

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA,
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA.**

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

GABRIELA CARVALHO SILVA

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GÁS METANO NO ATERRO SANITÁRIO
MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA- BA: Um estudo da sua geração e
viabilidade econômica.**

Vitória da Conquista
Fevereiro de 2024

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA,
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA.**

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GÁS METANO NO ATERRO SANITÁRIO
MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA- BA: Um estudo da sua geração e
viabilidade econômica.**

Gabriela Carvalho Silva

Trabalho de Conclusão de Curso
encaminhado para apreciação do
Colegiado do Curso de Engenharia
Ambiental do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia da
Bahia, Campus Vitória da Conquista
como requisito parcial para obtenção do
Título de Engenharia Ambiental.

Orientadora: Ms. Gleide Nascimento Azevedo

Vitória da Conquista

Fevereiro de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS DO IFBA, COM OS
DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

S586 Carvalho Silva, Gabriela

ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GÁS METANO NO ATERRO
SANITÁRIO MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA- BA: Um
estudo da sua geração e viabilidade econômica.: /
Gabriela Carvalho Silva; orientadora Gleide
Nascimento Azevedo -- Vitória da Conquista : IFBA,
2024.

63 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia
Ambiental) -- Instituto Federal da Bahia, 2024.

1. Aterro Sanitário. 2. Metano. 3. Energia. 4.
Biogás. I. Nascimento Azevedo, Gleide, orient. II.
TÍTULO.

CDD/CDU

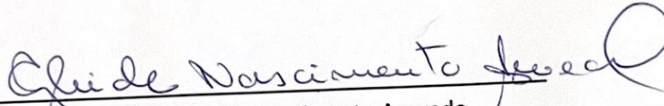
GABRIELA CARVALHO SILVA

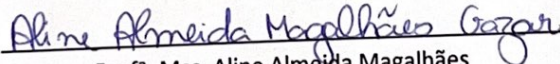
**ESTIMATIVA DA PRODUÇÃO DE GÁS METANO NO ATERRO
SANITÁRIO MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA -BA: UM
ESTUDO DA SUA GERAÇÃO E VIABILIDADE ECONÔMICA**

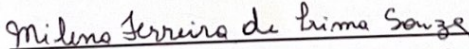
A presente Monografia, apresentada em sessão pública realizada em vinte e oito de fevereiro de 2024, foi avaliada como adequada para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, julgada e aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

Data da Aprovação: 28 de fevereiro de 2024

BANCA EXAMINADORA


Profª. Msc. Gleide Nascimento Azevedo
Orientadora – IFBA Campus Vitória da Conquista


Profª. Msc. Aline Almeida Magalhães
IFBA Campus Vitória da Conquista


Profª. Esp. Milena Ferreira de Lima Souza
IFBA Campus Vitória da Conquista

Vitória da Conquista, 28 de fevereiro de 2024

AGRADECIMENTOS

“Todos os sonhos estão dentro de alcance. Tudo que você tem de fazer é continuar se movendo em direção a eles”

Viola Davis

Mais uma etapa concluída. Agradeço primeiramente a Deus por ter me guiado com sabedoria durante essa jornada, iluminando meus caminhos e renovando as minhas esperanças.

À meus pais, Joelson e Tereza, e a minha irmã Clara por terem sido meu alicerce, meu sustento, meu motivo para acreditar na realização dos meus sonhos, vocês são minha maior fonte de inspiração, essa conquista é nossa!

Aos meus avós, Eliza e Valdenir por sempre demonstrarem ter tanto orgulho de mim.

Aos meus padrinhos, tios e primos muito obrigada por todo incentivo e apoio durante essa trajetória.

Agradeço aos grandes amigos que fiz durante essa caminhada na graduação, Emanuelle, Thaís, Giovana, Hugo, Lariane e Taína, nossos momentos ora de preocupações e agonia, ora de risadas e descontrações, fizeram todo o processo ser mais leve.

À meus amigos de vida Bruna, Jonathan e Letícia, vocês sempre acreditaram em mim! Obrigada por serem escuta. Obrigada por todas as palavras de carinho e conforto nos momentos que mais precisei.

À meu namorado Gianluca, você é como luz e calma. Obrigada por toda cumplicidade e suporte ao decorrer de todos esses anos, com certeza sua presença foi essencial para o fim desse percurso.

À toda equipe da SESEP de Limpeza Pública, pelo acolhimento, confiança e ensinamentos concedidos.

À professora Gleide Azevedo, pela parceria, dedicação e disponibilidade na orientação.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia por ter sido minha casa durante os últimos 5 anos, e a todos os professores do corpo docente de Engenharia Ambiental pelas oportunidades e conhecimentos compartilhados.

O percurso não foi fácil mas cheguei ao meu destino. Enfim, Engenheira!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano) em 2022.....	14
Figura 2: Participação das regiões na geração de RSU (%) em 2022.....	14
Figura 3 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos do Brasil.....	18
Figura 4: Mecanismos físico-químicos e microbiológicos ocorridos em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.....	26
Figura 5: Processo de degradação aeróbia.....	27
Figura 6: Esquema do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos.....	29
Figura 7 – Localização da cidade de Vitória da Conquista – Bahia.....	35
Figura 8 – Localização do Aterro Sanitário Municipal de Vitória da Conquista.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação (t/ano e %) - comparativo 2021 e 2022.....	21
Tabela 2 - Composição do lixo doméstico da cidade de Vitória da Conquista.....	23
Tabela 3: Cooperativas de Reciclagem em Vitória da Conquista.....	24
Tabela 4: Vantagens e Desvantagens do Aterro Sanitário.....	25
Tabela 5: Dados do biogás no Aterro Sanitário de Manaus.....	31
Tabela 6 – Fração Orgânica de Carbono (COD).....	38
Tabela 7 – Local de disposição e FCM.....	38
Tabela 8 – Projeção da população de Vitoria da Conquista (horizonte de 20 anos)	40
Tabela 9 – Resíduos Sólidos Urbanos levados ao Aterro Sanitário Municipal de Vitória da Conquista/BA.....	41
Tabela 10 – Gás metano gerado 2009-2029.....	43
Tabela 11 – Potencial Energético e Energia disponível do metano 2009-2029.....	45
Tabela 12 – Investimento de Implantação e Manutenção da Usina.....	46
Tabela 13 – Alternativas para a comercialização da energia produzida.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil e regiões - comparativo 2021 e 2022.....	15
Gráfico 2: Geração de RSU no Brasil per capita (kg/hab/dia) - comparativo 2021 e 2022.....	15
Gráfico 3: Geração total de RSU (t/dia) nas regiões e Brasil, 2010 a 2018.....	19
Gráfico 4: Geração per capita de RSU (kg/hab/dia) nas regiões e Brasil, 2010 a 2018.....	19
Gráfico 5 – Geração de metano no Aterro Sanitário 2009-2029.....	44
Gráfico 6 – Potencial Energético disponível do metano 2009-2029.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Projeção Aritmética.....	36
Equação 2 – População total.....	36
Equação 3 – Metano gerado.....	37
Equação 4 – Potencial de geração de metano.....	37
Equação 5 – Fração de Carbono orgânico degradável.....	37
Equação 6 – Carbono orgânico degradável.....	37
Equação 7 – Potencial energético.....	38
Equação 8 – Energia gerada.....	38
Equação 9 – Custo de Investimento para Operação e Manutenção.....	39
Equação 10 – Energia disponível.....	40
Equação 11 – Venda de energia.....	40

RESUMO

A deposição de resíduos sólidos em aterros sanitários é uma das principais formas de gerenciamento e destinação final desses materiais. Os aterros são projetados e operados de acordo com critérios técnicos e normas específicas, visando minimizar os impactos ambientais e riscos à saúde pública. Um dos principais desafios associados à deposição de resíduos em aterros sanitários é a geração de gases, especialmente o metano (CH₄). O metano é produzido durante o processo de decomposição anaeróbica dos resíduos orgânicos presentes no aterro. Esse gás é altamente potente em termos de efeito estufa e contribui significativamente para as mudanças climáticas. Para lidar com a geração de metano, os aterros sanitários implementam sistemas de coleta de gases. Tubos e poços são instalados nas áreas do aterro para capturar o metano e outros gases produzidos. Esses gases são então canalizados para um sistema de tratamento ou aproveitamento, como a queima controlada para gerar energia ou a conversão em biogás. O gás metano capturado em aterros sanitários pode ser direcionado para usinas de energia, onde é utilizado para acionar turbinas e gerar eletricidade. Essa eletricidade pode ser utilizada localmente ou injetada na rede elétrica, contribuindo para o suprimento de energia renovável. Dessa forma, com base nas pesquisas feitas e cálculos projetados, o Aterro Municipal de Vitória da Conquista – BA possui uma alta produção de gás metano anualmente; em seu primeiro ano de operação o aterro produziu cerca de 36.155.295,14 m³/ano, com uma potência energética de 5,5 MW, o que equivale abastecer 23 mil habitantes por ano e, em seu último ano de operação produzirá 8,49 MW que corresponde a 41.250 pessoas. Assim, a captação para o aproveitamento energético do gás metano proveniente do aterro se torna viável ambientalmente e socialmente, reduzindo impactos ambientais de emissões na atmosfera trazendo efeitos positivos que afetam a qualidade do meio ambiente e a saúde da população ao redor. Em relação a viabilidade financeira, o valor total adotado para o projeto que é de R\$ 84.372.750,00, para implementação e manutenção. Uma alternativa de receita calculada é a venda de energia elétrica produzida que, para os últimos anos de vida útil do aterro, foram estimados em R\$ 472.707.415 com tarifa à R\$ 1,05; R\$ 562.746.923 com tarifa à R\$ 1,25; R\$ 652.786.431 com a tarifa à R\$ 1,45; R\$ 742.825.938 com a tarifa à R\$ 1,65 e R\$ 832.865.446 com a tarifa à R\$ 1,85, gerando lucros de respectivamente R\$ 388.334.665; R\$ 478.374.173; R\$ 568.413.681; R\$ 658.453.188 e R\$ 748.492.696 para que a prefeitura de Vitória da Conquista, bem como demais prefeituras, venham adotar o sistema de captação de gás oriundo de aterro sanitário, trazendo um ótimo retorno financeiro. Este projeto cumpre o papel de estímulo para que o próximo aterro sanitário da cidade comece com uma captação desde o início da operação. Uma sugestão futura seria também um estudo da comercialização de crédito de carbono e certificados de redução de emissão para empresas parceiras.

Palavras-Chave: Aterro Sanitário; Metano; Energia.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	10
2.1 Objetivos específicos	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1 Resíduos Sólidos	11
3.2 Resíduos Sólidos Urbanos	12
3.3 Composição qualitativa e quantitativa dos Resíduos Sólidos Urbanos	16
3.4 Aterro Sanitário	24
3.4 Estágios da composição da matéria orgânica em Aterros Sanitários	25
3.4.1 Fase Aeróbia.....	26
3.4.2 Fase Anaeróbia	27
3.5 Formação e Composição do Biogás de Aterro Sanitário	29
3.6 Aproveitamento do Gás Metano no Território Nacional	30
4. METODOLOGIA	34
4.1 Localização da área de estudo.	34
4.2 Projeção da população	36
4.3 Geração de resíduos em Vitória da Conquista - Ba	37
4.4 Equação de Inventário do IPCC (1996)	37
4.5 Custo benefício no aproveitamento energético dos gases	38
4.5.1 Produção de energia elétrica	38
4.5.2 Custo de Investimento para Operação e Manutenção.....	39
4.5.3 Benefícios do Investimento.....	39
4.5.3.1 Venda de energia gerada.....	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1 Projeção da população em 20 anos.	40
5.2 Geração de resíduos em Vitória da Conquista – Ba 2009-2022	41
5.3 Estimativa da produção de Metano	41
5.4 Produção de Energia Elétrica	44
5.5 Viabilidade do aproveitamento do gás metano	46
5.6 Venda de energia elétrica	47
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
REFERÊNCIAS	50

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano populacional decorrente da industrialização e consumo elevado da sociedade, vem provocando ao longo dos anos um aumento na produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), gerando assim uma alta demanda, não só quantitativa mas também sobre a caracterização desses resíduos gerados. Seu avanço possui uma relação direta com a qualidade de vida humana e ambiental, pois estes resíduos são advindos das diversas atividades antrópicas existentes e, em muitas das vezes, são descartados de maneira incorreta, afetando assim o ecossistema.

O descarte inadequado de RSU pode trazer sérias consequências, como assoreamento de rios e canais devido ao lançamento de dejetos desses locais, contaminação dos lençóis freáticos afetando o uso das águas subterrâneas para fins de abastecimento humano, infiltração de lixiviados causando poluição do solo durante a decomposição e degradação da matéria orgânica, propagação de insetos, roedores e vetores de doenças e presença de coletores onde os resíduos sólidos são armazenados a céu aberto (JUNKES, 2002; ALCANTARA, 2010).

Existem muitas cidades que não possuem tratamento de resíduos adequados, e dessa forma o depositam em terrenos irregulares denominados lixões. A solução para evitar este processo está descrita na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2010. Essa legislação prevê que todos os municípios assumam aterros sanitários, pois esta é a forma de disposição final de rejeitos, unindo assim a coleta seletiva com o tratamento adequado.

Muito embora os aterros sanitários sejam os locais de destinação mais adequados para a disposição final dos resíduos, ainda apresentam altos índices de poluição atmosférica, produzindo assim o subproduto através da decomposição da matéria orgânica, chamado biogás, que possui características variáveis. O biogás é considerado um biocombustível que provém de matéria orgânica e por isso se torna uma fonte de energia renovável. Essa energia limpa produzida é composto por uma mistura de gases como metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), e em menores proporções o nitrogênio (N₂), hidrogênio (H₂), oxigênio (O₂) e gás sulfídrico (H₂S). Além disso, um outro subproduto frequente em todos os aterros sanitários é o chorume, líquido proveniente dos substratos aterrados, que, principalmente com a água da chuva, se infiltra no meio dos resíduos sólidos e é classificado como altamente poluidor. (MIRANDA, 2017).

Em escala global, existe uma estimativa de produção de biogás em aterros sanitários que tem um alcance total entre 20 e 60 milhões de toneladas de metano por ano. Dois terços dessas emissões são de países desenvolvidos, o que corresponde a 70% das emissões por onze países, sendo os principais: Estados Unidos, China, Canadá e Reino Unido (USEPA, 2008).

Além dos resíduos destinados aos aterros, aqueles que são descartados incorretamente também contribuem para as emissões de gases do efeito estufa (GEE). Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), no ano de 2022, apenas 60,5% dos resíduos sólidos urbanos coletados tiveram destinação adequada. Esse setor também é responsável por emissões dos GEE durante o seu tratamento e disposição, onde os gases principais são CH₄, N₂O e CO₂ (ABRELPE, 2022)

A PNRS visa tanto a destinação adequada dos resíduos sólidos quanto à recuperação energética das emissões derivadas deles, tendo como base tecnologias que tenham uma efetividade técnica e ambiental, também utilizando de ferramentas como a criação de metas para aproveitamento energético nas unidades de disposição final, aterros sanitários, revertendo assim a problemática. Esse desenvolvimento tecnológico colabora para produção de energia elétrica por fontes alternativas com redução de custo durante a execução do procedimento.

A quantidade e composição dos resíduos variam de acordo com a população, incluindo diferentes estratos sociais, a economia local e o grau de urbanização (PRANDINI, JARDIM e D'ALMEIDA, 1995). É essencial realizar a caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados por um município, pois isso é fundamental para estabelecer diretrizes de gestão adequadas, incluindo o dimensionamento de equipamentos de coleta, tratamento e destinação final, considerando a quantidade, qualidade e tendências futuras (LIMA, 2004).

De acordo a Secretaria de Serviços Públicos (SESEP) do município de Vitória da Conquista - Bahia, na década de 90 existia um Aterro Controlado na cidade, com uma única vala, porém após a célula ter atingido sua vida útil, não foi continuado o projeto e a área se tornou um lixão. Somente no ano de 2004 houve uma remediação na área e em 2009 um Aterro Sanitário foi implantado. Atualmente a cidade possui este Aterro Sanitário, com uma vida útil de 20 anos, contribuindo com impactos positivos para o meio ambiente e para a saúde pública da região. O biogás gerado através da degradação orgânica dos resíduos aterrados, nos dias de hoje não possuem nenhum tipo de reaproveitamento.

Portanto, faz-se necessário um estudo para estimar a quantidade de gás produzida que será captada, bem como sua viabilidade econômica, para que assim, o aterro consiga além de ser um local de destinação final de RSU, produzir sua própria energia por meio do metano produzido, contribuindo positivamente para o meio ambiente e saúde pública.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é estimar a produção de metano do Aterro Sanitário Municipal de Vitória da Conquista-Bahia, além de trazer um estudo acerca da sua viabilidade econômica, tendo como referência o reaproveitamento do gás gerado.

2.1 Objetivos específicos

- Fazer uma estimativa de quanto de resíduo já foi aterrado no Aterro Sanitário;
- Estimar a produção de metano do Aterro Sanitário dentro dos anos de operação e fechamento da área;
- Realizar um estudo acerca da viabilidade econômica do reaproveitamento do gás metano produzido no Aterro Sanitário para a cidade de Vitória da Conquista - BA.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Resíduos Sólidos

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define os resíduos sólidos na Norma Brasileira (NBR) 10.004 de 2004 como:

Resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Diante da necessidade de estabelecer uma integração entre o tratamento e disposição de resíduos sólidos no Brasil, criou-se a Lei N° 12.305/2010 que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS). A PNRS tem como objetivo principal estabelecer uma diretriz com medidas adotadas no âmbito federal, em parceria com as demais instituições públicas (Estados e Municípios) visando o gerenciamento dos resíduos sólidos, atribuindo responsabilidades aos geradores de resíduos, podendo ser ou não órgãos governamentais com devidas aplicações econômicas (BRASIL, 2010).

O conceito de resíduo sólido é definido no Capítulo II, Artigo 3°, inciso XVI da referida lei, como:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Considerando sua composição e suas determinadas características, os resíduos sólidos podem ser classificados de diferentes formas. A classificação é um fator essencial para a definição da estratégia mais viável de gerenciamento. De acordo com a PNRS, os resíduos são classificados quanto a sua origem e sua periculosidade. A NBR 10.004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente:

- Classe I ou perigosos: são função das características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública com a mortalidade, morbidade, ou adversidades ao meio ambiente devido à disposição inadequada;
- Classe II A ou não inertes: aqueles que não se enquadram nas classificações dos resíduos classe I ou de resíduos classe II B. Podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Classe II B ou inertes: quando amostrados representativamente, segundo a NBR 10.007 (ABNT, 2004) e submetidos a um cantata dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006 (ABNT, 2004), não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

3.2 Resíduos Sólidos Urbanos

Em 2022, o mundo testemunhou a retomada das atividades após a pandemia de COVID-19, que ocorreu com dinâmicas diferentes em comparação com 2021. No campo da limpeza urbana e do gerenciamento de resíduos, o relaxamento das medidas de distanciamento social e o fim das restrições em setores como comércio, alimentação, educação e entretenimento tiveram um impacto direto na produção e disposição de materiais. De acordo com os dados da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2022), desde meados de 2021, temos observado um retorno gradual às atividades em conformidade com os padrões pré-pandemia. Isso resultou em mudanças significativas nos hábitos de consumo e na gestão de materiais descartados pela população. Além disso, com o retorno ao trabalho e à educação presencial, a adoção de modelos híbridos se tornou mais comum, o que levou a uma reorganização dos locais onde os resíduos são gerados.

Além disso, 2022 foi um ano de grande importância em termos de regulamentação para o setor de gestão de resíduos sólidos no Brasil. Isso teve início com a publicação do Decreto nº 10.936/2022, que trouxe uma nova regulamentação para a Lei 12.305/2010, conhecida como Política Nacional de Resíduos Sólidos. Também foi estabelecido o Decreto nº 11.043/2022, que definiu os Planos de Resíduos Sólidos, ou seja, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Este último é o principal instrumento previsto na Lei e estabelece as estratégias, diretrizes e metas para o setor ao longo de 20 anos (ABRELPE, 2022).

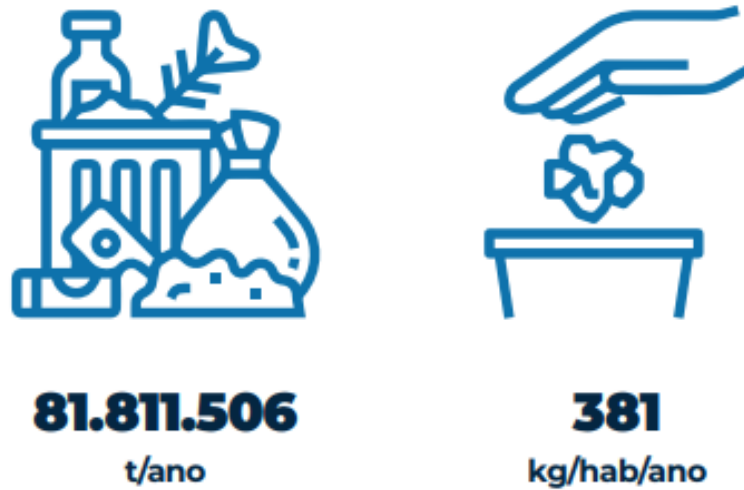
A PNRS em seu Capítulo I, Artigo 13, inciso I, alínea c, a referida lei classifica os RSU como sendo resíduos domiciliares - provenientes de atividades domésticas em residências urbanas e resíduos de limpeza urbana - oriundos da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana. O crescimento populacional e conseqüentemente aumento do consumo de bens, além do processo de industrialização, têm contribuído para uma maior geração de resíduos sólidos urbanos. O consumo de bens materiais tem aumentado significativamente nas últimas décadas e com a conseqüência mais resíduos têm sido produzidos (PARO; COSTA; COELHO, 2008).

Ainda o Ministério do Meio Ambiente - MMA (2010) afirma que o Brasil destaca-se no cenário internacional no rol de países que aplicam o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), um dos instrumentos do Protocolo de Quioto criados para ajudar os países desenvolvidos a alcançar suas metas de redução de emissões de carbono e incentivar financeiramente os países em desenvolvimento. Dos 168 projetos de MDL registrados em diversos setores no Brasil, 25 são realizados em aterros sanitários. Destes, apenas 7 foram registrados com intuito de geração de energia, constituindo-se uma oportunidade promissora para promover a sustentabilidade social e ambiental do desenvolvimento municipal no país, por meio do estímulo a uma gestão mais apropriada dos resíduos sólidos urbanos (MMA, 2010).

Segundo a ABRELPE (2020), o Brasil gerou aproximadamente 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2019, um aumento de 19% em relação a 2010. Dados do último relatório da ABRELPE (2021) afirmam que a produção de RSU do país em 2020 foi diretamente afetada pela pandemia da COVID-19, com a produção atingindo um total de cerca de 82,5 milhões de toneladas, ou 225.965 toneladas por dia. Com isso, cada brasileiro produz em média 1,07 kg de lixo por dia. Em comparação com o ano anterior, os resíduos aumentaram mais de 3 milhões de toneladas em 2020, o equivalente a mais de 10 quilos por habitante.

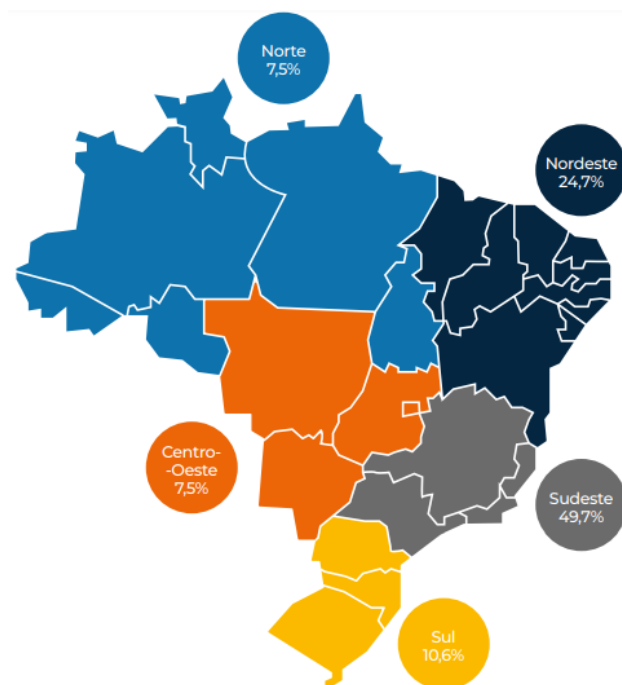
A seguir, dados mais recentes da ABRELPE referentes à geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil (2022): conforme a Figura 1, aproximadamente 81,8 milhões de toneladas, equivalendo a uma média de 224 mil toneladas diárias. Isso significa que cada brasileiro produziu, em média, 1,043 kg de resíduos por dia. Analisando os dados do ano passado, nota-se uma tendência de queda na quantidade de RSU gerados no país. Este declínio pode ser atribuído a diversas razões, como a retomada da geração de resíduos em empresas, escolas e escritórios, bem como a redução do uso de serviços de entrega em comparação ao período de isolamento social mais rigoroso, além de flutuações no poder de compra de parte da população.

Figura 1: Geração de RSU no Brasil (t/ano e kg/hab/ano) em 2022.



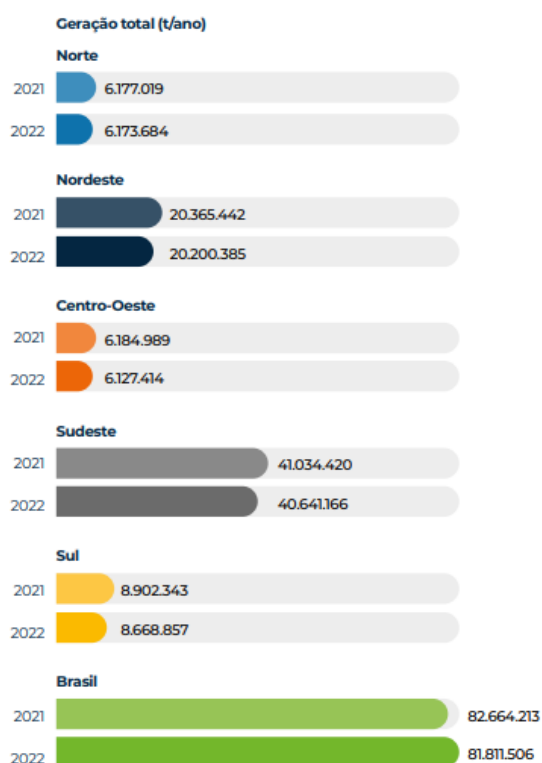
Fonte: Panorama Abrelpe, 2022.

Figura 2: Participação das regiões na geração de RSU (%) em 2022



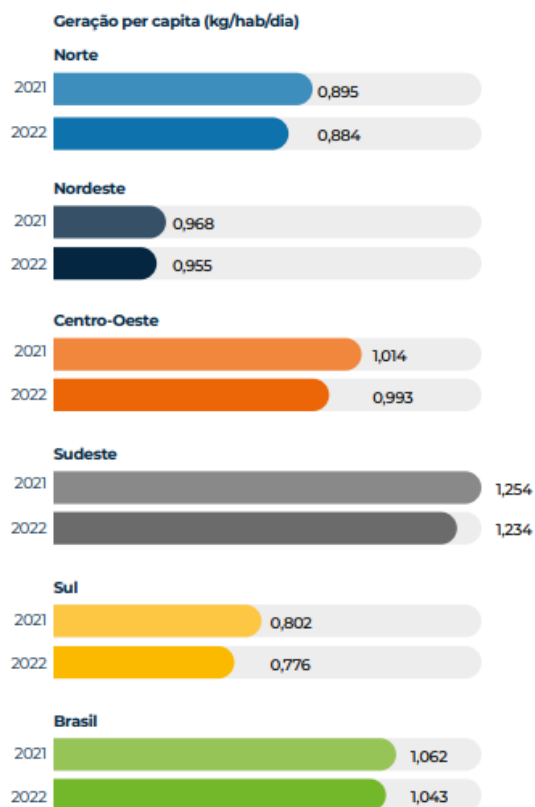
Fonte: Panorama Abrelpe, 2022.

Gráfico 1: Geração de RSU no Brasil e regiões - comparativo 2021 e 2022



Fonte: Panorama Abrelpe, 2022.

Gráfico 2: Geração de RSU no Brasil per capita (kg/hab/dia) - comparativo 2021 e 2022



Fonte: Panorama geração per capita (kg/hab/dia) Abrelpe, 2022.

Regionalmente e seguindo o padrão dos anos anteriores, a região que continua liderando em termos de geração de resíduos é a Sudeste conforme os gráficos 1 e 2, com aproximadamente 111 mil toneladas diárias, o que corresponde a cerca de 50% da produção total do país. A média de geração per capita nessa região é de 450 kg por ano. Enquanto isso, a região Centro-Oeste, de acordo a Figura 2, contribui com pouco mais de 7% do total gerado, equivalente a aproximadamente 6 milhões de toneladas por ano, a menor entre todas as regiões do país. Quando se analisa a geração diária de resíduos por habitante, as diferenças regionais são bastante notáveis. A região Sudeste, de acordo o gráfico 2, apresenta a maior média, com 1,234 kg por dia por habitante no ano de 2022, enquanto a região Sul se encontra na outra extremidade, com uma média de 0,776 kg por dia por habitante (ABRELPE, 2022).

Segundo uma pesquisa mais recente realizada pela Tribuna do Norte (2022), O Nordeste ocupa o 2º lugar no ranking de regiões com maior percentual de produção de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2022, com 24,7%, e fica atrás apenas da região Sudeste, que produziu 49,7% do total. Na sequência, aparecem as regiões Norte e Centro-Oeste, ambas com 7,5%, e a região Sul, que participa com 10,6% da produção. Além disso, das cinco regiões brasileiras, o Nordeste foi a região que apresentou o menor índice de coleta seletiva em seus municípios. Cerca de seis a cada dez toneladas de resíduos coletados vão para lixões e aterros controlados (ABRELPE, 2019).

Com base no levantamento de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) realizado pela Abrelpe em 2021, constatou-se que o estado da Bahia gerou aproximadamente 5.071.310 toneladas de RSU no ano de 2020. Deste total, 84,1% foram ganhos, no entanto, a maioria possuiu destinos ambientalmente inadequados. Segundo dados da Confederação Nacional dos Municípios (CNM, 2022), a situação relativa à produção e descarte de RSU é preocupante, uma vez que apenas 47 municípios (11,2%) do estado possuem aterros sanitários. É importante ressaltar que esta avaliação pode subestimar a realidade, pois depende das respostas das administrações municipais, tendo potencial confusão quanto ao conceito de aterro controlado.

3.3 Composição qualitativa e quantitativa dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil apresentam uma composição variada em termos de tipos, formas e dimensões. Essa diversidade torna os resíduos altamente heterogêneos, o que resulta em um desafio considerável no que diz respeito ao seu tratamento e manuseio (COUTINHO, 2020). As características e propriedades dos resíduos sólidos depositados em aterros, assim como sua composição qualitativa e quantitativa, são de difícil identificação. Isso ocorre devido à variação dessas propriedades em diferentes locais, à complexidade de obter amostras que sejam representativas e à falta de procedimentos de ensaio eficazes e, além disso, essas propriedades podem sofrer mudanças significativas ao longo do tempo. (MATTEI e ESCOSTEGUY, 2007)

Os desafios associados à gestão integrada de resíduos sólidos urbanos começam com a necessidade de identificar os componentes presentes no "lixo urbano" por meio da análise da

sua composição gravimétrica. Isso permite a identificação de potenciais categorias de separação na fonte de geração, especialmente ao implementar programas de coleta seletiva. Grippi (2001) comenta que o número de pessoas e administrações municipais que se esforçam para encontrar melhores soluções para as questões do lixo urbano está crescendo. Esses problemas são realmente novos se comparados com quatro décadas atrás e, infelizmente, não se resolvem sozinhos. As situações são bem diferentes de municípios para municípios, porém pode-se garantir que, diante dos recursos humanos e materiais existentes em cada administração pública, as dificuldades são sempre grandes.

Os resíduos sólidos podem ser categorizados em até 20 diferentes classes, de acordo com a classificação proposta pela FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente) em 2015. Essas categorias incluem: Restos de comida; Poda; Plástico rígido, filme e PET (Politereftalato de etileno); Papel fino e papelão; Tetra pak; Ferro, alumínio e outros metais; Vidro; Material inerte Madeira; Borracha; Tecido; Couro; Contaminantes biológicos e químicos; Eletrônicos; Rejeitos diversos. Entretanto, a NBR 10.007, que é a norma brasileira que estabelece os procedimentos para a caracterização de resíduos sólidos urbanos, não especifica quais categorias devem ser consideradas para a caracterização física dos resíduos sólidos urbanos. Isso deixa espaço para que cada localidade determine quais categorias são pertinentes de acordo com o propósito do estudo, o que pode tornar a comparação temporal e espacial mais desafiadora. (KIM, 2019)

No país, diversos estudos visam continuamente determinar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domésticos. Até o momento, as categorias mais relevantes consideradas para essa determinação em programas de gestão integrada de resíduos sólidos de origem domiciliar no espaço urbano incluem matéria orgânica putrescível, papel/papelão, plástico, vidro e metais em geral. Esses resíduos podem ser categorizados como potencialmente recicláveis, rejeitos e compostáveis. (CARDOSO *et al.*, 2017)

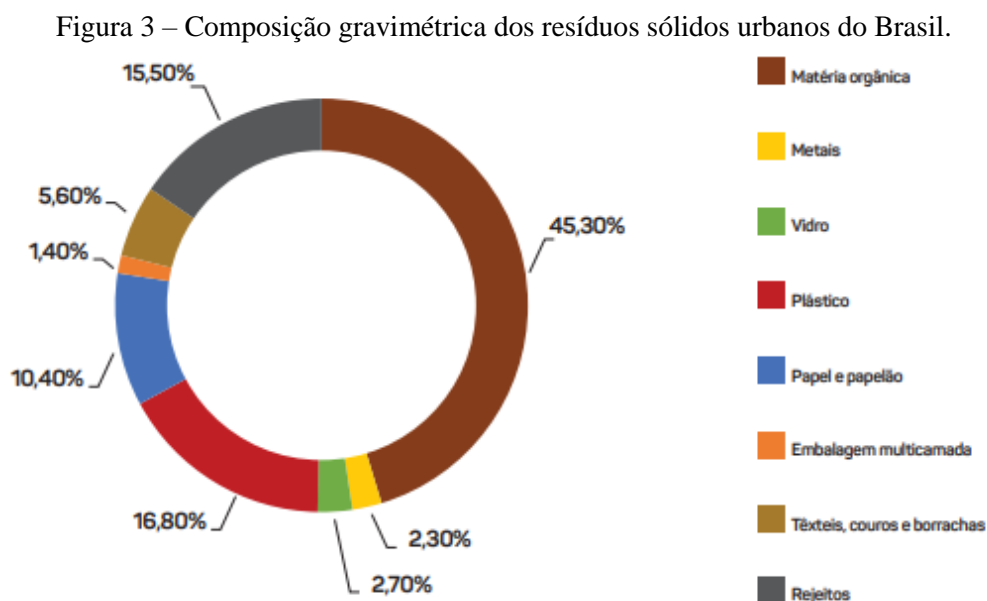
De acordo com Consoni *et al.* (2000), é fundamental que o gerenciamento integrado comece com um entendimento completo dos resíduos produzidos pelo município. Isso se deve ao fato de que vários fatores exercem influência sobre a composição desses resíduos, incluindo sazonalidade, condições climáticas, particularidades regionais, variações temporais e possíveis flutuações na economia. Portanto, é necessário realizar amostragens de forma sistemática para obter informações precisas sobre esses resíduos.

Segundo Cardoso *et al.* (2017), a identificação e caracterização dos componentes presentes em cada localidade são elementos cruciais para a determinação da alternativa tecnológica mais apropriada, abrangendo desde a fase de coleta e transporte até o reaproveitamento, reciclagem e a destinação final dos resíduos em aterros sanitários.

A fim de atender ao disposto na Lei nº 12.305/2010 quanto à terminologia a ser utilizada na componente resíduos sólidos urbanos, o Sistema Nacional de Informações sobre os Resíduos Sólidos – SNIS – em suas definições registradas, destacando os conceitos delimitados para resíduos e rejeitos, os quais são, respectivamente, aqueles gerados em âmbito domiciliar,

comércio e serviços de pequeno porte e na limpeza urbana (varrição, limpeza de logradouros e vias públicas), divididos entre recicláveis (secos e orgânicos); e resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

No Brasil, a maioria dos resíduos gerados consiste em material orgânico. No entanto, nos últimos anos, houve um aumento significativo na quantidade de produtos descartáveis, principalmente vários tipos de plásticos. A popularidade desses produtos se deve à sua conveniência no manuseio, mas o consumo excessivo e o descarte inadequado desses resíduos representam atualmente um dos principais desafios ambientais em escala global. A disposição inadequada desses materiais faz com que sejam transportados pelo sistema de drenagem urbana, resultando em poluição hídrica. (GIACCOM, 2018). A Figura 3 apresenta a composição gravimétrica dos RSU no Brasil:



Fonte: ABRELPE, 2020.

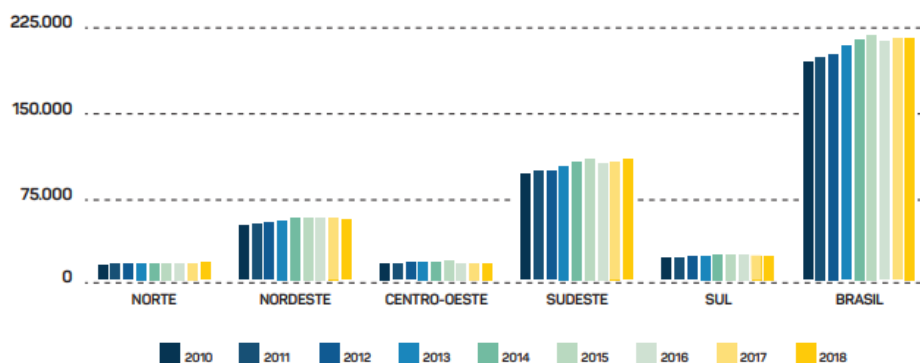
De acordo com os dados disponíveis na plataforma do Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos - SINIR (2020), através da Figura 3, fica evidente que a fração orgânica, que inclui sobras e perdas de alimentos, resíduos verdes e madeira, é a componente predominante nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), totalizando 45,3%. Os resíduos recicláveis secos correspondem a 33,6% do total e são compostos principalmente por plásticos (16,8%), papel e papelão (10,4%), vidros (2,7%), metais (2,3%) e embalagens multicamadas (1,4%). Outros resíduos representam 21,1%, incluindo resíduos têxteis, couros e borrachas, que totalizam 5,6%, e rejeitos, que são compostos principalmente por resíduos sanitários, somam 15,5% do total. Essa distribuição dos resíduos fornece informações importantes para o planejamento e gestão eficaz do manejo de resíduos no Brasil.

A ordem de prioridade na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos estabelecida pelo art. 9º da PNRS apresenta a não geração como ação prioritária a ser adotada, seguida da redução

(BRASIL, 2010). Entretanto, tais práticas ainda se mostram incipientes no Brasil, não havendo indicadores que demonstrem o volume de material que deixou de ser descartado ou que foi reduzido. É viável estimar a quantidade de resíduos gerados ao considerar a massa coletada por serviços como varrição de vias públicas, limpeza de sistemas de drenagem, capina e poda, juntamente com a coleta domiciliar. A partir desses dados, é possível calcular a massa total que seria coletada caso os serviços cobrissem toda a área geográfica do município e, conseqüentemente, todos os seus habitantes. A maior parte da população atendida por esses serviços está localizada nas áreas urbanas, onde ocorre a limpeza pública e a coleta regular dos resíduos domiciliares. (Portal Sinir, 2022)

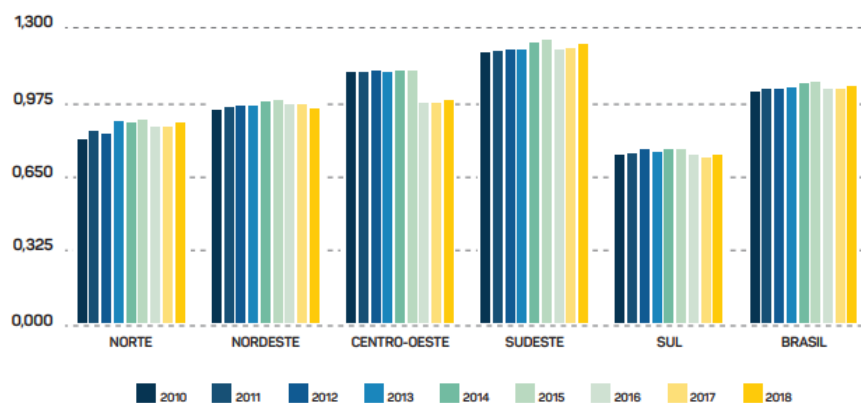
A análise do Gráfico 3 revela que, no período entre 2010 e 2018, houve um aumento na geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em todas as regiões do Brasil. De acordo com o Panorama da Abrelpe de 2018/2019, a geração total de RSU no país atingiu 217 mil toneladas por dia, o que equivale a 79 milhões de toneladas por ano, representando um aumento de quase 1% em comparação ao ano anterior. Durante o mesmo período, a população brasileira cresceu 0,40%, enquanto a geração per capita de RSU aumentou 0,39%, alcançando a média de 1,039 quilogramas por habitante por dia, conforme demonstrado no Gráfico 4.

Gráfico 3: Geração total de RSU (t/dia) nas regiões e Brasil, 2010 a 2018.



Fonte: Portal SINIR, 2022.

Gráfico 4: Geração per capita de RSU (kg/hab/dia) nas regiões e Brasil, 2010 a 2018.



Fonte: Portal SINIR, 2022.

Observando-se o Gráfico 3, a contribuição de cada uma das regiões brasileiras na massa total de RSU gerado entre os anos de 2010 e 2018 (ABRELPE 2019), nota-se que as regiões Sudeste e Nordeste foram aquelas que mais contribuíram, respondendo, respectivamente, por 50% e 25% da geração total do país em 2018.

Os dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) para o ano de 2022 indicam que na região Nordeste do Brasil, gerou 24,7% de RSU equivalente a 20.200.385 toneladas/ano. Com relação à coleta de RSU, em 2022 o país registrou um total de 76,1 milhões de toneladas coletadas, levando a uma cobertura de coleta de 93%. Importante ressaltar que, a região ainda não alcança o índice de cobertura de coleta superior à média nacional, pois ainda apresentam índices que se aproximam de 83%, deixando boa parte da população sem acesso aos serviços de coleta regular de RSU nessas regiões.

Quanto à coleta seletiva de resíduos sólidos da região Nordeste, apenas 97 dos municípios participantes da pesquisa informaram oferecer esse serviço, o que representa cerca de 10% do total de municípios envolvidos na pesquisa. Se considerarmos a coleta seletiva porta a porta, ou seja, aquela realizada com a coleta direta nas residências, com o apoio da Prefeitura ou dos catadores, esse percentual é ainda menor, chegando a aproximadamente 7,8% dos municípios participantes. Esses números indicam a necessidade de expandir os serviços de coleta domiciliar de resíduos sólidos e a coleta seletiva na região, a fim de garantir o acesso adequado à gestão de resíduos e promover a sustentabilidade ambiental na região. (UFPE, 2018)

Conforme os dados da ABRELPE 2022, representados na Tabela 1, é evidente que a região Nordeste apresenta uma quantidade de resíduos encaminhados para aterros sanitários e controlados. No entanto, é preocupante notar que a região ainda lida com volumes substanciais de resíduos sólidos sendo despejados em lixões, considerados uma disposição inadequada.

Tabela 1: Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação (t/ano e %) - comparativo 2021 e 2022.

2021				
Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.816.174	35,9%	3.242.805	64,1%
Nordeste	6.128.776	36,7%	10.570.886	63,3%
Centro-Oeste	2.501.581	42,8%	3.343.234	57,2%
Sudeste	29.754.601	73,8%	10.563.286	26,2%
Sul	6.097.606	71,2%	2.466.448	28,8%
Brasil	46.298.738	60,5%	30.186.659	39,5%

2022				
Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.870.470	36,6%	3.240.105	63,4%
Nordeste	6.214.527	37,2%	10.491.191	62,8%
Centro-Oeste	2.532.762	43,5%	3.288.281	56,5%
Sudeste	29.773.638	74,3%	10.298.552	25,7%
Sul	6.020.694	71,6%	2.388.097	28,4%
Brasil	46.412.091	61,0%	29.706.226	39,0%

Fonte: ABRELPE (2022).

Na Região Nordeste, especificamente na Região Metropolitana de Recife (RMR), a maior região metropolitana do Norte-Nordeste, um estudo realizado por Tavares (2018) abordou a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em oito dos quinze municípios que compõem a RMR. O objetivo desse estudo foi obter um diagnóstico mais preciso do sistema de limpeza urbana na região. Os resultados indicaram que a geração per capita dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) na RMR tem uma média de 0,91 kg por habitante por dia. Para determinar a composição gravimétrica dos resíduos, a técnica de quarteramento foi utilizada, conforme estabelecido no processo de amostragem de resíduos sólidos na NBR 10.007, uma norma brasileira.

No cenário atual, a disposição final dos RSU na RMR é considerada satisfatória, uma vez que 92,69% dos resíduos coletados são destinados a aterros sanitários. Os resultados do estudo também revelaram uma redução na quantidade de matéria orgânica em relação aos valores apresentados no Plano Metropolitano dos Resíduos Sólidos de Recife (2011). Essa redução foi de 54,2% para 38,4% e se deve ao aumento no consumo de materiais com embalagens recicláveis pela população de baixa renda. (TAVARES, 2018)

O estado da Bahia, localizado na região Nordeste do Brasil, abrange uma área territorial um pouco superior a 564 mil quilômetros quadrados e possui uma população de quase 15 milhões de habitantes, distribuídos em 417 municípios (IBGE, 2020). Conforme o levantamento realizado pela Abrelpe (2020) sobre a gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU), a Bahia registrou a geração de 5.071.310 toneladas de RSU no ano de 2019. No entanto, 84,1%

desses resíduos foram coletados, embora a maioria não tenha recebido um destino final adequado.

Conforme o estudo de Regionalização da Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado da Bahia (2014) os resíduos são dispostos nos municípios de forma aleatória, a granel, sem uma segregação prévia na origem, nas vias e logradouros públicos, contribuindo com a formação de “ponto de lixo” devido à fragilidade de ações de educação ambiental e de fiscalização que, por lei, compete ao Poder Público municipal. A disposição final é muitas vezes de forma irregular em áreas de “bota-fora”, como terrenos baldios, áreas de erosão ou reutilizado em nivelamento de pavimentação e de terrenos.

Vitória da Conquista, situada no interior e sudoeste do estado da Bahia, é um município brasileiro que de acordo com o Censo 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, a cidade possui uma população de 370.868 habitantes. Esses números a colocam como a terceira maior cidade do estado, ficando atrás apenas de Salvador e Feira de Santana, e como a quinta maior do interior do Nordeste. Vitória da Conquista faz parte das trinta cidades que compõem a Região Imediata de Vitória da Conquista, que, por sua vez, é uma das cinco regiões imediatas que integram a Região Intermediária de Vitória da Conquista (IBGE, 2022).

A disposição final dos resíduos sólidos em Vitória da Conquista passou por uma significativa mudança a partir de 2009, quando o município começou a utilizar o Aterro Sanitário, porque, anteriormente, por um longo período, a disposição dos resíduos era realizada no lixão ou vazadouro, o que resultava em sérios problemas ambientais e de saúde pública para a população (LEME *et al*, 2014). Em 2004, um importante marco se deu com o início do projeto de erradicação do lixão, com o apoio financeiro do Governo Federal por meio da Fundação Nacional de Saúde (FUNASA); a construção do aterro sanitário foi uma resposta às demandas da população, que expressou essa necessidade nas plenárias do Orçamento Participativo, conforme relatado por (MEIRA, 2011).

De acordo a PMVC 2022, o aterro sanitário de Vitória da Conquista recebe aproximadamente 223 toneladas de resíduos diariamente. Esses resíduos provêm de várias fontes, incluindo a coleta domiciliar, a coleta de resíduos da zona rural e também de veículos particulares, além das empresas cujos resíduos excedem a quantidade coletada pelo serviço de limpeza urbana da cidade. Um estudo realizado no município nos anos 2000, que é utilizado como parâmetro até os dias atuais, para a elaboração de um Plano de Saneamento Ambiental, contemplando resíduos sólidos, caracterizou a cidade em relação a sua composição gravimétrica da seguinte forma, conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Composição do lixo doméstico da cidade de Vitória da Conquista

Tipo de lixo	%
Matéria orgânica	67,35
Plástico	13,17
Papel e papelão	9,66
Outros	4,43
Metal	2,91
Vidro	2,41
Total	100,00

Fonte: Estudo de Plano de Saneamento, 2000.

Os RSU possuem um potencial muito grande para a reciclagem, e contém em sua maioria uma composição maior de material orgânica, além de materiais que possuem mercado comprador, tais como: papel e papelão, metais ferrosos e não ferrosos, plásticos e vidros. Dessa forma, seguindo dados da Tabela 2, percebe-se que a maior quantidade de resíduos sólidos produzidos e levados para o aterro é de matéria orgânica, compreendendo 67,35%.

A erradicação do lixão em Vitória da Conquista trouxe consigo um fator positivo adicional: a criação da Cooperativa de Reciclagem Recicla Conquista. Essa iniciativa representa um avanço significativo no gerenciamento de resíduos da cidade, contribuindo para a reciclagem e a redução do impacto ambiental, além de oferecer oportunidades de emprego e renda para a comunidade local (PMVC, 2021). A Cooperativa de Reciclagem Recicla Conquista concentra sua coleta principalmente em garrafas PET, plásticos, vidros, metais e papelão. Esses materiais são posteriormente comercializados com indústrias de transformação, tanto dentro do município quanto em outros locais dentro e fora do estado. Em média, a cooperativa coleta cerca de 60 toneladas de materiais recicláveis por mês, abrangendo diversos tipos de resíduos. (LEME *et al*, 2014)

O Projeto Mãos que Reciclam foi criado pela 2ª Regional da Defensoria Pública do Estado da Bahia – DPE/BA, em 2016, e auxiliou a criação da Associação de Coletores de Resíduos Sólidos Recicláveis – ACRES, em Vitória da Conquista. A DPE/BA também apoia e orienta os catadores autônomos, atualmente, estima-se que mais de 600 catadores de materiais recicláveis fazem parte da associação (BAHIA, 2022).

Tabela 3: Cooperativas de Reciclagem em Vitória da Conquista

Cooperativa/Associação	Quantidade de Cooperados/Associados	Total Coletado em 2021 (Unid. Tonelada)
Recicla Conquista	32	527,00
Associação de Coletores de Resíduos Sólidos Recicláveis – ACRES (ligado ao projeto Mãos que Reciclam)	518	Não há estimativa do quantitativo coletado pela ACRES.

Fonte: BAHIA (2022).

3.4 Aterro Sanitário

De acordo com a norma da NBR 8.419/1983, o aterro sanitário é considerado um local utilizado para a disposição dos resíduos sólidos no solo, particularmente lixo domiciliar, com o propósito de isolar todo tipo de ação que possa poluir o meio ambiente.

O aterro sanitário é considerado a alternativa mais vantajosa para lidar com o descarte de resíduos sólidos urbanos, devido à redução dos impactos negativos causados por esse processo. Essa opção utiliza critérios de engenharia e normas operacionais específicas, com o objetivo de evitar danos à saúde pública e minimizar os impactos ambientais. Os resíduos são depositados sobre uma camada de material impermeável, que protege o solo, e são adotadas medidas como drenagem de gases e líquidos resultantes da decomposição dos resíduos (conhecido como chorume) (BARCELOS, 2009).

Com a lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico entrando em vigor, objetiva-se eliminar totalmente os vazadouros a céu aberto e os aterros controlados em todo o país até o ano de 2024, fazendo que cada município tenha um sistema de disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, com isso o aterro sanitário torna-se uma das opções.

Neste sentido,

O aterro busca métodos de engenharia para alocar na menor área possível e reduzir ao máximo esses resíduos, além de possuir uma boa relação custo versus benefício e se adaptar aos diferentes tipos de comunidades. Esta disposição de materiais ocasiona diversas reações químicas e biológicas, fazendo dos aterros sanitários reatores dinâmicos, que resulta em emissão de biogás, resíduos mineralizados e efluentes líquidos (lixiviados) (CONDE *et al.*, 2014).

O despejo, compactação e cobertura dos resíduos são controlados para reduzir odores desagradáveis, prevenir a proliferação de insetos e roedores. A compactação tem o propósito de reduzir a área necessária para o depósito de resíduos, prolongando assim a vida útil do

aterro e garantindo a estabilidade do terreno. Além disso, é importante ressaltar que o aterro sanitário deve ser instalado a uma distância mínima de 400 metros de cursos de água, conforme recomendado pela norma

A norma NBR 8419 (ABNT, 1992) define aterro sanitário como:

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

Ainda segundo a norma NBR 8419 as condições específicas que se deve ter para um projeto de construção de aterro sanitário são:

- Memorial descritivo;
- Memorial técnico;
- Apresentação das estimativas de custo e cronograma;
- Apresentação dos desenhos.

Na tabela 4, são apresentadas algumas vantagens e desvantagens do aterro sanitário.

Tabela 4: Vantagens e Desvantagens do Aterro Sanitário

Vantagens	Desvantagens
Custo de investimento muito menor que o requerido se comparado as formas de tratamento de resíduos	Não trata os resíduos, constituindo-se numa forma de armazenamento no solo
Custo de operação muito menor que o requerido pelas instalações de tratamento de resíduos	Requer áreas cada vez maiores
Método completo, pois não apresenta rejeitos ou refugos a serem tratados em outras instalações	A operação sofre ação das condições climáticas
Simplicidade operacional	Apresenta risco de contaminação do solo e da água subterrânea, quando não for bem construído e operado

Fonte: Fundação Nacional de Saúde (FUNASA, 2010), adaptado (2023)

3.4 Estágios da decomposição da matéria orgânica em Aterros Sanitários

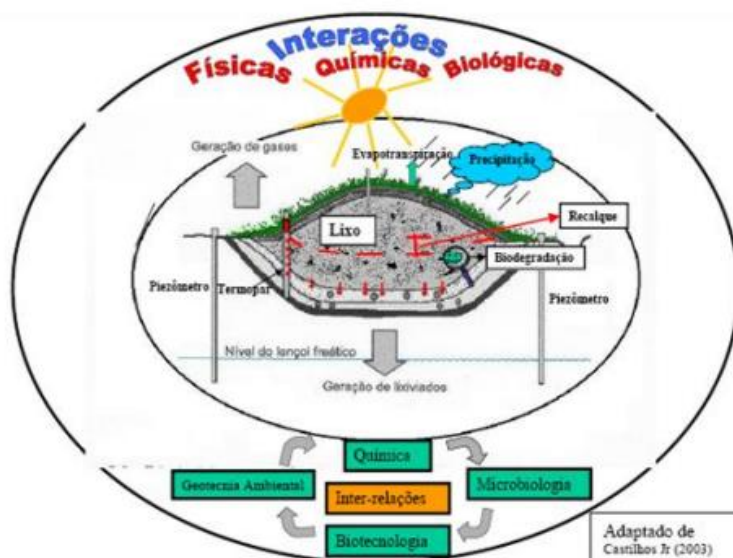
Os resíduos sólidos dispostos em um aterro sanitário apresentam uma composição notavelmente variada e passam por estabilização por meio do processo de degradação biológica. A desintegração é um fenômeno influenciado por diversos elementos, tais como a quantidade de resíduos suscetíveis à biodegradação, as condições ambientais (tanto internas quanto externas), o modo de operação do aterro e a presença de microorganismos que colaboram para facilitar o processo de decomposição. (CUNHA, 2009)

A decomposição em aterros sanitários tem início imediatamente após a disposição dos resíduos, sendo desencadeada por processos químicos e bacteriológicos. Inicialmente, ocorre em condições aeróbicas devido à presença de oxigênio. Em seguida, os detritos são cobertos, o que impede ou reduz consideravelmente o influxo de ar, dando lugar às reações bioquímicas predominantes, conhecidas como anaeróbicas (BARLAZ *et al.*, 1989).

Segundo Gimenez (2016), é possível identificar diversas maneiras de categorizar os processos de biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) ao longo do tempo. A literatura apresenta diferentes denominações e quantidades de fases, variando de acordo com o nível de detalhamento e a abordagem utilizada. Portanto, a biodegradação dos RSU pode ser segmentada em quatro fases: aeróbia, anaeróbia não metanogênica ou ácida, anaeróbia metanogênica não estabilizada e anaeróbia metanogênica estabilizada.

A degradação dos resíduos sólidos urbanos é caracterizada por mecanismos físico-químicos e biológicos que ocorrem na presença de água, tanto na presença quanto na ausência de oxigênio. A água presente na massa de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), proveniente de precipitações ou da própria umidade natural do resíduo, atua como um catalisador e desempenha um papel crucial no processo de degradação. Os microrganismos envolvidos nesse processo são predominantemente heterótrofos, utilizando substratos orgânicos para suas demandas energéticas. Os metabolismos predominantes incluem o aeróbio e o anaeróbio, sendo condicionados à presença ou ausência de oxigênio livre (CUNHA, 2009).

Figura 4: Mecanismos físico-químicos e microbiológicos ocorridos em aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.



Fonte: CASTILHOS, 2002

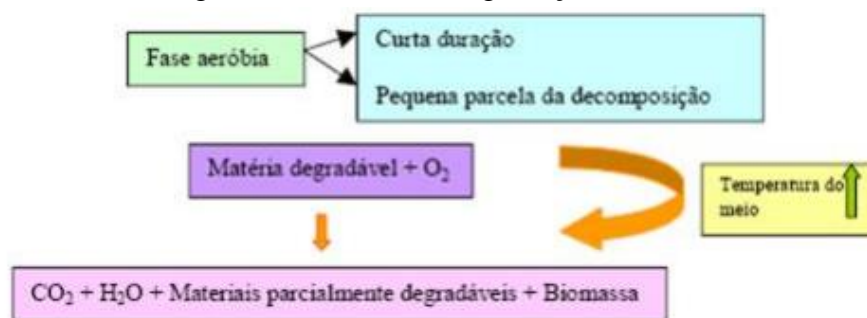
3.4.1 Fase Aeróbia

A etapa inicial é predominantemente aeróbia e geralmente de curta duração, variando de algumas horas a uma semana, devido ao baixo teor de oxigênio livre nos resíduos

recentemente depositados. O oxigênio (O₂) e o nitrogênio (N₂) presentes nos resíduos recém-dispostos são consumidos, resultando na produção de dióxido de carbono (CO₂), água e calor. A temperatura, por conseguinte, aumenta, atingindo valores próximos a 60°C. Nessa fase, ocorre a degradação de aproximadamente 5 a 10% da matéria suscetível à decomposição (GIMENEZ, 2016).

A decomposição aeróbia dos resíduos abrange uma parcela menor do tempo de vida do aterro e, conseqüentemente, é relativamente menos significativa em comparação com a decomposição anaeróbia (ZACHAROF, 2004). Os principais microrganismos envolvidos no processo aeróbio incluem bactérias fotossintéticas, leveduras e fungos (CASTILHOS, 2003). A decomposição da fração orgânica por meio da aerobiose é um processo rápido, resultando principalmente na produção de dióxido de carbono e água, além de sais minerais (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Figura 5: Processo de degradação aeróbia



Fonte: MONTEIRO, 2003.

3.4.2 Fase Anaeróbia

No decorrer do processo de decomposição nos aterros, a matéria orgânica presente nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) passa por uma rota fermentativa conhecida como digestão/degradação anaeróbia (GIMENEZ, 2016). Essa rota é composta por uma sequência de processos metabólicos que demandam a presença mínima de dois tipos de micro-organismos: as bactérias acidogênicas e os micro-organismos metanogênicos (CHERNICHARO, 2007).

De acordo Santos (2016), embora geralmente simplificada em dois processos (acidogênese e metanogênese), a digestão anaeróbia pode ser subdividida em diversas rotas metabólicas, envolvendo distintos micro-organismos com diferentes comportamentos fisiológicos. Essas rotas incluem a hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese, que serão descritas a seguir:

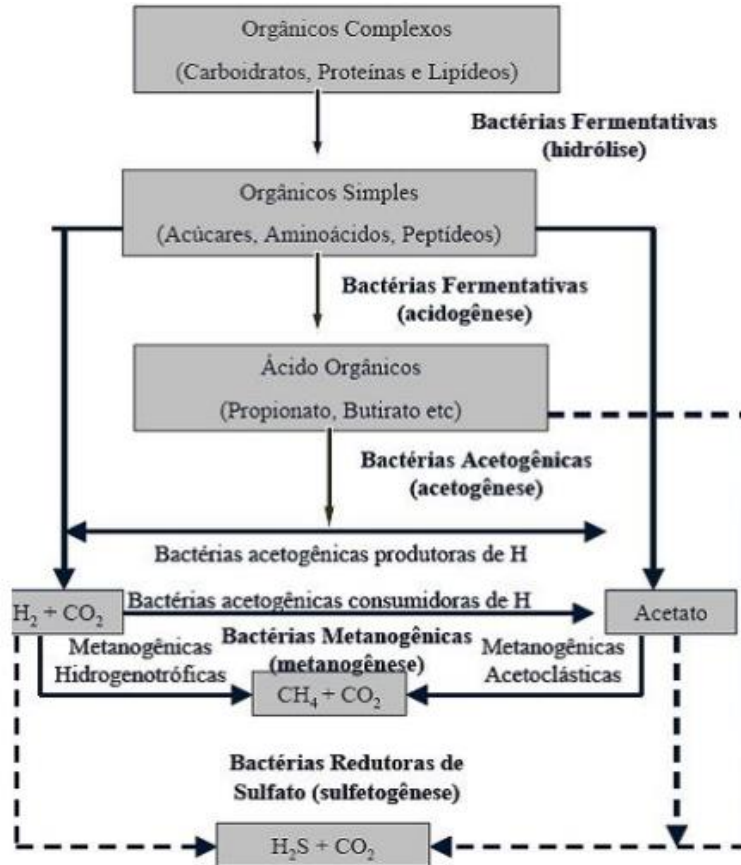
- a) Hidrólise: Durante a hidrólise, compostos orgânicos complexos (como carboidratos, proteínas e lipídeos), que não são facilmente absorvíveis pelos organismos, são desintegrados em moléculas menores pela ação de enzimas liberadas por bactérias

fermentativas hidrolíticas. O tempo necessário para esse processo está relacionado a fatores como a temperatura do reator, o tempo de residência do substrato e sua composição, o pH do meio e a concentração dos produtos resultantes da hidrólise (CHERNICHARO, 2007).

- b) Acidogênese: Na fase subsequente, acidogênese, os produtos solúveis resultantes da hidrólise servem como substrato, sendo metabolizados no interior de bactérias fermentativas, convertendo-se em compostos ainda mais simples. Chernicharo (2007) destaca que essa etapa pode ser limitante para a degradação global caso o substrato a ser degradado não seja facilmente hidrolisável.
- c) Acetogênese: Na terceira etapa, as bactérias acetogênicas produzem hidrogênio, dióxido de carbono e acetato por meio da oxidação dos produtos da fase anterior (ácidos orgânicos), gerando um substrato ideal para a metanogênese; em uma perspectiva industrial, define a digestão anaeróbia como uma rota bioquímica de conversão energética da biomassa, utilizando processos biológicos e químicos, que oferece as condições mais adequadas para a geração de energia elétrica a partir do biogás. (CHERNICHARO, 2007).
- d) Metanogênese: é uma etapa realizada pelos micro-organismos metanogênicos, classificados atualmente como Archaea, e diferenciados molecularmente das bactérias. Dado que a metanogênese utiliza como substrato os produtos provenientes de todas as etapas anteriores de fermentação, qualquer inibição do metabolismo dos micro-organismos pode causar um desequilíbrio na quantidade de bactérias metanogênicas e outras, impactando ou interrompendo a geração de biogás. (CHERNICHARO, 2007).
- e) Sulfetogênese: A presença desta fase depende da existência significativa de sulfatos e das condições operacionais do reator, sendo um processo no qual compostos à base de enxofre são utilizados como aceitadores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos (CHERNICHARO, 2007). O produto final da sulfetogênese é o sulfeto de hidrogênio (ou gás sulfídrico), que apresenta riscos de toxicidade para o meio ambiente e para os seres humanos, além de causar problemas de corrosividade em estruturas metálicas.

O diagrama da Figura 6 ilustra de forma simplificada o processo de degradação anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos. Os principais gases resultantes da decomposição anaeróbia dos componentes orgânicos são o metano e o dióxido de carbono (CUNHA, 2009).

Figura 6: Esquema do processo de decomposição anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: CHERNICHARO, 1997 – Adaptado

3.5 Formação e Composição do Biogás de Aterro Sanitário

Biogás é o produto da decomposição natural de qualquer substância orgânica, como dejetos de animais, resíduos vegetais e também de resíduo residencial e industrial. (TEIXEIRA, 2005).

Alves Filho (2004) afirma que a proporção de gás na mistura depende, entre outros parâmetros, do tipo de material degradado, sendo o metano combustível empregado para movimentar motores e geradores de energia elétrica, que queimado por combustão completa minimiza a poluição atmosférica e a contribuição para o efeito estufa.

Conforme Souza (2005), o gás sulfídrico é o gás que dá o odor pútrido característico da mistura, e é também o responsável pela corrosão verificada nos componentes do sistema de biogás. Os substratos mais comuns para a produção de biogás são: dejetos e rejeitos de suinocultura, pecuária e avicultura; resíduos agrícolas, como cascas, folhagens, palhas e restos de cultura; resíduos industriais, como bagaços, descartes, restos de restaurantes e vinhaça.

O processo de produção de biogás ocorre devido às bactérias metanogênicas, sem a presença de oxigênio. Portanto o processo é chamado de anaeróbio. O biogás possui, como composição típica, 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de uma mistura de hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, monóxido de carbono, aminas voláteis e oxigênio (SOUZA *et al.*, 2005)

Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40 e 80% de metano. (GALBIATTI *et al.*, 2010). Existem duas situações possíveis para o aproveitamento do biogás, no reaproveitamento de resíduos orgânicos. A primeira consiste na queima direta (aquecedores, esquentadores, fogões, caldeiras). A segunda diz respeito à conversão de biogás em eletricidade. Isto significa que o biogás permite a produção de energia elétrica e térmica. (PECORA, 2006).

Conforme a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, cada 1 m³ de biogás equivale a um poder calorífico entre 5.000 a 7.000 kcal/m³ de gás. Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), o biogás detém um poder calorífico de 4.500 kcal/m³. O alto poder calorífico do gás pode ser utilizado em transportes públicos de um município, em iluminação pública, além de poder ser usado em bombas no próprio aterro sanitário.

3.6 Aproveitamento do Gás Metano no Território Nacional para conversão em Energia Elétrica

Segundo Markgraf e Kaza (2016) a fração orgânica dos resíduos sólidos depositados em aterros e lixões sofre decomposição anaeróbica, gerando biogás, composto aproximadamente por 50% de metano (CH₄) e 50% de dióxido de carbono (CO₂) em volume, além de pequenas quantidades de outros compostos orgânicos. Ainda de acordo estes mesmos autores, a fração de biogás proveniente de aterros contribui com quase 4% das emissões totais de gases de efeito estufa, representando a terceira maior fonte de emissões antropogênicas de metano. Além dos impactos globais, é importante observar que o biogás é potencialmente explosivo e contém compostos cancerígenos e prejudiciais à saúde (Nacif *et al.*, 2018).

A atmosfera terrestre é composta por gases que são em grande parte transparentes à radiação solar, permitindo que ela atinja a superfície da Terra. No entanto, esses gases absorvem grande parte da radiação térmica emitida pela superfície aquecida do planeta. Esse fenômeno resulta em um aumento da temperatura na superfície em comparação com o que ocorreria na ausência de atmosfera. Esse processo é conhecido como Efeito Estufa (XAVIER & KERR, 2004).

O metano é um componente significativo do gás de aterro sanitário, sendo também o principal constituinte do gás natural (GN), além de ser produzido durante o refino de petróleo e processamento químico. Possui um considerável valor potencial como fonte de energia

fóssil limpa ou como matéria-prima. No entanto, a conversão eficiente do metano em produtos químicos apresenta vários desafios, um deles sendo a alta estabilidade termodinâmica da molécula do gás metano, a qual é composta por ligações CH que são fracamente polarizadas (MAGGIO e CACCIOLA, 2012).

O biogás gerado pela degradação dos resíduos pode ser aproveitado energeticamente por meio de sua conversão em eletricidade, sua utilização como combustível para caldeiras, ou sua transformação em biometano. No último caso, o aproveitamento pode ocorrer como combustível para veículos ou para a geração de calor (NACIF *et al.*, 2018).

Atualmente, vários estudos da estimativa de produção de gás metano em aterros sanitários são feitos pelo Brasil além também da sua captação e viabilidade econômica. Como primeiro exemplo, se tem o Aterro Sanitário de Manaus, que possui um potencial elétrico estimado em 10 megawatts, obtido através da captação de biometano. De acordo com informações da Secretaria Municipal de Serviços Públicos (SEMUSP), nos primeiros seis meses de 2022, o aterro produziu 172,7 mil toneladas de biogás, resultando em uma média de 28,7 mil toneladas por mês. A Tabela 5 apresenta os dados de produção de biogás desde 2011 até junho de 2022 (SEMUSP, 2022).

Tabela 5: Dados do biogás no Aterro Sanitário de Manaus.

ANO	PRODUÇÃO ANUAL (TONELADA)	MÉDIA MENSAL (TONELADA)	MÉDIA DIÁRIA (TONELADA)
2012	341.833	28.486	949,54
2013	428.992	428.992	1191,64
2014	484.420	40.368	1345,61
2015	504.943	42.079	1402,62
2016	465.064	38.755	1291,84
2017	533.137	44.428	1480,94
2018	453.321	37.777	1259,23
2019	503.966	41.997	1399,91
2020	560.269	46.689	1556,30
2021	622.862	51.905	1730,17
Jan à Jun de 2022	172.700	28.783	959,44
Total	5.071.507	437.507	14.567
Média	484.420	40.368	1.346

Fonte: SEMUSP, 2022.

Ainda conforme a SEMUSP (2022), atualmente, o espaço conta com um gerador (projeto-piloto) que torna autossuficiente toda a operação do complexo. Além da geração de energia, a captação de biogás implementada no Aterro Sanitário de Manaus promove a decomposição das partículas de metano (CH₄), um gás que possui um impacto 21 vezes maior no efeito estufa em comparação com o dióxido de carbono (CO₂).

Conforme Gomes (2022), o estado de Alagoas implementou um projeto para converter o gás metano emitido em um aterro sanitário em energia limpa, resultando numa redução de até 12% nas contas de luz, inicialmente para pequenos comerciantes. Essa iniciativa tornou-se possível com a inauguração, em 17 de março de 2022, da primeira usina de biogás do estado, localizada

na Central de Tratamento de Resíduos (CTR) do Pilar, na região metropolitana de Maceió. A construção da usina foi viabilizada por um investimento de R\$ 8 milhões realizado pelo grupo Alagoas Ambiental.

O processo torna-se viável quando o aterro de resíduos classe II (lixo comum, domiciliar) atinge uma quantidade suficiente de biogás para suprir o funcionamento do motor gerador. Esse biogás é gerado pela decomposição dos resíduos. Importante destacar que a coleta desse biogás é realizada por meio de tubulações, sendo conduzido para estações de regulagem. Em seguida, o biogás passa por um processo de desumidificação e remoção de impurezas, tornando-se apto para ser injetado no motor gerador, dando início à geração de energia (Gomes, 2022).

Segundo Cavaler (2022), o Aterro Municipal de Cascavel, no Paraná, adota um sistema em que o gás gerado é coletado e convertido em energia elétrica por meio de um conjunto moto-gerador. A coleta dos gases é realizada por drenos verticais distribuídos ao longo do aterro, sendo conduzidos por tubulações de PVC até os moto-geradores. Segundo a Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA) da cidade, atualmente, 20% da capacidade de produção de biogás do aterro já está sendo utilizada para a geração de energia.

De acordo com a SEMMA, o projeto de geração distribuída para o Aterro de Cascavel tem uma capacidade de geração/transformação de 300 kW. A energia elétrica atualmente produzida é direcionada a 20 unidades consumidoras, que incluem espaços públicos do município, desde escolas até praças públicas. Os grupos geradores instalados possuem um sistema programado para interromper a injeção na rede quando o limite é ultrapassado, e também permitem o acompanhamento em tempo real da produção de energia em cada conjunto de equipamentos.

A cidade de Macaé – RJ possui uma Usina de Biogás, que funciona dentro do complexo Industrial do Centro de Tratamento de Resíduos (CTR), e no local é gerado energia elétrica através do reaproveitamento do biogás produzido pelo município. Segundo a Equipe de Jornalismo Secom (2022) os poços de captação do biogás instalados no entorno do CTR geram 1 megawatts de energia limpa, o que equivale a capacidade de abastecer cerca de quatro mil residências, na primeira fase de funcionamento da usina.

Na região Nordeste, no interior de Pernambuco, a cidade de Petrolina inaugurou sua primeira usina de biogás no ano de 2019. O aterro sanitário do município recebe, por dia, cerca de 300 toneladas de lixo. A unidade gera energia elétrica a partir desse lixo do aterro, com uma capacidade de gerar até um megawatt hora, totalizando mais de 8.200 megawatts hora por ano, o que é suficiente para abastecer 4.300 casas. A energia gerada na usina de biogás já está sendo injetada na rede e distribuída pela Companhia Energética de Pernambuco - Celpe. (G1 Petrolina, 2019)

De acordo Bispo (2020), 1Mega Watt em energia é responsável por abastecer uma cidade com 7,5 mil habitantes. Em sua pesquisa realizada em aterros sanitários na Região metropolitana de Recife/PE– Região Nordeste, obteve uma estimativa de biogás gerado em Centros de

Tratamento de Resíduos (CTR), em que em seu ano de encerramento (2019 - 2028), a CTR na cidade de Candeias, também em Pernambuco, foi de 162.471.433,87 m³/ano, o que é considerado uma grande produção em um curto período de tempo, visto sua população e tamanho da cidade. Enquanto isso, de acordo o mesmo estudo, na CTR de Pernambuco foi estimado uma produção de 45.915.852,29 m³/ano de biogás no último ano de vida útil do aterro, gerado durante o mesmo período de tempo.

Outro exemplo é no Município de Campos – RJ, que possui uma Unidade Geradora de Energia Elétrica que utiliza o biogás proveniente do processamento de resíduos domésticos. Atualmente, o CPR processa entre 550 a 600 toneladas de resíduos domésticos por dia, gerando cerca de 800m³ de biogás. Esta quantidade é suficiente para produzir 3 MWh (Megawatts/hora) de energia, o que poderia abastecer aproximadamente 45 mil residências. No entanto, devido às limitações da rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, o CPR opera atualmente com uma produção reduzida de 1 MWh, capaz de atender às necessidades de aproximadamente 15 mil residências. (DELFINO, 2023)

O maior Aterro Sanitário da cidade de São Paulo, o Bandeirantes, está localizado em Perus na região metropolitana da capital paulista. Conforme Fernandes (2007) a empresa responsável capta o gás e vende para a Unidade Térmica de Energia (UTE) Bandeirantes, o que rende cerca de 700 mil reais por mês. Esse gás serve de combustível, move 24 grupos de motogeradores capazes de produzir 20 megawatts de energia elétrica, quantidade suficiente para abastecer uma cidade de 300 mil habitantes. Na rede, a energia ilumina entre outros locais, os prédios administrativos do Unibanco, que financiou a construção da usina.

A empresa Waga Energy (2017), especializada na valorização do gás metano proveniente de resíduos sólidos, afirma que a produção de gás em aterros sanitários persiste ao longo de várias décadas, experimentando um aumento constante durante a fase operacional do local, atingindo seu ápice alguns meses após o depósito dos últimos resíduos. Posteriormente, ocorre uma decadência gradual ao longo de vários anos, ou até mesmo décadas, caso a quantidade de resíduos armazenados seja grande, até alcançar a completa decomposição das matérias orgânicas.

Esse pico de produção máxima está de acordo com as observações de Ludwig, Stege e Dávila (2009) apud Bispo (2020), os quais destacam que a geração máxima de biogás geralmente ocorre no mesmo ano ou no ano subsequente ao encerramento da célula/aterro. Essa constatação também alinha-se com as conclusões de Borba (2006), que aponta que a geração máxima se verifica nos dois primeiros anos, seguida por uma redução nos 25 anos subsequentes, variando de acordo com as condições específicas do aterro. Entretanto, essa constatação contrasta com o relato de Alves (2008), que descreve um cenário no qual o pico de produção ocorre no sexto ano, seguido por uma diminuição até o final do décimo sexto ano após o encerramento definitivo da célula.

As diferenças mencionadas são abordadas no estudo conduzido por Henriques (2004), no qual o autor chega à conclusão de que as disparidades na geração de biogás entre diferentes regiões

são atribuíveis a uma série de fatores, dentre esses, destacam-se o clima, temperatura, precipitação, compactação da célula, operação do aterro e recirculação do chorume.

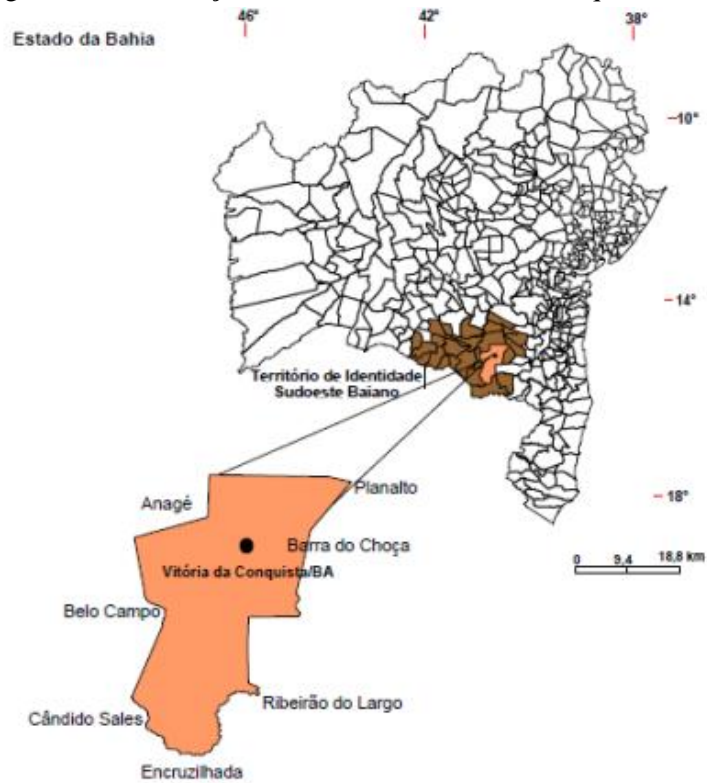
4. METODOLOGIA

Para esta pesquisa primeiramente foi realizado um levantamento bibliográfico acerca da temática, visando caracterizar e entender o processo de aproveitamento de biogás, a partir de resíduos sólidos urbanos. Após isso, utilizou de um estudo teórico no Aterro Sanitário em Vitória da Conquista, através de dados secundários de documentos da prefeitura, fazendo um levantamento do quanto de resíduo já foi aterrado desde o ano de abertura até o funcionamento atual; para isso serão utilizadas equações matemáticas com as bases obtidas para assim fazer uma estimativa de quanto biogás é gerado por dia/ano e qual a porcentagem de gás metano presente nele. Após a estimativa feita, será realizado cálculos acerca da viabilidade econômica e do reaproveitamento energético do gás metano, tendo como referência a produção de energia.

4.1 Localização da área de estudo.

Vitória da Conquista é um município brasileiro situado no interior e sudoeste do estado da Bahia. O município é considerado o terceiro maior município do estado, atrás apenas de Salvador e Feira de Santana, e o 15º do Nordeste com uma extensão territorial de 3.254,186km². É consolidada como cidade polo para o setor terciário, maior representante do seu PIB (R\$ 20.905,86 mi, em 2020), o que fortalece sua importância para a Região do Sudoeste Baiano e sua notoriedade nacional como um dos municípios mais dinâmicos do país.

Figura 7 – Localização da cidade de Vitória da Conquista – Bahia



Fonte: Mares (2016).

Os resíduos sólidos urbanos da cidade são coletados e transportados pela empresa Torre Empreendimentos e seguem um cronograma para atender os imóveis residenciais e comerciais em todos os bairros da cidade. Após a coleta, os resíduos são levados para o aterro sanitário municipal, onde é coberto e recebe o tratamento ambiental necessário para não ficar exposto à natureza. (PMVC, 2022). De acordo a Secretaria de Serviços Públicos do município, a população se divide em 346.953 urbana e 23.915 rural.

O Aterro Sanitário de Vitoria da Conquista está localizado na área urbana do município, na parte oeste do mesmo, distante aproximadamente 10 km do centro da cidade, no Bairro de Zabelê.

Figura 8 – Localização do Aterro Sanitário Municipal de Vitória da Conquista.



Fonte: Própria do autor, via Google Earth 2023.

4.2 Projeção da população

Considerando a população dos últimos censos do IBGE 2000, 2010 e 2022, e as demandas do município, foi possível fazer uma projeção populacional aritmética, que pode ser utilizada para intervalos curtos, para a cidade de Vitória da Conquista:

2000 – 262.494 hab
2010 – 306.866 hab
2022 – 370.868 hab

De acordo as informações acima, utiliza-se a seguinte nomenclatura:

$T_0 = 2000$ $P_0 = 262.494$
 $T_1 = 2010$ $P_1 = 306.866$
 $T_2 = 2022$ $P_2 = 370.868$

a) Projeção Aritmética:

$$Ka = \frac{P_2 - P_0}{t_2 - t_0} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo:

Ka : coeficiente de crescimento

A população para início do dimensionamento é dada por:

$$Pt = P_0 + Ka (t - t_0) \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo:

t = ano atual

P_t = população no ano t

4.3 Geração de resíduos em Vitória da Conquista - Ba

Para o cálculo da produção per capita dos resíduos domésticos do município de Vitória da Conquista, foram utilizadas as variáveis: população total e a quantidade de resíduos coletados pela empresa responsável pelo serviço de limpeza urbana nos anos de 2009-2022. Além disso, também se fez necessário consultas na plataforma do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR, que é o sistema com informação e dados relativos à gestão dos resíduos sólidos no país, para assim obter os valores atualizados de resíduos aterrados perante os anos de operação do Aterro Sanitário Municipal.

4.4 Equação de Inventário do IPCC (1996)

Para avaliar o potencial de geração de metano gerado a partir dos resíduos do Aterro Sanitário de Vitória da Conquista, utilizou-se a Equação de Inventário IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas) -1996, uma metodologia de cálculo para GEE que se destaca como a mais eficaz para a estimativa da geração de biogás em aterros, devido à sua considerável inclusão de elementos no processo de cálculo. As Equações (3), (4), (5) e (6) descrevem o cálculo realizado para a determinação do potencial de metano, o qual foi estimado com base no conteúdo de carbono do resíduo, na fração de carbono biodegradável e num fator de conversão estequiométrico.

$$Q_{CH_4} = \frac{\text{População} \times \text{Taxa RSD} \times \text{RSD}_f \times Lo}{p_{CH_4}} \quad \text{Equação (3)}$$

$$Lo = FCM \times COD \times COD_f \times F * \frac{16}{12} \quad \text{Equação (4)}$$

$$COD_f = 0,014 \times T + 0,28 \quad \text{Equação (5)}$$

$$COD = 0,40A + 0,15B + 0,40C \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo que:

Q = CH_4 gerado (m^3 /ano)

Taxa de RSD = Geração de RSD por habitante ano (kg/hab.ano)

RSD_f = Fração de RSD coletados que são depositados (%)

Lo = Potencial de geração de Metano (kg de CH_4 /kg de resíduo)

FCM = Fator potencial de produção de CH_4 (%)

COD = Carbono orgânico degradável [kg de C/kg de RSD]

COD_f = Fração de COD dissociada [%], indica a fração de carbono que é disponível para a decomposição bioquímica

F = Fração em volume de metano (CH_4) gerado no biogás (%)

16/12 = Fator de conversão de carbono a metano (peso molecular médio)

p_{CH_4} = Massa específica (0,740 kg/m^3)

T = temperatura da digestão anaeróbica (Celsius)

O modelo utilizado para valores da classificação e unidade de medida do COD e FCM de acordo com os locais de disposição dos resíduos estão descritos nas tabelas 6 e 7 abaixo, seguindo o IPCC (1996).

Tabela 6 – Fração Orgânica de Carbono (COD)

CLASSIFICAÇÃO	KG DE CARBONO PER KG DE RESÍDUOS ÚMIDOS
PAPEL E PAPELÃO	0,40
ALIMENTOS	0,15
MADEIRA	0,3
RESÍDUOS DE PARQUES E JARDINS	0,17
TECIDO	0,40

Fonte: IPCC (1996) – Adaptado.

Tabela 7 – Local de disposição e FCM

TIPO DE LOCAL DE DISPOSIÇÃO	FCM
LIXÃO	0,40
ATERRO CONTROLADO	0,8
ATERRO SANITÁRIO	1,0
LOCAIS SEM CATEGORIA (VALOR PADRÃO)	0,6

Fonte: IPCC (1996) – Adaptado.

4.5 Custo benefício no aproveitamento energético dos gases

No sentido de calcular a viabilidade da produção de energia através da captação, foi necessário calcular também o seu potencial energético para geração de energia elétrica.

4.5.1 Produção de energia elétrica

Para calcular o potencial de energia elétrica para a análise econômico-financeira é necessário dimensionar a quantidade de energia advinda do biogás. Dessa forma, utilizou-se a Equação (7) adaptada e Necker e Rosa (2013) e a Equação (8) adaptado por Felca (2015) para calcular a Energia Disponível:

$$P = \frac{(Q \times PC \times n)}{860000} \quad \text{Equação (7)}$$

$$E = P \times Rend \times Tempo \text{ de operação} \quad \text{Equação (8)}$$

Em que:

P = Potência Disponível (MW)

Q = Geração Anual de Metano por ano calculado (m³/ano)

PCI = Poder calorífico Inferior do Metano (kcal/m³)

n = Eficiência elétrica do motor (em média 30%)

860.000 = Conversão de kcal/h para MW

E = energia disponível (MWh/dia)

Rend = Rendimento de motores operando a plena carga (estimado em 0,87)

Tempo de operação = Tempo de operação dos motores (24 horas/dia)

4.5.2 Custo de Investimento para Operação e Manutenção

Os custos de capital para as despesas relacionadas à instalação, operação e manutenção do sistema de recuperação de biogás gerado foram estimados. Para isso, adotou-se a metodologia desenvolvida por Vanzin (2006), conforme a equação 9. Essa equação foi gerada pelo *software* de inferência estatística – Sisreg, utilizando os valores de investimento provenientes do estudo realizado pelo Banco Mundial em 2005 sobre geração de energia, infraestrutura de captação e coleta de biogás, bem como capacidade de disposição de resíduos sólidos em aterros.

$$\text{Inv. U. G. (milhõesUS\$)} = 0,08032049 + 0,9616 * \text{Pot. (MW)} \quad \text{Equação (9)}$$

Para Bispo (2020), a metodologia consiste em determinar o valor do investimento, em milhões de dólares, para a usina de geração de energia elétrica com base na potência de geração em MW. É importante destacar que esse cálculo foi realizado com base em estudos de projetos de pré-viabilidade de recuperação do biogás e produção de energia elaborados pelo Banco Mundial. Além disso, o banco indica que o investimento na infraestrutura de coleta e captação do biogás representa uma faixa de 40% a 60% do investimento total.

Para este trabalho, optou-se por adotar o valor médio de 50%. Quanto aos custos de manutenção e reparo, não há um valor específico; estima-se que gire em torno de 5% do valor total investido na implantação.

4.5.3 Benefícios do Investimento

Para este estudo foi considerado o benefício da venda de energia gerada, sendo vista como uma possível geração de receitas para o projeto.

4.5.3.1 Venda de energia gerada

A geração de energia elétrica foi determinada através da Equação 10, adaptada por Oliveira (2009) em que para transformar na unidade de medida de comercial é feita a razão de que

1m³ de biogás gera em torno de 1,95 kWh de energia elétrica. Já a Equação 11, também adaptada por Oliveira (2009), determina o quanto de receita será recolhido com as vendas dessa energia elétrica.

$$EGG = \text{Biogás Coletado} \left(\frac{m^3}{ano} \right) \times 1,95 \left(\frac{kWh}{m^3} \right) \quad \text{Equação 10}$$

$$VEE = EGG \left(\frac{kWh}{ano} \right) \times TFE \left(\frac{R\$}{kWh} \right) \quad \text{Equação 11}$$

Sendo que:

EGG = Energia gerada (kWh/ano)

VEE = Venda de energia elétrica

TFE = Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Projeção da população em 20 anos.

Os valores do coeficiente de crescimento foram calculados através da Equação (1), utilizando T₀ = 2010 e T₁ = 2022 para projeção da população acima do ano de 2010 e T₀ = 2000 e T₁ = 2010 para projeção da população abaixo de 2010. Os valores de Ka obtidos foram respectivamente 5.333,5 e 4.437,2. A população total estimada durante os 20 anos de operação do Aterro Sanitário foi calculado através dos valores de Ka aplicados na Equação (2) e foram demonstrados na Tabela 8.

Tabela 8 – Projeção da população de Vitoria da Conquista (horizonte de 20 anos).

ANO	POPULAÇÃO
2009	302.428
2010	306.866
2011	312.199
2012	317.533
2013	322.866
2014	328.200
2015	333.533
2016	338.877
2017	344.200
2018	349.534
2019	354.867
2020	360.201
2021	365.534
2022	370.868
2023	376.201
2024	381.535
2025	386.868
2026	392.202
2027	397.535
2028	402.869
2029	408.202

Fonte: Própria da autora, 2023.

5.2 Geração de resíduos em Vitória da Conquista – Ba 2009-2022

Através das informações da plataforma SINIR, foi possível ter acesso a quantidade de resíduos aterrados no Aterro Sanitário Municipal, desde o seu primeiro ano de funcionamento (2009) até o ano de 2022, conforme a tabela 9:

Tabela 9 – Resíduos Sólidos Urbanos levados ao Aterro Sanitário Municipal de Vitória da Conquista/BA.

ANO DE REFERENCIA	TONELADAS POR ANO
2009	55.006,00
2010	59.586,80
2011	63.844,00
2012	64.045,70
2013	67.254,20
2014	71.340,40
2015	73.501,70
2016	69.915,60
2017	72.608,30
2018	76.694,90
2019	69.450,60
2020	83.382,40
2021	75.515,10
2022	78.530,00

Fonte: SINIR 2023 – Adaptado.

Sendo que, a Taxa de RSD foi calculada observando a população do último censo do IBGE (2022) e considerando que 100% dos resíduos sólidos urbanos coletados vão para o Aterro Sanitário. Em relação a produção de resíduos per capita por ano, foi calculado uma média do ano de 2009 até 2022, permitindo um resultado de 207,89 kg/hab/ano. Com este resultado, foi feito uma multiplicação dessa média com a projeção da população dos anos de 2023-2029 para dimensionar a quantidade de resíduos que o aterro receberá durante os anos de operação.

Segundo a SESEP (2023) o valor para o consumo per capita de resíduos foi de 0,60 kg/hab/dia. Esse resultado se enquadra dentro da variável de 0,5 a 0,8 kg/hab/dia para cidades de médio porte, como é o caso de Vitória da Conquista com 370.686 habitantes (IBGE, 2022).

5.3 Estimativa da produção de Metano

A partir das equações (3), (4), (5), (6) do Inventário do IPCC (1996) e valores tabelados, foi possível dimensionar a produção de metano gerado no Aterro Sanitário de Vitória da Conquista. Primeiramente, utilizando-se da equação (6) de COD, que descreve a quantidade

de carbono orgânico degradável na composição do resíduo e na quantidade de carbono em cada componente de sua massa:

$$COD = 0,40A + 0,15B + 0,40C$$
$$COD = 0,95 C/kg$$

Sendo que:

A = papel e papelão

B = alimentos (resíduos orgânicos)

C = tecidos

Após valor de COD calculado, é possível calcular o valor do carbono orgânico degradável dissociado (COD_f) liberado no local de disposição, utilizando a equação (5):

$$COD_f = 0,014 x T + 0,28$$
$$COD_f = 0,014 x 35 + 0,28$$
$$COD_f = 0,77 \%$$

Sendo (T) a temperatura durante a digestão anaeróbia estimada em 35°C na decomposição da matéria orgânica do Aterro Sanitário. Em relação ao Potencial de geração de Metano (Lo) pode-se obter através da equação (4):

$$Lo = FCM x COD x COD_f x F * \frac{16}{12}$$
$$Lo = 1 x 0,95 x 0,77 x 0,5 x \frac{16}{12}$$
$$Lo = 0,4864 \text{ Kg de CH}_4/ \text{ Kg de resíduo}$$

Como o Aterro não possui um valor real da quantidade de metano presente no biogás, foi utilizado a estimativa de 0,5, pois geralmente a quantidade de metano presente no biogás de aterro é 50%, como descrito por Souza *et al.*, (2005). Em seguida foi viável calcular a vazão do metano gerado utilizando a equação (3). Os dados obtidos foram reunidos de acordo a Tabela 10 abaixo:

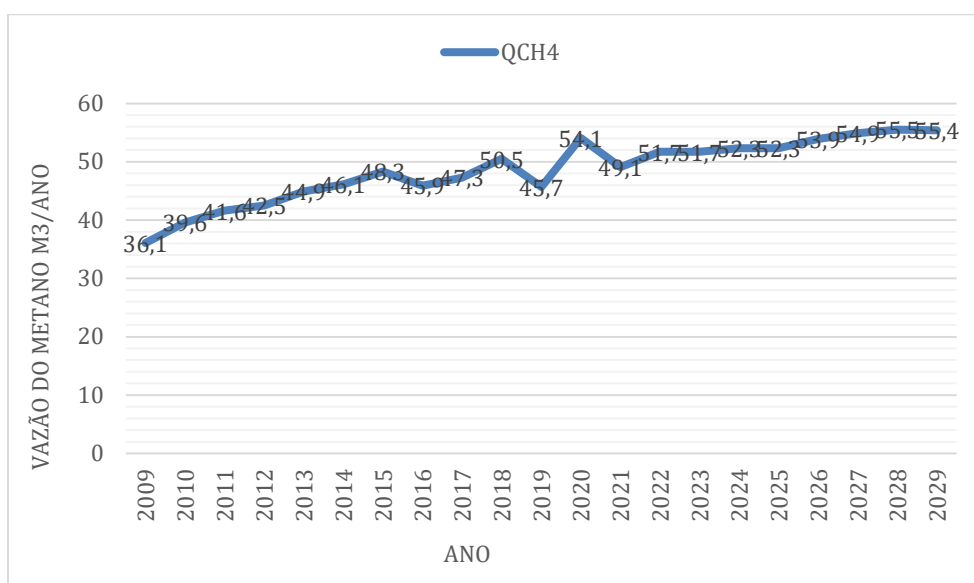
Tabela 10 – Gás metano gerado 2009-2029.

Ano de Referência	QCH4 produzido (m3/ano)	QCH4 captado (m3/ano)
2009	36.155.295,14	30.732.000,86
2010	39.166.242,59	33.291.306,21
2011	41.964.488,65	35.669.815,35
2012	42.097.065,51	35.782.505,69
2013	44.206.003,89	37.575.103,31
2014	46.891.852,11	39.858.074,29
2015	48.312.468,76	41.065.598,44
2016	45.955.334,92	39.062.034,68
2017	47.725.239,35	40.566.453,45
2018	50.411.350,49	42.849.647,91
2019	45.649.691,68	38.802.237,92
2020	54.807.026,16	46.585.972,24
2021	49.635.871,14	42.190.490,46
2022	51.617.556,76	43.874.923,24
2023	51.407.197,73	43.696.118,07
2024	52.136.079,34	44.315.667,44
2025	52.864.824,31	44.935.100,66
2026	53.593.705,93	45.554.650,04
2027	54.322.450,89	46.174.083,26
2028	55.051.332,51	46.793.632,63
2029	55.780.077,48	47.413.065,86

Fonte: Própria da autora, 2023.

Como pode ser observado na Tabela 10, o gás metano gerado não é o mesmo que o gás metano captado, visto que de acordo com USEPA (1998), dados documentados de aterros sanitários energéticos mostram que a eficiência percentual de coleta de gás metano varia de 60 a 85 %, e para este trabalho é admitido um valor de coleta de 85%. Em seu primeiro ano de funcionamento o aterro sanitário produziu 36.155.295,14 m³/ano e seguindo a estimativa, em seu último ano de operação produzirá 55.780.077,48 m³/ano, equivalendo a um crescimento em média de 54%, e este resultado pode ser encontrado no Gráfico (5) conforme dados da Tabela (10):

Gráfico 5 – Geração de metano no Aterro Sanitário 2009-2029.



Fonte: Própria da autora, 2023.

É possível observar no Gráfico 5 que houve um pico do aumento do gás metano no ano de 2020, e, de acordo a ABRELPE (2021) isso se deve a pandemia do COVID-19, em que houve um aumento de consumo da população em todo o mundo, que diretamente aumenta a quantidade de RSU produzido e descartado. Ainda de acordo o Gráfico 5, o ápice na produção de biogás foi registrado no último ano de operação do aterro, 2029, e poderá ocorrer o seu declínio, devido à falta de depósito do material orgânico posterior a este ano, sendo este cenário também analisado por Gracino (2010).

5.4 Produção de Energia Elétrica

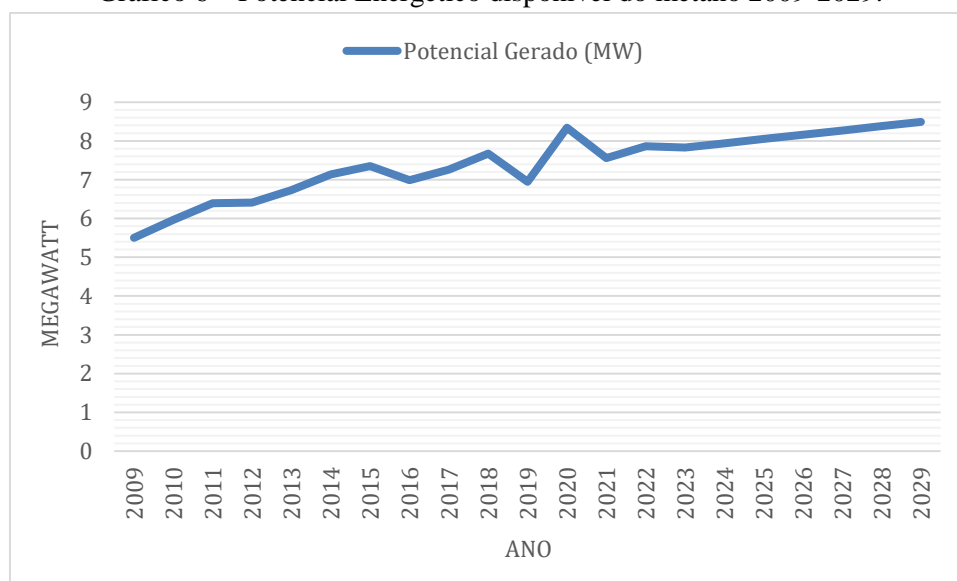
Para a produção de energia elétrica, foi adotado uma faixa de 30% para eficiência do motor, que é o valor normalmente usados nesses sistemas. Utilizou-se através da Equação (7) adaptada de Necker e Rosa (2013) e a Equação (8) para cálculo do Potencial energético e Energia disponível. Todos os dados foram obtidos e demonstrados na Tabela 11 e Gráfico 6:

Tabela 11 – Potencial Energético e Energia disponível do metano 2009-2029.

Ano de Referência	Potencial gerado (MWh/ano)	Potencial gerado (MW)	Energia Gerada (MWh/dia)	Energia Gerada (MW/ano)	Energia Gerada (GW/ano)
2009	48.242,09438	5,5070884	114,99	993496,37	993,50
2010	52.259,60858	5,965708742	124,56	1076232,95	1076,23
2011	55.993,3148	6,391930913	133,46	1153124,79	1153,12
2012	56.170,21241	6,412124705	133,89	1156767,82	1156,77
2013	58.984,1738	6,733353173	140,59	1214718,46	1214,72
2014	62.567,90732	7,142455173	149,13	1288521,77	1288,52
2015	64.463,43942	7,358840116	153,65	1327558,31	1327,56
2016	61.318,31026	6,999807107	146,16	1262787,60	1262,79
2017	63.679,89786	7,269394732	151,78	1311422,07	1311,42
2018	67.263,98219	7,67853678	160,33	1385232,61	1385,23
2019	60.910,48976	6,953252256	145,18	1254388,96	1254,39
2020	73.129,14247	8,348075624	174,31	1506019,56	1506,02
2021	66.229,25829	7,560417613	157,86	1363923,53	1363,92
2022	68.873,42602	7,862263244	164,16	1418377,45	1418,38
2023	68.592,74348	7,830221859	163,50	1412597,08	1412,60
2024	69.565,29192	7,941243369	165,81	1432625,72	1432,63
2025	70.537,65802	8,052244066	168,13	1452650,60	1452,65
2026	71.510,20645	8,163265577	170,45	1472679,23	1472,68
2027	72.482,57256	8,274266274	172,77	1492704,11	1492,70
2028	73.455,12099	8,385287785	175,08	1512732,75	1512,73
2029	74.427,4871	8,496288482	177,40	1532757,63	1532,76

Fonte: Própria da autora, 2023.

Gráfico 6 – Potencial Energético disponível do metano 2009-2029.



Fonte: Própria da autora, 2023.

O Potencial energético calculado da Tabela 11 foi obtido por Mega Watts e a Energia disponível em Mega Watts hora/dia. Fez-se necessário primeiramente a conversão de Mega Watts hora/ano para Mega Watts e, para isso, foi pego o resultado da segunda coluna e dividido por 8760 (quantidade de horas em um ano). Para obter a Energia gerada em MW/ano, foi multiplicado pela quantidade de horas por dia, dias do mês e meses do ano, totalizando 8640. Por fim, a Energia Gerada em GW/ano foi calculada fazendo a conversão de unidades de medida, ou seja, dividindo os resultados por 1000.

Os resultados obtidos na Tabela 11 e no Gráfico 6 demonstram o crescimento contínuo do potencial energético e da capacidade energética do Aterro de Vitória da Conquista devido ao grande volume de biogás produzido. Fazendo a comparação, o ano de 2009 tinha um potencial energético de 5,5 MW o que equivaleu a 993,50 GW/ano e o ano de 2029 o valor aumento para 8,49 MW equivalendo a produção de 1.532,76 GW/ano, um crescimento de aproximadamente 54%.

Tomando como base um estudo de Reis (2019), observou-se que o Aterro de Vitória da Conquista, em seu primeiro ano, abasteceria uma média de 23 mil residências, resultado superior observado ao estudo da autora, onde aponta que a Usina de Biogás de Aterro é capaz de abastecer 4.300 residências por ano. Dessa forma, o aterro municipal de VCA tem um potencial para abastecer 41.250 residências em seu último ano de operação.

5.5 Viabilidade do aproveitamento do gás metano

Como a potência para o Aterro de Vitória da Conquista – Bahia é de 8,49 MW em seu último ano de vida útil (2029), foi realizada a análise do investimento do projeto com base na equação 12 desenvolvida por Vanzin (2006). Na Tabela 12 é demonstrado o investimento para a usina de energia para a captação do gás metano e transformação dele em energia elétrica, de acordo com as capacidades já definidas.

Tabela 12 – Investimento de Implantação e Manutenção da Usina.

Local	Custo milhões (US\$)	Custo (US\$) + 50% Biogás	Custo (R\$)	Custo de Manutenção (5%)	Custo Total (R\$)
Aterro Vitória da Conquista	8.250.000,00	16.500.000,00	80.355.000,00	4.017.750,00	84.372.750,00

Fonte: Própria da autora, 2023.

Conforme dados calculados na Tabela 12, a captação do gás para transformação de energia terá um custo inicial de US\$ 8.250.000,00 por conta da sua potencialidade. Para o cálculo, os custos foram divididos em 50% para o sistema de coleta do biogás e 50% para a unidade de geração de energia, logo, esses valores se duplicaram chegando a US\$ 16.500.000,00. Se tratando de valores na moeda brasileira, o real, foi utilizado a cotação de dólar do mês de

janeiro do ano de 2024 que é aproximadamente R\$ 4,87. Dessa forma, os valores de custo total são de R\$ 80.355.000,00, adicionando mais 5% desse valor destinado para a manutenção do Aterro, resultando em R\$ 84.372.750,00, considerando assim um projeto de grande porte e alto custo, fato também observado na pesquisa de Bispo (2020).

5.6 Venda de energia elétrica

Para os cálculos da venda de energia baseou-se em um Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, Ministério de Minas e Energia (2018). Para estipular as alternativas de comercialização da energia elétrica produzida foram utilizadas as equações 10 e 11 (descritas no item 4.5.3.1 da metodologia) e seus valores foram demonstrados na Tabela 13. Para este estudo está sendo considerado que 50% do biogás produzido será recuperado efetivamente e coletado pelo aterro sanitário. Dessa forma, os valores das colunas referentes a venda de energia foram arbitrados entre R\$ 1,05, R\$ 1,25, R\$ 1,45, R\$ 1,65 e R\$ 1,85 de acordo o MME variando de R\$ 1,05 até R\$ 1,85 como pede o estudo.

Tabela 13 – Alternativas para a comercialização da energia produzida

ANO	Venda (R\$ 1,05)	Venda (R\$ 1,25)	Venda (R\$ 1,45)	Venda (R\$ 1,65)	Venda (R\$ 1,85)
2029	R\$ 97.078.252	R\$ 115.569.348	R\$ 134.060.444	R\$ 152.551.539	R\$ 171.042.635
2028	R\$ 95.809.963	R\$ 114.059.480	R\$ 132.308.996	R\$ 150.558.513	R\$ 168.808.030
2027	R\$ 94.541.435	R\$ 112.549.328	R\$ 130.557.220	R\$ 148.565.113	R\$ 166.573.005
2026	R\$ 93.273.146	R\$ 111.039.459	R\$ 128.805.773	R\$ 146.572.086	R\$ 164.338.400
2025	R\$ 92.004.619	R\$ 109.529.308	R\$ 127.053.997	R\$ 144.578.686	R\$ 162.103.376
2024	R\$ 90.736.329	R\$ 108.019.439	R\$ 125.302.550	R\$ 142.585.660	R\$ 159.868.770
2023	R\$ 89.467.802	R\$ 106.509.288	R\$ 123.550.774	R\$ 140.592.260	R\$ 157.633.746
2022	R\$ 89.833.905	R\$ 106.945.125	R\$ 124.056.345	R\$ 141.167.566	R\$ 158.278.786
2021	R\$ 86.385.029	R\$ 102.839.321	R\$ 119.293.612	R\$ 135.747.903	R\$ 152.202.194
2020	R\$ 95.384.778	R\$ 113.553.307	R\$ 131.721.837	R\$ 149.890.366	R\$ 168.058.895
2019	R\$ 79.447.582	R\$ 94.580.455	R\$ 109.713.328	R\$ 124.846.201	R\$ 139.979.073
2018	R\$ 87.734.654	R\$ 104.446.017	R\$ 121.157.379	R\$ 137.868.742	R\$ 154.580.105
2017	R\$ 83.059.813	R\$ 98.880.730	R\$ 114.701.647	R\$ 130.522.564	R\$ 146.343.481
2016	R\$ 79.979.516	R\$ 95.213.710	R\$ 110.447.903	R\$ 125.682.097	R\$ 140.916.290
2015	R\$ 84.081.813	R\$ 100.097.396	R\$ 116.112.980	R\$ 132.128.563	R\$ 148.144.146
2014	R\$ 81.609.407	R\$ 97.154.056	R\$ 112.698.705	R\$ 128.243.354	R\$ 143.788.003
2013	R\$ 76.935.024	R\$ 91.589.314	R\$ 106.243.605	R\$ 120.897.895	R\$ 135.552.185
2012	R\$ 73.264.680	R\$ 87.219.858	R\$ 101.175.035	R\$ 115.130.212	R\$ 129.085.389
2011	R\$ 73.033.947	R\$ 86.945.175	R\$ 100.856.403	R\$ 114.767.631	R\$ 128.678.859
2010	R\$ 68.163.949	R\$ 81.147.559	R\$ 94.131.168	R\$ 107.114.778	R\$ 120.098.387
2009	R\$ 62.923.772	R\$ 74.909.252	R\$ 86.894.732	R\$ 98.880.213	R\$ 110.865.693

Fonte: Própria da autora, 2024

Conforme pode-se observar na Tabela 14, das cinco alternativas de valores de tarifas, todas elas indicam capital considerável de recebimento pela venda de energia, desde o primeiro ano de captação até o último de operação em 2029. Deve ser levado em consideração que da data de 2009 até 2024 não houve captação do biogás e por isso não há geração de venda. Dessa forma, considerando a implementação do projeto este ano para captação em 2025, geraria uma receita ao total estimada de R\$ R\$ 472.707.415 com tarifa à R\$ 1,05; R\$ 562.746.923 com tarifa à R\$ 1,25; R\$ 652.786.431 com a tarifa à R\$ 1,45; R\$ 742.825.938 com a tarifa à R\$ 1,65 e R\$ 832.865.446 com a tarifa à R\$ 1,85, gerando lucros de respectivamente R\$ 388.334.665; R\$ 478.374.173; R\$ 568.413.681; R\$ 658.453.188 e R\$ 748.492.696 para a prefeitura do município.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que realizar o aproveitamento energético do gás metano no aterro de VCA é ambientalmente viável devido à redução do impacto ambiental pelas emissões dos gases e, socialmente viável devido aos benefícios que podem ser gerados, principalmente pela menor emissão de gás, melhorando a qualidade de vida local e consequente reflexo na saúde.

Em relação a viabilidade financeira, o valor total estimado para o projeto que é de R\$ 84.372.750,00. Enquanto a venda de energia elétrica produzida, foi calculada um valor de receita conforme variação de tarifas, com isso foi observado que em todos os cenários a instalação de uma usina de captação de gás se torna um projeto além de eficiente, lucrativo. Com a captação do biogás produzido no aterro e a venda da energia, os lucros variam de acordo o menor e o maior valor de tarifa calculada em R\$ 388.334.665 à R\$ 748.492.696.

Além disso, com a implementação a usina de biogás, a prefeitura de Vitória da Conquista também poderia utilizar essa energia gerada para iluminação pública da cidade, transportes públicos, dentro do próprio aterro sanitário iluminando espaços e movendo bombas. Este estudo também se faz importante para que o próximo aterro a ser construído, seja feita a captação desde o primeiro ano de operação para melhor aproveitamento dos benefícios. Assim, com esse estudo foi possível concluir que o aterro do município possui uma considerável quantia de GEE estimado, o que justifica a necessidade de projetos alternativos lucrativos e que visem a não emissão direta.

Para projetos futuros, fica sugestivo um outro cenário para benefício do investimento: a comercialização de crédito de carbono, gerando mais receita para o projeto. Por consequência, seria preciso uma pesquisa mais aprofundada acerca do tema, sua viabilidade, e emissão de certificados de redução de gases para as empresas parceiras. A presente pesquisa contribui para a análise do aproveitamento do biogás do aterro sanitário de Vitória da Conquista.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2013**. São Paulo: ABRELPE, 2014. Acesso em 3 mar. 2023.

ABRELPE. **Panorama Dos Sólidos. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2019/2020**, 2021. p. 68. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>. Acessado em 27 nov. 2023.

ALVES FILHO, M. **Tese mostra potencial energético do biogás**. Jornal da Unicamp - 2008. Acesso em 3 mar. 2023.

ALVES, João. W. S. **Diagnóstico Técnico Institucional da Recuperação e Uso Energético do Biogás Gerado pela Digestão Anaeróbia de Resíduos**. 2000. 165 p. Dissertação (Mestrado em Energia). UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Acesso em: 24 nov. 2023.

ALMEIDA, F. V. D.; GALDINO, L. B.; FERREIRA, W. O. **Análise da viabilidade econômica do uso do biogás como geração de receita acessória: Um estudo de caso no Aterro CVR Costa do Cacau, Ilhéus/BA**. UNIFACS, 2022.

A NATUREZA AGRADECE - Projeto de economia solidária idealizado por Dom Ivo Lorscheiter torna-se referência, São Paulo. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_content&id=1430:catid=28. Acesso em 04 jan. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Norma Brasileira 10.004 - **Dispõe sobre a classificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos**. Rio de Janeiro, 2004. Acesso em 2 mar. 2023.

_____. **NBR 10004: Resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10004: **Resíduos Sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro/RJ. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Acesso em 5 out. 2023.

BAHIA, Defensoria Pública. **Mãos que Reciclam**. Disponível em: <https://www.defensoria.ba.def.br/projetos-e-aco-es/maos-que-reciclam/>. Acesso em: 12 out. 2023.

BAHIA. Lei Estadual nº 12.932 de 7 de janeiro de 2014. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e da Outras Providências**. Diário Oficial Estadual, Salvador, 8 jan. 2014.

BARCELOS, Beatriz, R. **Avaliação de Diferentes Inóculos na Digestão Anaeróbia da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Domésticos**. 2009. 90p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental E Recursos Hídricos). UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil e Ambiental). Distrito Federal, 2009. Acesso em 2 mar. 2023.

BARLAZ, M. A., SCHAEFER, D. M., HAM, R. K. **Desenvolvimento populacional bacteriano e características químicas da decomposição de resíduos em aterro sanitário**. Microbiologia aplicada e ambiental (1989). p 55-65.

BARROS, F. T. **Geração de energia elétrica com biogás gerado em aterro sanitário**. (2013). Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/108487/000946361.pdf?sequenc>. Acesso em 26 dez. 2023.

BIGONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.

BISPO, V. C. C. **Análise da viabilidade econômica na implantação e operação de sistemas de aproveitamento energético em aterros sanitários da Região Metropolitana de Recife – PE**. 2020. p 15- 18. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/handle/123456789/354>. Acesso em 2 mar. 2023.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Brasília, DF. Acesso em 2 mar. 2023.

BORBA, S. M. P. **Análise De Modelos De Geração De Gases Em Aterros Sanitários: Estudo De Caso**. Universidade Federal Do Rio De Janeiro (UFRJ), n. 1, p. 149, 2006.

CAMPOS, Y. M; FERREIRA, F. N. M. **Viabilidade Do Uso De Biogás Como Fonte De Energia Renovável Em Aterros Sanitários**. 2017, p-42. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/322018256_Viabilidade_Do_Uso_De_Biogas_Como_Fonte_De_Energia_Renovavel_Em_Aterros_Sanitario.. Acesso em 2 mar. 2023.

CAMPOS, M. L., PACHECO, M. A. F., PINHEIRO, E. C. N. M. (2022). **Estudo de caso: aumento na geração de energia elétrica no aterro sanitário de Manaus pelo uso do Biogás**. Acesso em 29 set. 2023.

CARDOSO, G. S.; GUADAGNIM, M. R. **CARACTERIZAÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES: O MÉTODO DE QUARTEAMENTO NA DEFINIÇÃO DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA EM COCAL DO SUL-SC**. Disponível em: <https://core.ac.uk/reader/297692660>. Acesso em 05 out. 2023.

CARDOSO, W. C. **Estimativa teórica do gás metano no Aterro Sanitário de Vitória da Conquista - BA.** 2017, p. 4-7.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. et al. (Org.). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades.** Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2002. p. 29-35.

CASSINI, ST; COELHO, ST; PECORA, V. **Biogás- Biocombustíveis ANP.** In: Carlos Augusto G. Perlingeiro. (Org.). **Biocombustíveis no Brasil - Fundamentos, Aplicações e Perspectivas.** C. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2014, v. 136-167

CASTRO, T. L. M. L., FREITAS, M. F., ALENCAR, N. R. O., LISBOA, G. S., STRACIERI, J. **ANÁLISE ESTATÍSTICA DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL.** Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/6612/1240>. Acesso em 5 out. 2023.

CAVALER, V. **Viabilidade economica da utilizacao de biogas produzido em sanitarios para a geracao de energia eletrica.** Universidade estadual do oeste do Paraná campus de Cascavel - Centro de ciências exatas e tecnologicas - Programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola (2022).

CHERNICHARO, C.A.L. 1997. **Reatores anaeróbios.** Belo Horizonte: DESA-UFMG. 245 p. Acesso em 5 out. 2023.

CNM, C. N. Dos M. **Observatório dos lixões.** 2022. Disponível em: <https://www.cnm.org.br/>. Acessado em 27 nov. 2023.

COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana. **Caracterização Gravimétrica e Microbiológica dos Resíduos Sólidos Domiciliares do Município do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro, 2008. Acesso em 2 mar. 2023.

COMPANHIA MELHORAMENTOS DA CAPITAL (2002). **Manejo de resíduos sólidos: manual para edificações multifamiliares e de uso misto.** Disponível em: https://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/29_08_2014_13.10.43.aa22cbc52935dfb434a5a72221d092d9.pdf. Acesso em 11 out. 2023.

CONDE, T. T.; STACHIW, R.; FERREIRA, E. **Aterro sanitário como alternativa de preservação ambiental.** Revista Brasileira de Ciências da Amazônia. v. 3, n. 1, p. 69-80, 2014

CONSONI, A. J.; SILVA, I. C.; GIMENEZ FILHO, A. **Disposição final do lixo.** 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas IPT/ Compromisso Empresarial para Reciclagem CEMPRE, 2000. Acesso em 4 out. 2023.

COSTA, D. F. **Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização.** (Monografia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo (2002). v. 05; p 42-46. Acesso em 2 mar. 2023.

COUTINHO, M. L. **REVISÃO DA LITERATURA: FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, IMPACTOS EM ATERROS SANITÁRIOS E COMPOSTAGEM COMO SOLUÇÃO.** Acessado em 10 out. 2023.

CUNHA, E. R. **AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE BIOESTABILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM LISÍMETRO DE CAMPO.** Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaazoniodesertificacao/ProgramaMetanoZero.pdf>. Acesso em 2 out. 2023.

CAMPOS produz energia do lixo com potencial para abastecer 45 mil residências. Prefeitura de Campos, 03 de jun de 2023. Disponível em: https://campos.rj.gov.br/exibirNoticia.php?id_noticia=81636. Acesso em 04 jan. 2024.

Empresa de Pesquisa energética –MME (2018). **Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/estudo-sobre-a-economicidade-do-aproveitamento-dos-residuos-solidos-urbanos-em-aterro-para-producao-de-biometano#:~:text=Como%20resultado%20das%20simula%C3%A7%C3%B5es%20realizadas,para%20o%20pre%C3%A7o%20do%20biometano>. Acesso em 08 fev. 2024.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Parque Estação Biológica – EMBRAPA. **Biogás.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/p-d-e-i/biogas#:~>. Acesso em 11 dez. 2023.

EQUIPE SECOM: JORNALISMO. **Usina de Biogás gerado através do lixo é inaugurada em Macaé.** Disponível em: <https://macae.rj.gov.br/sema/leitura/noticia/usina-de-biogas-gerado-atraves-do-lixo-e-inaugurada-em-macae>. Acesso em 04 jan. 2024.

FELCA, A. A. T.; GLÓRIA, R. F.; BARROS, R. M.; ALVES, A. P. **Estimativa do potencial energético de um aterro sanitário por meio de duas metodologias.** Revista Vigilância e Saúde Ambiental: no contexto da educação, 2015.

FELIPETTO, A. V. M. **Conceito, planejamento e oportunidades:** Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos. Rio de Janeiro, p. 48, 2007.

FRANQUETO, R.; SILVA, J. D. **Desenvolvimento histórico da valorização de biomassa do agronegócio para produção de biogás no âmbito rural.** Simpósio Mundial de Sustentabilidade, 2020.

FUNASA. **IV Seminário Internacional de Engenharia de Saúde Pública**. 2010. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/uploads/2013/05/Cibele_mally.pdf. Acesso em: 11 set. 2023.

GALBATTI, J. A.; CAMELO, A. D.; SILVA, F. G.; GERARDI, E. B.; CHICONATO, D. A. (2010). **Estudo quali quantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. Acesso em 2 mar. 2023.

GIACCOM, B. M., BULHÕES, C. A. M. **Avaliação de parâmetros na estimativa da geração de resíduos sólidos urbanos**. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/8652>. Acesso em 6 out. 2023.

GIMENEZ, M. E. B. **BIODEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7585206/mod_resource/content/1/Pef3409%20-%20Biodegrada%C3%A7%C3%A3o%20de%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20urbanos.pdf. Acesso em 6 out. 2023.

GRACINO, Marina. C. S. **Caracterização dos Aterros Sanitários de Araçatuba e Região e o Potencial do Aterro Sanitário da Cidade de Araçatuba para Produção de Biogás**. 2010. 62 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Biocombustíveis). FACULDADE DE TECNOLOGIA DE ARAÇATUBA. Araçatuba, 2010. Disponível em: fatecaracatuba.edu.br. Acesso em 24 nov. 2023.

GRIPPI, Sidney. **Lixo: reciclagem e sua história**. Rio de Janeiro: Interciência, 2001. 134p. Acesso em 05 out. 2023.

GOMES, M. **Alagoas transforma gás metano dos aterros sanitários em energia elétrica**. Disponível em: <https://www.uol.com.br/eco/ultimas-noticias/2022/06/08/alagoas-transforma-gas-metano-dos-aterros-sanitarios-em-energia-eletrica.htm?cmpid=copiaecola>. Acesso em 15 nov. 2023.

HENRIQUES, M. R. **Aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos: uma abordagem tecnológica**. 2004. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/wp-content/uploads/sites/3/2014/01/henriques.pdf>. Acesso em 11 dez. 2023.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://www.ibam.org.br/gestao-integrada-de-residuos-solidos/>. Acesso em 5 out. 2023.

IBGE. **PANORAMA MUNICIPAL**. Cidades IBGE, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/panorama>. Acesso em: 02 ago. 2023.

IBGE. **PETROLINA – PERNAMBUCO – BRASIL (2022)**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/petrolina/panorama>. Acessado em 14 jan. 2024.

IBGE (2022). **Território do sudoeste baiano**. Disponível em: https://www.sei.ba.gov.br/images/informacoes_por/territorio/indicadores/pdf/sudoestebaiano.pdf. Acesso em 14 jan. 2024.

IBGE. **VITORIA DA CONQUISTA – BAHIA – BRASIL (2022)**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/vitoria-da-conquista/panorama>. Acessado em 28 nov. 2023.

Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <https://www.ibam.org.br/gestao-integrada-de-residuos-solidos/>. Acesso em 5 out. 2023.

ICLEI, **Manual para aproveitamento de biogás**. São Paulo, 2009, 81 p. Disponível em: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/gl/invs6.html>. Acesso em: 10 jun. 2023.

IPCC – INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). Disponível em: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf. Acesso em 10 dez. 2023.

JUNQUEIRA, H. S, MEDEIROS, D. L., COHIM, E. (2022). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de Feira de Santana: demanda energética e pegada de carbono**. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/9svxKWTcWDJb36b5rdbkHwb/?lang=pt#>. Acesso em 9 out. 2023.

Kim, V. J. H. (2019). **Análise da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de São Carlos (SP)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo

LEAL, Andressa. **Análise da disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Distrito de Pilar-Ba**. Revista Comsertões (2016). Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/comsertoes/article/view/3106>. Acesso em 19 jun. 2023.

LEME, M. M. V.; ROCHA, M. H.; LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J.; LOPES, B. M.; FERREIRA, C. H. **Análise técnico-econômica e avaliação de impacto ambiental da recuperação energética de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil**. v. 87, p. 8-20, jun. 2014.

LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3. Ed. Campinas: Hemus, 2004.

LOPES, M. A. A. O. **A gestão de resíduos sólidos urbanos em Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.** Disponível em: https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/112983/1/MAALdo_TESE.pdf. Acesso em 9 out. 2023.

MAGGIO, G.; CACCIOLA, G. **Quando atingirá o pico do petróleo, do gás natural e do carvão?** v. 98, p. 111-123, 2012.

MARES, R. (2016). **A produção do espaço urbano em Vitória da Conquista/BA: lógicas e práticas espaciais do lazer**, Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente/SP.

MARKGRAF, Claire; KAZA, Silpa. **Financing Landfill Gas Projects in Developing Countries. Urban development Series Knowledge papers.** 2016. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26302/AUS10685.pdf?sequence=4>. Acesso em 17 abr. 2023.

MATTEI, G., ESCOSTEGUY, P. A. V. **COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS ATERRADOS.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/8b7DZJFbYnGbmDL3vNwXV4C/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 12 out. 2023.

MENDES, M. C. S. **CONVERSÃO DO GÁS METANO DE ATERRO SANITÁRIO EM PRODUTOS DE VALOR AGREGADO PARA A INDÚSTRIA QUÍMICA.** Disponível em: <https://repositorio.usp.br/directbitstream/afdee70f-280a-4ee8-aa0a-ba50ae49c3e4/MARIA%20CLARA%20MENDES%20DA%20SILVA%20PQI20.pdf>. Acesso em 25 set. 2023.

MINISTERIO DAS CIDADES. (2023). **Roteiro para Redução das Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/roteiro-para-reducao-das-200bemissoes-de-gases-de-efeito-200bestufa-gee-no-manejo-de-rsu>. Acesso em 10 out. 2023.

MINISTERIO DAS CIDADES. **Calculadora de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) no Manejo de RSU.** Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/protegeer/calculadora-de-200bemissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee-no-manejo-de-rsu>. Acesso em 10 out. 2023.

MINISTERIO DAS CIDADES – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos (2014).** Acesso em 6 set. 2023.

Ministério do Meio Ambiente e Secretaria de Qualidade Ambiental. **PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.** Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf>. Acesso em 9 out. 2023.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de biogás como fonte alternativa de energia renovável.** São Paulo, 2010. p -42. Acesso em 2 mar. 2023.

MONTEIRO, V. E. D. **Análises químicas e biológicas no estudo do comportamento do aterro da Muribeca.** Tese de Doutorado – Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

NAGASHIMA, L. A., BARROS, J. C., ANDRADE, C. C., TENÓRIO, E. S., HOSHIKA, C. **Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos – uma proposta para o município de Paranavaí, Estado do Paraná, Brasil.** Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3032/303226530013.pdf>. Acesso em 9 out. 2023.

NECKER, H. S.; ROSA, A. L. D. **Estimativa teórica da geração de biogás do futuro aterro sanitário de Ji-Paraná – RO.** Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET, v. 17, n. 17, p. 3416 – 3424, 2013.

NOTA TÉCNICA DEA 019/2018. **Estudo sobre a Economicidade do Aproveitamento dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterro para Produção de Biometano** – Ministério de Minas e Energia. Acesso em 15 set. 2023.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono.** São Paulo, 2009.

PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO BRASIL (2022). Abrelpe. Acesso em 6 out. 2023.

PARO, A. C. COSTA, F. C.; COELHO, S. T. Estudo comparativo para tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração. **Revista Brasileira de Energia**, v. 14, n. 2, p. 113-125. Acesso em 2 mar. 2023.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto residual da USP:** Estudo de caso, 2006. Acesso em 2 mar. 2023.

Plano Estratégico Vitória da Conquista 2020 Etapa I – Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano e Agência Reguladora Municipal. **Produto 3 Tomo IV – Relatório Preliminar do Termo de Referência do Plano Municipal de Saneamento Básico.** Disponível em: https://www.pmvc.ba.gov.br/wp-content/uploads/PMVC_PDDU_Produto_03_Tomo_IV_TR_PMSB_03Out2018.pdf. Acesso em 10 out. 2023.

PMVC. **Esclarecimento sobre a taxa de manejo de resíduos sólidos**. 2021. Disponível em: <https://www.pmvc.ba.gov.br/esclarecimentos-sobre-a-taxa-de-manejo-de-residuos-solidos/>. Acesso em: 01 abr. 2023.

PMVC. **Prefeitura investe na ampliação do aterro sanitário**. Disponível em: <https://www.pmvc.ba.gov.br/prefeitura-investe-na-ampliacao-do-aterro-sanitario/>. Acesso em: 01 set. 2023.

PMVC. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Disponível em: <https://www.pmvc.ba.gov.br/wp-content/uploads/CARACTERIZACAODOMUNICIPIO.pdf>. Acesso em 30 ago. 2023.

PRANDINI, F. L.; JARDIM, N. S.; D'ALMEIDA, M. L. **Lixo Municipal: manual de gerenciamento integrado**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Compromisso Empresarial para Reciclagem(CEMPRE), 1995.

PREFEITURA MUNICIPAL DE VITÓRIA DA CONQUISTA - BAHIA. **Aterro Sanitário**. Disponível em: <https://www.pmvc.ba.gov.br/aterro-sanitario/>. Acesso em 19 jun. 2023.

PROGRAMA NACIONAL METANO ZERO – MMA (2020). Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/climaazoniodesertificacao/ProgramaMetanoZero.pdf>. Acesso em 29 set. 2023.

RUFINO, C. D. **BIOGÁS: O APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO GÁS METANO GERADO EM ATERROS SANITÁRIOS**. Disponível em: <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/biologia/biogas-aproveitamento-energico-gas-metano-gerado-aterros-sanitarios.htm>. Acesso em 22 set. 2023.

SANTOS, B. E. S. (2016). **MONITORAMENTO DA GERAÇÃO INICIAL DE GASES EM LISÍMETROS DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS CONTENDO NANOPRATA**. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/176154/TCC_DosSantosSilva_BrunoEduardo.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em 13 out. 2023.

SBALQUEIRO, C. L. **ESTUDO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO APROVEITAMENTO DO BIOGÁS PRODUZIDO NO ATERRO SANITÁRIO DE FOZ DO IGUAÇU-PR COMO FONTE DE ENERGIA ELÉTRICA**. (Monografia de Especialização). 2014. p 18. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22579>. Acesso em 2 mar. 2023.

SOUZA, Alceu; CLEMENTE, Ademir. **Decisões Financeiras e Análise de Investimento**. São Paulo, Atlas: 2009. Acesso em 2 mar. 2023.

SOUZA, G. **Monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos de líquidos percolados de aterros sanitários** – Estudo em piloto experimental. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina (2005), p 114.

SOUZA, Moises (2013). **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. p. 14- 20. Universidade Federal de Lavras. Acesso em 2 mar. 2023.

TAVARES, G. S. C. **Contribuição para a sustentabilidade na gestão dos resíduos sólidos urbanos nos municípios da Região Metropolitana do Recife (RMR)**. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/30588>. Acesso em 20 set. 2023.

TEIXEIRA, V. H. **Biogás**. 1. Ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2005. 93 f. Acesso em 3 mar. 2023.

TUDO sobre o gás de aterro, Waga Energy, 2017. Disponível em: <https://waga-energy.com/pt-br/tout-savoir-sur-le-gaz-de-decharge/>. Acesso em 26 dez. 2023.

TRIBUNA DO NORTE (2022). **Nordeste tem segundo maior percentual de RSU em 2022**. Disponível em: <https://tribunadonorte.com.br/brasil/nordeste-tem-segundo-maior-percentual-de-rsu-em-2022/>. Acesso em 5 out. 2023.

USEPA, Agência de Proteção dos Estados Unidos. **Transformando um passivo em um ativo: um projeto de conversão de gás em energia de aterro sanitário**. Manual de Desenvolvimento. 2008. Acesso em 2 mar. 2023.

USEPA, UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Turning a Liability into an asset: A Landfill Gas-to-energy Project Development Handbook**. 2008.

USEPA. **Emerging technologies for the management and utilization of landfill gas**. Office of Research and Development. EPA 68-D30035. Janeiro, 1998.

USINA de biogás em Petrolina gera energia elétrica capaz de abastecer 4.300 casas por ano. G1 Petrolina, Petrolina, 26 de dez de 2017. Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/petrolina-regiao/noticia/2019/12/26/usina-de-biogas-em-petrolina-gera-energia-eletrica-capaz-de-abastecer-4300-casas-por-ano.ghtml>. Acesso em 04 jan. 2024.

VANZIN, E. **Procedimento para análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica**: Aplicação no aterro santa tecla. Universidade de Passo Fundo (UPF) – Dissertação. Passo Fundo, 2006.

VITÓRIA DA CONQUISTA. **Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano**. 2019.
Disponível em: PDDU - Prefeitura Municipal de Vitória da Conquista - PMVC. Vitória da Conquista, 2019.

VITÓRIA DA CONQUISTA. Lei Complementar nº 2.581, de 31 de dezembro 2021. **Institui o Sistema Municipal de Gestão Integrada, Coleta, Remoção, Destinação Final de Resíduos Sólidos Ordinários e Extraordinários do Município de Vitória da Conquista**. Diário Oficial Municipal. Vitória da Conquista, 31 dez. 2021.

VITÓRIA DA CONQUISTA. Lei Municipal nº 1.385 de 26 de dezembro de 2006. **Institui o Plano Diretor Urbano do Município de Vitória da Conquista e da Outras Providências**. Diário Oficial Municipal. Vitória da Conquista, 26 dez. 2006.

XAVIER, H. L. **Abordando a gestão de resíduos sólidos no Nordeste brasileiro**. Disponível em: <https://editora.ufpe.br/books/catalog/download/261/270/790?inline=1>. Acesso em 9 out. 2023.

XAVIER, H. L., THOMÉ, J. F. J., MENEZES, R. S. C. **Gestão de resíduos sólidos no Nordeste do Brasil**. Disponível em: <https://editora.ufpe.br/books/catalog/book/261>. Acesso 2 out. 2023.

XAVIER, Maria Emília; KERR, Américo. **A análise do Efeito Estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos**. Cad. Bras. Ens. Fís., v. 21, n. 3, p. 325- 349, 2004. Acesso em 10 jun. 2023.

ZACHAROF, A. I., BUTLER, A. P. **Modelagem estocástica da produção de chorume e biogás de aterros sanitários incorporando heterogeneidade de resíduos**. Gestão de resíduos (2004). P 453-462. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso de 27 set. 2023.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. Rio de Janeiro, 2009. 97p. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro