recicláveis são coletados por pessoas que vivem em situação de vulnerabilidade, porém, alguns municípios organizam cooperativas ou associações de catadores de resíduos que podem ser reciclados (JUCÁ et al., 2014).

3.3.2 Transporte

O transporte se trata do recolhimento dos resíduos e deve ser feito regularmente com frequência e horários já determinados. São utilizados veículos. Já os veículos motorizados se dividem em caminhões com compactadores, como as caçambas. Ou por veículos basculantes com compactadores, nos quais são caminhões com a carroceria fechada com dispositivos próprios em seu interior para realizar a compactação dos RSU coletados (ALENCAR, 2009).

A escolha dos veículos que irão realizar o transporte dos resíduos sólidos urbanos levará em consideração questões técnicas, socioambientais e econômicas. Portanto, os caminhões

basculantes com compactadores se destacam apresentando vantagens quando comparado aos outros veículos já citados. Eles são os mais apropriados levando em consideração as condições de higiene, saúde e segurança do trabalho dos colaboradores. Mas, além disso, também são mais eficientes pela rapidez na coleta e na descarga dos resíduos, bem como a capacidade de transporte dos resíduos é superior comparado a uma caçamba convencional (ALENCAR, 2009).

Os veículos levarão os resíduos sólidos urbanos para os centros de triagem, onde haverá a separação do material que irá para a reciclagem. Geralmente, são os próprios catadores de resíduos que fazem a triagem, principalmente em municípios de pequeno porte (JUCÁ, et al., 2014).

3.3.3 Tratamento

Esta etapa é um dos principais desafios para a sociedade, porém, é uma das mais importantes, pois quando o resíduo é disposto ao meio ambiente de forma incorreta poderá gerar consequências como contaminação da água, do solo e do ar e proliferação de vetores (BARBOSA; IBRAHIM, 2014).

De acordo com Jucá et al. (2014), o tratamento dos resíduos sólidos urbanos se dá através de procedimentos físicos, químicos e biológicos, sendo a principal função desta etapa, diminuir a carga poluidora e consequentemente o risco de contaminação com o intuito de reduzir os impactos negativos que possam vir a acontecer ao meio ambiente.

A escolha do processo de tratamento de resíduos sólidos se deve principalmente às características do mesmo, podendo ser através de processos térmicos (incineração, coprocessamento, pirólise, plasma), processos físicos (centrifugação, separação gravitacional, redução de partículas) (BARBOSA; IBRAHIM, 2014). Além desses, o processo também poderá ser biológico (compostagem, biodigestores anaeróbios) (JUCÁ et al., 2014).

3.3.4 Disposição final

Os resíduos sólidos urbanos que não obtiveram sucesso no tratamento se tornam rejeitos e estes devem ser dispostos de forma ambientalmente adequada. Isso quer dizer pela PNRS que os rejeitos devem ter como disposição final os aterros sanitários.

Sabe-se que o Brasil ainda é um país adepto aos lixões para a disposição final dos resíduos sólidos, a PNRS estabeleceu em seu Art. 54 que devem ser extintos até 4 anos após a

sua data de publicação, ou seja, 2014 (BRASIL, 2010). Mas o prazo expirou e muitos municípios não se adequaram ao que estava estabelecido, logo, esse artigo foi revogado e o novo prazo foi instituído pela Lei nº 14.026 de 2020, considerada o novo marco do saneamento básico. Ficou estabelecido, então, que os municípios devem dar uma disposição final adequada aos resíduos sólidos até 2024. Na Tabela 3 são mostrados os dados sobre a disposição final dos RSU no Brasil em 2019.

Tabela 3 - Disposição final dos resíduos do Brasil em 2019

Disposição final	Quantidade (t/ano)
Aterro sanitário	43.300.315
Aterro controlado	16.727.950
Lixão	12.720.250

Fonte: ABRELPE, 2020

Logo, pode-se observar que 59,5% dos resíduos sólidos urbanos são dispostos em aterros sanitários, 23% são dispostos em aterros controlados e 17,5% em lixões.

3.3.4.1 Lixões

É considerada uma das formas mais inadequadas de dispor os resíduos sólidos. Os lixões são caracterizados por apenas receber os resíduos despejados no solo, sem nenhum tipo de proteção como um depósito a céu aberto (LINHARES; LUCAS FILHO, 2019). A partir desse contato direto com o solo, pode acarretar diversos impactos negativos ao meio ambiente, a partir da contaminação do solo, dos cursos d'água e do ar. Os lixões atraem microrganismos e vetores transmissores de doenças respiratórias, epidérmicas e intestinais e isso afeta diretamente a população que trabalha ou vive em suas redondezas (ALENCAR, 2009).

3.3.4.2 Aterros controlados

Os aterros controlados não são como os aterros sanitários pois não possuem um controle ambiental adequado e não atendem a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (CÔRREA et al., 2019). Porém, é importante destacar que sua utilização é preferível quando comparados aos lixões, pois seu nível de poluição é inferior devido a existência de um certo confinamento dos RSU. Tais resíduos são cobertos por uma camada de material inerte ao fim de cada jornada de

trabalho, entretanto, não há isolamento para impedir o contato com o solo e dessa forma, os riscos de contaminação continuam presentes (JUCÁ et al, 2014).

3.3.4.3 Aterros sanitários

São considerados a alternativa ambientalmente correta para a disposição dos rejeitos, pois desde o seu projeto os aterros sanitários devem seguir normas técnicas específicas para evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente, uma vez que possuem um confinamento mais seguro para os resíduos (CEMPRE, 2018).

Para Colares (2013), o aterro sanitário se trata de uma obra de engenharia que é projetada de acordo com as normas técnicas para receber e tratar os resíduos sólidos urbanos gerados pela população. Seu principal objetivo é minimizar os impactos ambientais negativos gerados.

Como forma de diminuir os efeitos de contaminação do lençol freático, do ar e do solo, os aterros sanitários devem dispor de um sistema de impermeabilização; de um sistema de recobrimento diário e cobertura final; coleta, drenagem e tratamento de líquidos percolados; coleta e tratamento dos gases gerados; drenagem superficial e sistema de monitoramento (BARBOSA; IBRAHIM, 2014).

A ABNT NBR 15849/2010: Resíduos Sólidos Urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento traz os conceitos dos componentes de um aterro sanitário, como descrito a seguir:

- Sistema de impermeabilização: são elementos que servem para isolar o contato dos resíduos sólidos com o solo na base e lateralmente, no qual, irá reduzir o risco de uma possível contaminação do solo e da água através da infiltração dos lixiviados ou do biogás (ABNT NBR 15849, 2010);
- Sistema de recobrimento diário: se trata de camadas aplicadas sob os resíduos ao final das jornadas de trabalho diário com o objetivo de evitar que os resíduos se espalhem pela ação da chuva e/ou do vento, além de se evitar também a proliferação de animais e vetores de doenças e, evitar a liberação de odor pelas proximidades (ABNT NBR 15849, 2010);
- Sistema de cobertura final: também se trata de uma camada aplicada sob os resíduos, porém, neste caso, é destinada para o fechamento de uma área já aterrada e tem como objetivo garantir a integridade do maciço e reduzir a infiltração de águas de chuva. Este sistema possibilita o uso futuro das áreas aterradas (ABNT NBR 15849, 2010);

- Sistema de coleta e drenagem de líquidos percolados: também pode ser chamado de sistema de drenagem de lixiviados, este sistema permite coletar e destinar de forma adequada os lixiviados formados no interior do aterro para o sistema de tratamento (ABNT NBR 15849, 2010);
- Sistema de tratamento de líquidos percolados: se trata de instalações específicas destinadas a atenuação das características dos lixiviados, após o tratamento, deverá atender à legislação que aborda o descarte de efluentes (ABNT NBR 15849, 2010);
- Sistema de coleta de gases: este sistema permite a remoção dos gases gerados pela decomposição dos resíduos no interior do aterro sanitário, logo, esses gases serão destinados para um sistema de tratamento (ABNT NBR 15849, 2010);
- Sistema de tratamento de gases: é composto por instalações e estruturas específicos que tem como objetivo a queima adequada desses gases ou aproveitá-los.
- Sistema de drenagem superficial: responsável por captar, conduzir e dispor as águas de chuva sobre a área enterrada e ao redor do aterro sanitário (ABNT NBR 15849, 2010);
- Sistema de monitoramento: são procedimentos que tem como objetivo avaliar o comportamento do aterro sanitário para garantir o seu bom funcionamento, bem como monitorar as águas subterrâneas, superficiais e do solo para garantir que não houve alterações na qualidade decorrentes da presença do aterro sanitário (ABNT NBR 15849, 2010).

É válido ressaltar que mesmo os aterros sanitários sendo mais seguros pode ocorrer falhas operacionais, como por exemplo, vazamento nos drenos ou até mesmo problemas na impermeabilização e isso acarretará a infiltração do chorume no solo (DUARTE, 2018).

3.3.5 Disposição final inadequada e os impactos ambientais

É de extrema importância que a disposição final dos resíduos sólidos seja de forma adequada, pois como já foi citado anteriormente, uma disposição incorreta em lixões pode acarretar o comprometimento do lençol freático, contaminação do solo e poluição no ar. Além disso, pode comprometer a saúde pública, pelas doenças causadas pela proliferação de vetores (moscas, ratos, baratas etc.) (CEMPRE, 2018).

A matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos dos lixões irá produzir o chorume ou lixiviado através da sua decomposição, portanto, ao entrar em contato com o solo

e com as águas, geram contaminação, pois o lixiviado é um líquido altamente tóxico (CARVALHO, 2015).

Devido ao alto teor de nitrogênio amoniacal, o lixiviado deve ser tratado antes de ser disposto em cursos d'água. Caso contrário, pode acarretar o desenvolvimento de algas, reduzindo o oxigênio dissolvido e afetando a fauna aquática (GOMES, 2009). Isso reforça a necessidade de um sistema de tratamento de lixiviados, bem como a importância de dispor esses lixiviados adequadamente após o tratamento. Existem diversas formas para se fazer este tratamento, como por exemplo:

- a) Tratamento físico-químico: é considerado como um pré-tratamento através de processos físicos e químicos, onde as cargas de nitrogênio amoniacal são removidas e em seguida a cor e os compostos recalcitrantes (GOMES, 2009). Além disso, esse processo é adequado para remover poluentes inorgânicos, metais pesados, óleos e graxas e matérias orgânicas que não são biodegradáveis. Precipitação química e adsorção em carvão ativado são algumas técnicas utilizadas no processo de tratamento físico-químico de lixiviados (CARARD, 2018);
- b) Tratamento através de sistemas de lagoas: este sistema é bastante utilizado no Brasil, fazendo o uso através de lagoas de estabilização (anaeróbias, facultativas e de maturação) para remoção da matéria orgânica através da ação das bactérias existentes para o tratamento dos lixiviados. No qual se mostra eficiente para os lixiviados novos, mas mesmo resultado não se aplica no caso de lixiviados antigos (GOMES, 2009);
- c) Tratamentos biológicos anaeróbios: este tipo de tratamento ocorre por meio da ação de agentes biológicos que tem como função decompor a matéria orgânica encontrada nos efluentes (SOUZA, 2017). A biodegradação da matéria orgânica pode ocorrer com ou sem a presença de oxigênio, onde os filtros biológicos podem ser aeróbios e anaeróbios (CEMPRE, 2018). Souza (2017) afirma que a eficiência deste tratamento dependerá das características do efluente, como o seu grau de biodegradabilidade.
- d) Tratamento combinado de lixiviados com esgoto sanitário: neste caso, o efluente tratado é o resultado da associação dos lixiviados com os afluentes da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). É uma alternativa quando é visado diminuir os custos de operação de um aterro sanitário, porém, é necessário avaliar se há uma interferência entre os lixiviados e os efluentes da ETE (GOMES, 2009).
- e) Tratamento de lixiviados por evaporação: de acordo com Gomes (2009) há duas formas de tratar os lixiviados por meio da evaporação, são eles: a evaporação natural e a evaporação forçada. No primeiro caso, é utilizado a incidência solar como fonte de

energia para o aquecimento do processo de destilação natural. Já para os sistemas de tratamento de lixiviados de evaporação forçada, utilizam algum tipo de energia para elevar a temperatura e na maioria das vezes, como uma alternativa sustentável, faz-se o uso do biogás gerado pelo próprio aterro sanitário. A mesma autora ainda afirma que esse sistema de tratamento por evaporação é capaz de reduzir o volume dos lixiviados em um aterro em até 97%.

Figueiredo (2011) afirma que a decomposição da matéria orgânica também faz com que haja a liberação de um gás composto de metano e gás carbônico, chamado biogás. De acordo com a mesma autora, seus componentes são responsáveis por aproximadamente 50% dos gases do efeito estufa, grande responsável pelo aquecimento global.

Então, dentre os componentes de um aterro sanitário é necessário um sistema de tratamento dos gases. É válido destacar que pode haver o aproveitamento de biogás para fins de geração de energia elétrica limpa, na qual pode ser utilizada no próprio aterro e ainda tornar uma renda para o município através da comercialização do excedente para a concessionária de energia (FIGUEIREDO, 2011).

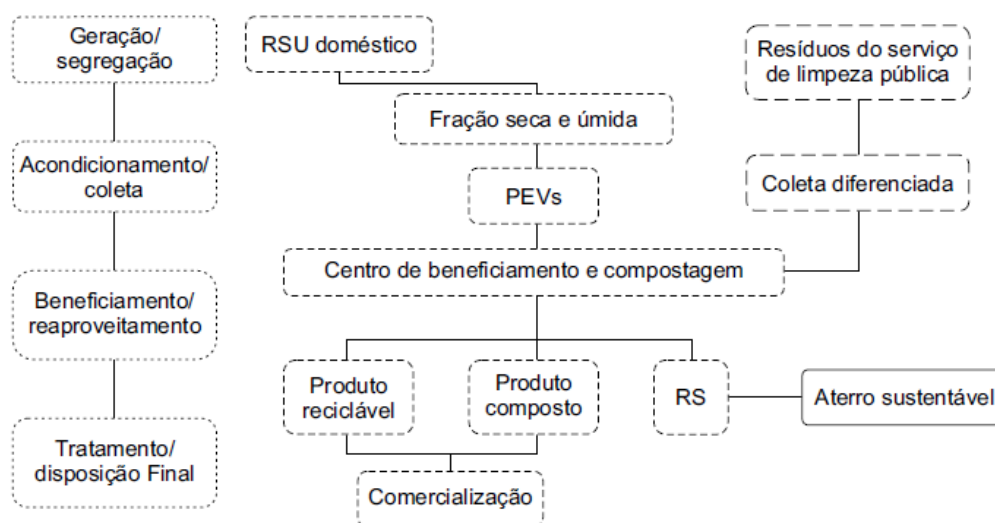
O biogás é captado através de dispositivos no sistema de coleta e levado até um dispositivo de queima. Porém, neste processo não há um melhor aproveitamento do potencial energético dos gases. Por isso, Figueiredo (2011) em sua pesquisa afirma que a transformação do biogás em energia elétrica é uma solução ambientalmente correta e sustentável, além de reduzir os impactos ambientais negativos impedindo a emissão dos gases que provocam o efeito estufa e contribui para melhorias socioeconômicas da população.

3.4 ATERRO SANITÁRIO SUSTENTÁVEL PARA MUNICÍPIOS DE PEQUENO PORTE

Com o intuito de melhorar a prática da disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos em lixões dos municípios de pequeno porte, Castilhos Jr et al. (2003) propõe a busca de alternativas tecnológicas para resolver este problema, assim surge o aterro sustentável. Essa tecnologia dispõe de fácil operação e é importante ressaltar que através de capacitação técnica a própria comunidade poderá se beneficiar gerando emprego e renda.

Assim, para colocar em prática o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos até a chegada dos rejeitos no aterro sustentável, ilustrados na figura 1.

Figura 1 - Atividades operacionais relacionadas ao gerenciamento dos RSU



Fonte: Castilhos Jr, et al. (2003)

É possível observar que a partir da geração dos RSU deve-se fazer a segregação de acordo com as características dos resíduos, assim divide-se em frações de resíduos secos e resíduos úmidos. A partir disso, os resíduos que poderão ser reciclados ou reutilizados serão encaminhados para os centros de beneficiamento, compostagem ou para os Pontos de Entrega Voluntária (PEVs), então os materiais reciclados ou provenientes da compostagem poderão ser comercializados. Os materiais que não foram aproveitados pelas empresas especializadas em reciclagem e compostagem são considerados rejeitos e devem ser dispostos no aterro sustentável (CASTILHOS Jr et al., 2003).

Nos últimos anos, os aterros sustentáveis foram pesquisados pelo Programa de Pesquisas em Saneamento Básico – PROSAB como sendo uma solução simples para problemas de grandes impactos socioambientais em municípios de pequeno porte. A elaboração do plano de gerenciamento da área de disposição final dos resíduos sólidos pelo método proposto pelo PROSAB é dividida em estudos preliminares, seleção da área, projeto, implantação, operação e monitorização.

3.4.1 Estudos preliminares

Consiste efetivamente na caracterização do município e no diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos para verificar a situação atual em que se encontra o município para dispor de tecnologias adequadas de destinação final dos resíduos sólidos de forma a suprir as necessidades (CASTILHOS Jr et al., 2003).

3.4.2 Seleção de áreas

De acordo com Castilhos Jr et al. (2003), a análise realizada para a escolha da área em que o aterro sustentável será implantado deve ser criteriosa, de tal forma a minimizar a possibilidade dos impactos negativos ao meio ambiente. Além disso, deve ser levado em consideração os fatores que poderão elevar os custos de implantação do aterro sustentável. Logo, é recomendado atender critérios ambientais, de uso e ocupação de solo e operacionais.

3.4.3 Projeto

As primeiras considerações para a elaboração do projeto são de acordo com as informações obtidas anteriormente. É de extrema importância que o projeto leve em consideração as questões técnicas e financeiras para que seja possível viabilizar sua implantação. O aterro sustentável é executado pelo método das trincheiras e deve ser composto pelos sistemas de drenagem superficial, drenagem e tratamento de lixiviados, drenagem dos gases, impermeabilização do fundo e das laterais e pelo sistema de cobertura (CASTILHOS JR et al., 2003).

3.4.4 Monitoramento

Tendo em vista os possíveis riscos de contaminação do solo e do lençol freático, o monitoramento é de extrema importância para garantir a eficiência dos sistemas e de seus elementos. Castilhos Jr et al. (2003) afirma que o monitoramento é um conjunto de medidas destinadas a avaliar os impactos e riscos ambientais que podem ocorrer devido ao aterro sustentável. Então, são desenvolvidas atividades para monitorar as águas superficiais e subterrâneas, do solo, do biogás, dos lixiviados e até da estabilidade do maciço de resíduos.

3.4.5 Implantação

Etapa seguinte ao dimensionamento, onde se faz necessário a licença de instalação – LI pelo órgão ambiental competente para que seja possível iniciar a construção do aterro sustentável (CASTILHOS JR et al, 2003).

Em 2008, o CONAMA através da Resolução nº 404 dispõe critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental simplificado de aterros sanitários de pequeno porte, onde se faz

dispensável a apresentação do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do Relatório de Impacto Ambiental (RIMA). Os órgãos ambientais deverão verificar se os aterros propostos têm potencial de degradação ambiental e caso seja detectado, será exigido o EIA e o RIMA (BRASIL, 2008).

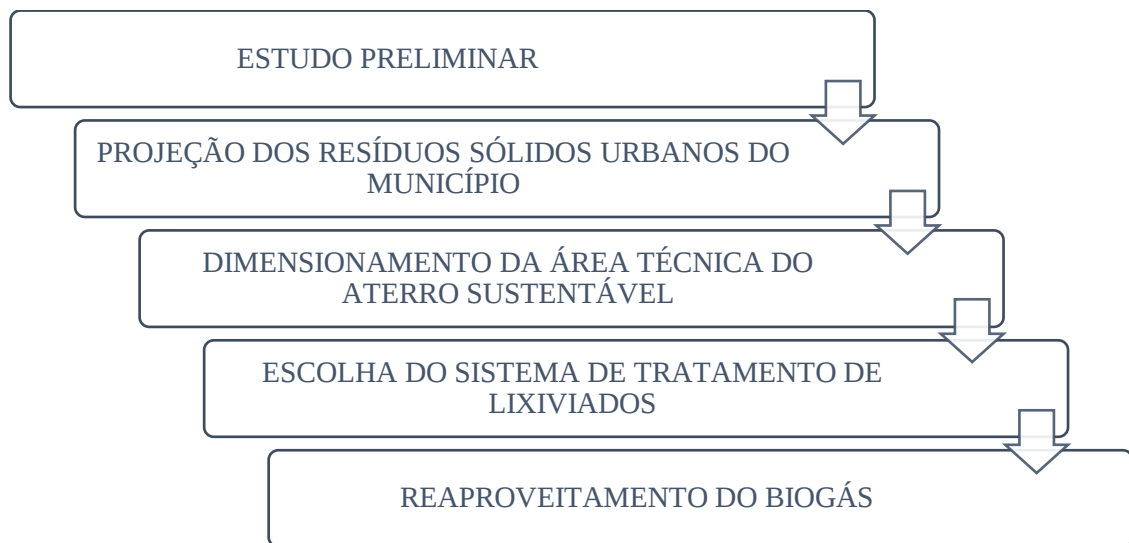
3.4.6 Operação

Castilhos Jr et al. (2003) afirma que a operação se dá através do resultado das etapas anteriores juntamente com o gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios com o objetivo de acondicionar os resíduos sólidos urbanos nas trincheiras. Ao ser despejado pelos transportes, deverá ser realizado o espalhamento dos resíduos sólidos urbanos para que haja a uniformização do preenchimento da vala. Poderão ser adotadas coberturas intermediárias, onde as camadas são compactadas e cobertas com o objetivo de minimizar a proliferação de vetores e a geração de odores. Após o total preenchimento das trincheiras, a cobertura final é realizada. O método do PROSAB ainda recomenda a plantação gramas, capins ou relvas na parte superior da cobertura pois contribuem para melhorar a estética do local e ainda diminui a infiltração da água de chuva.

4. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido baseado no método proposto pelo PROSAB para projeto de aterros sustentáveis de resíduos sólidos urbanos para municípios de pequeno porte. Ele seguirá os passos apresentados na figura 2.

Figura 2 - Fluxograma demonstrando a metodologia do trabalho



Fonte: Autora (2021)

4.1 ESTUDO PRELIMINAR

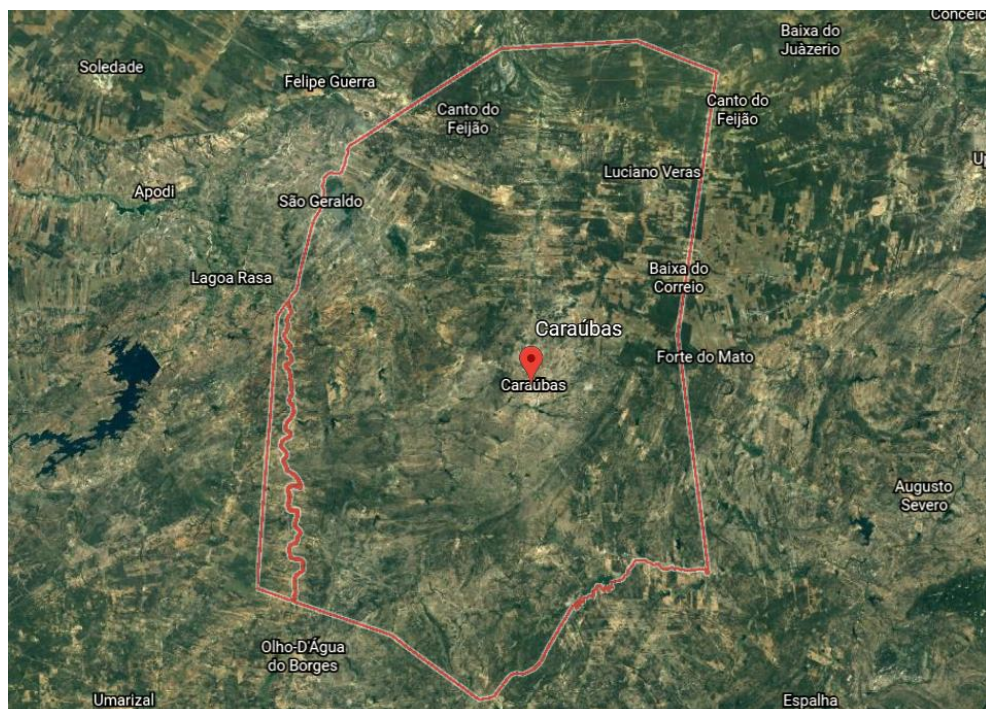
Inicialmente deverá ser realizado o estudo preliminar para ter conhecimento dos dados que serão utilizados no dimensionamento do aterro sustentável.

4.1.1 Caracterização da área

O aterro sustentável será proposto para o município Caraúbas, localizado no Rio Grande do Norte. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, possui uma população estimada de 20.541 habitantes para o ano de 2020 de acordo com o censo demográfico. Conta com uma área territorial de 1.095,803 km² e pertence a mesorregião Oeste Potiguar. Fica a uma distância aproximada de 296 km da capital do estado, além disso, faz divisa com os municípios Governador Dix-Sept Rosado e Felipe Guerra ao Norte; Janduís, Patu e Olho d'Água do Borges ao Sul; Campo Grande e Upanema na direção Leste; e por fim, fazem

limite na direção Oeste os municípios Apodi e Felipe Guerra (IDEMA, 2008). O município de Caraúbas/RN pode ser visualizado na figura 3.

Figura 3 - Município de Caraúbas/RN



Fonte: Google Earth (2021)

Em 2010 Caraúbas/RN possuía o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) correspondente a 0,638, e o salário médio da população que possui emprego formal é de 1,6 salários mínimos mensais (IBGE, 2021). A formação vegetal predominante é a Caatinga Hiperxerófila, na qual é composta por uma vegetação seca, onde se encontra diversas espécies da família cactácea e plantas de porte rasteiro e espalhado. Quanto aos aspectos hidrogeológicos, o município se encontra totalmente inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, onde encontram-se o rio do Umari, os riachos Sabe-Muito, Baixa Grande e Livramento, além dos açudes do Apanha Peixe, Santo Antônio de Caraúbas e o açude do Governo (IDEMA, 2008).

4.1.2 Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município

Para coleta dos dados sobre o diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos foi realizado um levantamento bibliográfico de trabalhos publicados referente ao município de Caraúbas/RN. Além disso, foi realizada uma entrevista com o presidente da Associação Caraubense de Reciclagem, Serviços e Educação Ambiental, onde foram questionados sobre

como funciona a gestão de resíduos sólidos no município, a geração diária de RSU e como é realizada a destinação final desses resíduos. As perguntas da entrevista poderão ser visualizadas no Apêndice A.

4.2 PROJEÇÃO POPULACIONAL E DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Após a realização da caracterização e do diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos do município, deverá ser realizada a projeção da população e da geração dos resíduos de acordo com a vida útil do aterro sustentável, para que este seja suficiente para receber os resíduos que serão gerados com o passar dos anos.

4.2.1 Projeção populacional

O estudo populacional para o município de Caraúbas – RN será realizado baseado nos dados censitários disponibilizados pelo IBGE dos anos 2000, 2010 e 2020 e em métodos matemáticos consagrados. Os cálculos foram realizados com o auxílio do *Microsoft Office 365 Excel* ® (2019).

4.2.1.1 Projeção aritmética

Esse método considera que há um crescimento populacional linear e é utilizado para estimativas de menor prazo (HÉLLER; PÁDUA, 2006). Inicialmente, calculou-se um coeficiente de progressão aritmética pela equação 1.

$$K_a = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: K_a é o coeficiente de progressão aritmética; P_2, P_0 são as populações nos tempos t_2 e t_0 , respectivamente.

Então, ao determinar esse coeficiente de progressão aritmética, poderá ser calculado a estimativa aritmética da população do município de Caraúbas – RN através da equação 2.

$$P_t = P_0 + K_a \cdot (t - t_0) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde: P_t é a população referente ao ano final da vida útil do aterro; P_0 é a população do ano 2000; K_a é o coeficiente de progressão aritmética; t é o ano final da vida útil do aterro e t_0 é referente ao ano 2000.

4.2.1.2 Projeção geométrica

O método geométrico considera que a população possui um crescimento em função da população existente a cada instante, também é muito utilizada para estimativas de menor prazo (HÉLLER; PÁDUA, 2006). Para se obter essa estimativa, utilizou-se as equações 3 e 4.

$$K_g = \frac{\ln(P_2) - \ln(P_0)}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$P_t = P_0 \times e^{K_g(t-t_0)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde: K_g é o coeficiente geométrico; P_2 e P_0 são as populações em t_2 (2020) e t_0 (2000), respectivamente; e P_t é a população que se deseja estimar.

4.2.1.3 Taxa decrescente de crescimento

Este método de estimativa parte da premissa de que em medida que o município cresce, a taxa de crescimento se torna menor, logo a população tende a um valor de saturação (HÉLLER; PÁDUA, 2006). Dessa forma, primeiramente foi encontrado a população de saturação, a partir da equação 5.

$$P_s = \frac{2 \times P_0 \times P_1 \times P_2 - P_1^2 \times (P_0 + P_2)}{P_0 \times P_2 - P_1^2} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde: P_s é a população saturada; P_0 , P_1 , P_2 são as populações referentes aos anos de 2000, 2010 e 2020, respectivamente.

Então, a partir do resultado da equação 5, foi possível encontrar o coeficiente de taxa decrescente de crescimento, através da equação 6.

$$K_d = \frac{-\ln\left(\frac{P_s - P_2}{P_s - P_0}\right)}{t_2 - t_0} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde: P_s é a população saturada; P_0 e P_2 são as populações referentes aos anos de t_0 e t_2 ; $t_0 = 2000$ e $t_2 = 2020$.

Com esses valores será possível determinar a população estimada para o ano final da vida útil do aterro sustentável, através da equação 7.

$$P_t = P_0 + (P_s - P_0) \times (1 - e^{-K_d \times (t - t_0)}) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde: P_t é a população a ser estimada; P_0 é a população referente ao ano de 2000; P_s é a população saturada; K_d é o coeficiente de taxa decrescente de crescimento; t e t_0 são referentes ao ano final da vida útil que se deseja estimar a população e ao ano de 2000, respectivamente.

4.2.1.4 Crescimento logístico

Esse quarto método consagrado consiste no crescimento populacional seguindo uma relação matemática, no qual estabelece uma curva S. Porém, para utilização deste método, deve-se atender as seguintes condições: os pontos P_0 , P_1 e P_2 devem ser $P_0 < P_1 < P_2$ e $P_2 < P_1^2$ (HÉLLER; PÁDUA, 2006). Como essas condições não foram atendidas, esse método não será utilizado.

4.2.2 Projeção das quantidades de resíduos sólidos urbanos

Ao se obter os valores da geração de resíduos sólidos em um ano, foi obtido uma estimativa da geração de resíduos sólidos até o ano final da vida útil do aterro sustentável, considerando que há uma taxa de crescimento de resíduos sólidos por ano. Esses cálculos foram realizados tanto para os resíduos totais, quanto para a parcela de materiais que são reciclados pela ACRESEA, considerando que essa quantidade é proporcional. Os cálculos foram realizados com o auxílio do *Microsoft Office 365 Excel*® (2019).

4.3 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA TÉCNICA DO ATERRO SUSTENTÁVEL

Serão apresentados os processos e cálculos que devem ser realizados para dimensionar o aterro sustentável do município de Caraúbas – RN.

4.3.1 Dimensionamento das trincheiras

O dimensionamento das trincheiras de um aterro sustentável foi realizado seguindo as recomendações indicadas pelo método do PROSAB:

- 1) Determinar a geração de resíduos, de acordo com a projeção populacional e das quantidades de resíduos sólidos já realizada;
- 2) Estimar a vida útil de cada trincheira e do aterro sustentável;
- 3) Determinar a densidade média dos resíduos de acordo com o grau de compactação;
- 4) Adotar uma profundidade das trincheiras;
- 5) Definir a forma da trincheira e adotar uma das dimensões, como por exemplo sua largura.

Dessa forma, a partir dos dados sobre a situação atual do gerenciamento de resíduos sólidos do município foi possível determinar a quantidade de resíduos que serão enterrados em uma trincheira a partir dos dados de população média projetada do município e da projeção da quantidade de resíduos gerados por mês e quantidade de materiais recicláveis coletados por mês.

Ao relacionar a densidade média dos resíduos sólidos urbanos com a quantidade de resíduos que será aterrado, foi encontrado o volume da trincheira, como pode ser visto na equação 8.

$$Densidade = \frac{Peso}{Volume} \quad (\text{Eq. 8})$$

A partir do valor encontrado para o volume, foi adotado uma porcentagem do valor para ser o volume das camadas de cobertura da trincheira, seguindo recomendações do método. Logo em seguida, adotou-se o formato, a largura média (na qual corresponde a largura do topo e a largura da base dividido por 2) e a profundidade da trincheira para encontrar o seu comprimento. Então, a partir da equação 9 foi encontrado o valor para o comprimento médio da trincheira.

$$Volume = largura\ média \times comprimento\ médio \times altura \quad (\text{Eq. 9})$$

Obtido o comprimento médio da trincheira, encontrou-se o valor do comprimento da base e do topo da trincheira. E assim, foi possível determinar todas as dimensões da trincheira do aterro sustentável.

A partir das informações obtidas anteriormente, foi possível determinar a quantidade de trincheiras que serão suficientes para suprir as necessidades do aterro sustentável durante sua vida útil, bem como a área total do aterro sustentável.

4.3.2 Sistema de drenagem superficial

É indicado para municípios de pequeno porte que o sistema de drenagem superficial seja executado com canaletas abertas que podem ser executadas manualmente na direção correta do fluxo das águas que irão escoar superficialmente (CASTILHOS JR et al., 2003).

4.3.2.1 Cálculo da vazão das águas pluviais

Utiliza-se a equação 10 para determinar a vazão das águas pluviais do aterro sustentável.

$$Q = 0,278 \times C \times I_m \times A \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde Q = vazão de pico, em m³/s; C = coeficiente de escoamento superficial ou de deflúvio (adimensional); I_m = intensidade média de precipitação (mm/h); A = área total da bacia de drenagem (km²); e, por fim, 0,278 é o coeficiente resultante do arranjo das unidades dos parâmetros usados.

4.3.2.2 Dimensionamento do canal

O dimensionamento do canal de águas pluviais se deu através da equação 11.

$$Q = A \times V \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde Q = vazão (m³/s); A = área da seção transversal (m²); V = velocidade de escoamento (m/s) determinada pela equação 12.

$$V = \frac{1}{n} \times R h^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Eq. 12})$$

Rh é conhecido como raio hidráulico (m), como pode ser visualizado na equação 13, onde foi feito a consideração das dimensões do canal e pode-se encontrar a área molhada e o perímetro molhado; n é o coeficiente de rugosidade das paredes; i = declividade do canal (m/m).

$$Rh = \frac{Am}{Pm} \quad (\text{Eq. 13})$$

4.3.3 Sistema de impermeabilização

O dimensionamento do sistema de impermeabilização das laterais e do fundo do aterro sanitário dependerá do tipo de impermeabilizante que será utilizado. É importante frisar que este dimensionamento tem a necessidade de um estudo geotécnico, que não pode ser realizado nesta pesquisa.

4.3.3.1 Dimensionamento da geomembrana

O cálculo do dimensionamento da membrana se iniciou com o cálculo da área total a ser revestida, através da área da base das duas laterais de maior dimensão (equação 14) e da área das duas laterais de menor dimensão (equação 15).

$$Lateral\ maior_{1\ e\ 2} = diagonal \times \left(\frac{base+topo}{2} \right) \quad (\text{Eq. 14})$$

$$Lateral\ menor_{1\ e\ 2} = diagonal \times \left(\frac{base+topo}{2} \right) \quad (\text{Eq. 15})$$

A diagonal é o comprimento do talude da base ao topo, foi calculado através da equação 16.

$$diagonal = \frac{profundidade}{\sin \alpha} \quad (\text{Eq. 16})$$

O método sugere o cálculo dessas equações para que possa ser encontrado o volume de solo que será compactado nas trincheiras para que as geomembranas fiquem sobrepostas. Esse cálculo se dá a partir da área total a ser revestida pela espessura da camada.

Já as dimensões da manta para uma trincheira serão calculadas a partir de um comprimento de ancoragem, de acordo com as equações 17 e 18.

$$Largura_{manta} = 2 \times diagonal + largura fundo + 2 \times ancoragem \quad (\text{Eq. 17})$$

$$Comprimento_{manta} = 2 \times diagonal + comprimento fundo + 2 \times ancoragem \quad (\text{Eq. 18})$$

A área da manta é calculada pela equação 19 e este valor representa a área da manta de geomembrana que será posta em contato com a camada de solo compactado calculado anteriormente.

$$\text{Área}_{manta} = largura_{manta} \times comprimento_{manta} \quad (\text{Eq. 19})$$

4.3.4 Sistema de cobertura

O sistema de cobertura será adotado de acordo com o recomendado pelo método do PROSAB de dimensionamento de aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte.

4.3.5 Sistema de drenagem de lixiviados

Castilhos et al. (2003) afirma que o sistema de drenagem de lixiviados é dimensionado a partir da geração do mesmo, logo a vazão dos lixiviados foi calculada através da equação 20.

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K \quad (\text{Eq. 20})$$

Onde: Q é vazão média (l/s); t é o número de segundos em um ano; P é a precipitação média anual, dado em mm/ano; A é a área da trincheira (m²); e o K é coeficiente que depende do grau de compactação dos resíduos.

A partir do valor da vazão, foi possível encontrar diâmetro do dreno através da equação 21.

$$Q = \pi R^2 \times V \quad (\text{Eq. 21})$$

4.3.6 Sistema de drenagem dos gases

O sistema de drenagem dos gases deste aterro sustentável foi escolhido seguindo as recomendações do PROSAB para aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte.

4.4 ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE LIXIVIADOS

Além da drenagem dos lixiviados, também deve-se haver um tratamento adequado, seja para recirculação no aterro sanitário ou para disposição adequada em corpos d'água. Dessa forma, foi realizada uma revisão de literatura para que fosse feita a melhor escolha deste sistema.

4.5 REAPROVEITAMENTO DO BIOGÁS

Foi realizado um levantamento bibliográfico em artigos científicos, dissertações, teses e revistas de forma a se obter embasamento teórico sobre o reaproveitamento de biogás e a partir disso, foi possível selecionar qual a melhor forma de reaproveitá-lo neste aterro sustentável.

4.6 SELEÇÃO DA ÁREA, PROJETO, MONITORAMENTO E OPERAÇÃO

Para realizar a escolha da área de implantação do aterro e seu projeto seria necessário algumas informações técnicas *in loco* e por esta razão serão citadas apenas os critérios de seleção de área, projeto, monitoramento e operação exigidos pela ABNT NBR 15849 – Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação e operação (2010) e os critérios sugeridos por Castilhos et al. (2003) para aterros sustentáveis.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção estão apresentados os resultados referentes ao diagnóstico do município de Caraúbas – RN, bem como o dimensionamento do aterro sustentável proposto, no qual consiste no dimensionamento das trincheiras, do sistema de drenagem de águas pluviais, do sistema de impermeabilização, do sistema de drenagem de lixiviados e de gases gerados pelo aterro. Além disso, serão abordados a escolha do sistema de cobertura do aterro, do tratamento dos lixiviados e do reaproveitamento dos gases.

5.1 DIAGNÓSTICO DO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CARAÚBAS/RN

Caraúbas é um município de pequeno porte no Rio Grande do Norte que necessita de investimentos na implementação do saneamento básico. Quando se trata de desenvolvimento sustentável, a cidade se encontra em uma situação crítica (SOUZA; MARQUES; FERNANDES, 2019).

No que se refere aos resíduos sólidos, Caraúbas apresenta condições inadequadas para a destinação dos resíduos sólidos. Ela conta com um lixão a céu aberto para receber os resíduos coletados. Localizado as margens da RN-117, o lixão fica a aproximadamente 1,6 km de distância da zona urbana da cidade (FARIAS, 2018).

O lixão causa consequências socioambientais no município. A população que vive ao redor tem a saúde e o bem-estar afetados diretamente, já que tem que conviver constantemente com a fumaça proveniente de queimada dos resíduos, além do mau cheiro e do risco de contaminação através de animais e insetos que são atraídos pelo lixão. Em relação ao meio ambiente, também existe a possibilidade de poluição do ar, da atmosfera e das águas (LUCAS FILHO et al., 2018; LINHARES; LUCAS FILHO, 2019).

Além disso, devido à proximidade do lixão a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA e da residência universitária, o corpo técnico, os docentes e discentes também são afetados com as queimadas dos lixões que acontecem constantemente. Visto isso, no ano de 2019 através da Portaria UFERSA/CAMPUS CARAÚBAS nº 045/2019 criou-se uma comissão para elaborar propostas a fim de solucionar as queimadas do lixão do município que provocam riscos à saúde de toda comunidade acadêmica e dos moradores das proximidades. As propostas de ações estruturais e administrativas são de implementação de cunho imediato (máximo até 30 dias), curto (60 dias), médio prazo (90 dias). A responsabilidade de

implementação das ações está dividida entre a UFERSA, a ACRESEA, a Prefeitura Municipal de Caraúbas/RN e toda sociedade civil. Logo, nos quadros 2, 3 e 4 estão descritas as atividades de cunho imediato, curto e médio prazo, em ordem de prioridade e os responsáveis pela implementação para solucionar os problemas de queimadas do lixão.

Quadro 2 - Propostas de ações estruturais e administrativas de cunho imediato

Ordem de prioridade	Ação	Responsável pela implementação
1	Sinalizar na área do lixão a “PROIBIÇÃO DE PRÁTICAS COM FOGO”, tal como, informar a existência de RESÍDUOS PERIGOSOS, além de restringir o acesso de pessoas.	Prefeitura e ACRESEA
2	Restringir o acesso de veículos ao lixão por uma única via.	Prefeitura
3	Realizar o isolamento integral da área do lixão.	Prefeitura
4	Construir taludes de obras em terra no entorno das células.	Prefeitura
5	Abrir aceiros de 2 a 2,5m da cerca para dentro da área do lixão para evitar o alastramento do fogo em casos de incêndios.	Prefeitura
6	Realizar a cobertura semanal do material das células com solo, com frequência semanal.	Prefeitura
7	Veicular informes nas rádios e demais meios de comunicação sobre a proibição de queimadas nas imediações do lixão, tal como elucidar o potencial de responder a crime ambiental mediante ocorrência.	ACRESEA e prefeitura
8	Dispor de veículo com reservatório hídrico (carro pipa) para combater as possíveis queimadas.	Prefeitura
9	Nomear equipe de controle e monitoramento das atividades do lixão	Prefeitura, ACRESEA e UFERSA

Fonte: UFERSA (2019)

Quadro 3 - Propostas de ações estruturais e administrativas de curto prazo

Ordem de prioridade	Ação	Responsável pela implementação
1	Uma vez identificado os agentes causadores do incêndio clandestino ou por vandalismo, devem ser registrados e denunciados ao Poder Público, Secretaria Municipal de políticas do campo e meio ambiente e ou via contato telefônico, perante a lei de crimes ambientais.	ACRESEA e sociedade civil
2	Criar brigadas de controle interno de incêndios da UFERSA para suas instalações.	UFERSA

Fonte: UFERSA (2019)

Quadro 4 - Propostas de ações estruturais e administrativas de médio prazo

Ordem de prioridade	Ação	Responsável pela implementação
1	Criar brigadas de controle de incêndio da Prefeitura Municipal de Caraúbas	Prefeitura, ACRESEA e sociedade civil
2	Realizar a sensibilização da comunidade e dos agentes recicladores (catadores) para evitar cenários de queimadas, via ação com os atores sociais.	Prefeitura, ACRESEA e UFERSA
3	Formar equipe para produção de Cartilhas sobre Queimadas e Manejo Correto do Solo para divulgação nas escolas de ensino básico.	UFERSA/Prefeitura
4	Estimular a segregação prévia de resíduos recicláveis nos empreendimentos comerciais, tal como realizar a coleta dos mesmos.	UFERSA e ACRESEA
5	Consolidar parcerias com instituições de pesquisa e ensino para promover a sensibilização nas escolas e unidades públicas a respeito da segregação de resíduos recicláveis, tal como pilhas, baterias e eletroeletrônicos;	ACRESEA, Prefeitura e UFERSA
6	Promover ações estratégicas para o comando e controle da fiscalização de queimadas, mediante participação da polícia militar do estado;	Prefeitura
7	Realizar um inventário sobre os resíduos sólidos produzidos no município de Caraúbas, tal como desenvolver um Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos (PGIRS);	Prefeitura
8	Pleitear recursos financeiros a entidades de fomento e projetos sustentáveis junto a editais públicos e/ou privados, com auxílio acadêmico e científico da universidade.	Prefeitura
9	Alocar alguns reservatórios na área do lixão para acondicionamento de água para combate imediato de eventos de queimada.	Prefeitura
10	Elaborar projeto estabelecendo locais específicos planejados para pré-descarte e pós-descarte dos materiais (resíduos) em função do tipo da fonte geradora;	Prefeitura

Fonte: UFERSA (2019)

Farias (2018) afirma que Caraúbas sofre com a falta de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, pois não atende as normas exigidas pelo PNRS e, além disso, a população da cidade não tem consciência das consequências ocasionadas pela destinação inadequada dos resíduos no lixão.

Até 2018 o município contava com seis caminhões do tipo basculante sem compactador para realizar a coleta dos resíduos, sendo três destes direcionados exclusivamente para a coleta

dos resíduos sólidos domiciliares, dois sendo destinados para recolher e transportar os resíduos da construção civil e demolição (RCD) e um destinado para a coleta dos resíduos da limpeza pública (CAVALCANTE; FERNANDES, 2018).

A coleta acontece com uma frequência de duas vezes na semana em cada bairro da cidade. No caso da varrição das vias públicas e logradouros acontecem diariamente, já os outros serviços de limpeza urbana são realizados de acordo com a necessidade (CAVALCANTE; FERNANDES, 2018).

Cavalcante e Fernandes (2018) dimensionaram as frotas de garis, onde foi determinado que serão necessários 9 garis para suprir as necessidades de limpeza urbana da cidade de Caraúbas/RN. Em sua proposta, também foi dimensionado a quantidade de transportes necessários para realizar o manejo dos RSU, onde determinaram que três caminhões do tipo basculantes serão suficientes para realizar a coleta e o transporte dos resíduos domiciliares e de limpeza urbana.

Além disso, o município conta com a Associação Caraubense de Reciclagem, Serviços e Educação Ambiental (ACRESEA), a qual faz um trabalho de coleta seletiva e ações de educação ambiental com o intuito de conscientizar a população. As ações realizadas pela ACRESEA têm como objetivo diminuir a quantidade de resíduos que serão destinados ao lixão, gerar renda para os catadores e promover a conscientização ambiental da população. Porém, infelizmente a associação ainda sofre com a falta de incentivo financeiro (FARIAS, 2018).

Em entrevista com o presidente da ACRESEA, quando questionado sobre como funciona a coleta dos materiais, ele respondeu que são recolhidos diretamente do lixão, pois atualmente a coleta seletiva em residências teve uma queda significativa devido a situação de pandemia em decorrência da infecção humana pelo novo Coronavírus (COVID-19) e também pela falta de investimento dos órgãos públicos. Além disso foi informado que a triagem desses materiais é realizada na própria sede da associação e depois de compactados, os materiais são vendidos e levados para as cidades de Fortaleza, Natal e Recife, de acordo com a demanda pelos materiais.

Para finalizar a entrevista, foi questionado o que a associação pretende implantar futuramente a respeito da coleta seletiva de materiais recicláveis e então, o presidente respondeu que inicialmente, eles pretendem começar a coleta seletiva de forma independente, já que o incentivo financeiro de órgãos públicos não está chegando à instituição e que essa coleta poderá se expandir para os municípios próximos como Apodi, Campo Grande e Janduís. Foi informado também que dentre os planos futuros, a associação pensa em construir um galpão para receber

os materiais, fazer a triagem e reciclagem desses materiais recicláveis, bem como dar início ao processo de reaproveitamento de materiais orgânicos através da compostagem.

A destinação final dos resíduos sólidos, como já foi citado, é feito em um lixão a céu aberto sem qualquer tipo de tratamento deles. Portanto, é necessário providências de autores competentes para corrigir este problema e trazer melhorias no gerenciamento dos resíduos sólidos do município, principalmente quanto a disposição final dos RSU (TERCEIRO et al., 2016).

Para Câmara, Oliveira e Chianca (2016), além das melhorias do gerenciamento e da destinação final adequada dos RSU, os órgãos competentes devem fazer a recuperação da área degradada pelo lixão para tentar minimizar os danos ambientais já causados.

5.1.1 Geração per capita de resíduos sólidos urbanos no município

Em 2015 foi realizado o diagnóstico dos resíduos sólidos da região do Alto Oeste pela Secretária de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos – SEMARH, a qual informa o valor per capita de resíduos sólidos urbanos de Caraúbas igual a 0,65 kg/hab.dia. Os autores Cavalcante e Fernandes (2018) em sua pesquisa estimaram a geração de resíduos sólidos no município em 1,07 kg/hab.dia de resíduos sólidos urbanos.

Os dados mais recentes da geração de resíduos sólidos em Caraúbas – RN foram obtidos na pesquisa de Lucas Filho (2020), onde é informado que o município chega a produzir cerca de 50 toneladas de resíduos domésticos e comerciais por mês e 40 toneladas por mês de resíduos de varrição, totalizando cerca de 90 toneladas mensais de resíduos sólidos urbano, logo, a geração per capita de RSU fica em torno de 0,146 kg/hab.dia. Percebe-se que esse valor é inferior ao das pesquisas citadas acima, porém, será o valor utilizado para o dimensionamento, pois os outros são apenas estimativas e a pesquisa de Lucas Filho (2020) é o que mais se aproxima da atual situação do município.

Além disso, em entrevista com o presidente da ACRESEA, foi informado que semanalmente a coleta de materiais recicláveis chega a aproximadamente 2800 kg/semana, ficando em torno de 11200 kg/mês de materiais recicláveis. Dentre esses materiais, os mais encontrados são plásticos, papelão, papel e vidro.

5.1.2 Composição gravimétrica dos resíduos sólidos de Caraúbas/RN

A composição gravimétrica pode ser definida como um levantamento e caracterização dos resíduos sólidos de uma determinada amostra. A nível estadual, a SEMARH estima a composição gravimétrica descrita no quadro 5.

Quadro 5 - Composição gravimétrica do RN

Componente	Composição gravimétrica (%)
Rejeito	37,57
Matéria Orgânica	37,49
Plástico filme	8,70
Plástico duro	4,39
Têxteis	3,16
Papelão	2,92
Papel	2,03
Metais ferrosos	1,37
Vidro	1,00
Longa vida	0,82
Melissa	0,26
Alumínio	0,18
Madeira	0,12

Fonte: Adaptado de SEMARH, 2015.

Já para o município de Caraúbas, Costa et al. (2016) caracterizou os resíduos sólidos do município de Caraúbas e determinou a composição gravimétrica dos resíduos coletados pela ACRESEA nos meses de abril e maio de 2015. Desta forma, o quadro 6 traz essa composição gravimétrica.

Quadro 6 - Composição gravimétrica dos resíduos coletados pela ACRESEA

Componente	Composição gravimétrica (%)
Metal	36,62
Papel	30,23
Plástico	25,26
Rejeito	6,21
Vidro	1,35
Resíduos eletroeletrônicos	0,33

Fonte: Adaptado de Costa et al., 2016

Apesar desses dados, para efeito deste trabalho não serão considerados as composições gravimétricas, pois para o dimensionamento foi considerado o valor real da quantidade de resíduos sólidos urbanos e materiais recicláveis coletados no município.

5.2 PROJEÇÃO DA POPULAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CARAÚBAS – RN E DA QUANTIDADE DE RESÍDUOS GERADOS

Nesta seção será abordado os resultados encontrados para o estudo populacional de Caraúbas – RN até o ano final da vida útil do aterro sustentável e como se dará a geração de resíduos sólidos do município.

5.2.1 Projeção populacional

A projeção populacional, conforme informado na metodologia, utilizando os dados censitários disponibilizados pelo IBGE, está descrita no quadro 7.

Quadro 7 - População do município de Caraúbas – RN

Ano	População (hab.)
2000	18794
2010	19576
2020	20541

Fonte: IBGE (2020)

Para o aterro sustentável foi estimado uma vida útil de 15 anos. Dessa forma, foi realizada a projeção conforme indicado na metodologia e seu resultado encontra-se no Apêndice B. Para determinar a população que será utilizada no dimensionamento do aterro sustentável fez-se uma média aritmética com os valores de população calculados nos três métodos para o ano de 2036. Esses resultados podem ser visualizados no quadro 8.

Quadro 8 - População projetada para 2036

Métodos	População (hab.) – ano 2036
Projeção aritmética	21939
Projeção geométrica	22055
Projeção decrescente	22421
Média	22138

Fonte: Autora (2021)

5.2.2 Projeção da quantidade de resíduos gerados no município

Considerando que haverá um aumento na produção de resíduos em Caraúbas – RN com o passar dos anos, fez-se essa estimativa para que se tenha um valor mais aproximado da realidade e para que o aterro dimensionado seja suficiente para suprir as necessidades até o fim da sua vida útil.

Dessa forma, no Apêndice C pode ser visualizada essa estimativa. Considerando uma taxa de crescimento de 0,3% ao ano na geração de resíduos sólidos urbanos, baseado no estudo de Castilhos Jr et al. (2003). Consequentemente, essa taxa também será utilizada para a quantidade de materiais reciclados pela ACRESEA, levando em conta o crescimento proporcional. Logo, esses valores podem ser visualizados no quadro 9.

Quadro 9 - Geração estimada dos resíduos gerados, reciclados e que serão enterrados no aterro

Ano	População estimada (hab)	Geração per capita (kg/hab.dia)	Qtde. de RSU por ano (kg/mês)	Qtde. de reciclados por ano (kg/mês)	Qtde. de rejeitos que serão enterrados (kg/mês)
2036	22138	0,153	101420,90	11749,90	89671

Fonte: Autora (2021)

Deve-se ressaltar que para a realização dessa projeção foi levado em consideração a população censitária disponibilizada pelo IBGE, então, sugere-se que seja realizado um levantamento percentual de discentes e servidores da UFERSA que geram resíduos e não foram contabilizados.

5.3 DIMENSIONAMENTO DA ÁREA TÉCNICA DO ATERRO SUSTENTÁVEL

Neste item serão demonstrados os resultados encontrados para o dimensionamento do aterro sustentável para o município de Caraúbas/RN.

5.3.1 Dimensionamento da trincheira

Para dar início ao dimensionamento, fez-se as considerações que podem ser visualizadas na tabela 4. Além disso, o formato escolhido para a trincheira foi do tipo trapezoidal, com uma profundidade de 3 metros, como indicado pelo método do PROSAB.

Tabela 4 - Considerações adotadas para dimensionamento

População do município	22138 habitantes
Geração per capita de resíduos sólidos urbanos	0,153 kg/hab.dia
Geração de resíduos sólidos urbanos	101420,90 kg/mês
Quantidade de materiais reciclados	11749,90 kg/mês
Quantidade de resíduos a serem enterrados	89671 kg/mês

Fonte: Autora (2021)

É recomendado por Castilhos et al. (2003) que seja considerado uma vida útil da trincheira de 2 a 4 meses, neste caso, escolheu-se uma vida útil de 4 meses. Então, pode-se considerar que a quantidade de resíduos total em uma trincheira durante toda sua vida útil é de 358684 kg.

Como os veículos para a coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos são caminhões tipo basculante, tem-se como densidade média dos resíduos o valor de 100 kg/m³. Com todos esses valores é possível encontrar o volume de resíduos de uma trincheira a partir da densidade média dos resíduos e da quantidade de resíduos que será aterrado, como pode ser visualizado na tabela 5.

Tabela 5 - Volume de resíduos trincheira

Volume de resíduos da trincheira

Equação 8	Densidade (kg/m³)	Quantidade de resíduos a serem aterrados (kg)	Volume (m³)
$Densidade = \frac{Peso}{Volume}$	100	358684	3586,84

Fonte: Autora (2021)

É recomendado a utilização de camadas intermediárias ao final de cada jornada com solo proveniente da própria escavação. O método sugere o emprego de 25% do volume total da trincheira para as camadas de solo intermediária e final, isso implica que o aterro sustentável terá cerca de 896,71 m³ de volume de solo para as camadas que serão distribuídas ao longo da vida útil da trincheira. Portanto, para encontrar as dimensões do aterro, deverá considerar o volume do solo juntamente com o volume dos resíduos a serem aterrados na trincheira, totalizando 4483,55 m³.

Adotando uma largura média (na qual corresponde a largura do topo e a largura da base dividido por 2) será possível determinar o comprimento médio da trincheira. O resultado das dimensões da trincheira é visto na tabela 6.

Tabela 6 - Dimensões da trincheira

Equação 9	Dimensões da trincheira		
	Largura média (m)	Altura (m)	Comprimento médio (m)
$V = L_{média} \times C_{médio} \times altura$	30	3	49,81

Fonte: Autora (2021)

Será adotado um comprimento médio de 50 metros. Logo, todas as dimensões da trincheira dimensionada podem ser vistas na tabela 7.

Tabela 7 - Dimensões da trincheira do aterro sustentável

Dimensões da trincheira					
Largura da base	Largura do topo	Comprimento da base	Comprimento do topo	Profundidade	Área
28 m	32 m	48 m	52 m	3 m	1500 m ²

Fonte: Autora (2021)

Além disso, o PROSAB sugere que a vida útil de um aterro sustentável seja no mínimo de 5 anos, já a ABNT NBR 15849:2010 estabelece que a vida útil deve ser de no mínimo 15 anos. Dessa forma, será utilizado a vida útil do aterro sustentável de 15 anos.

Considerando então que a vida útil da trincheira é de 4 meses, durante os 15 anos serão necessárias 45 trincheiras, totalizando uma área de 67500 m² para o aterro sustentável.

5.3.2 Sistema de drenagem superficial

É indicado para municípios de pequeno porte que o sistema de drenagem superficial seja executado com canaletas abertas que podem ser executadas manualmente na direção correta do fluxo das águas que irão escoar superficialmente (CASTILHOS et al., 2003). Com o objetivo de impedir que as águas de chuva escoem para as trincheiras, serão locadas canaletas nas laterais da trincheira.

5.3.2.1 Cálculo da vazão das águas pluviais

A partir da equação 10 chegou-se ao resultado da vazão das águas pluviais que irão escoar pela trincheira (Tabela 8). O valor do coeficiente de escoamento foi determinado de acordo com Castilhos et al. (2003), considerando um solo do tipo arenoso e a intensidade pluviométrica no município de Caraúbas de 717 mm/ano, conforme a Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte – EMPARN (2021).

Tabela 8 - Cálculo da vazão das águas pluviais

Cálculo da vazão das águas pluviais				
Equação 10	Coeficiente de escoamento (C)	Intensidade pluviométrica (I_m)	Área da trincheira	Vazão
$Q = 0,278 \times C \times I_m \times A$	0,30	0,082 mm/h	0,0015 km ²	$1,02 \times 10^{-5}$ m³/s

Fonte: Autora (2021)

5.3.2.2 Dimensionamento do canal

Serão executados canais de terra pois são consideradas de fácil execução com dimensões de 60 cm x 60 cm, com uma valeta aberta manualmente 10 cm no entorno da área, ficando uma altura da água de 50 cm. A vazão dos canais pode ser encontrada iniciando pela equação 13, que será utilizada para substituir na equação 12 e por fim, substituir os resultados encontrados na equação 11, podendo ser vista na tabela 9.

Tabela 9 - Dimensionamento do canal da trincheira

Dimensionamento do canal				
Equação 13	Área molhada (Am)	Perímetro molhado (Pm)	Raio hidráulico (Rh)	
$Rh = \frac{Am}{Pm}$	0,3 m ²	1,6 m	0,1875 m	
Equação 12	Coef. de rugosidade da parede (n)	Raio hidráulico (Rh)	Declividade do canal (i)	Velocidade de escoamento (V)
$V = \frac{1}{n} \times Rh^{\frac{2}{3}} \times i^{\frac{1}{2}}$	0,025	0,1875 m	0,05 m/m	2,93 m/s
Equação 11	Área da seção transversal (A)	Velocidade de escoamento (V)		Vazão do canal (Q)
$Q = A \times V$	0,36 m ²	2,93 m/s		1,05 m ³ /s

Fonte: Autora (2021)

O valor para o coeficiente de rugosidade da parede se deu em função de ser um canal de terra, como indicado por Castilhos et al. (2003), por este motivo também se adotou a declividade do canal sendo 0,05 m/m. Logo, através da equação 11 pode-se observar que o canal suportará a vazão das águas de chuva que irão escoar.

5.3.3 Sistema de impermeabilização

A partir de um levantamento bibliográfico e como indicado pelo PROSAB, para este projeto, escolheu-se a técnica de aplicação das geomembranas de polietileno de alta densidade (PEAD) para a impermeabilização do aterro pois apresentam uma boa resistência (CASTILHOS JR et al., 2003).

5.3.3.1 Dimensionamento da geomembrana

Seguindo as recomendações do método do PROSAB para dimensionamento de aterros sustentáveis para municípios de pequeno porte, foi adotado a espessura da camada de solo compactado de 60 cm para que as geomembranas sejam sobrepostas, livres de qualquer material que possa danificá-las, fazendo perder sua principal função e deixar o lixiviado penetrar no solo.

Foi necessário calcular a diagonal através da equação 16 e com esse valor, encontrou a área total a ser revestida pela camada impermeabilizante nas laterais, com as equações 14 e 15. Todos os resultados estão descritos na tabela 10.

Tabela 10 - Área total a ser revestida pela camada de solo com espessura de 60 cm

Dimensionamento da camada impermeabilizante (solo)				
Área da base a ser revestida	Base x comprimento = 28 m x 48 m			1344 m²
Equação 16	Profundidade	α	sen (α)	Diagonal
$diagonal = \frac{profundidade}{\sin \alpha}$	3 m	33,64	0,55	5,45 m
Equação 14	Diagonal	Base	Topo	Área da lateral maior
$Lateral maior_{1 e 2} = diagonal \times \left(\frac{base + topo}{2} \right)$	5,45 m	48 m	52 m	272,5 m²
Equação 15	Diagonal	Base	Topo	Área da lateral menor
$Lateral menor_{1 e 2} = diagonal \times \left(\frac{base + topo}{2} \right)$	5,45	28 m	32 m	163,5 m²
Área total a ser revestida pela manta:				1780 m²
Fonte: Autora (2021)				

Com o valor encontrado da área total a ser revestida pela manta, multiplicando pela espessura da camada impermeabilizante, encontrou-se o valor de 1068 m³. Logo, esse será o volume de solo que deverá ser compactado antes da aplicação da manta.

Quanto à camada da geomembrana impermeabilizante, o cálculo foi realizado a partir das equações 17, 18 e 19, como pode ser visto na tabela 11. Foi considerado uma ancoragem de 1,5 metros da manta, como estabelecido pelo método de Castilhos et al. (2003).

Tabela 11 – Dimensionamento da manta de geomembrana

Dimensionamento da geomembrana				
Equação 17	Diagonal	Largura	Ancoragem	L _{MANTA}
$L_{manta} = 2x diagonal + l_{fundo} + 2x ancoragem$	5,45 m	28 m	1,5 m	41,9 m
Equação 18	Diagonal	Comprimento	Ancoragem	C _{MANTA}
$C_{manta} = 2x diagonal + c_{fundo} + 2x ancoragem$	5,45 m	48 m	1,5 m	61,9 m
Equação 19	L _{MANTA}	C _{MANTA}	Área total da manta	
$\acute{Area}_{manta} = L_{manta} \times C_{manta}$	41,9 m	61,9 m	2593,61 m²	
Fonte: Autora (2021)				

5.3.4 Sistema de cobertura

Foi acatada a proposta sugerida pelo PROSAB, dessa forma, serão utilizadas camadas intermediárias ao fim de cada jornada de trabalho. Devido ao município não possuir um alto índice de precipitação, optou-se por não fazer o uso de telhados. Ao final da vida útil de cada trincheira, será posta a camada final e por cima, deverá ser plantado gramíneas para favorecer a recuperação da área.

5.3.5 Sistema de drenagem de lixiviados

Será considerado que a tubulação passará pela manta PEAD e levará os lixiviados até um poço de captação. Castilhos et al. (2003) sugere um poço pré-fabricado de concreto com diâmetro de 1 metro que estará disposto em uma base de cimento. É importante que o poço esteja localizado no ponto mais baixo do terreno para que os lixiviados possam ser drenados por gravidade e assim não precise utilizar energia elétrica para o bombeamento.

O cálculo da vazão média de lixiviados pode ser vista na equação 20 e o resultado na tabela 12. O coeficiente K depende do grau de compactação dos resíduos, dessa forma, considerando o pior caso de aterros fracamente compactados, se deve considerar $K = 0,5$.

Tabela 12 - Cálculo da vazão de lixiviados

Cálculo da vazão dos lixiviados					
Equação 20	Segundos em um ano	Precipitação	Área da trincheira	K	Vazão dos lixiviados
$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K$	31536000 s	717 mm/ano	1500 m ²	0,5	0,017 m³/s

Fonte: Autora (2021)

A equação 21 mostra como encontrar o raio da tubulação que deve ser utilizada para drenar os lixiviados da trincheira do aterro sustentável. O PROSAB determina que a velocidade de escoamento seja entre 1 m/s a 5 m/s. Então, supondo que a velocidade de escoamento seja de 3 m/s, o diâmetro poderá ser determinado como visto na tabela 13.

Tabela 13 - Dimensionamento do dreno de lixiviados

Equação 21 $Q = \pi R^2 x V$	Diâmetro do dreno de lixiviados		
	Raio	Velocidade	Diâmetro
	42 mm	3 m/s	84 mm

Fonte: Autora (2021)

Deverá ser considerado um diâmetro de 100 mm por questões de disponibilidade comercial e deve-se utilizar uma inclinação de 2%, de acordo com a ABNT NBR 15849/2010.

5.3.6 Sistema de drenagem dos gases

Foi elaborado um estudo pelo PROSAB no qual identificou que para 1 tonelada de resíduos aterrados em aterros que contam com sistema de impermeabilização de membranas PEAD são gerados 50 m³ de gás. Castilhos et al (2003) sugere que seja inserido uma tubulação vertical de PVC com diâmetro de 40 mm conectado e envolto com brita do tipo 1 desde a base até o topo da trincheira. Esses tubos estarão conectados e serão levados até um sistema de tratamento do biogás.

5.4 ESCOLHA DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE LIXIVIADOS

Durante este trabalho foram realizadas diversas pesquisas e foi analisado que a melhor solução para o tratamento de lixiviados deste aterro sustentável é a partir do tratamento por evaporação natural. A escolha se baseou nas características do município de Caraúbas, tendo em vista que ele possui uma alta incidência de luz solar e o funcionamento deste sistema depende exclusivamente de grande insolação e baixa intensidade pluviométrica (GOMES, 2009).

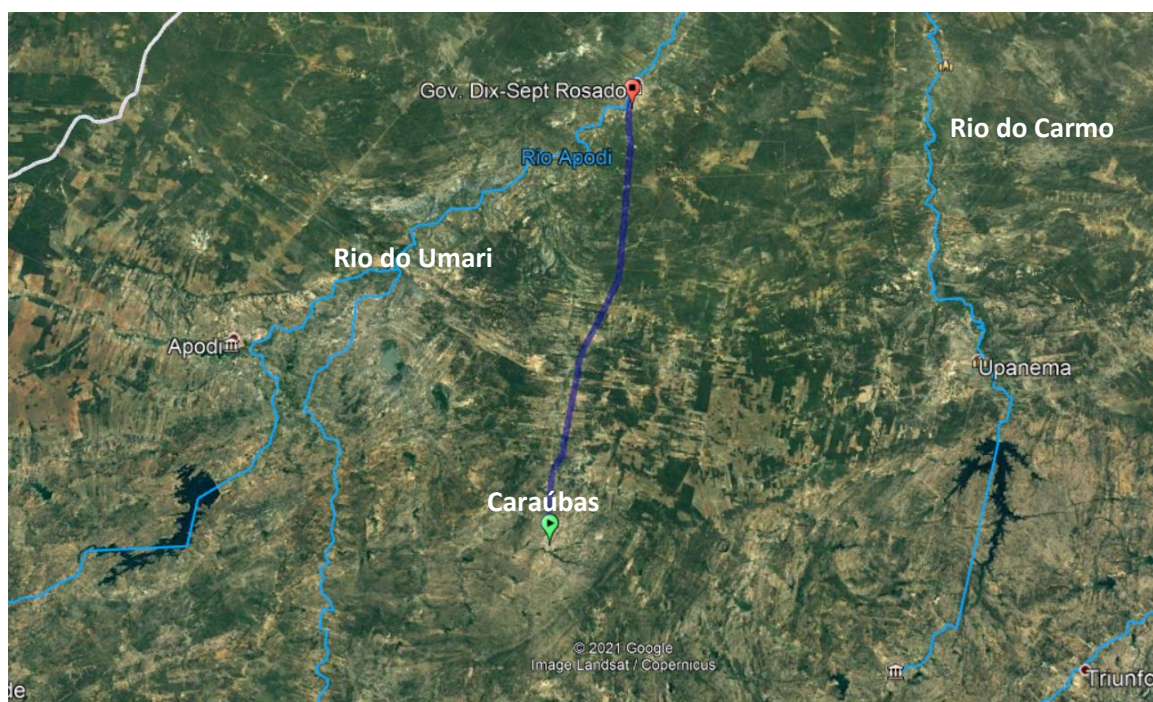
O sistema consiste em uma cobertura de vidro transparente inclinada que fecha um determinado espaço sobre um tanque de pouca profundidade. Este método funciona a partir da radiação solar que entra em contato com o vidro e aquece o lixiviado, fazendo com que haja uma vaporização que condensa em uma superfície mais fria e isso faz com que ele seja coletado por canaletas (GOMES, 2009).

Recomenda-se uma caracterização do lixiviado para que a partir dos resultados seja definido uma tecnológica adequada para um tratamento mais específico, caso seja necessário. Após realizado o tratamento, os lixiviados poderão ser lançados em corpos hídricos, desde que

atendam os parâmetros estabelecidos pela Resolução n° 430 do CONAMA de 2011, na qual estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes em corpos d'água.

Nas proximidades do município de Caraúbas/RN, existem três rios que poderão ser utilizados para o lançamento dos lixiviados tratados, são eles o Rio do Umari, Rio do Carmo e Rio Apodi.

Figura 4 - Localização de corpos d'água nas proximidades de Caraúbas/RN



Fonte: Google Earth (2021)

5.5 REAPROVEITAMENTO DO BIOGÁS

A partir de revisões de literatura sobre o reaproveitamento do biogás, optou-se pelo uso na produção de energia através de um motor de combustão interna acoplado a um gerador, visto que o metano que é o principal constituinte do biogás possui um poder calorífico elevado e pode ser utilizado como combustível (FREIRE, 2018). Henriques (2004) afirma que se houver manutenção adequada, há 95% de chances de ser produzido energia elétrica. Esta energia produzida poderá ser revertida para o próprio funcionamento do aterro. Por mês, seria produzido em média 4500 m³ de gases.

Brondani (2020) afirma que 1 m³ de biogás é capaz de produzir cerca de 1,8 kW de potência elétrica. Logo, por mês, poderão ser gerados 8100 kW. É importante ressaltar que fazer o reaproveitamento do biogás vai além de uma questão econômica, visando também diminuir

os impactos ambientais negativos causados pelos gases que são gerados em decorrência da decomposição dos resíduos, uma vez que o aproveitamento energético do biogás contribui para que haja a redução da emissão dos gases que colaboram para o efeito estufa (DALPAZ, 2019).

Além disso, Freire (2018) afirma que fazer o reaproveitamento do biogás para gerar energia elétrica é um projeto relevante no contexto do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL é uma oportunidade para certificar os projetos que visam diminuir as emissões de gases do efeito estufa e posteriormente os créditos gerados poderão ser vendidos entre países desenvolvidos, essa proposta faz parte de um acordo conhecido como Protocolo de Quioto (CUNHA NETO, 2004).

5.6 SELEÇÃO DA ÁREA, PROJETO, MONITORAMENTO E OPERAÇÃO

Aqui serão apresentados os critérios exigidos pela ABNT NBR 15849/2010 e as sugestões dadas pelo método do PROSAB para a escolha da área de implantação do aterro, bem como o que é necessário em um projeto, como deverá ser realizado o monitoramento e como funciona deverá funcionar a operação do aterro.

5.6.1 Seleção de área

A ABNT NBR 15849/2010 estabelece diretrizes para o local de implantação dos aterros sanitários de pequeno porte. A escolha deve ser realizada de forma a minimizar os impactos ambientais negativos, os custos de implantação e operação. Além disso, deverá ser em um local em que se tenha o máximo de aceitação da população e esteja de acordo com a legislação ambiental e de uso e ocupação do solo do município.

Além disso, a ABNT NBR 15849/2010 recomenda que a área seja em locais com a predominância de solos pouco permeáveis, que o aterro fique no mínimo 200 metros de qualquer corpo hídrico e a uma distância de 500 metros de núcleos populacionais. Recomenda-se a locação em áreas com declividade superior a 1% e inferior a 30%. Deverá ser analisado também se a área é suscetível a inundações, pois áreas com essas características não poderão ser adotadas.

Castilhos Jr et al. (2003) através do método do PROSAB também afirma que se deve levar em consideração essas características. Porém, deverão ser analisados os critérios ambientais, de uso e ocupação do solo e operacionais. Para cada critério serão atribuídos notas e pesos, logo será possível atribuir o grau de importância de cada em relação ao uso da área

para a implantação do aterro sustentável. As notas são distribuídas de forma crescente, então, 0 é considerado a pior situação e 5 a melhor situação. Em relação aos pesos, cada critério tem o seu, quanto maior for o seu valor, maior será a relevância. Os critérios ambientais poderão ser visualizados no quadro 10. Os critérios de uso e ocupação do solo no quadro 11 e os critérios operacionais no quadro 12.

Quadro 10 - Critérios ambientais para escolha da área do aterro sustentável

Critério	Faixa de avaliação	Nota	Peso
Distância de recursos hídricos	< 200 metros	0	3
	200 – 499 metros	3	
	500 – 1000 metros	4	
	> 1000 metros	5	
Áreas inundáveis	< cota de cheia	0	3
	cota de cheia – 20% a mais que a cota de cheia	3	
	cota de cheia – 20% a mais que a cota de cheia – 50% a mais que a cota de cheia	4	
	> 50% a mais que a cota de cheia	5	
Geologia – potencial hídrico	Alto potencial hídrico	0	3
	Médio potencial hídrico	2	
	Baixo potencial hídrico	4	
Condutividade hidráulica do solo	Infiltração alta: $< 10^{-3}$ cm/s	1	3
	Infiltração média: 10^{-3} - 10^{-4} cm/s	2	
	Infiltração baixa: 10^{-4} - 10^{-5} cm/s	4	
	Infiltração muito baixa: $< 10^{-5}$ cm/s	5	
Profundidade do lençol freático	< 1 m	0	3
	1 – 2 m	1	
	2 – 4 m	4	
	> 4 m	5	
Fauna e flora local	Presença	0	3
	Ausência	5	

Fonte: Adaptado de Castilhos Jr et al. (2003)

Quadro 11 - Critérios de uso e ocupação do solo para escolha da área do aterro sustentável

Critério	Faixa de avaliação	Nota	Peso
Distância das vias	< 100 metros	0	1
	100 – 499 metros	3	
	500 – 1000 metros	4	
	> 1000 metros	5	
Legislação municipal	Pontuação dependerá de caso a caso: considerar a gravidade do impacto causado ao meio ambiente		
Distância dos centros urbanos	100 – 250 m	1	1
	250 – 500 m	2	
	500 – 1000 m	3	
	1000 – 2000 m	4	
	> 2000 m e ≤ 15000 m	5	
	> 15000 m	4	

Fonte: Adaptado de Castilhos Jr et al. (2003)

Quadro 12 - Critérios operacionais para a escolha da área do aterro sustentável

Critério	Faixa de avaliação	Nota	Peso
Declividade	Alta: > 30%	1	1
	Média: 20 – 30 %	2	
	Baixa: 10 – 19,9 %	3	
	Muito baixa: 3 – 9,9%	4	
	Plana: < 3%	5	
Espessura do solo	< 0,5 m	0	1
	0,5 – 0,9 m	1	
	1 – 2 m	3	
	> 2 m	5	
Reaproveitamento da área do lixo	Município sem lixo	5	
	Município com lixo em área pontuada, pelos demais critérios, como adequada	5	
	Município com lixo em área pontuada, pelos demais critérios, como inadequada	0	

Fonte: Adaptado de Castilhos Jr et al. (2003)

Para definir exatamente onde será o aterro sustentável do município de Caraúbas – RN, deverá ser feito um estudo mais elaborado e seguir os critérios ambientais, de uso e ocupação do e critérios operacionais descritos no método proposto pelo PROSAB e pela ABNT NBR 15849:2010. Porém, sugere-se que sua implantação seja entre o município de Caraúbas e o de Governador Dix-Sept Rosado, tendo acesso a RN 117, tendo em vista a grande área que o aterro sustentável precisa.

5.6.2 Projeto

A ABNT NBR 15849/2010 e Castilhos Jr et al. (2003) expõem que um projeto de aterro sanitário para municípios de pequeno porte deve conter todas as informações técnicas necessárias e com o máximo de detalhes possível, através de um projeto gráfico, memorial descritivo e de cálculo, planos de operação, de monitoramento e de fechamento da instalação.

5.6.3 Monitoramento

Devido aos riscos de contaminação que pode haver, deverá ser realizado o monitoramento das águas para garantir que a disposição dos resíduos não está comprometendo a qualidade das águas. Dessa forma, a ABNT NBR 15849/2010 recomenda que seja realizado o monitoramento das águas subterrâneas através de amostras coletadas de um poço à montante e outros três poços à jusante do aterro sanitário desconstruídos no sentido do fluxo de escoamento do lençol freático. Quanto às águas superficiais, devem ser previstas medidas para a proteção dessas. Como visto, deve-se ter uma distância mínima de 200 metros de corpos d'água. Castilhos Jr et al. (2003) também faz as mesmas considerações para o monitoramento das águas.

5.6.4 Operação

De acordo com Castilhos Jr et al. (2003) em um aterro sustentável, cada trincheira terá uma rotina de operação. Os procedimentos operacionais do aterro sustentável podem ser visualizados no quadro 13.

Quadro 13 - Procedimentos operacionais do aterro sustentável

Etapas	Forma de execução
Escavação	Deverá ser utilizado retroescavadeiras para escavar a trincheira. Deve atender as dimensões calculadas.
Descarga dos rejeitos	Após a coleta, os RSU deverão ser tratados e os rejeitos deverão ser enviados ao aterro sustentável. Os caminhões irão descarregar os rejeitos dentro das trincheiras.
Espalhamento e compactação dos rejeitos.	Os rejeitos deverão ser espalhados ao longo da trincheira até que a superfície fique relativamente plana. Após isso, um rolo compactador deverá ser utilizado para fazer a compactação dos rejeitos.
Coberturas	Ao final de cada jornada, a trincheira deverá ser coberta por camadas intermediárias. Ao final da vida útil, é necessário adicionar uma cobertura final e nesta, deverá ser plantado gramíneas.

Fonte: Autora (2021)

5.7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

É recomendado pelo PROSAB que os municípios que gerem uma quantidade considerável de matéria orgânica devem aderir o sistema de compostagem para produzir o composto orgânico que poderá ser utilizado nas áreas verdes do município. Além disso, a compostagem de materiais orgânicos reduz a quantidade de resíduos sólidos que irão para o aterro sustentável.

Dessa forma, sugere-se metas e estratégias para o bom funcionamento do aterro sustentável que poderão influenciar também no aumento da sua vida útil (quadro 14).

Quadro 14 - Metas e estratégias para auxiliar no bom funcionamento do aterro

Metas	Estratégias
Elaboração/adequações do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos do município.	Fazer adequações do plano através de um diagnóstico da situação do município e propor melhorias que sejam suficientes para suprir as necessidades do município, desde a coleta até a disposição dos rejeitos.
Elaboração de plano de coleta seletiva e compostagem	Sistematizar a operação de coleta seletiva e compostagem no município a fim de reciclar e reaproveitar os materiais que servem como matéria prima na geração de outros produtos.
Definição de uma comissão responsável pela adequação e implantação desses planos.	Atribuir atividades para responsáveis pela adequação e monitoramento dos planos elaborados, para que haja um pleno funcionamento dos mesmos.
Conscientização da população quanto à redução da geração de resíduos sólidos e importância da coleta seletiva.	Propagar a importância da educação ambiental e realizar ações a fim de conscientizar a população e aos catadores dos cuidados com o meio ambiente e difundir o desenvolvimento sustentável.
Incentivo do poder público para a associação de catadores do município	Estimular a associação através de ações voltadas para os catadores, apoio financeiro e logístico; formar uma parceria entre a prefeitura municipal e a associação.

Fonte: Autora (2021)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através desta pesquisa foi possível perceber que Caraúbas/RN é um município de pequeno porte que ainda tem muitas melhorias a serem feitas quanto ao gerenciamento de resíduos sólidos e atrelado a isso, toda a população deve desenvolver consciência ambiental para que em conjunto aos órgãos públicos competentes possam contribuir para que a cidade tenha resultados positivos quanto ao desenvolvimento sustentável. Isso será possível por meio de programas e ações de educação ambiental, incentivando a prática de consumo sustentável, seguindo a ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização e reciclagem, estabelecida na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Constatou-se que o lixão de Caraúbas/RN traz sérios impactos negativos socioambientais mediante a contaminação das águas, do solo e do ar. Em consequência disso, pode-se citar a limitação do uso da água e do solo para outros fins futuramente e além disso, a contaminação da água poderá prejudicar a fauna aquática; no que se refere a poluição do ar, é possível apontar a geração de gases poluentes que contribuem para o efeito estufa e a fumaça gerada em decorrência das queimadas em busca de reduzir o volume de resíduos no lixão. Quanto aos impactos sociais, a fumaça ainda pode comprometer a saúde das pessoas que vivem nas proximidades do lixão, além disso, a população ainda tem que conviver com os odores gerados pelos gases e com a proliferação de vetores de doenças, como ratos, baratas e mosquitos.

Visto as consequências socioambientais que o lixão traz para o município e a necessidade da extinção deste tipo de destinação final até 2024, o aterro sustentável é uma opção para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos de Caraúbas – RN. Após a sua implementação o município se adequará as exigências da Política Nacional dos Resíduos Sólidos e o lixão deverá ser desativado.

Este trabalho apresenta uma proposta simplificada de um aterro sustentável para um município de pequeno porte, dimensionado para uma vida útil de 15 anos, uma vez que um projeto necessitaria de dados técnicos *in loco*, além do desenvolvimento de um memorial descritivo, de cálculo e de um projeto gráfico, conforme exigido pela ABNT NBR 15849/2010.

Deve-se destacar a importância da Associação Caraubense de Reciclagem, Serviços e Educação Ambiental por atuar na coleta seletiva do município, contribuindo na diminuição dos materiais que serão descartados no aterro. Outra forma de minimizar a quantidade de resíduos é através da compostagem da matéria orgânica e com isso, ainda gerar renda para comunidade pela venda de compostos orgânicos. A eficiência dessas etapas de tratamento resulta em uma

possível redução da área do aterro. Portanto, evidencia a necessidade de políticas públicas e incentivos financeiros da gestão municipal para a associação, como por exemplo na criação de uma central de compostagem e na disponibilização de um caminhão para que seja possível realizar a coleta seletiva domiciliar pelos bairros da cidade.

Visando minimizar os impactos ambientais negativos causados pelas substâncias tóxicas presentes na composição dos resíduos sólidos, o aterro sustentável conta com um sistema de impermeabilização, que impede que os lixiviados infiltrem e contaminem o solo. Além de um sistema de drenagem e tratamento de lixiviados através da evaporação natural onde esses lixiviados poderão ser dispostos em cursos d'água em atendimento aos padrões de lançamentos estabelecidos pela legislação ambiental. Quanto ao biogás gerado, foi sugerido a sua utilização para a geração de energia elétrica, podendo ser revertido para a comunidade. Dessa forma, o aterro sustentável irá operar em conformidade com a legislação ambiental, evitando causar danos ao meio ambiente e contribuindo para melhoria da saúde pública da população caraubense.

Durante este trabalho, percebeu-se a importância da continuidade da pesquisa, sendo assim, é proposto para trabalhos futuros: a) plano de coleta seletiva para o município de Caraúbas; b) avaliação de áreas para implantação do aterro sustentável; c) monitoramento e avaliação dos impactos e riscos ambientais decorrentes do aterro sustentável; d) análise de viabilidade técnica e financeira do aterro sustentável para o município de Caraúbas/RN.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, B. S. **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos: uma abordagem estratégica e socioambiental**. 1 ed. Bainema, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E DE RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. ABRELPE: São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, RJ. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15849**. Resíduos sólidos urbanos – Aterros sanitários de pequeno porte – Diretrizes para localização, projeto, implantação, operação e encerramento. Rio de Janeiro. 2010. 24 p

BARBOSA, R. P.; IBRAHIN, F. I. D. **Resíduos sólidos: impactos, manejo e gestão ambiental**. 1 ed. São Paulo: Érica, 2014.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 404/2008**. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 12 de novembro de 2008

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. **Resolução CONAMA 430/2008**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 de maio de 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF.

BRASIL. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o

art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços. . Brasília, 15 jul. 2020.

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

BRONDANI, J. C. **Biodigestores e biogás: balanço energético, possibilidades de utilização e mitigação do efeito estufa**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2010

CÂMARA, M. Y. de F.; OLIVEIRA, E. A. de; CHIANCA, C. G. C. **Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos do município de Caraúbas – RN**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande, 2016.

CARARD, R. F. **Tratamento de lixo de aterro por ozonização fotocatalítica com TiO_2** . Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas, Campo Mourão, 2018.

CARVALHO, E. T. A. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de caso para o Município de Andrelândia –MG**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2015.

CASTILHOS JR, et al. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CAVALCANTE, C. F. D.; FERNANDES, A. C. A. **Estudo de concepção de melhorias, adequações e ampliação da gestão de resíduos sólidos na cidade de Caraúbas-RN**. 2018. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraúbas, 2018.

COLARES, B. A. **Diagnóstico socioambiental da área do lixão de Quixadá – CE**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Ceará. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Fortaleza, 2013.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). **Lixo municipal:** manual de gerenciamento integrado. 4 ed. São Paulo: CEMPRE, 2018.

CUNHA NETO, R. P. (Diretor). **Coleção Ambiental:** Protocolo de Quioto. Vol. 3. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2004

CORRÊA, B. R *et al.* ATERRO CONTROLADO EM PRESIDENTE PRUDENTE (SP). **Revista Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 07, n. 14, p. 203-221, dez. 2019.

COSTA, et al. **Diagnóstico da coleta seletiva do município de Caraúbas-RN e elaboração de diretrizes para sua melhoria.** VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande, 2016.

DALPAZ, R. **Avaliação energética do biogás com diferentes percentuais de metano na produção de energia térmica e elétrica.** (Dissertação) Programa de Pós-Graduação em Sistemas Ambientais Sustentáveis, da Universidade do Vale do Taquari – Univates. Lajeado: 2019

DUARTE, M. B. de C. P. **Os impactos socio ambientais decorrentes de lixões:** Estudo de caso do Sítio Gulandin – Limoeiro de Anadias/AL. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Organização do Espaço Geográfico. Curso de Geografia. Maceió, 2018.

Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN). **Metereologia - Climatologia:** Dados – Precipitação médias municipais. Precipitação. 2020. Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/climaRN/medias_historicas_municipios_RN.htm> Acesso em: 12 maio 2021.

FARIAS, E. M. **Resíduos sólidos urbanos:** Uma análise dos desafios de gestão e sustentabilidade no município de Caraúbas-RN. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Geografia). Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Mossoró, 2018.

FIGUEIREDO, N. J. V. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica:** Estudo de caso. Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Energia – EP/FEA/IEE/IF da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

FILHO, C. R. S.; SOLER, F. D. **Gestão de resíduos sólidos: o que diz a lei**. 4 ed. São Paulo: Trevisan Editora, 2019.

FILHO et al. **Percepção das condições socioambiental dos moradores do entorno do lixão da cidade de Caraúbas-RN**. Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade. João Pessoa, 2018

FREIRE, V. H. N. **Estimativa do potencial de produção de biogás em um aterro sanitário para aproveitamento energético**. (Dissertação). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2018.

GOMES, P. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009

HELLER, L. PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico**, 2020. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 08 mai. 2021

Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte – IDEMA. **Perfil do seu município: Caraúbas**. Natal: Estado do Rio Grande do Norte, 2008.

JUCÁ, et al. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guararapes: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

LINHARES, E. L. R.; FILHO, A. L. **Disposição final dos resíduos sólidos: um estudo de caso no alto oeste potiguar**. X Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Fortaleza: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2019.

LUCAS FILHO, A. **Gestão ambiental dos resíduos sólidos no Semiárido: estudo de caso dos municípios das estações de transbordo de Apodi e Caraúbas/RN**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós Graduação em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Pau dos Ferros, 2020.

MICROSOFT OFFICE 365 EXCEL®. **Editor de planilhas**. 2019. Disponível em: < <https://www.office.com/> > Acesso em: 23 de maio de 2020.

PHILIPPI JR, A.; ROMÉRO, M. de A.; BRUNA, G. C. **Curso de gestão ambiental**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2014.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (SEMARH). **Plano intermunicipal de resíduos sólidos da regionalização do Alto Oeste**. Natal: VERITAS, 2015.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS (SEMARH). **Relatório síntese: Plano estadual de gestão integrada de resíduos sólidos do Rio Grande do Norte – PEGIRS**. Natal, 2012.

SILVA, K. T. **Projeto de um aterro sanitário de pequeno porte**. Projeto de graduação do Curso de Engenharia Civil. Escola Politécnica – UFRJ: 2016.

SILVA FILHO, S. R. **Proposta de modelo de aterro sanitário simplificado para municípios de pequeno porte**. Monografia (Curso de Graduação de Engenharia Civil) Campus I – UFPB. Universidade Federal da Paraíba: 2017.

SOUZA, D. T. de. **Tratamento de lixiviado e lodo de fossa séptica usando geobag e filtro biológico: estudo em escala laboratorial** Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, S. A.; MARQUES, A. C. M; FERNANDES, A. C. A. **Desenvolvimento sustentável na cidade de Caraúbas: uma análise a partir do barômetro de sustentabilidade**. I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade. Campina Grande, 2019.

TERCEIRO, et al. **Avaliação da área de disposição final dos resíduos sólidos urbanos do município de Caraúbas – RN**. VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Campina Grande, 2016.

UFERSA. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. **Portaria UFERSA/CAMPUS CARAÚBAS nº 045/2019 de 06 de novembro de 2019**. Caraúbas, 2019.

APÊNDICE A – ROTEIRO DE ENTREVISTA PARA O PRESIDENTE DA ACRESEA

- 1) Como funciona a coleta dos materiais recicláveis na cidade?
- 2) Qual a frequência de realização da coleta?
- 3) Como é realizada a triagem dos materiais?
- 4) Qual a geração diária de materiais recicláveis?
- 5) Quais são os tipos de materiais coletados?
- 6) Qual o destino final dos materiais que são coletados?
- 7) O que a ACRESEA planeja implantar para o futuro a respeito da coleta seletiva de materiais recicláveis?

**APÊNDICE B – PROJEÇÃO POPULACIONAL DE CARAÚBAS – RN DE ACORDO
COM A VIDA ÚTIL DO ATERRO**

ANO	ARITMÉTICA	GEOMÉTRICA	DECRESCENTE	MÉDIA
2021	20628	20633	20644	20635
2022	20716	20724	20749	20730
2023	20803	20817	20856	20825
2024	20890	20909	20965	20922
2025	20978	21003	21076	21019
2026	21065	21096	21188	21116
2027	21152	21190	21302	21215
2028	21240	21285	21418	21314
2029	21327	21379	21537	21414
2030	21415	21475	21657	21515
2031	21502	21570	21779	21617
2032	21589	21666	21903	21719
2033	21677	21763	22029	21823
2034	21764	21860	22158	21927
2035	21851	21957	22288	22032
2036	21939	22055	22421	22138

**APÊNDICE C – PROJEÇÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CARAÚBAS DE
ACORDO COM A VIDA ÚTIL DO ATERRO**

ANO	POPULAÇÃO ESTIMADA (hab)	GERAÇÃO PER CAPITA (kg/hab.dia)	QTDE. DE RESÍDUOS POR ANO (kg/mês)	QTDE. DE RECICLADO S POR ANO (kg/mês)	QTDE. DE RESÍDUOS ENTERRADO S POR ANO (kg/mês)
2021	20635	0,146	90381,2	11233,6	79147,6
2022	20730	0,146	91068,9	11267,3	79801,6
2023	20825	0,147	91763,1	11301,1	80462,0
2024	20922	0,147	92463,8	11335,0	81128,8
2025	21019	0,148	93171,3	11369,0	81802,3
2026	21116	0,148	93885,4	11403,1	82482,3
2027	21215	0,149	94606,6	11437,3	83169,2
2028	21314	0,149	95334,6	11471,6	83862,9
2029	21414	0,150	96069,7	11506,1	84563,6
2030	21515	0,150	96811,8	11540,6	85271,3
2031	21617	0,150	97561,2	11575,2	85986,0
2032	21719	0,151	98318,0	11609,9	86708,1
2033	21823	0,151	99082,3	11644,7	87437,6
2034	21927	0,152	99854,2	11679,7	88174,5
2035	22032	0,152	100633,6	11714,7	88918,9
2036	22138	0,153	101420,9	11749,9	89671,0