Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MESTRADO

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS PROVENIENTE DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS GRANDES GERADORAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DA CIDADE DE JOÃO PESSOA (PB)

Por

Mikael Bernardo Vasconcelos de Araújo

Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre

João Pessoa – Paraíba **Setembro de 2024**

Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

MESTRADO

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS PROVENIENTE DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS GRANDES GERADORAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DA CIDADE DE JOÃO PESSOA (PB)

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Mikael Bernardo Vasconcelos de Araújo

Orientador: Prof. Dr. Joácio de Araújo Morais Júnior

Coorientador: Prof. Dr. Tales Abreu Tavares de Sousa

João Pessoa – Paraíba **Setembro de 2024**

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663e Araújo, Mikael Bernardo Vasconcelos de.
Estimativa do potencial de geração de biogás proveniente das atividades econômicas grandes geradoras de resíduos orgânicos da cidade de João Pessoa (PB) / Mikael Bernardo Vasconcelos de Araújo. - João Pessoa, 2024.
104 f. : il.

Orientação: Joácio de Araújo Morais Júnior.
Coorientação: Tales Abreu Tavares de Sousa.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Resíduos orgânicos. 2. Geradores. 3. Geração de biogás. 4. Energia renovável. I. Morais Júnior, Joácio de Araújo. II. Sousa, Tales Abreu Tavares de. III. Título.

UFPB/BC CDU 662.767.2(813.3)(043)

Elaborado por CHRISTIANE CASTRO LIMA DA SILVA - CRB-15/865

PPGECAM
Programa de Pós-Graduação
Engenharia Civil e Ambiental
UFPB Universidade Federal da Paraíba
Mestrado e Doutorado

ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS PROVENIENTE DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS GRANDES GERADORAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DA CIDADE DE JOÃO PESSOA (PB)

MIKAEL BERNARDO VASCONCELOS DE ARAÚJO

Dissertação aprovada em 03 de setembro de 2024

Período Letivo: 2024.2

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOACIO DE ARAUJO MORAIS JUNIOR
Data: 04/09/2024 12:01:06-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Joácio de Araújo Morais Junior – UFPB
Orientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
TALES ABREU TAVARES DE SOUSA
Data: 04/09/2024 20:11:51-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Tales Abreu Tavares de Sousa - UEPB
Coorientador(a)

Documento assinado digitalmente
gov.br
CLAUDIA COUTINHO NOBREGA
Data: 04/09/2024 18:41:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Profa. Dra. Cláudia Coutinho Nóbrega – UFPB
Examinador(a) Interno(a)

Documento assinado digitalmente
GOV.BR
NELSON LIBARDI JUNIOR
Data: 05/09/2024 09:09:45-0300
CPF: ***.684.639-**
Verifique as assinaturas em https://v.ufsc.br

Prof. Dr. Nelson Libardi Junior – UFSC
Examinador(a) Externo(a)

João Pessoa/PB
2024

Dedico aos profissionais que tornam efetivas as políticas de resíduos sólidos com o suor de seu trabalho.

AGRADECIMENTOS

Como cristão, primeiramente, agradeço ao meu Deus, por me permitir retornar ao mundo acadêmico e me dá forças de nele permanecer, mesmo residindo em outro estado, trabalhando em horário fixo e desenvolvendo projetos e relatórios de consultoria em nossa empresa.

Agradeço também a minha esposa, Aleska Maria, por estar presente ao meu lado em mais um desafio, ao longo desses 15 anos juntos. Embora ainda não tenha chegado ao mundo, agradeço ao meu filho Benjamin, por me incentivar a ser cada dia uma pessoa melhor para o guiar nesse mundo.

Agradeço aos meus pais, Mary Cristina e Sóstenes Saulo, por todo direcionamento ao longo da minha vida e pela estada garantida durante as minhas aulas em João Pessoa. Vocês foram e são fundamentais na minha vida. Ao meu pai, agradeço pelo suporte para desenvolvimento dessa pesquisa. Expresso meu carinho às minhas irmãs, Mikaella Caroline e Mikelle Deyse, e meus sobrinhos, Clarice, Lucca e Ana Luísa, por todo incentivo e amor.

Aos meus amigos Igor Quaresma e Raul Muniz, agradeço a amizade, parceria, ajuda e conselhos. Vocês são sensacionais e sou grato por os ter conhecido nessa vida acadêmica.

Ao meu orientador, professor Joácio, agradeço a confiança e liberdade para desenvolver essa pesquisa, mesmo ciente das limitações de tempo e distância que eu possuía. Agradeço a todas as orientações, correções, direcionamentos e incentivo. Ao meu coorientador, professor Tales, agradeço por ter aceitado esse desafio, além da paciência, incentivo constantes para que finalizássemos essa pesquisa, e a amizade construída.

À professora Cláudia e ao professor Nelson, por ter colaborado com suas experiências e conhecimentos ao longo de cada etapa do desenvolvimento deste estudo.

À Universidade Federal da Paraíba, agradeço a oportunidade de desenvolver essa pesquisa e contribuir de modo efetivo para uma João Pessoa mais sustentável.

RESUMO

As mudanças climáticas são consequências da exploração antrópica através do uso insustentável dos recursos naturais, e descarte inadequado dos resíduos sólidos. A lei N.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), prevê que algumas atividades econômicas, e os grandes geradores, elaborem seus planos para gerenciamento dos resíduos. No Brasil, a definição dos grandes geradores não é padronizada, e a ausência de critérios e de elementos sujeitos às inspeções, dificultam as fiscalizações. Em João Pessoa, o Decreto N.º 8.886, de 23 de dezembro de 2016, qualifica como grande gerador os estabelecimentos que produzem mais de 200 litros por dia. Este estudo objetivou investigar o potencial de produção de biogás dos resíduos orgânicos provenientes das atividades de grandes geradores na cidade de João Pessoa. Devido à dificuldade de obtenção de dados junto aos órgãos públicos, foram mapeados setores previamente pesquisados, incluindo hotéis, bares e restaurantes, feiras livres, supermercados e Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA). A quantificação dos resíduos foi feita com método específico para cada um tipo de grande gerador. A estimativa do potencial de geração de biogás foi baseada no modelo matemático *Scholl Canyon*. É possível destacar que a pesquisa tem caráter inovador, em razão de que não foram encontradas pesquisas, na revisão bibliométrica realizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, que abranja todos os grandes geradores de resíduos orgânicos, sobretudo, de João Pessoa. O estudo revelou uma massa total resíduos orgânicos estimada em 27.544 $ton.ano^{-1}$, com um potencial de geração de metano entre 50.183 e 66.911 $m^3.ano^{-1}$, o que indica uma capacidade para geração de energia elétrica de 2.035.407 $kWh.ano^{-1}$, o que ratifica a viabilidade de aproveitamento desses resíduos por métodos tecnológicos e sustentáveis de destinação, como a implantação de uma usina de biometanização na cidade de João Pessoa.

PALAVRAS-CHAVE: resíduos orgânicos; grandes geradores; geração de biogás; energia renovável.

ABSTRACT

Climate change is a consequence of anthropic exploration through the unsustainable use of natural resources and inadequate disposal of solid waste. Law No. 12,305, of August 2, 2010, which established the National Solid Waste Policy (PNRS), provides that some economic activities, and large generators, draw up their plans for waste management. In Brazil, the definition of large generators is not standardized, and the lack of criteria and elements subject to inspections makes inspections difficult. In João Pessoa, Decree No. 8,886, of December 23, 2016, qualifies establishments that produce more than 200 liters per day as large generators. This study aimed to investigate the potential for biogas production from organic waste from large generating activities in the city of João Pessoa. Due to the difficulty of obtaining data from public bodies, previously researched sectors were mapped, including hotels, bars and restaurants, farmer markets, supermarkets and Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA). Quantification of waste was carried out using a specific method for each type of large food waste generator. The estimate of biogas generation potential was based on the Scholl Canyon mathematical model. It is possible to highlight that the research has an innovative character, as no research was found in the bibliometric review carried out in the Scopus and Web of Science databases, which covers all large generators of organic waste, especially in João Pessoa. The study revealed a total organic waste mass estimated at 27,544 ton.year^{-1}, with a potential for methane generation between 50,183 and 66,911 m^3.year^{-1}, which indicates a capacity for generating electrical energy of 2,035,407 kWh.year^{-1}, which ratifies the feasibility of using this waste through more technological and sustainable disposal methods, such as the implementation of a biomethanation plant in the city of João Pessoa.

KEYWORDS: organic waste; large generators; biogas generation; renewable energy.

SUMÁRIO

RESUMO
ABSTRACT
LISTA DE FIGURAS
LISTA DE QUADROS
LISTA DE TABELAS
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1 INTRODUÇÃO 15

2 OBJETIVOS 18

2.1 OBJETIVO GERAL 18

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 18

3 REFERENCIAL TEÓRICO 19

3.1 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) GERADOS NO BRASIL 19

3.2 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) EM JOÃO PESSOA, PARAÍBA ... 23

3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS 27

3.3.1 Digestão Anaeróbia (Biometanização) 30
3.3.2 Aproveitamento energético do biogás 32
3.3.3 Aproveitamento do digestato como biofertilizante 38

3.4 GRANDES GERADORES 40

3.4.1 Centrais de Abastecimento (CEASA) 41
3.4.2 Feiras livres 43
3.4.3 Hotéis 44
3.4.4 Supermercados 46
3.4.5 Bares e restaurantes 47
3.4.6 Outros grandes geradores de resíduos orgânicos no perímetro urbano 48

4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO 50

5 MATERIAL E MÉTODOS 52

5.1 REVISÕES 52

5.1.1 Revisão bibliométrica pelo Knowledge Development Process – Constructivist: ProKnow-C 52
5.1.2 Revisão normativa (grandes geradores) 53

5.2 SELEÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO 53

5.3 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DE GRANDES GERADORES 54

5.3.1 Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA) 54
5.3.2 Feiras livres 55
5.3.3 Hotéis 55
5.3.4 Supermercados 56
5.3.5 Bares e restaurantes 57

5.4 ESTIMATIVA DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS 58

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES 61
6.1 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA 61
6.2 LEGISLAÇÃO QUE CLASSIFICA OS GRANDES GERADORES NAS CAPITAIS BRASILEIRAS 65
6.3 QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOMETANO 68
6.3.1 Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA)..... 68
6.3.2 Feiras livres..... 77
6.3.3 Hotéis..... 83
6.3.4 Supermercados 88
6.3.5 Bares e restaurantes 91
6.4 CONSOLIDAÇÃO DO ESTUDO 94
7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 99

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de resíduos sólidos entre os anos de 2003 e 2013 24
Figura 2 – Rota tecnológica resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa 26
Figura 3 - Mecanismo de digestão anaeróbia 31
Figura 4 - Progressão do crescimento do volume de biogás de plantas em operação no Brasil ao longo dos últimos anos (série histórica 2012-2022). 33
Figura 5 - Localização da cidade de João Pessoa e delimitação de seus bairros..... 50
Figura 6 - Registros fotográficos da campanha de coleta de resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas 69
Figura 7 - Dispersão da massa de resíduos gerados pela Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas 70
Figura 8 - Dispersão da massa de resíduos gerados semanalmente pela Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas em 2020 70
Figura 9 - Boxplot e dados estatísticos referentes às massas de resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas em 2020..... 71
Figura 10 - Boxplot e dados estatísticos referentes às massas de resíduos de campanha em 2022 72
Figura 11 - Comparação entre as massas médias de resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas 73
Figura 12 - Precipitação máxima no estado da Paraíba em 2023..... 74
Figura 13 - Registros fotográficos das feiras livres em João Pessoa: a) Torre; b) Mercado Central; c) Jaguaribe; d) Tambaú 78
Figura 14 – Georreferenciamento dos 103 supermercados em operação em João Pessoa.. 89

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Divisão dos bairros em lotes no município de João Pessoa, Paraíba 25
Quadro 2 - Resultados alcançados a partir do cruzamento das palavras-chave nos bancos de dados 61
Quadro 3 - Resultados alcançados a partir do cruzamento das novas palavras-chave nos bancos de dados 62
Quadro 4 - Resultados alcançados após filtragem do eixo I e exclusão dos artigos em duplicidade 63
Quadro 5 - Parâmetro caracterizador como grande gerador de resíduos nas capitais brasileiras 66
Quadro 6 – Informações sobre as principais feiras livres da cidade de João Pessoa 77
Quadro 7 – Supermercados por enquadramento no código Classificação Nacional de Atividades Econômicas 89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e regiões, por tipo de destinação entre 2021 e 2022 22
Tabela 2 - Composição média do biogás a partir de diferentes substratos 31
Tabela 3 – Geração de biogás por região territorial. 34
Tabela 4 – Potencial de produção de biogás pela composição média do resíduo sólido urbano bruto 35
Tabela 5 – Potencial de produção de biogás pela composição média do resíduo sólido urbano segregados na fonte 35
Tabela 6 - Valores propostos para *k* em função da precipitação e da disponibilidade de nutrientes 37
Tabela 7 - Valores de L_0 sugeridos em função da degradação do resíduo 38
Tabela 8 - Composição gravimétrica dos resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas 42
Tabela 9 - Massa de resíduo gerado durante campanha de coleta em 2022 71
Tabela 10 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da massa de resíduo (m_i) da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas 74
Tabela 11 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas ... 75
Tabela 12 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. 76
Tabela 13 – Estimativa de geração de resíduos orgânicos por feira livre em João Pessoa . 80
Tabela 14 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos das feiras livres de João Pessoa 81
Tabela 15 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos das feiras livres de João Pessoa 82
Tabela 16 – Características dos hotéis 84
Tabela 17 – Geração de resíduos sólidos pelos hotéis 85
Tabela 18 – Análise das variáveis e respectivos coeficiente de correlação de Pearson 85
Tabela 19 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos do setor hoteleiro de João Pessoa 87
Tabela 20 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor hoteleiro de João Pessoa 87
Tabela 21 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos dos supermercados de João Pessoa 90
Tabela 22 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor supermercadista de João Pessoa 90
Tabela 23 – Estimativa de geração de resíduos orgânicos por bares e restaurantes em João Pessoa 92
Tabela 24 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos dos bares e restaurantes de João Pessoa 93
Tabela 25 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos dos bares e restaurantes de João Pessoa 93
Tabela 26 – Estimativa de geração dos resíduos orgânicos dos grandes geradores da cidade de João Pessoa 94
Tabela 27 – Estimativa de vazão de metano gerado através da digestão dos resíduos orgânicos dos grandes geradores da cidade de João Pessoa 95
Tabela 28 – Potencial de geração de energia elétrica dos grandes geradores de resíduos orgânicos da cidade de João Pessoa 95

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas

ABRACEN – Associação Brasileira das Centrais de Abastecimento

ABRASEL – Associação Brasileira de Bares e Restaurantes

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABREMA – Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

AGV – Ácidos graxos voláteis

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

ASMJP - Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa

BMP – *Biochemical Methane Potential*

CADASTUR – Cadastro de Prestadores de Serviços Turísticos

CEASA – Centrais de Abastecimento

CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás

CO_2 – Dióxido de Carbono

COPEL – Companhia Paranaense de Energia

CNAE – Classificação Nacional das Atividades Econômicas

CNTP – Condições normais de temperatura e pressão

DA – Digestão anaeróbia

DF – Distrito Federal

EMLUR – Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana

EMPASA – Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

FAO – *Food and Agriculture Organization*

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos

GEE – Gases de efeito estufa

H_2 – Gás Hidrogênio

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LTDA – Limitada

MAPA – Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MO – Matéria Orgânica

MODECOM – *Mode de Caractérisation des Ordures Ménagères*

NBR – Norma Brasileira

PB – Paraíba

PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PMGIRS – Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PNSB – Política Nacional de Saneamento Básico

PROKNOW-C – *Knowledge Development Process – Constructivist*

RCC – Resíduo da Construção Civil

RSO - Resíduo Sólido Orgânico

RSU – Resíduo Sólido Urbano

PCI – Poder calorífico inferior

PIB – Produto interno bruto

SECITEC – Secretaria de Ciência e Tecnologia

SEDEC – Secretaria de Educação

SEFAZ – Secretaria de Estado da Fazenda

SEMAM – Secretaria de Meio Ambiente

SUDEMA – Superintendência de Administração do Meio Ambiente

UAN – Unidade de Alimentação e Nutrição

USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

UTB – Usina Termoelétrica a Biogás

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas extremas em todo o mundo são consequências diretas da exploração insustentável dos recursos do nosso planeta e da ineficiência da gestão dos resíduos sólidos. O perfil de consumo capitalista da população tem aumentado a exploração de recursos naturais e, proporcionalmente, elevado a geração de resíduos. Por conseguinte, os resíduos sólidos urbanos (RSU) têm sido apontados como um dos maiores problemas ambientais observados na atualidade. A maioria dos resíduos gerados diariamente podem ser tratados e reutilizados, restando apenas os rejeitos, que devem ser enviados para aterros sanitários somente após esgotarem todas as alternativas de tratamento e recuperação por meio de processos tecnológicos viáveis e economicamente sustentáveis (Brasil, 2010a).

Destaca-se que a problemática está além da produção exacerbada de resíduos. As complicações também estão relacionadas a destinação e disposição ambientalmente inadequadas. Consoante os dados da Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – ABREMA (2023), no Brasil, em 2022, foram geradas 77 milhões de toneladas de resíduos, sendo coletadas 71,7 milhões de toneladas, o que representa uma taxa de cobertura de coleta de 93%. Ainda, de acordo com a associação, 61% dos resíduos coletados foram dispostos em aterros sanitários. Todavia, 55% desses resíduos são destinados a aterros sem aproveitamento energético, ou seja, o biogás coletado não é reaproveitado. A disposição em aterros sanitários é o retrato da acomodação cultural de grande parte dos municípios brasileiros, que visam apenas a eliminação do resíduo, em detrimento da destinação para fins mais nobres, como a reciclagem, a recuperação e o aproveitamento energético. A gestão municipal dos resíduos é marcada pelo consentimento passivo e a carência de iniciativas proativas para fortalecer a gestão dos resíduos. Isso resulta, de forma errônea, na prática de considerar os aterros sanitários como a solução final para a disposição de resíduos, sem a implementação de estratégias e técnicas de tratamento com objetivo de reaproveitamento do potencial existente nos resíduos.

No tocante aos outros 39% dos resíduos coletados, esses foram dispostos inadequadamente em lixões ou aterros controlados, prática ambientalmente inadequada. Isso conduz a diversos problemas que atentam contra o desenvolvimento sustentável: nos aspectos socioambientais, são observados problemas como a contaminação do solo e da água, emissão de gases de efeito estufa (GEE) e proliferação de vetores, responsáveis pela transmissão de várias doenças; no aspecto econômico, verifica-se que o reaproveitamento

desses resíduos é limitado, o que eleva o custo com a destinação e impossibilita a recuperação material e energética desses resíduos.

De acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos - PLANARES (Brasil, 2022), ao analisar a composição gravimétrica da massa de resíduos destinada, observa-se que a fração orgânica, representada por sobras e perdas de alimentos, constitui o principal componente dos RSU, correspondendo a 45,3% do total gerado. Em adição, 33,6% são os resíduos recicláveis, que semelhante à fração anterior, são passíveis de reaproveitamento. Os demais resíduos, caracterizados como outros, atingem 21,1%, incluídos os rejeitos, que representam 15,5% e deveriam ser os únicos dispostos em aterros sanitários.

Para fortalecer a gestão de resíduos no país, a lei N.º 12.305, de 2 de agosto de 2010, estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que dispõe sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídas às responsabilidades dos geradores e do poder público. Ressalta-se que, dado ao seu caráter nacional, esta lei delimita regras gerais que devem ser atendidas pela união, estados, municípios e Distrito Federal (DF).

Uma vez que a geração é o ponto de partida para a existência de resíduos, o personagem central da gestão deve ser o gerador. A PNRS caracteriza geradores como pessoas físicas ou jurídicas que produzam resíduos sólidos por meio de suas atividades, enquadrando, ainda, a geração oriunda do consumo (Brasil, 2010a). A partir da definição dessas pessoas, com o objetivo de compartilhar as responsabilidades sobre a gestão, a PNRS prevê que algumas atividades e os grandes geradores estão sujeitos à elaboração de planos para gerenciamento dos seus resíduos. Todavia, não houve uma conceituação objetiva do que caracteriza a atividade econômica como grande geradora de resíduos.

Na busca para a categorização dos geradores de grandes volumes, tendo em vista a falta de definição clara de um critério de enquadramento na PNRS, o Projeto de Lei N.º 5.739, de 2016 visou alterar a PNRS, propondo que, a partir da taxa de geração diária de 120 (cento e vinte) litros ou 60 (sessenta) quilos, não haveria responsabilidade do poder público, sendo o gerador responsável, integralmente, pelos resíduos gerados e por sua devida destinação. Entretanto, o projeto de lei foi arquivado e a lei se manteve omissa nesse quesito, cabendo aos demais entes federados seus próprios critérios de enquadramento (Brasil, 2016).

Em razão da inexistência desse parâmetro geral de classificação, a prefeitura municipal de João Pessoa, área de interesse geográfico desta pesquisa, estabeleceu, através do Decreto N.º 8.886, de 23 de dezembro de 2016, que são considerados resíduos

comerciais e de serviços aqueles gerados por estabelecimentos, como: hoteleiros, recreativos, educacionais, bancários, empresariais e de prestadores de serviços, cuja produção diária não ultrapasse 200 litros por dia (João Pessoa, 2016). Isso permite indicar que produções acima de 200 litros diários qualifica a atividade como grande geradora e lhe atribui responsabilidade de gestão destes resíduos da geração até a destinação adequada.

Os grandes geradores, naturalmente, devem obedecer às disposições legais para operar de forma regular na cidade. Por força do Decreto N.º 8.886/2016, esses estabelecimentos são obrigados a segregar os resíduos orgânicos dos demais resíduos em sua fonte de geração, além de precisar apresentar um plano de gerenciamento de resíduos sólidos, como condicionante para o licenciamento ambiental da atividade, conforme estipula a Lei N.º 12.797/2010 (João Pessoa, 2014a). Em contrapartida, nas residências, a não diferenciação dos resíduos a serem destinados é hábito, e isso dificulta o gerenciamento, reaproveitamento adequado e valorização de todos os tipos dos resíduos.

A discrepância nos procedimentos entre os grandes geradores e os produtores de resíduos domiciliares fundamenta a restrição deste estudo às atividades econômicas grandes geradoras. Dentre todos os segmentos caracterizados como grandes geradores, a partir da premissa que os resíduos orgânicos representam a maior fração na composição dos resíduos e possuem alto potencial de reaproveitamento, este estudo se concentra em analisar as atividades econômicas classificadas como grandes geradoras de resíduos orgânicos.

Segundo o PLANARES, existe uma crescente adesão por parte dos grandes geradores em relação à separação dos resíduos orgânicos na fonte, visando ao futuro aproveitamento, e uma tímida ampliação da segregação na fonte em domicílios (Brasil, 2022). Dentre as formas de aproveitamento energético dos resíduos orgânicos está a digestão anaeróbia, que surge como uma fonte de energia pela recuperação do biogás, composto, predominantemente de metano, com alto poder calorífico. Dessa forma, o biogás reaproveitado passa a incrementar o rol das fontes renováveis na matriz energética brasileira.

Embora tenha aumentado o quantitativo de pesquisas relacionadas ao tema, associado ao apoio do Governo que tem criado uma base de regulações e resoluções, a utilização do biogás como forma de geração de energia ainda é insipiente no país, reforçando a necessidade de maior investimento no desenvolvimento de pesquisas que fomentem a coleta e utilização do biogás para reduzir a dependência energética nacional por combustíveis fósseis.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Identificar os grandes geradores de resíduos orgânicos da cidade de João Pessoa, quantificar os volumes de resíduos orgânicos gerados e estimar a capacidade de geração de biogás.

2.2 Objetivos Específicos

- Identificar as potenciais atividades econômicas grandes geradoras de resíduos orgânicos em João Pessoa.
- Estimar o potencial de geração de biogás proveniente da digestão desses resíduos orgânicos, como uma fonte renovável de bioenergia.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo está compartimentado em quatro partes, partindo da contextualização do macro ao microcenário de gestão dos resíduos sólidos urbanos, aos conceitos e técnicas para reaproveitamento dos resíduos como fonte de energia sustentável. Na primeira parte, será retratado a gestão dos resíduos sólidos no país, abordando as legislações pertinentes e dados mais recentes. A segunda parte focará na gestão da área de estudo, a cidade de João Pessoa, no estado da Paraíba. Na terceira parte do referencial teórico, serão introduzidos alguns conceitos relevantes para a temática de resíduo sólido orgânico, com abordagem central na digestão anaeróbia desses resíduos, com reaproveitamento energético do biogás gerado. Por fim, serão detalhadas as atividades econômicas potencialmente grandes geradoras de resíduos orgânicos, com as definições pertinentes.

3.1 Gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados no Brasil

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), instituída através da Lei N.º 11.445/2007, alterada pela Lei N.º 14.026/2020, estabelece, como um dos princípios fundamentais para prestação dos serviços públicos de saneamento básico, a limpeza urbana e o manejo dos resíduos sólidos, com o objetivo de preservar a saúde pública, conservar os recursos naturais e proteger o meio ambiente (Brasil, 2007). Apesar de ser considerada fundamental para o saneamento básico, a gestão integrada de resíduos sólidos não tem recebido a atenção devida dos gestores públicos (Jucá *et al*., 2014).

No Brasil, o sistema de gestão de resíduos é baseado em um conjunto de leis e regulamentos que são supervisionados por órgãos responsáveis pelo controle e gerenciamento dos resíduos sólidos no país. O principal marco regulatório é a PNRS, estabelecida pela Lei N.º 12.305/2010, mas regulamentada apenas em 12 de janeiro de 2022, através do Decreto N.º 10936/2022. A PNRS determina princípios, diretrizes e instrumentos para a gestão adequada dos resíduos sólidos, incluindo a prevenção, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final ambientalente adequada dos resíduos.

Assim, mesmo que haja um arcabouço legal robusto, o sistema característico de gestão integrada de resíduos sólidos, nos países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, expõe uma matriz de problemas que vão desde o aumento expressivo na geração de

resíduos, a não segregação dos resíduos na fonte, a baixa cobertura e a irregularidade de coleta, à disposição inadequada e sem controle, o que tem resultado em poluição do ar, água e solo, além de atrair vetores responsáveis pela transmissão de diversas doenças (Kiyasudeen *et al*., 2016).

A PNRS define a gestão integrada de resíduos sólidos como um conjunto de iniciativas destinadas a identificar alternativas viáveis dos resíduos sólidos, levando em consideração os aspectos políticos, econômicos, ambientais, culturais e sociais, com participação da sociedade e com base no princípio do desenvolvimento sustentável (Brasil, 2010a).

De natureza igual, mas com foco mais operacional, a PNRS também define o gerenciamento de resíduos sólidos, como um compilado de atividades realizadas, tanto de forma direta quanto indireta, nas fases de coleta, transporte, transferência, tratamento e disposição final adequada ambientalmente dos resíduos sólidos, bem como a disposição final apropriada dos rejeitos, conforme estabelecido pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou pelo plano de gerenciamento de resíduos sólidos (Brasil, 2010a).

Jucá *et al*. (2014) esclarecem que, no Brasil, a gestão dos RSU, do ponto de vista macro, tem sido proposta em esferas estaduais e federal e, em casos isolados, municipais. Já o gerenciamento dos RSU é mais limitado geopoliticamente, abrangendo os entes municipais. Cabe destacar que, a esses entes municipais e ao Distrito Federal DF, é delegada, pela própria PNRS, a responsabilidade para elaboração dos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS), contemplando as particularidades de cada local. Um dos requisitos mínimos do PMGIRS, em cumprimento ao art. 19, IV, da Lei N.º 12.305/2010, é a identificação dos resíduos sólidos e dos geradores sujeitos ao plano de gerenciamento de resíduos, uma vez que não há gestão sem conhecer as fontes e respectivas gerações dos RSU.

Por conseguinte, a quantificação e caracterização dos resíduos gerados é primordial para embasar as decisões estratégicas a serem elaboradas pelos agentes públicos. A própria PNRS prevê que seja realizado um diagnóstico prévio de modo a determinar as características básicas do RSU, tendo em vista que suas especificidades podem variar de acordo com clima, épocas do ano e parâmetros socioeconômicos (Raiol; Castro; Neves, 2019). Schalch *et al*. (2002) entendem que somente a partir desta caracterização é feita a correta classificação, e a determinação de tratamento e destinação final ambientalmente adequados.

Vencida a etapa de caracterização dos resíduos gerados, no contexto do gerenciamento dos RSU, deve-se compreender o sistema de coleta desses resíduos. A coleta envolve um processo complexo, no qual problemas com os prestadores de serviço ou falhas nos equipamentos podem causar transtornos à sociedade. Outrossim, os trabalhadores que atuam nas atividades de coleta estão expostos diariamente a riscos físicos, mecânicos, ergonômicos e biológicos. Esses desafios ressaltam a importância de uma gestão eficiente, que assegure a qualidade do serviço prestado e proteja a saúde e a segurança dos profissionais envolvidos. No Brasil, diferentes sistemas de coleta estão sendo implementados de acordo com a viabilidade econômico-financeira do investimento e o porte dos municípios (Spoti; Amaral, 2023).

A coleta de resíduos sólidos dos grandes geradores, em alguns municípios brasileiros, em regra os de pequeno porte, não possuem regulamentação, o que onera o serviço público municipal através da coleta convencional. A regulamentação dos grandes geradores, através do estabelecimento de limites claros de produção de resíduos, permite que os municípios evitem equiparar a produção de resíduos desses estabelecimentos com a geração doméstica. Isso viabiliza que o poder público municipal reduza os custos operacionais relacionados a coleta e destinação de grandes volumes de resíduos (Poletto, 2018).

Para estimular a criação dessas normativas municipais, a estratégia 15, da Diretriz 2A, do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2022), fixa que possuem prioridade, ao acesso de recursos federais, os municípios que estabelecerem em lei a condição de grande gerador de resíduo como responsável pelo gerenciamento e custeio do manejo dos resíduos gerados, de forma independente do sistema de limpeza urbana.

Além dos problemas existentes na falta de controle da geração e ineficiência da coleta, a destinação é etapa essencial na gestão dos resíduos. A destinação de resíduos sólidos no Brasil é um tema de grande relevância na gestão ambiental. No país, existem diversas formas praticadas para a destinação final dos resíduos sólidos. Cada uma dessas formas com suas características, custos operacionais e impactos socioambientais. É importante ressaltar que, apesar das diferentes formas de destinação, a PNRS estabelece uma hierarquia de prioridades, que valoriza a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento dos resíduos, buscando minimizar a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários e a outras formas de disposição.

Dados mais recentes da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE (2023), apresentados na Tabela 1, referentes a 2022,

apontam para um leve aumento de 0,5%, em relação a 2021, no que tange à disposição dita adequada. Embora a Tabela 1, extraída diretamente do Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil da ABRELPE (2023), considere o aterro sanitário como disposição adequada, é importante destacar que, de acordo com o definido na PNRS, a disposição final ambientalmente adequada, considera que apenas os rejeitos são encaminhados aos aterros sanitários. Por conseguinte, a destinação irrestrita de resíduos não pode ser apontada como adequada. Em termos de quantitativo, a região Nordeste é a maior contribuidora para o índice nacional de disposição inadequada (10.491.191 toneladas em 2022), superando, inclusive, a região Sudeste, cuja geração de resíduos é maior que o dobro da produção no Nordeste. Da massa de resíduos destinados, segundo a ABRELPE, em 2022, os tipos de destinação predominantes podem ser ordenados da seguinte forma: 55% para aterro sanitário (sem aproveitamento energético), 23% para aterro controlado, 16% para lixão e 6% aterro sanitário (com aproveitamento energético).

Tabela 1 - Disposição final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e regiões, por tipo de destinação entre 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, 2023

Além de ser a maior contribuidora para a disposição inadequada dos resíduos, a região Nordeste possui a menor cobertura de coleta (82,7%), e a pior taxa em relação a coleta seletiva porta a porta, com uma média por município de 1,9%. Contudo, embora apresente números preocupantes no que diz respeito à gestão dos resíduos, é a segunda região territorial com maior despesa com os serviços de limpeza urbana (R$ 6,578 bi e *per capita* de R$ 10,03 $hab^{-1}.mês^{-1}$), ficando atrás apenas da região Sudeste (ABREMA, 2023). Isso nos possibilita compreender que o tal cenário regional da gestão dos resíduos sólidos é consequência da carência de políticas públicas assertivas, da escassez de fiscalização em todas as etapas do gerenciamento dos resíduos, e da falta de consciência de grande parte da população brasileira. Zago e Barros (2019) ratificam que o desconhecimento da população sobre o potencial econômico, ambiental e social dos resíduos resulta em milhões de toneladas dispostas inadequadamente. Esse entrave implica graves problemas socioambientais, como a sobrecarga de aterros sanitários pela destinação inadequada de resíduos passíveis de reaproveitamento.

3.2 Gestão dos resíduos sólidos urbanos (RSU) em João Pessoa, Paraíba

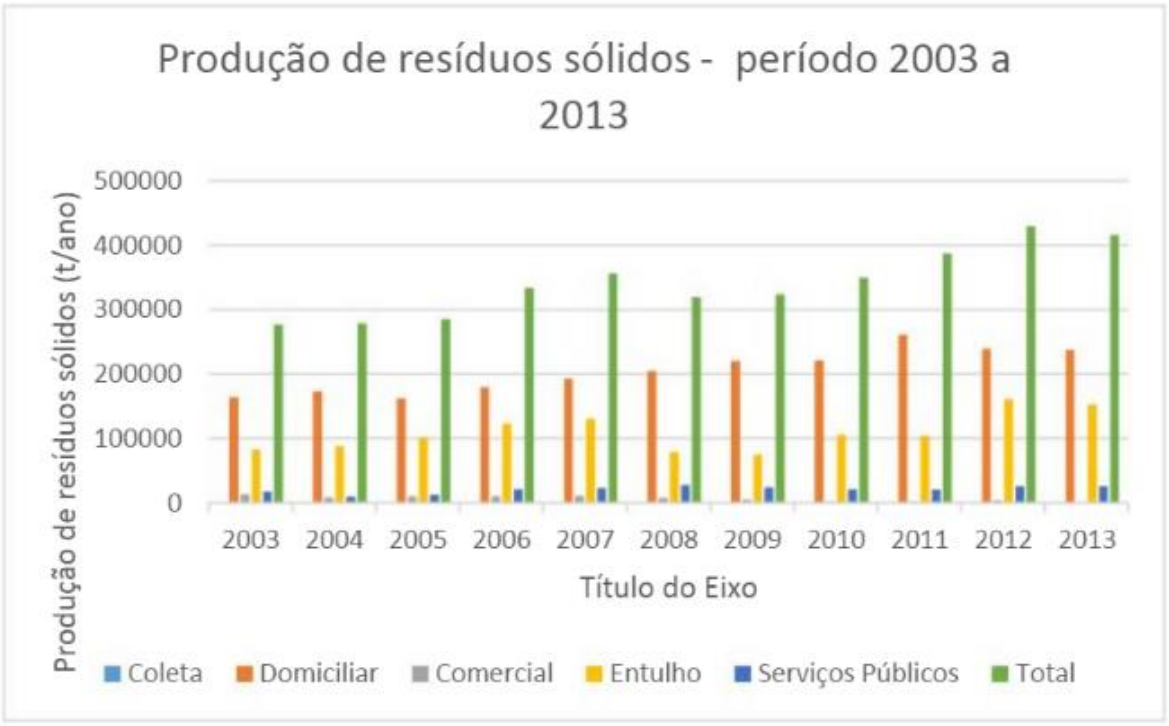
A cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, por estar inserida no contexto nacional, especificamente na região Nordeste, possui os mesmos problemas sofridos em grande parte dos municípios brasileiros, e expõe índices preocupantes, ainda mais, quando comparados às regiões Sul e Sudeste do país. No esforço de mitigar a realidade local, em João Pessoa, o modelo de gestão dos resíduos sólidos urbanos adotado considera o envolvimento do cidadão e do servidor de limpeza urbana (João Pessoa, 2014b). O propósito principal desta relação é promover a consciência em todos os envolvidos sobre o impacto que suas ações têm nos aspectos socioambientais e econômicos do município.

A gestão de resíduos sólidos na capital paraibana segue as diretrizes estabelecidas pelo PMGIRS e pela Política Municipal de Resíduos Sólidos do Município de João Pessoa, e é regulada pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR). Tal como prevê o PMGIRS de João Pessoa, a EMLUR tem competência para planejar, desenvolver, regulamentar, fiscalizar, executar, manter e operar os serviços integrantes ou relacionados com os serviços de limpeza urbana. A autarquia é ainda responsável pela coleta, transporte,

tratamento e destinação final dos resíduos sólidos na cidade, em parceria com empresas terceirizadas contratadas por meio de concorrência pública.

Os dados oficiais mais recentes sobre geração de resíduos na capital paraibana estão disponíveis no diagnóstico realizado para elaboração do PMGIRS de 2014, com dados coletados entre 2003 e 2013. Atenta-se que há um Plano mais recente, mas que sua revisão não foi concluída; logo, não possui validade. Em atendimento ao inciso XIX, art. 19, da Lei N.º 12.305/2010, o PMGIRS de João Pessoa, para que se mantenha válido, deve ser revisado até 2024. A Figura 1 demonstra a produção de resíduos por respectivo tipo ao longo da década supracitada. De acordo com esse gráfico, pode-se observar que o tipo mais gerado no município é o domiciliar, seguido do resíduo da construção civil (RCC), serviços públicos e, por fim, os resíduos ditos comerciais. Segundo o PMGIRS, em 2013, levando em conta apenas os resíduos domiciliares e de serviços de limpeza pública, a geração foi de 263.520,13 toneladas, que resultou em *per capita* de 0,94 $kg.hab^{-1}.dia^{-1}$.

Figura 1 - Produção de resíduos sólidos entre os anos de 2003 e 2013



Fonte: João Pessoa, 2014b

Os resíduos gerados na cidade e destinados ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), de acordo com o estudo realizado por Martins (2017), que aplicou a metodologia francesa de caracterização de resíduos domésticos, a *Mode de Caractérisation*

des Ordures Ménagères - MODECOM, possuem a seguinte constituição: fração orgânica (32%), resíduo verde (16%), plástico (10%), finos (10%), material de higiene pessoal (9%), inflamáveis (6%), papelão (5%), papel (3%), vidro (2%), tecidos (2%), especiais (2%), inerte (2%), e metal (1%). De acordo com dados mais recentes, veiculados no *website* da prefeitura, mais de 50% dos resíduos domiciliares gerados na cidade de João Pessoa são matéria orgânica (MO), em consonância com o panorama nacional (João Pessoa, 2020).

Os serviços de limpeza urbana no município, de acordo com o plano municipal de 2014, são divididos em três lotes, que abrange toda a área da cidade, como mostradas no Quadro 1. Os diferentes lotes são de responsabilidade da EMLUR e de empresas terceirizadas para prestação do serviço. Esses serviços de limpeza urbana e de gerenciamento operacional abrangem a limpeza, recolhimento, transporte e disposição final dos resíduos.

Quadro 1 - Divisão dos bairros em lotes no município de João Pessoa, Paraíba

Divisão dos Lotes	**Área de Atuação**
LOTE I	Bessa, Jardim Oceania, Aeroclube, Manaíra, Centro, Tambiá, Roger, Varadouro, Trincheiras, Padre Zé, Alto do Céu, Treze de Maio, São José, João Agripino, Brisamar, Mandacaru, Bairro dos Ipês, Ilha do Bispo, Alto do Mateus, Pedro Gondim, Bairro dos Estados, Torre, Miramar, Expedicionários, Tambauzinho.
LOTE II	Tambaú, Cabo Branco, Jaguaribe, Ponta do Seixas, Praia da Penha, Portal do Sol, Altiplano, Cristo, Varjão, Cruz das Armas, Oitizeiro, Jardim Veneza, Distrito Industrial, Mumbaba, Mussuré, Jardim São Paulo, Anatólia, Jardim Cidade Universitária, Castelo Branco, Bancários.
LOTE III	Costa do Sol, Mangabeira, Cidade Verde, Funcionários, Gramame, Cuiá, Muçumagro, Barra de Gramame, Cidade dos Colibris, José Américo, Água Fria, João Paulo II, Ernani Sátiro, Costa e Silva, Grotão, Planalto da Boa Esperança, Paratibe, Ernesto Geisel, Valentina.

Fonte: João Pessoa, 2014b, adaptado

A partir da divisão de lotes e respectivos responsáveis, a coleta de resíduos sólidos urbanos na cidade de João Pessoa é executada por meio de veículos coletores, cujos modelos são selecionados de acordo com a disponibilidade local, seguindo rotas pré-determinadas com base na região e na empresa responsável pela coleta (Medeiros; Paz; Morais Júnior, 2015). Segundo informações disponibilizadas pela prefeitura, durante a elaboração deste estudo, além da própria EMLUR, os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos são compartilhados com as empresas Inova Ambiental, Assessoria e Comércio LTDA e Techsol Infraestrutura e Serviços (João Pessoa, 2023).

Os RSU coletados no município de João Pessoa são dispostos, geralmente, no ASMJP, conforme pode ser visto na rota tecnológica dos RSU na Figura 2 (João Pessoa, 2014b). Essa Figura também permite realçar que apenas uma fração dos RSU passa por coleta seletiva, além da destinação dada aos resíduos gerados pelos serviços de saúde, que sofrem incineração.

Figura 2 – Rota tecnológica resíduos sólidos urbanos no município de João Pessoa

Fonte: João Pessoa, 2014b

A respeito da coleta seletiva no município de João Pessoa, esta consiste em um acordo com a população para segregar o resíduo em seco e úmido, e o entregar separado aos agentes ambientais das associações conveniadas com a EMLUR. Baseado no último

diagnóstico realizado, a cidade possui cinco núcleos de coleta seletiva localizados nos bairros do Bessa, Cabo Branco, Bairro dos Estados, Mangabeira e Jardim Cidade Universitária, além do Centro de Triagem que funciona no ASMJP, em Mussuré. Embora modesta a coleta seletiva na cidade, cerca de 1,5% em 2010, a prefeitura tem desenvolvido iniciativas para incentivar a participação da população nesse processo, através da criação de pontos de entrega voluntária e campanhas educativas (João Pessoa, 2023).

Em adição, os gestores do município, além da EMLUR, têm implementado ações de educação ambiental em parceria com outras secretarias, como a Secretaria de Meio Ambiente (SEMAN), a Secretaria de Educação (SEDEC) e a Secretaria de Ciência e Tecnologia (SECITEC). Essas entidades trabalham conjuntamente para promover a conscientização ambiental e disseminar práticas sustentáveis entre a população, como coleta seletiva em órgãos, escolas e condomínios, além da coleta de resíduos eletroeletrônicos.

Contudo, a coleta seletiva ainda é discreta na cidade. A grande massa de resíduo gerada é destinada ao aterro sanitário. O ASMJP foi inaugurado em 2003 e recebe, desde então, os RSU coletados em todos os bairros da cidade. Anteriormente, os resíduos eram destinados ao lixão a céu aberto, conhecido como Lixão do Róger, criado com vida útil de 3 anos, mas que operou por 45 anos, até sua desativação em 2003 (Nóbrega, 2003). Nascimento (2020) explica que o ASMJP é operado por uma concessionária que atende ao consórcio intermunicipal entre João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, Lucena e Conde. Ressalta, porém, que o município de Lucena, mesmo integrante do consórcio, não deposita seus resíduos no ASMJP, utilizando lixão como destinação final.

Ao comparar a cidade de João Pessoa ao macro cenário da região Nordeste, verifica-se que a capital paraibana enfrenta desafios semelhantes na gestão dos resíduos sólidos. Contudo, os gestores municipais, em colaboração com a EMLUR e outras entidades, tem conduzido pesquisas para entender a situação geral da cidade e minimizar os impactos socioambientais resultantes da ineficiente operação dos serviços públicos de limpeza urbana.

3.3 Resíduos sólidos orgânicos

Os resíduos sólidos são definidos pela PNRS como material, substância, objeto ou bem descartado como resultado das atividades humanas em sociedade, que requer uma destinação final adequada, sendo geralmente sólido ou semissólido. Isso também inclui

gases contidos em recipientes e líquidos com características que impedem seu descarte na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou que exigem soluções técnicas ou economicamente inviáveis de acordo com a melhor tecnologia disponível.

Esses resíduos são classificados, de acordo com o art. 13 da PNRS:

> I - quanto à origem:
> a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
> b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
> c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
> d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
> e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
> f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
> g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;
> h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
> i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
> j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
> k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;
>
> II - quanto à periculosidade:
> a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
> b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados na alínea “a”.

No que tange à periculosidade, a NBR 10.004 (ABNT, 2004), diante da crescente inquietação da sociedade em relação às questões ambientais e ao desenvolvimento sustentável, com objetivo de fornecer subsídios para o gerenciamento de resíduos sólidos,

estabeleceu os critérios de classificação e os códigos para a identificação dos resíduos de acordo com as suas características:

- Resíduos Classe I – Perigosos: conferem risco à saúde pública ou ao meio ambiente, ou possuem alguma das características a seguir listadas: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade;
- Resíduos Classe II – Não perigosos:
    - Resíduos Classe II A – Não inertes: podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
    - Resíduos Classe II B – Inertes: quando submetidos a condições específicas, não tem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Embora a PNRS não defina resíduos sólidos orgânicos (RSO), também conhecido como biorresíduos, o PLANARES explica que esses resíduos são constituídos basicamente por restos de alimentos, vegetais descartados e lodo de estações de tratamento de esgoto, podendo ser de origem domiciliar e da limpeza urbana, agrícola ou industrial e de saneamento básico (BRASIL, 2022). Os RSO representam a maior parcela dos destinados aos aterros sanitários (39%) (ABRELPE, 2023). Salienta-se que esse dado é uma média nacional, já que não se pode determinar, com exatidão, a fração orgânica por município, dada à heterogeneidade e dimensões continentais do país, além da falta de padronização quanto à análise gravimétrica a ser aplicada.

Mesmo que seja a principal forma de destinação final, os aterros sanitários são uma das principais fontes de emissão de metano, devido à degradação da MO. Desse modo, o PLANARES estimula as práticas de redução, reciclagem e valorização dos orgânicos para, além de ampliar a vida útil dos aterros sanitários, minimizar as emissões de GEE e os custos de manutenções dessas unidades.

Uma das ações mais eficazes para reduzir expressivamente a entrada de material biodegradável em aterros é a gestão separada dos biorresíduos, pois além de fomentar a redução de GEE pela digestão da MO em condições anaeróbias, agrega valor aos recicláveis, melhora as condições de trabalho dos catadores, viabilizando as etapas seguintes da reciclagem (ECN, 2015). O PLANARES explica que a compostagem e a digestão anaeróbia são as principais alternativas para reciclagem e valorização dos

biorresíduos, pois possui elevado potencial de recuperação de subprodutos, a exemplo do biogás, uma fonte renovável de energia.

Na compostagem, há o aproveitamento material dos resíduos orgânicos, que pode ser convertido em um fertilizante. Embora o Brasil seja insipiente no tema, os processos de compostagem são os que apresentam viabilidade técnica e econômica associado a um menor risco. Aos grandes geradores, pela facilidade de segregação na fonte, como feiras livres, mercados municipais, manutenção de áreas verdes, restaurantes e iniciativas comunitárias, uma das alternativas sugeridas é a adoção de processos de compostagem para tratamento dos RSO gerados (Brasil, 2022).

Por sua vez, na digestão anaeróbica, além da produção de um adubo líquido, a fração orgânica dos resíduos é convertida em biogás, com diversas aplicações, como combustível para geração de energia. As tecnologias brasileiras de digestão anaeróbia têm demonstrado eficiência e viabilidade econômico-financeira para serem utilizadas em conjunto com unidades de tratamento mecânico-biológico, oferecendo alternativas à disposição inadequada em lixões e aterros controlados, bem como à disposição final em aterros sanitários (Brasil, 2022). Destaca-se que, de modo geral, não se classifica tecnologias melhores ou piores, mas tecnologias mais apropriadas ao contexto e demanda, que, sobretudo, respeitam os aspectos sustentáveis do local onde será implantada.

3.3.1 Digestão Anaeróbia (Biometanização)

Dentre as formas de biodegradação dos biorresíduos está a digestão anaeróbia (DA), reconhecida como uma estratégia eficiente e ecologicamente correta capaz de converter significativa fração dos resíduos orgânicos em biogás, considerada uma fonte de energia renovável. Nesse processo, a decomposição da fração orgânica dos resíduos ocorre na ausência de oxigênio. A DA é um processo bioquímico complexo que requer uma diversidade microbiana abrangente. Esses grupos microbiológicos apresentam capacidades específicas para degradar as longas cadeias de compostos orgânicas presentes nos resíduos em moléculas mais simples e de mais fácil absorção, aumentando assim a biodisponibilidade. Como resultado desse processo, o material orgânico biodegradável é convertido biologicamente em biogás, com composição predominante de metano (CH_4), seguido de dióxido de carbono (CO_2), dentre outros, conforme destacados na Tabela 2 (Tchobanoglous; Burton; Stensel, 2003).

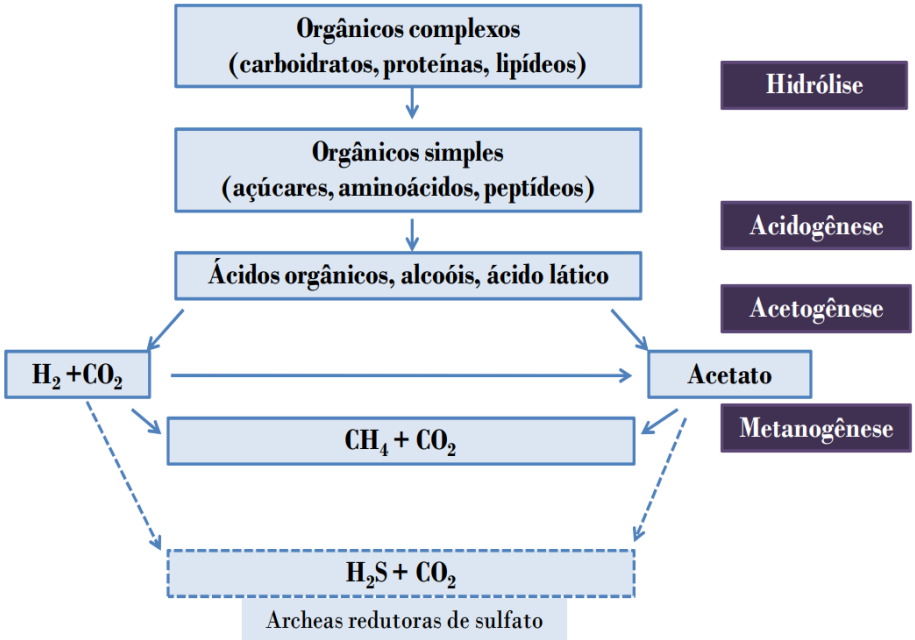
Tabela 2 - Composição média do biogás a partir de diferentes substratos

Gás	Teor em volume (%)	Fórmula Química
Metano	60-70	CH_4
Dióxido de Carbono	30-40	CO_2
Nitrogênio	0-3	N_2
Hidrogênio	0-1	H_2
Oxigênio	0-1	O_2
Gás sulfídrico	0-1	H_2S

Fonte: Tchobanoglous; Burton; Stensel, 2003

O processo de DA aplicado ao tratamento de resíduos orgânicos é amplamente bem documentado na literatura como uma tecnologia biológica conduzida por um complexo consórcio microbiano. Embora suas reações ocorram simultaneamente, são interligadas e dependentes entre si. Historicamente, foi no início do século XX que para melhorar o entendimento do processo anaeróbio, a DA foi dividida e classificada em quatro fases sequenciais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Chernicharo, 1997; Tchobanoglous; Burton; Stensel, 2003), representadas pela Figura 3. Após essas fases, há a maturação, quando o material biodegradável já foi consumido e ocorre a diminuição da produção de metano (Tchobanoglous; Theisen; Vigil, 1993 *apud* Valença, 2017).

Figura 3 - Mecanismo de digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 1997

A hidrólise é a primeira fase do processo e frequentemente é vista como a etapa limitante da velocidade da digestão anaeróbia, pois ao melhorar a hidrólise, os substratos se tornam mais acessíveis às bactérias, acelerando a digestão, aumentando o volume de biogás produzido e reduzindo o subproduto gerado no processo. Nessa etapa, o material orgânico complexo, como carboidratos, proteínas e gorduras são hidrolisados, processo esse catalisado por exoenzimas. Esse processo metabólico origina aminoácidos, açucares solúveis, ácidos graxos de cadeia longa e glicerina. Na acidogênese, esses monômeros liberados são convertidos em orgânicos de cadeia mais curta, como os ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácido lático e compostos minerais. A fase de acetogênese possui um grupo de microrganismos que decompõem os produtos da acidogênese e geram acetato, CO_2 e H_2. A metanogênese transforma esses produtos da acetogênese em metano e dióxido de carbono, através da digestão pela *archeas* metanogênicas.

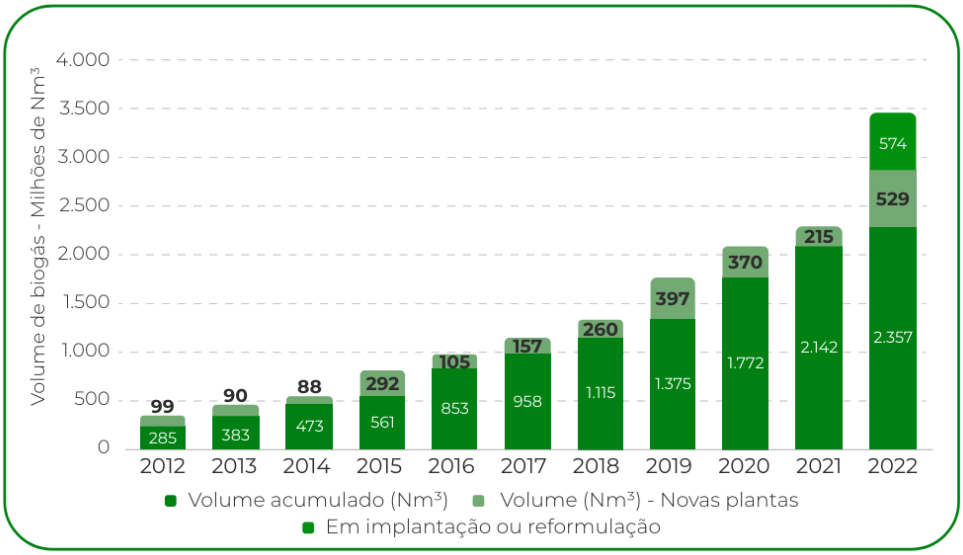
De acordo com Valença (2017), para alcance da eficiência desejada na digestão anaeróbia, é essencial o controle de alguns parâmetros, como a proporção de microrganismos, o pH, a temperatura, as dimensões da matéria biodegradável a ser digerida, e pressão de oxigênio, por exemplo. As variações das faixas ideais desses parâmetros podem influenciar a geração de metano, sendo uma das desvantagens da DA. Em processos de tratamento que utiliza a DA, para a geração satisfatória de metano, é necessário que sejam analisados os substratos e os inóculos que serão utilizados, para não comprometer a qualidade do biogás gerado.

3.3.2 Aproveitamento energético do biogás

Atualmente, além do adequado tratamento dos resíduos orgânicos, e sua significativa redução do volume final, a recuperação do biogás, como uma fonte renovável de bioenergia, tem se tornado o principal propósito da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos. Uma das formas de recuperação é o reaproveitamento do biogás que tem se propagado no mundo, pois, além da redução dos impactos ambientais causados pelos gases que são eliminados durante o processo de digestão anaeróbia, o biogás passa a ser uma nova fonte de geração de energia, incrementando o rol das fontes renováveis na matriz energética brasileira. Ainda, o biogás pode ser utilizado como combustível para caldeiras, em fornos ou estufas, cogeração (eletricidade e calor), podendo, ainda, ser injetado na linha de gás natural ou utilizado como combustível veicular (Brasil, 2016).

Ao analisar o panorama do biogás no Brasil, de acordo com o Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás, 2023), com dados coletados entre abril de 2022 e maio de 2023, a produção de biogás cresceu cerca de 87% nos últimos 10 anos. Em 2022, 114 novas plantas de biogás iniciaram sua operação. Isso representa um aumento de 15% no número de plantas e um acréscimo de 22% do volume de biogás (que representa cerca de 529 milhões Nm³/ano). O segmento que mais contribuiu para esse crescimento foi o setor de saneamento, que é responsável por 74% do volume do gerado, sendo produzido majoritariamente (96%), por aterros sanitários (Figura 4).

Figura 4 - Progressão do crescimento do volume de biogás de plantas em operação no Brasil ao longo dos últimos anos (série histórica 2012-2022).



Fonte: CIBiogás, 2023

Mesmo que tenha ocorrido um aumento considerável na geração de biogás, de acordo com os dados disponibilizados pela Associação Brasileira do Biogás (ABiogás, 2021), o Brasil ainda é insipiente na exploração desse recurso. O potencial teórico de produção de biogás no Brasil é de 84,6 bilhões de metros cúbicos por ano. o Brasil explora apenas 3,3% desse potencial, dado que, em 2022, a produção foi de apenas 2,8 bilhões de Nm³ de biogás. Nesse panorama nacional, a região Nordeste gera 476.866.317 Nm³/ano de biogás em 26 plantas em operação. Essa geração representa apenas 17% da produção nacional, conforme pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 – Geração de biogás por região territorial.

REGIÃO	NÚMERO DE PLANTAS		PRODUÇÃO DE BIOGÁS (Nm³/ano)	
Centro Oeste	163	18%	156.097.746	5%
Nordeste	26	3%	476.866.317	17%
Norte	6	1%	32.063.439	1%
Sudeste	366	41%	1.740.668.436	60%
Sul	324	37%	480.766.792	17%
TOTAL	**885**	**100%**	**2.886.462.730**	**100%**

Fonte: ABiogás, 2023

A capacidade energética do biogás está diretamente relacionada ao teor de metano contido, o que estabelece seu poder calorífico (Oliveira *et al.*, 2018). O metano puro em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), possui poder calorífico de 9,9 $kWh.m^{-3}$. O estudo desenvolvido por Carvalho (2021) confirma que o poder calorífico inferior do metano puro é de 8.500 $kcal.m^{-3}$ (1kWh = 860kcal), realizadas as conversões das unidades dimensionais. No biogás, com concentração variando entre 50% e 80% de metano, o poder calorífico inferior está situado entre 4,95 e 7,90 $kWh.m^{-3}$ (Alves, 2008).

No que tange à qualidade do biogás, é recomendada a medição online dos principais constituintes, como metano e dióxido de carbono, através de sensores infravermelhos, e gás sulfídrico e oxigênio, por meio de sensores eletroquímicos (Brasil, 2016). Em casos de usos específicos do biogás, como o biometano, é mandatório o atendimento às exigências de monitoramento do gás, conforme determina a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através da Resolução ANP N.º 8, de 30 de janeiro de 2015, e regulamentos associados (Brasil, 2016).

O potencial de produção de biogás é influenciado diretamente pela composição físico-química dos biorresíduos presentes nos RSU tratados via anaeróbia. Os RSU, por sua vez, variam, principalmente, em função de sua origem, podendo ser misturado (RSU bruto) ou segregado na fonte geradora. Conforme pode ser visto, ao comparar as Tabelas 4 e 5, verifica-se que o potencial de produção de biogás é totalmente influenciado pela composição média dos RSU (Brasil, 2016).

Tabela 4 – Potencial de produção de biogás pela composição média do resíduo sólido urbano bruto

Parâmetro	Resíduos municipais (RSU bruto)
Sólidos Totais (ST)	30 – 40%
Sólidos Voláteis (SV)	50 – 60%
Impurezas (sem sedimentos)*	10 – 20%
Potencial de produção de biogás/SV*	450 – 600 Nm^3/t SV
Potencial de produção de biogás/t*	90 a 120 Nm^3/t
Porcentagem de metano no biogás*	60 – 65% CH_4

Fonte: Brasil, 2016

Tabela 5 – Potencial de produção de biogás pela composição média do resíduo sólido urbano segregados na fonte

Parâmetro	Resíduos orgânicos segregados na fonte
Sólidos Totais (ST)	15 – 20%
Sólidos Voláteis (SV)	85 – 95%
Impurezas (sem sedimentos)	5 – 10%
Potencial de produção de biogás/SV	850 Nm^3/t SV
Potencial de produção de biogás/t	110 – 160 Nm^3/t
Teor de CH_4 no biogás	55 – 60% CH_4

Fonte: Brasil, 2016

Além do controle da composição média dos RSU, tratando-se de um cenário de anaerobiose, é essencial que o oxigênio presente no meio seja extraído, pois a presença de concentrações relevantes de oxigênio implica redução e/ou inibição da ação das bactérias metanogênicas, resultando na perda de potencial de geração de metano. Em reatores, a presença de pequenas concentrações de oxigênio pode não gerar toxicidade, tendo em vista que as bactérias aeróbias e as anaeróbias facultativas consomem o oxigênio em seus processos de digestão (Mccarty, 1964b; Koch; Fernández; Drewes, 2005; FNR, 2010 *apud* Valença, 2017).

Atualmente, existem inúmeras metodologias para quantificação do potencial de geração de biogás de um dado resíduo orgânico, mas o teste do potencial bioquímico de metano (*Biochemical Methane Potential* - BMP) é uma metodologia padronizada que viabiliza fornece dados reais viabilizando a comparação entre diferentes estudos (Angelidaki *et al*., 2009). Tendo em mente que o teste BMP não possui regulamentação

oficial no Brasil, Silva, Morais Júnior e Rocha (2016) propuseram um protocolo para realização do teste no país. A primeira etapa do processo é a seleção e análise do inóculo, que precisa conter microrganismos apropriados em quantidade e qualidade para o processo de digestão anaeróbia, pH neutro e ser líquido ou semissólido. Caso o inóculo não atenda aos resultados de pH entre 7 e 8 e STV maior que 60 $g.L^{-1}$, é necessário aclimatar para tornar o inóculo viável para digestão anaeróbia e produção do biogás. Ou seja, ajustar o inóculo para atingir os parâmetros ideais, permitindo que o processo de digestão ocorra adequadamente. O meio de cultura líquido, que serve como solução nutritiva, deve ser adaptado, a fim de se obter uma solução tamponada, com pH próximo da neutralidade. A próxima etapa é a preparação da amostra de resíduos, que devem ser segregados em diferentes recipientes e recortados em pedações de aproximadamente 2,5 cm. Posteriormente, devem ser pesados em balança analítica, misturados em frações conhecidas e triturados em liquidificador industrial até alcança granulometria média de 0,6 mm. Aproximadamente 300 gramas dessa amostra deve ser caracterizada físico-quimicamente e o restante colocado em estufa a 80ºC durante 48 horas para obtenção do material seco. Esse material, após ser retirado da estufa, deve ser acondicionado em dessecador, até que atinja temperatura ambiente para ser caracterizado (teor de umidade, densidade, STV e STF). Em seguida, esse material deve ser refrigerado a 10ºC para evitar o processo natural de biodegradação até que a amostra seja inoculada, devendo ser retirado do refrigerador com antecedência de, no mínimo, 8 horas antes do processo de inoculação do teste BMP.

Mais adiante, a etapa seguinte é a inoculação propriamente dita. Diferentes amostras de resíduos devem ser retiradas da refrigeração e inoculadas nos reatores biológicos. Esses reatores devem ser etiquetados e cobertos com papel alumínio para evitar penetração de luz. O inóculo e amostra dos resíduos (fração orgânica ou biodegradável) devem ser pesados de acordo com o planejado. Posteriormente, a solução nutritiva deve ser adicionada, com agitação lenta durante aproximadamente dez segundos. Após a agitação, deve ser inserido gás nitrogênio no frasco durante trinta segundos. Cada frasco deverá ser pesado e colocado na estufa em temperatura de 35ºC. Uma hora depois, registra-se a pressão medida como pressão inicial. Os reatores devem permanecer incubados a 35ºC em estufa, por no mínimo 90 dias. O monitoramento da produção de metano será efetuado através das análises de temperatura (30ºC – 45ºC), das pressões, interna e ambiente, bem como das concentrações dos gases CO_2, CH_4 e N_2. A composição do biogás gerado será determinada através do processo de cromatografia gasosa, com detecção por ionização em

chama e condutividade térmica. Por fim, será realizada a estimativa de produção em litros normais de biogás por quilograma de massa seca em CNTP, através de equações matemáticas.

No caso de impossibilidade de realização do teste BMP em laboratórios, existem pesquisas desenvolvidas com a utilização de modelos matemáticos para estimativa teórica do potencial de geração de biogás. O método *Scholl Canyon* ou de decaimento de primeira ordem é um modelo cinético utilizado para avaliar a produção de metano durante a vida de um aterro. Jesus, Silva e Gattamorta (2020) explicam que esse modelo é baseado no princípio que existe uma fração constante de material biodegradável nos resíduos por unidade de tempo. De acordo com *The World Bank* (2004), esse modelo estima a produção de metano num intervalo de tempo em função da constante de geração de metano (*k*), do potencial de geração de metano (L_0), e da quantidade de resíduos depositada no aterro. A constante *k* se baseia, de acordo com a U.S. *Environmental Protection Agency* - USEPA (1998), na precipitação anual, enquanto os valores de L_0 se baseiam na caracterização do resíduo, variando entre relativamente inerte e altamente degradável. Ambos os parâmetros podem ser selecionados a partir das Tabelas 6 e 7:

Tabela 6 - Valores propostos para *k* em função da precipitação e da disponibilidade de nutrientes

Precipitação anual (mm)	**Valores da constante *K* (anos)**		
	Relativamente Inerte	**Moderadamente Degradável**	**Altamente Degradável**
k < 250	0,01	0,02	0,03
250 > k > 500	0,01	0,03	0,05
500 > k > 1000	0,02	0,05	0,08
k > 1000	0,02	0,06	0,09

Fonte: The Word Bank, 2004

A partir da estimativa do potencial de geração de biogás, Oliveira *et al.* (2018) explicam que, consoante dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o biogás gerado na digestão anaeróbia da fração orgânica dos resíduos seria capaz de atender a 12% de toda a energia do Brasil. Contudo, o autor explicita que, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), apenas 0,05% deste potencial era utilizado em 2018.

Tabela 7 - Valores de L_0 sugeridos em função da degradação do resíduo

Caracterização do resíduo	Valor mínimo de L_0 ($m^3\ CH_4.ton^{-1}$)	Valor máximo de L_0 ($m^3\ CH_4.ton^{-1}$)
Resíduo relativamente inerte	5	25
Resíduo moderadamente inerte	140	200
Resíduos altamente degradável	225	300

Fonte: The Word Bank, 2004

3.3.3 Aproveitamento do digestato como biofertilizante

O potencial de geração de biogás depende, basicamente, das características físico-químicas do substrato, como composição, tipologia e quantidade. Durante o processo de digestão anaeróbia, além do biogás produzido, é gerado um material digerido que pode ser reciclado. Conforme ensinam Pivato *et al.* (2016), o material digerido na DA é o digestato. No caso dos RSO, o digestato pode ser rico em Nitrogênio, Fósforo e Potássio, que são elementos essenciais para favorecer o desenvolvimento das plantas. Assim, em face de sua capacidade de melhorar as propriedades físicas do solo, aumentando o balanço hídrico e a estrutura do solo, o digestato possui características de biofertilizante (Ros *et al.*, 2017). Dessa forma, o subproduto do processo de DA, o digestato, também é passível de reaproveitamento como biofertilizante.

A reutilização desse digestato é um dos critérios que aumenta a viabilidade econômica da implantação da usina de biometanização, já que afasta parte dos custos agregados com a implantação e operação de sistemas de tratamento desse subproduto, além de gerar um novo produto a ser comercializado. Em contrapartida, aspectos relacionados à qualidade do digestato gerado, à logística de distribuição do fertilizante e à demanda de nutrientes nas áreas agrícolas devem ser considerados pois podem elevar os custos e impor limitações técnicas que podem inviabilizar a implantação desse sistema de tratamento (Kunz, Steinmetz e Amaral, 2019).

Em um estudo realizado para construções de uma usina de biogás de mistura completa, destinada ao tratamento de diferentes resíduos agropecuários, determinou que seriam produzidos dois tipos de efluentes: o digestato líquido e o composto orgânico, com composição química e teor de matéria seca distintos. A quantidade e qualidade do digestato, e a sua aplicação na agronomia são dependentes de alguns aspectos, como a composição dos resíduos utilizados, tipo e tecnologia do biodigestor, eficiência dos sistemas de pré-tratamento, entre outros. O composto orgânico oriundo de usina de biogás tem os nutrientes mais concentrados em sua composição, quando comparado ao digestato

líquido. Enquanto aquele contém concentração média de 93,0 $kg.m^{-3}$ de nitrogênio, 121,0 $kg.m^{-3}$ de fosfato, e 47,0 $kg.m^{-3}$ de óxido de potássio, o digestato líquido possui, respectivamente, 2,5 kg de $N.m^{-3}$, 1,1 kg de $P_2O_5.m^{-3}$, 2,1 kg de $K_2O.m^{-3}$ (Kunz, Steinmetz e Amaral, 2019).

Antes de sua aplicação no solo, contudo, a depender do tipo de tratamento, o composto orgânico poderá ser submetido à estabilização final via compostagem (Brasil, 2016). Carvalho (2020) endossa que para utilização do composto como fertilizante orgânico ou condicionador de solo, é necessário que ele sofra a compostagem aeróbia, tornando-se estável, biologicamente, e apto para uso. Nos casos de uso comercial do biofertilizante, o material, após a estabilização por compostagem, deve ser peneirado para remoção de impurezas diversas. Caso não haja possibilidade de aproveitamento do material final, este deverá ser direcionado a aterro sanitário e/ou direcionado para incineração (coprocessamento) para geração de energia térmica (Brasil, 2016).

Para aplicação do biofertilizante no solo é preciso fazer o controle dos limites de agentes fitotóxicos e patógenos em geral, além de valores máximos para metais pesados, tóxicos, pragas e ervas daninhas, em atendimento às normas vigentes. A aplicação do biofertilizante depende de alguns fatores, como tamanho da área disponível, a distância entre o local de geração do resíduo e a área de utilização (para que o transporte se torne viável), e da qualidade do resíduo gerado cuja composição varia em função do substrato (RSU) tratado (Brasil, 2016).

A utilização do material digerido requer o controle de qualidade de acordo com a sua finalidade (Brasil, 2016). As regulamentações estabelecidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) devem ser seguidas para a produção, a comercialização e a utilização do biofertilizante. Especificamente, o Anexo V da Instrução Normativa SDA/MAPA N.º 27/2006, alterada pela Instrução Normativa SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016, apresenta os valores máximos admitidos de contaminantes em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos (Brasil, 2006). Quando gerenciados adequadamente, os RSO tornam-se uma fonte segura de nutrientes para a agricultura, com possibilidade de substituir de modo eficiente os fertilizantes minerais, gerando impactos positivos para o meio ambiente e contribuindo para a viabilidade econômica dos sistemas de tratamento (Kunz, Steinmetz e Amaral, 2019).

3.4 Grandes geradores

De acordo com o definido pela PNRS, os geradores de resíduos sólidos são pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos em seus processos e atividades, incluindo, nessas atividades, o consumo (Brasil, 2010a). Nesse contexto, é importante destacar o impacto socioambiental dos grandes geradores, como as empresas, indústrias, estabelecimentos comerciais e serviços públicos, caracterizados, dessa forma, pela capacidade de produzir uma quantidade expressiva de resíduos diariamente.

Segundo Poletto (2018), diversos municípios brasileiros têm atendido aos requisitos da PNRS e estabelecido critérios para definir os grandes geradores de resíduos sólidos, bem como responsabilizá-los pela gestão dos resíduos gerados em suas atividades. Esses critérios podem se basear em características como volume, massa ou outros parâmetros específicos. Ainda, Poletto (2018) concluiu que, no Brasil, é notório que não há parâmetro geral que caracterize estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços como grandes geradores, ocorrendo uma grande variação quanto ao volume e/ou massa definidos. Porém, aponta como faixa usual a adoção pelas municipalidades de gerações entre 120 e 200 litros por dia. Implica dizer que os municípios que possuem regulamentação possuem regras específicas de categorização do grande gerador.

Reitera-se que o PLANARES certifica que a fração orgânica é o principal componente dos RSU (45,3%), e que esses resíduos possuem elevado potencial de reaproveitamento (Brasil, 2022). Ainda, o PLANARES atenta que existe uma crescente adesão por parte dos grandes geradores em relação à separação dos resíduos orgânicos na fonte, visando ao futuro aproveitamento (Brasil, 2022). Isso retrata o cenário brasileiro no qual os grandes geradores, quando definidos em lei, ainda caminham, incipientemente, para o cumprimento da PNRS.

No município de João Pessoa, o Decreto N.º 8.886, de 23 de dezembro de 2016, que instituiu a Política Municipal de Resíduos Sólidos do Município de João Pessoa, estabeleceu, indiretamente, que produções acima de 200 litros diários qualifica a atividade como grande geradora e lhe atribui responsabilidade de gestão destes resíduos da geração até a destinação adequada. O Decreto acima determinou, ainda, que todos os geradores de resíduos sólidos devem buscar ativamente a não produção e a redução desses resíduos, além de realizar a segregação na fonte entre resíduos orgânicos, recicláveis e rejeitos.

A coleta dos resíduos dos grandes geradores, na capital paraibana, pode ser feita de duas maneiras. A primeira possibilidade é a coleta através de empresa particular, desde que cadastrada na EMLUR, para que haja o controle do transporte e destinação dos resíduos. Salienta-se que a contratação de empresas clandestinas implica multa e pena por crime ambiental. A segunda possibilidade é a contratação da coleta especial oferecida pela EMLUR. Para utilizar esse serviço, o grande gerador deverá formalizar contrato com a EMLUR ao qual passará a ser responsável pelo recolhimento, transporte e destinação dos resíduos (João Pessoa, 2023).

Apesar do Decreto estabelecer o parâmetro de caracterização dos grandes geradores, não há um rol taxativo dos estabelecimentos enquadrados. Todavia, a normativa exemplifica as atividades econômicas com potencial de produção superior aos 200 litros diários, como os setores hoteleiros, recreativos, educacionais, bancários, empresariais e de prestadores de serviços. Outrossim, levando em consideração que cada nicho de serviço possui especificidades em seus processos, o que implica geração dos resíduos orgânicos em quantidades e qualidades distintas, cada setor deve ser analisado em separado.

3.4.1 Centrais de Abastecimento (CEASA)

As Centrais de Abastecimento (CEASA) surgiram a partir da necessidade do Governo Federal de inovar na produção e escoamento de frutas, verduras e legumes no país. De acordo com o Manual Operacional das CEASAS do Brasil (ABRACEN, 2011), as estruturas das Centrais de Abastecimento são divididas em: atividade principal (comércio de produtos hortigranjeiros); atividades secundárias (comércio de produtos industrializados e outros); e atividades complementares (prestação de serviços diversos, como restaurantes, serviços automotivos e agências bancárias).

Em razão de que a concentração física de grande parte da produção agrícola do país é comercializada nessas Centrais, um dos impactos ambientais mais expressivos é a geração de resíduos, majoritariamente, orgânicos. Esses impactos devem fazer parte do diagnóstico do Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos que precisa compilar os principais e suficientes parâmetros levantados pelos Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos individuais das empresas usuárias, em cumprimento à PNRS.

Em relação à composição gravimétrica dos resíduos das Centrais de Abastecimento, ainda de acordo com o manual supracitado, mais de 80% desses resíduos são orgânicos. Esse número é corroborado pela pesquisa desenvolvida por Mendes (2019), que obteve

variação de biorresíduos entre 45% e 94%, que resultou em média de 78% e mediana de 80%. O caso específico da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA) destoa dos valores médios nacionais, pois, de acordo com Leal (2018), a composição relativa média dos resíduos reforça a predominância de matéria orgânica, ultrapassando 98% do total, como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Composição gravimétrica dos resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

Categoria	Fração (%)	Categoria	Fração (%)
Matéria orgânica	98,119	**Metal não ferroso**	0,057
Papel	0,560	**Vidro**	0,030
Terra	0,340	**Descartáveis (copo)**	0,025
Madeira	0,250	**PET**	0,017
Plástico mole	0,236	**Metal ferroso**	0,016
Contaminantes químicos	0,161	**Papelão**	0,013
Isopor	0,102	**Outros**	0,003
Plástico duro	0,071		

Fonte: Leal, 2018

Muito próxima à essa fração de orgânicos identificada, o estudo de composição gravimétrica conduzido entre os anos de 2020 e 2021, na CEASA/PE, na cidade de Recife, que dista menos de 120 quilômetros da EMPASA, identificou que cerca de 97% dos resíduos gerados eram caracterizados como biorresíduos. A pesquisa foi desenvolvida nos galpões que demonstravam maior diversidade de resíduos descartados diariamente. A composição gravimétrica desses resíduos classificou como frutas, 30,77%. verduras, 45,95%, resíduos de poda, 20,34%, e 2,94% de recicláveis, como papel, papelão e plásticos (Paiva, 2023).

Além da geração dos resíduos na própria CEASA, é coerente sinalizar que as perdas são iniciadas muito antes da chegada dos produtos nas Centrais. A falta de cuidado no manuseio dos produtos no campo e uso de embalagens e transportes inadequados implicando mais desperdício. Devido à natureza orgânica dos produtos comercializados, os hortifrutis possuem acelerado processo de amadurecimento e decomposição, tornando-se inadequados para o consumo humano e, consequentemente, perdendo seu valor comercial com rapidez.

A pesquisa desenvolvida por Mendes (2019) concluiu que, no grupo de 20 Centrais selecionadas, a perda variou entre 0,51% e 1,90%, resultando na média ponderada de

0,98% do total comercializado. Mesmo que o percentual pareça comedido, ele indicou uma perda anual de 105 mil toneladas nas Centrais de Abastecimento estudadas.

Com o objetivo de reduzir essas perdas, a CEASA/PE destina cerca de 35% das 1.100 toneladas geradas mensalmente à empresa Lógica Ambiental para o tratamento através da compostagem. Essa ação possui alto potencial de replicabilidade em outras unidades e demonstra o atual esforço da Central para reaproveitamento e beneficiamento dos resíduos gerados (Paiva, 2023).

Além dessa ação sustentável, foi implantada, nas dependências da CEASA/PE, uma planta de biodigestão anaeróbia com a finalidade de avaliar o desempenho da tecnologia para geração e aproveitamento energético de biogás, para levantamento dos parâmetros de projeto e procedimentos operacionais que possam subsidiar a elaboração de um futuro projeto em escala maior (Paiva, 2023). Esse projeto é fomentado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e conduzido pelo Grupo de Resíduos Sólidos da Universidade Federal de Pernambuco, em parceria com a CEASA/PE.

3.4.2 Feiras livres

As feiras livres são uma das formas de abastecimento alimentar, pois consolida, em um único ambiente, diversidade de alimentos, o que atrai uma grande quantidade de consumidores. As feiras livres podem ser caracterizadas, no Brasil, como um mercado varejista ao ar livre, com periodicidade diária ou semanal, voltado para a distribuição local de gêneros alimentícios e produtos básicos (Mascarenhas; Dolzani, 2008).

As feiras livres também são caracterizadas pela produção constante de resíduos sólidos nos seus diversos setores de venda, como o de hortifrutigranjeiros e de carnes. De semelhante modo às perdas na CEASA, nas feiras livres, são gerados desperdícios desde a etapa de recepção dos alimentos pelos feirantes, até a chegada destes aos consumidores finais (Raiol; Castro; Neves, 2019).

Os resíduos sólidos gerados nas feiras livres, em sua maioria, são sobra de produtos não vendidos e sem condições de serem recolocados para venda no dia subsequente (Silva; Haetinger, 2016). Por conta de sua composição predominantemente orgânica, esses resíduos possuem grande potencial de reaproveitamento, como a compostagem, o que mitigaria os impactos e riscos trazidos por sua destinação inadequada (Holanda; Rodrigues; Santos, 2017).

Na pesquisa desenvolvida por Holanda, Rodrigues e Santos (2017), além do processo de compostagem, observou-se que parcerias entre universidades e órgãos públicos têm buscado identificar outras formas inovadoras de reaproveitamento dos resíduos. No estudo conduzido, a descoberta evidenciada por Holanda, Rodrigues e Santos (2017) foi a confecção de um tecido feito por restos de alimentos e cascas de laranja, coco e abacaxi, além de borra de café e leite azedo. Isso representa uma forma inovadora de reciclagem do resíduo que gera emprego e renda aos feirantes.

Silva e Haetinger (2016) identificaram diversas formas de destinação dos resíduos orgânicos gerados nas feiras. Dentre os feirantes pesquisados, mais de 70% informaram que recolhem e retornam os biorresíduos para suas propriedades para utilização como adubo orgânico, 12,5% doam os resíduos, 12,5% destinam à coleta convencional e apenas 3% reaproveitam para confecção de peças artesanais, em linha com o pesquisado por Holanda, Rodrigues e Santos (2017).

Um outro problema identificado em ambas as pesquisas analisadas é a falta de coleta seletiva. O problema é sistêmico e envolve o desinteresse dos feirantes, falta de consciência ambiental da população e escassez de planejamento governamental. O problema é iniciado na falta de área específica para acondicionamento dos resíduos (área de transbordo). Acrescentando, outro problema identificado é a disposição inadequada e insuficiente de lixeiras nas feiras. A inclusão dessas lixeiras nas áreas das feiras livres fomentaria a segregação dos resíduos na fonte e, consequentemente, permitiria a coleta seletiva e elevaria o percentual de resíduos reciclados.

3.4.3 Hotéis

Os hotéis são definidos como estabelecimentos com serviço de recepção, alojamento temporário, com ou sem alimentação, ofertado em unidades individuais e de uso exclusivo dos hóspedes, mediante a cobrança de diária (Brasil, 2010b). Ainda, segundo essa Cartilha de Orientação Básica – Sistema Brasileiro de Classificação de Meios de Hospedagem, dentre os requisitos obrigatórios estabelecidos para caracterizar o empreendimento como hotel, independente da sua classificação (de 1 a 5 estrelas), é o gerenciamento dos resíduos sólidos.

De acordo com Guidoni *et al*. (2018), em um empreendimento hoteleiro, a geração de resíduos ocorre na área da administração, cozinha, depósitos, quartos, restaurantes, área da piscina, durante manutenções e banheiros. Esses pesquisadores observaram que a

geração de resíduos varia de acordo com vários fatores, como números de quartos, taxa de ocupação e porte do hotel, principalmente em relação ao último parâmetro, qual seja, o porte do hotel. Phu *et al.* (2018) desenvolveram um estudo que ratifica essa relação, demonstrando que dentre os 120 hotéis vietnamitas analisados, os de grande porte apresentaram geração de 6,29 kg.hóspede^{-1}.dia^{-1}, contra 2,69 e 1,34 kg.hóspede^{-1}.dia^{-1} para hotéis de médio e pequeno porte respectivamente.

No Brasil, a composição gravimétrica dos resíduos gerados nos hotéis, de acordo com as pesquisas desenvolvidas por Guidoni *et al.* (2018) e Peruchinn *et al.* (2015), possui valores médios de 43-49% de matéria orgânica putrescível, 25-33% de resíduos recicláveis, 12-15% de resíduos perigosos e de 7-10% de outros tipos de resíduos. Detecta-se, dessa forma, que os biorresíduos podem constituir quase metade de todo o resíduo gerado no setor hoteleiro e ratifica a viabilidade de análise deste setor como potencial para aproveitamento material e energético.

Dentre os estudos analisados, verificou-se que, antes da destinação, os resíduos orgânicos são armazenados em câmara fria ou câmara de refrigeração, de modo a mitigar/eliminar o início da digestão da MO, o que pode resultar em geração de biogás e, consequentemente, gerar odor. Esse procedimento não foi observado nas outras atividades analisadas, denotando maior gestão deste setor sobre resíduos dessa natureza.

Por sua vez, a destinação dos resíduos não é uniforme. Na pesquisa desenvolvida por Quaresma (2020), parte do resíduo gerado nos hotéis era coletado pelo serviço público municipal e destinado a um aterro sanitário, e uma pequena parte era destinada a um sistema de vermicompostagem e compostagem. Blanco (2008), dentre os hotéis analisados, também constatou que parcela significativa dos hotéis destinam seus resíduos para coleta municipal que, posteriormente, são dispostos em aterros sanitários. Blanco (2018) registrou, ainda, outra ação inovadora, como o hotel que tritura seus biorresíduos *in loco* para reduzir o volume e mitigar os custos com a destinação.

É alarmante notar que entre os hotéis entrevistados no estudo conduzido por Blanco (2008), mais de cinquenta por cento não têm conhecimento sobre o destino de seus resíduos. Isso revela a negligência por parte desses hotéis ou evidencia o desconhecimento sobre o compromisso do gerador no ciclo de vida. A própria PNRS ratifica a responsabilidade do grande gerador (definido por Decreto Municipal em João Pessoa), no gerenciamento dos resíduos produzidos, ressaltando que a responsabilidade não cessa na entrega dos resíduos a empresas terceiras, mas na disposição ambientalmente adequada dos resíduos.

3.4.4 Supermercados

De acordo com Oliveira e Machado (2010), os processos operacionais do setor supermercadista e suas implicações ambientais demandam atenção, pois representam aproximadamente 85% do volume integral de vendas de produtos de largo consumo no país, como produtos alimentícios. Devido ao grande fluxo comercial e potencial produção de mais de 200 litros diários de resíduos sólidos, os supermercados são geralmente classificados como grandes geradores, dando-se destaque a grande geração de resíduos sólidos orgânicos. Um ponto cabível de destaque é que, diferente das feiras livres, os supermercados analisados nos diferentes estudos são unânimes no quesito de segregação dos resíduos na fonte. Na maioria dos supermercados analisados, cada setor é responsável pela separação dos resíduos gerados e posterior alocação na área de transbordo.

A pesquisa realizada por Carvalho *et al*., (2020) ratifica que, na composição dos resíduos gerados, os orgânicos ocupam, em regra, a maior parcela. Todavia, levando em consideração que os comportamentos da população e épocas do ano modificam as características dos resíduos, sugere-se a caracterização em diferentes períodos do ano. Em adição, os supermercados comercializam produtos de diversos setores e isso resulta em resíduos com composição bem diversificada, o que valida a necessidade de caracterização dos resíduos da área de estudo para elaboração de um assertivo Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

Ressalta-se que na pesquisa de Carvalho *et al*. (2020), os resíduos orgânicos foram subdivididos em ossos, sebo, sobra de pães, cítricos e outros, e que a segregação dos resíduos com base nessa subdivisão é fundamental no processo de tratamento, tendo em vista que nem todo biorresíduo pode ser tratado pelo mesmo processo. O estudo desenvolvido ainda consolidou que, dentre as destinações possíveis para os resíduos orgânicos, os supermercados têm optado pelos aterros sanitários em detrimento de técnicas mais eficientes e menos nocivas ao meio ambiente, como a compostagem. Salienta-se que a viabilidade do tratamento via compostagem ou digestão anaeróbica depende do tipo de MO. Entretanto, os autores corroboram com a compreensão que a produção de biogás através da digestão anaeróbica dos biorresíduos mostra-se técnica e economicamente mais viável que a disposição em aterros sanitários. Propõe, inclusive, a adoção de biodigestor anaeróbico tendo em vista a viabilidade comprovada em estudos predecessores.

Nass, Plestch e Duarte (2019) desenvolveram uma avaliação semelhante, com pesagem e caracterização dos resíduos gerados em rede de supermercados ao longo de um

mês. Os resíduos orgânicos gerados totalizaram quase 6 toneladas, sendo 3.758,87 kg do setor de hortifrúti, 669,56 kg da lanchonete/padaria e 1.493,80 kg do açougue. A perda gerada nos estabelecimentos analisados variou de 25% a 27% das compras realizadas pelo setor, tendo em vista a perecibilidade dos itens comercializados. Anterior a destinação dos resíduos, conforme prioriza a própria PNRS, a não geração merece atenção nos planos de gerenciamento. Os autores recomendam a revisão das compras dos perecíveis, treinamento das equipes e a destinação dos produtos válidos, mas próximos ao vencimento, para doações ou parcerias que gere retorno financeiro ao estabelecimento.

3.4.5 Bares e restaurantes

Os serviços de alimentação coletiva, como bares e restaurantes, de acordo com Alves e Ueno (2015), são uma grande fonte de desperdício de alimentos. O estudo desenvolvido por esses pesquisadores se deu em uma Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) com geração de 1000 refeições diárias. Durante uma das etapas metodológicas, realizou-se a pesagem e a análise gravimétrica dos resíduos produzidos. Os resultados revelaram que aproximadamente 85% da massa total dos resíduos consistia em materiais orgânicos, principalmente, compostos de cascas de alimentos e remoção de partes de alimentos, restos de alimentos descartados pelos clientes e sobras de alimentos prontos. Pode-se inferir, dessa forma, que os bares e restaurantes podem ser caracterizados como grandes geradores de resíduos, predominantemente, orgânicos, a depender do volume de resíduo gerado.

Em consonância, Corrêa (2014) destaca que a grande parte dos estudos existentes possuem relação com os desperdícios dos alimentos depois de prontos. Todavia, a análise de todas as etapas da cadeia possibilitaria uma maior redução dos desperdícios, pois nas etapas de pré-preparo e preparo dos alimentos são gerados resíduos orgânicos, embalagens, além dos resíduos químicos utilizados para a desinfecção e limpeza das instalações e equipamentos.

Alves e Ueno (2015) também ratificam que as perdas nas UAN podem ocorrer em diferentes etapas, podendo ser classificadas como perdas no estoque e armazenamento, no processamento dos alimentos, na distribuição e na devolução. Eles atribuem o desperdício de alimentos a três fatores: fator de correção, sobras e restos. Dentre todas as etapas relacionadas aos serviços de alimentação coletiva, o setor de estoque apresentou menor taxa de geração de resíduos, cerca de 10,1%, sendo em sua grande maioria os recicláveis,

como papel, papelão e plástico, e descarte de alimentos que estavam armazenados no estoque ou que foram recebidos de maneira inadequada.

Por sua vez, a fase de processamento de alimentos foi a que apresentou o maior desperdício, cerca de 58%. A maior parte dessa perda possui relação com a retirada de cascas e partes não comestíveis de hortaliças e frutas, descarte de aparas de carnes, e as sobras dos alimentos prontos que não foram consumidos. Por fim, na etapa de devolução, o grande gargalo foi o resto ingestão, que pode ser entendido como a relação entre o que sobra no prato com a quantidade de alimento preparado, e outros recicláveis, como garrafas plásticas, latas e outros resíduos orgânicos não recicláveis como guardanapos engordurados. No que diz respeito ao resto ingestão a taxa *per capita* média foi de 0,049 $kg.comensal^{-1}.dia^{-1}$.

Em outra abordagem, Forner e Conto (2020), ao analisar um restaurante de uma Instituição de Ensino Superior, chegaram a resultados distintos, no que diz respeito às perdas nas fases de processamento. Eles identificaram que a maior perda (73,67%) são os resíduos das cubas (sobra suja), seguido pelas perdas na fase de preparo do alimento (19,77%), e, a menor perda, 6,56%, são as provenientes dos pratos dos clientes (resto ingesta).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura, estima-se que um terço da comida produzida para consumo humano em todo o mundo é desperdiçada ou perdida sem que haja determinada a razão, o que representa cerca de 1,3 bilhão de toneladas de alimentos em perfeitas condições que não chegam na mesa do consumidor final (FAO, 2021). Segundo Coskun e Filimonau (2021), o comportamento dos consumidores também representa uma parcela significativa dos resíduos orgânicos gerados, exemplificando que cerca de 30-34% das refeições são convertidas em desperdício. Isso corrobora sobre a importância da conscientização como ferramenta na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

3.4.6 Outros grandes geradores de resíduos orgânicos no perímetro urbano

Além dos grandes geradores detalhados nos subtópicos acima, existem outros grandes geradores com relevante impacto na geração de orgânicos dentro do perímetro urbano de João Pessoa. Um outro grande gerador de RSO notável é a indústria alimentícia. Souza *et al.* (2021) identificaram a indústria de alimentos como um dos setores que mais geram resíduos orgânicos em escala nacional e mundial. São geradas toneladas de resíduos

por ano, e, quando há manipulação para aumentar o prazo de validade dos produtos, a geração é ainda mais expressiva. Nessa mesma linha, Pereira, Firmo e Coutinho (2022) ratificam que a principal causa de geração de subprodutos é o processo industrial, com grande destaque para a indústria alimentícia que utiliza expressiva quantidade de frutas e vegetais para a fabricação de sucos, ração, alimentos congelados, e, até mesmo, biocombustíveis.

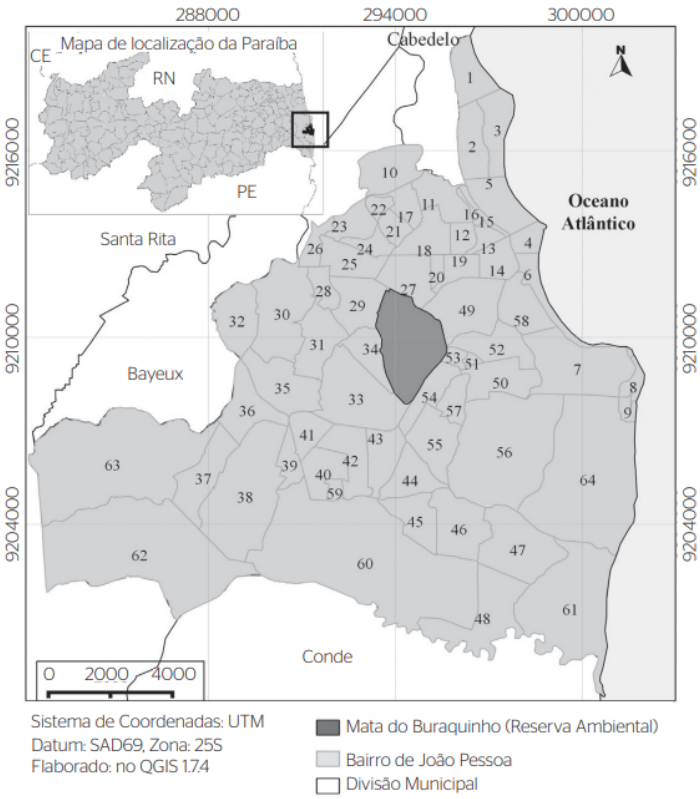
Apesar da existência de diversas pesquisas que analisam a inserção desses subprodutos na cadeia produtiva como matéria-prima, esses subprodutos também têm elevado potencial de reaproveitamento para conversão em energia, por eles possuírem em sua composição substâncias como glicose, frutose, pectinas, ácido fenólicos, e outros compostos que funcionam como substratos para as atividades biológicas. Souza *et al.* (2021) esclarecem que são diversas as possibilidades de aproveitamento dos resíduos alimentícios com foco no desenvolvimento sustentável, como processamento biotecnológico, combustível, rações, produtos farmacêuticos e outras áreas de aplicação.

Semelhante ao observado nos demais potenciais grandes geradores, a geração de resíduos por perda e/ou desperdício, está presente em toda a cadeia produtiva. Para as indústrias alimentícias, as perdas ocorrem principalmente nas etapas de pós-colheita, em atividades relacionadas ao processamento, transporte, armazenagem, embalagem e comercialização (Souza *et al.*, 2021). Apenas nessa etapa de processamento de frutas, entre 40 e 50% do peso bruto é considerado resíduo, como cascas e sementes. No caso da produção de suco de maracujá, os subprodutos podem corresponder a 70% do peso bruto da fruta (Pereira, Firmo e Coutinho, 2022).

4 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

Esta pesquisa limita-se, geograficamente, ao município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, localizado na porção extrema oriental do continente americano, entre 7º6’54’’ de latitude sul e 34º51’47’’ de longitude oeste. O município de João Pessoa possui os seguintes limites geográficos: ao norte, o município de Cabedelo através do rio Jaguaribe; ao sul, o município do Conde pelo rio Gramame; ao leste, pelo Oceano Atlântico; ao oeste, limitado pelo rio Sanhauá em Bayeux; e, por fim, ao sudeste e noroeste, pelos rios Mumbaba e Paraíba, respectivamente, ambos integrantes do município de Santa Rita, conforme pode ser visto na Figura 5 (João Pessoa, 2014b).

Figura 5 - Localização da cidade de João Pessoa e delimitação de seus bairros



Números com nomes dos respectivos bairros			
1	Bessa	33	Cristo Redentor
2	Aeroclub	34	Varjão
3	Jd. Oceania	35	Oitizeiro
4	Tambaú	36	Jd. Veneza
5	Manaíra	37	B. das Indústrias
6	Cabo Branco	38	Distr. Industrial
7	Portal do Sol	39	Costa e Silva
8	Ponta do Seixas	40	Funcionários
9	Penha	41	Ernani Sátiro
10	Alto do Céu	42	João Paulo II
11	Bairros dos Ipês	43	Ernesto Geisel
12	Pedro Gondim	44	Cuiá
13	Brisamar	45	Pl. Boa Esperança
14	Miramar	46	Valentina
15	São José	47	Paratibe
16	João Agripino	48	Mussumagro
17	Mandacaru	49	Castelo Branco
18	B. dos Estados	50	Jd. Cid. Universitária
19	Tambauzinho	51	Anatólia
20	Expedicionários	52	Bancários
21	Treze de Maio	53	Jd. São Paulo
22	Padre Zé	54	Água Fria
23	Róger	55	José Américo
24	Tambiá	56	Mangabeira
25	Centro	57	Cid. Dos Colibris
26	Varadouro	58	Altip. Cabo Branco
27	Torre	59	Grotão
28	Trincheiras	60	Gramame
29	Jaguaribe	61	Barra de Gramame
30	Ilha do Bispo	62	Mussuré
31	Cruz das Armas	63	Mumbaba
32	Alto do Mateus	64	Costa do Sol

Fonte: Medeiros; Paz; Morais Júnior, 2015

Ressalta-se que o aglomerado urbano, conhecido como a Grande João Pessoa, possui a cidade como principal centro político, econômico e cultural do estado, e envolve outros 12 (doze) municípios, como Cabedelo, Bayeux e Santa Rita, que não são alvos desta pesquisa. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2023), João Pessoa possuía, em 2022, uma população de 833.932 pessoas, que ocupam uma área de 210.044 km². O município possui sessenta e quatro bairros (64) e Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* de R$ 26.936,78, em 2021.

5 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia para desenvolvimento desta pesquisa foi segregada em quatro diferentes etapas: em primeiro lugar, (I) foram realizadas revisões bibliográficas, a fim de conduzir essa pesquisa, baseando-se nas discussões e fontes mais atuais, mais relevantes e com reconhecimento científico nacional e internacional na área de estudo, como também compreender o contexto nacional sobre os grandes geradores de resíduos; posteriormente, (II) com base na revisão realizada, delimitou-se os grandes geradores da cidade de João Pessoa (PB); na sequência, (III) foram obtidas, por meio de pesagens e de estimativas, a quantificação dos resíduos dos grandes geradores, para então, (IV) estimar a produção de metano e o potencial de geração de energia elétrica dos resíduos dos grandes geradores.

5.1 Revisões

5.1.1 Revisão bibliométrica pelo *Knowledge Development Process – Constructivist*: *ProKnow-C*

Para a revisão bibliométrica, realizou-se busca sistematizada e filtragem de artigos de acordo com a metodologia *Knowledge Development Process – Constructivist* (*ProKnow-C)*. De acordo com Quirino (2021), essa metodologia tem sido empregada em pesquisas de diferentes áreas do conhecimento, incluindo a área do saneamento. Inicialmente, foram determinados os eixos de pesquisa (eixo I: tipo de resíduo; eixo II: classificação quanto à origem; eixo III: porte de geração) e as palavras-chave associadas a cada um desses (I: *organic solid waste, food waste, biowaste, OFMSW*; II: *commercial property, service provider*; e III: *great producer, large scale generator*).

Optou-se por utilizar como parâmetro de pesquisa, nas ferramentas das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, a busca por artigos que contivessem as sequências específicas determinadas em seus títulos, resumos ou palavras-chave. O intervalo de publicação abordado incluiu os anos de 2013 a 2023, levando em conta que, apesar de ser amplo, proporciona acesso a dados mais atuais. A seleção para formar o conjunto inicial de artigos incluiu somente aqueles classificados como artigos e escritos na língua inglesa, com permissão de acesso total (*open access*).

5.1.2 Revisão normativa (grandes geradores)

Com o intento de compreender o cenário da gestão de resíduos sólidos no Brasil, esta pesquisa averiguou as legislações municipais de todas as capitais brasileiras, incluindo o Distrito Federal (DF), que instituíram o gerenciamento dos RSU. As legislações foram consultadas diretamente nos sites das prefeituras e das câmaras municipais, assim como, nos planos municipais. A análise do arcabouço legal que caracteriza os grandes geradores nas capitais brasileiras e DF foi um dos pontos principais dessa etapa.

As legislações identificadas foram analisadas a fim de obter informações sobre os critérios utilizados para determinação do limite para caracterização do grande gerador. A partir da extração e compilação de todos os limites de quantificação estabelecidos nas legislações, foi realizada uma análise comparativa entre as capitais, para observar a existência de padrões entre os valores adotados.

5.2 Seleção do objeto de estudo

A restrição deste estudo às atividades econômicas grandes geradoras é fundamentada pelo comportamento observado nos estabelecimentos comerciais, os quais, em cumprimento a um conjunto de legislações, fazem uma gestão mais rigorosa dos resíduos produzidos, quando comparados aos domicílios. Para os estabelecimentos situados em João Pessoa, considerou-se o parâmetro instituído pelo Decreto Municipal N.º 8.886, de 23 de dezembro de 2016, que qualifica como grande gerador de RSU, aqueles que ultrapassam a produção de 200 litros diários.

Frente às dificuldades para obtenção de informações referentes aos planos de gerenciamento de resíduos sólidos junto aos órgãos ambientais responsáveis, como a Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA) e Secretaria de Meio Ambiente (SEMAM), essa pesquisa limitou o grupo de grandes geradores a partir da revisão bibliográfica de trabalhos que mapearam os principais setores cuja geração de orgânicos é consideravelmente superior a geração dos demais resíduos.

Portanto, por meio da análise bibliográfica de estudos previamente conduzidos nessa temática, foi factível reconhecer que atividades econômicas como centrais de abastecimento para a comercialização de produtos da hortifruticultura (CEASA), feiras livres, hotéis, supermercados, bares, restaurantes e a indústria alimentícia são consideradas atividades econômicas grandes geradoras de resíduos orgânicos.

5.3 Quantificação dos resíduos sólidos provenientes de grandes geradores

5.3.1 Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA)

Um dos grandes geradores selecionado como objeto de estudo desta pesquisa foi a Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas. Os dados referentes aos resíduos gerados pela EMPASA foram obtidos de duas diferentes formas: fornecidos diretamente pela empresa e coletados em campanha de pesagem realizada pela equipe do Laboratório de Pesquisa em Sistemas Ambientais Urbanos (LPSAU) da UFPB.

Os dados brutos fornecidos pela EMPASA foram compilados no Relatório de Pesagem de Resíduos Orgânicos realizado, em 30 de agosto de 2022, abrangendo o ano de 2020, e os meses de novembro a dezembro de 2021. Levando em conta que havia uma lacuna entre 2020 e 2021, trabalhou-se com os dados referentes ao ano completo de 2020. O relatório fornecido digitalizado (no formato .pdf) foi planilhado no Microsoft Excel para viabilizar o trabalho com as informações. Os dados de pesagem dos resíduos possuem informações adicionais como data, hora, procedência e o peso bruto, que diz respeito ao peso do caminhão de coleta com os resíduos.

Os dados obtidos pela equipe do LPSAU foram resultados de uma campanha de pesagem iniciada em 20 de abril e finalizada em 16 de maio de 2022. As atividades de pesagem ocorreram em quatro (4) semanas consecutivas, nos dias de segunda-feira, quarta-feira e sexta-feira, com três coletas diárias nos horários que variavam entre 07:00, 14:00. Os resíduos eram acondicionados em caçambas estacionárias, localizadas em abrigo externo, e coletados por empresa terceirizada, sob gestão da EMLUR. Para cada pesagem de carregamento de resíduo, eram gerados tickets, posteriormente fornecidos à equipe da LPSAU para controle das gerações, acompanhados dos registros fotográficos das caçambas com resíduos.

Tanto os dados disponibilizados pela EMPASA, quanto os dados coletados durante campanha, foram importados para a linguagem de programação Python para análise de dados, desde uma triagem das informações, até uma análise comparativa dos valores identificados, com o objetivo de validar as informações fornecidas, e ampliar a quantidade de informações disponíveis para análise.

5.3.2 Feiras livres

No que diz respeito às feiras livres, a começar da listagem disponibilizada pela EMLUR, consolidou-se as feiras livres com maior representação na cidade de João Pessoa. A base de informações para as feiras livres se apoia em revisão bibliográfica e na pesquisa de campo, realizada por meio das técnicas de registro fotográfico e levantamento de informações nas feiras.

Dessa forma, a estimativa do volume e massa de resíduo gerado foi obtida através da observação de campo e quantificação visual em cada uma das feiras visitadas. A estimativa de resíduos orgânicos gerados em cada feira foi feita a partir do cruzamento das informações de quantidade de contêineres disponíveis, frequência da coleta e percepção do feirante sobre o volume médio de geração ao longo do ano, conforme equação 1:

$$m_i = N_c . C_v . F_c . N_f . \gamma_{res} . \%_{org} . 52\ semanas \quad (1)$$

Em que:

m_i é massa de resíduo depositada no ano (ton.ano^{-1});

N_c é o número de contêineres disponíveis na feira;

C_v é a capacidade volumétrica unitária dos contêineres (m^3);

F_c é a frequência diária de coleta (dia^{-1});

N_f é a número de dias na semana que ocorre feira (dia.semana^{-1});

γ_{res} é o peso específico do resíduo (ton.m^{-3}); e

$\%_{org}$ é a fração de orgânicos na composição do resíduo (%);

5.3.3 Hotéis

Para o setor hoteleiro, esse estudo contou com a colaboração da pesquisa desenvolvida por Quaresma *et al.* (2024) baseada em dados disponibilizados pelo Ministério do Turismo em 2022, e pesquisa de campo para quantificação e análise da composição gravimétrica de 7 (sete) hotéis na cidade de João Pessoa. Por meio dos dados coletados, criou-se modelos matemáticos capazes de predizer a geração de resíduos dos 72 meios de hospedagem identificados na cidade. Posteriormente, calculou-se a geração média de resíduos orgânicos por estabelecimento. A base de meios de hospedagem foi

obtida, em fevereiro de 2024, através do Cadastro de Prestadores de Serviços Turísticos (CADASTUR), do Ministério do Turismo, a fim de calcular a massa de resíduos sólidos orgânicos gerados pelo setor hoteleiro em 2024. De semelhante modo, a partir dessa geração, aplicou-se a metodologia estabelecida para estimativa de geração de biometano e do potencial de geração de energia por esse setor.

5.3.4 Supermercados

Primeiramente, foi extraída a base dos contribuintes com todas as situações cadastrais, atualizada e disponibilizada diariamente no *website* da Secretaria de Estado da Fazenda da Paraíba (SEFAZ-PB). O arquivo gerado, no formato .txt, e posteriormente importado para o Microsoft Excel, contém a relação de todos os estabelecimentos com inscrição estadual no estado da Paraíba, incluindo informações como inscrição estadual, razão social, CNPJ/CPF, situação cadastral, regime de pagamento, código de Classificação Nacional das Atividades Econômicas (CNAE) principal, atividade econômica principal e endereço completo.

Em seguida, com o objetivo de identificar os supermercados situados na cidade de João Pessoa, foi consultada a tabela de CNAEs disponível no website da SEFAZ-PB, identificando o código CNAE 4711302, cuja atividade principal é o comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios – supermercados, e o código CNAE 4711301, com atividade relacionada ao comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios – hipermercados. Na base extraída, foram aplicados filtros para restringir a busca aos estabelecimentos cujos CNAEs principais são referentes aos supermercados e hipermercados, com situação cadastral ativa e situados em João Pessoa.

A próxima etapa foi verificar o CNPJ de todos os estabelecimentos enquadrados nos filtros realizados, a fim de confirmar que se tratam de supermercados. Para complementar a base consolidada, foram verificados, no Google Meu Negócio, outros supermercados em funcionamento na cidade de João Pessoa, excluindo as empresas já presentes na base da SEFAZ e aquelas que constam como permanentemente fechadas. Foram eliminados, ainda, os estabelecimentos que não comercializam alimentos, bem como aqueles classificados como mini mercados, mercadinhos, conveniências, frigoríficos, padarias, distribuidoras e hortifrutis. Após verificação no Google Meu Negócio dos estabelecimentos de grande porte, mas não enquadrados nos CNAEs supracitados,

observou-se que alguns, embora fossem nomeados como Supermercados e apresentassem características semelhantes aos enquadrados nos CNAEs mencionados, eles estavam enquadrados em outro código, o CNAE 4712100, que diz respeito ao comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios – minimercados, mercearias e armazéns. Realizados os referidos ajustes, consolidou-se a base de supermercados em funcionamento na cidade de João Pessoa. Posteriormente, os supermercados foram georreferenciados no *Google Earth Pro*, e foi verificado se todos os estabelecimentos estavam contidos dentro dos limites territoriais do município de João Pessoa.

A estimativa da quantidade de resíduos gerados pelos supermercados foi obtida por meio de dados fornecidos pela empresa que atualmente realiza a coleta e transporte dos resíduos de parte dos supermercados da cidade. As informações sobre a geração e a composição gravimétrica fornecidas pela empresa foram utilizadas como parâmetro para estimar a geração total de resíduos desse segmento.

5.3.5 Bares e restaurantes

Os últimos grandes geradores estudados foram os bares e restaurantes da cidade de João Pessoa. A lista desses locais foi compilada de duas fontes distintas, extraídas entre março e abril de 2024. Primeiramente, foram identificadas as empresas afiliadas à Associação Brasileira de Bares e Restaurantes (ABRASEL), consultando o *website* oficial; em seguida, identificou-se os estabelecimentos relacionados no Cadastro de Prestadores de Serviços Turísticos (CADASTUR), do Ministério do Turismo, restringindo a busca aos prestadores localizados em João Pessoa (PB), enquadrados na atividade “Restaurante, Cafeteria, Bar e Similares”. Em complementação à base de dados obtida, os estabelecimentos de alimentação presentes nas praças de alimentação dos shoppings da cidade também foram verificados, utilizando as listagens dos estabelecimentos gastronômicos disponíveis nos *websites* de cada shopping da cidade.

Após consolidação da base de dados, com informações do Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ) e endereço, foram eliminadas quaisquer duplicidades encontradas durante esse processo, mantendo-se, porém, os restaurantes que possuem mesma razão social, mas possui outras unidades na cidade. Posteriormente, verificou-se a situação cadastral, excluindo as inativas, assim como, as empresas permanentemente fechadas, de acordo com as informações disponíveis no Google Meu Negócio, visando fornecer dados

mais precisos e condizentes com a realidade. Por fim, a partir da análise da equipe da LPSAU, eliminou-se os estabelecimentos com características principais de lanchonetes e/ou cafeterias, com cardápios mais simples, rápidos e práticos, como sanduíches, hambúrgueres, salgados, doces e cafés, tendo em vista que não possuem geração assemelhada a dos restaurantes e bares, e poderia elevar a estimativa desproporcionalmente.

A lista de estabelecimentos remanescentes foi empregada para determinar o número total de bares e restaurantes localizados na cidade. Com base nesse quantitativo, e dado que esses estabelecimentos são potenciais grandes geradores em João Pessoa, ou seja, geração superior a 200 litros de resíduos diários, conforme determina o decreto municipal, adotou-se que cada estabelecimento identificado possui média de geração de 200 litros.dia^{-1}. A estimativa de resíduos orgânicos gerados nos bares e restaurantes da cidade foi obtida pelo produto entre a quantidade de estabelecimentos, a geração diária, o peso específico e a fração de orgânicos, obtidos na literatura, conforme equação 2:

$$m_i = Q_e . G_m . \gamma_{res} . \%_{org} . 365\ dias \quad (2)$$

Em que:

m_i é massa de resíduo depositada no ano (ton.ano^{-1});

Q_e é a quantidade de estabelecimentos;

G_m é a geração mínima volumétrica (m³);

γ_{res} é o peso específico do resíduo (ton.m^{-3}); e

$\%_{org}$ é a fração de orgânicos na composição do resíduo (%);

5.4 Estimativa do potencial de geração de biogás

A geração de biogás foi estimada através de equação matemática oriunda de metodologia desenvolvida em pesquisa que se assemelha ao objetivo de caracterização dos grandes geradores. A pesquisa desenvolvida por Oliveira e Gattamorta (2021), a partir do modelo empírico *Scholl Canyon*, explicitado na Equação 3, determinou a vazão de metano (Q_{CH4}) em m^3.ano^{-1} (metros cúbicos por ano), na massa de resíduos gerados em duas feiras livres. Esse modelo foi utilizado diante da impossibilidade da execução do teste BMP. Embora o método seja utilizado para quantificação da geração de biometano em aterros

sanitários, já que as usinas de metanização, em regra, atendem a processos mais controlados, pois estão menos sujeitas às intempéries e condições naturais que os aterros, a utilização deste método nesta dissertação não implica em estimativas superiores às gerações de metano em sistemas de biometanização.

$$Q_{CH_{4_i}} = K.L_o.m_i.e^{-k.t_i} \quad (3)$$

Em que:

Q_{CH4} é a vazão de metano estimado no ano a partir da seção do resíduo ($m^3.ano^{-1}$);

i é o incremento de tempo em um ano;

k é a constante de geração de metano (ano^{-1});

L_0 é o potencial de geração de metano ($m^3\ CH_4.ton^{-1}$);

m_i é massa de resíduo depositada no ano ($ton.ano^{-1}$);

t_i é o tempo passado desde o fechamento (ano).

A estimativa de geração de energia em kWh, a partir da queima do biogás gerado, foi determinada pela equação 4, de acordo com a metodologia adotada por Carvalho (2021), ajustando-se os parâmetros às terminologias adotadas no modelo empírico *Scholl Canyon*:

$$E = Q_{CH4}.PCI.n.\frac{1\ kWh}{860\ kcal} \quad (4)$$

Em que:

E é a energia elétrica possível de ser gerada a partir da biometanização ($kWh.ano^{-1}$);

Q_{CH4} é o volume anual de metano produzido ($m^3.ano^{-1}$);

PCI é o poder calorífico inferior do gás metano ($kcal.m^{-3}$);

n é eficiência da conversão elétrica do conjunto motogerador (%).

Por fim, calculou-se o potencial de geração de energia elétrica *per capita*, através da relação matemática entre a energia elétrica possível de ser gerada a partir da biometanização (E em $kWh.ano^{-1}$) e a população (P em habitantes). Ressalva-se que a geração de resíduos pelos estabelecimentos analisados pode não estar diretamente relacionada a população da cidade; porém, com o objetivo de trazer parâmetros que

possibilitem análises comparativas com outros estudos, a geração *per capita* foi calculada. A estimativa da população foi realizada através do método geométrico que projeta o crescimento populacional em função da população existente em cada instante. No estudo desenvolvido por Costa *et al*. (2022), ao comparar diferentes modelos, esse método apresentou resultados mais coerentes com os valores observados nos censos demográficos realizados pelo IBGE no município de Santa Izabel, no estado do Pará.

As equações variáveis que expressam o método geométrico são:

$$K_g = \frac{ln_{P2} - ln_{P0}}{t_2 - t_0} \quad (5)$$

Em que:

K_g é a taxa de crescimento geométrico;

ln_{P0} é o log neperiano da população de referência inicial;

ln_{P2} é o log neperiano da população de referência final;

t_0 é o ano de referência correspondente a P_0 (ano);

t_2 é o ano de referência correspondente a P_2 (ano).

$$P_t = P_0 e^{K_g(t-t_0)} (6)$$

Em que:

P_t é a população estimada para o ano t;

P_0 é a população de referência inicial;

K_g é a taxa de crescimento geométrico;

t é o ano de projeção;

t_0 é o ano de referência correspondente a P_0 (ano).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Revisão bibliométrica

A partir da revisão bibliométrica, foi constatado que não há artigos que abranjam todos os critérios estabelecidos por eixo, nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. De fato, não se pode concluir que não existam artigos que relacionem diversos grandes geradores em um único estudo, mas que, se existem, não dizem respeito aos estabelecimentos comerciais grandes geradores de resíduos orgânicos de uma localidade específica. Essa não especificação dos grandes geradores como uma classe relevante a ser estudada, não só devido ao seu elevado potencial poluidor, mas por também serem uma fonte potencial de recuperação de recursos, é uma lacuna científica e tecnológica que permite destacar o presente estudo como de caráter inédito, nacional e internacional. O Quadro 2 demonstra os resultados identificados a partir do cruzamento das palavras-chave, conforme metodologia adotada.

Quadro 2 - Resultados alcançados a partir do cruzamento das palavras-chave nos bancos de dados

Data	**Critérios de busca**	**N.º de artigos**	
		Web of Science	***Scopus***
14/02/2023	"organic solid waste" AND "commercial property" AND "great producer"	0	0
14/02/2023	"organic solid waste" AND "service provider" AND "great producer"	0	0
15/02/2023	"food waste" AND "commercial property" AND "great producer"	0	0
15/02/2023	"food waste" AND "service provider" AND "great producer"	0	0
15/02/2023	"biowaste" AND "commercial property" AND "great producer"	0	0
15/02/2023	"biowaste" AND "service provider" AND "great producer"	0	0
15/02/2023	"OFMSW" AND "commercial property" AND "great producer"	0	0
15/02/2023	"OFMSW" AND "service provider" AND "great producer"	0	0
24/02/2023	"OFMSW" AND "great producer"	0	0
24/02/2023	"organic solid waste" AND "great producer"	0	0
24/02/2023	"food waste" AND "great producer"	0	0
24/02/2023	"biowaste" AND "great producer"	0	0
26/02/2023	"OFMSW" AND "large scale generator"	0	0
26/02/2023	"organic solid waste" AND "large scale generator"	0	0
26/02/2023	"food waste" AND "large scale generator"	0	0
26/02/2023	"biowaste" AND "large scale generator"	0	0

Fonte: Autor, 2023

Devido ao resultado (número de artigos) da busca em ambas as bases ter sido zero, as palavras-chaves, ou *inputs*, foram atualizadas, visando aumentar o alcance dessa pesquisa para as mesmas bases de dados. Ao invés dos potenciais grandes geradores específicos, em substituição ao critério "*great producer*" e "*large scale generator*", utilizou-se as palavras-chave "*farmer market*", "*supermarket*", "*pub*", "*bar*", "*restaurant*" e "*hotel*". No que diz respeito à EMPASA, dada a especificidade local, buscou-se nas bases de dados, a palavra-chave "central de abastecimento". Em adição, considerando que as palavras-chave referentes ao eixo II (classificação quanto à origem): "*commercial property*" e "*service provider*", não identificaram resultados, aplicou-se apenas as palavras-chave referentes ao eixo I e eixo III, com as especificações dos grandes geradores. O Quadro 3 representa o resultado da nova pesquisa.

Quadro 3 - Resultados alcançados a partir do cruzamento das novas palavras-chave nos bancos de dados

Data	**Critérios de busca**	**Nº de artigos**	
		Web of Science	***Scopus***
07/01/2024	"OFMSW" AND "farmer market"	0	0
07/01/2024	"organic solid waste" AND "farmer market"	0	0
07/01/2024	"food waste" AND "farmer market"	0	10
07/01/2024	"biowaste" AND "farmer market"	0	0
07/01/2024	"OFMSW" AND "supermarket"	1	1
07/01/2024	"organic solid waste" AND "supermarket"	0	0
07/01/2024	"food waste" AND "supermarket"	39	84
07/01/2024	"biowaste" AND "supermarket"	0	3
07/01/2024	"OFMSW" AND "hotel"	0	1
07/01/2024	"organic solid waste" AND "hotel"	1	2
07/01/2024	"food waste" AND "hotel"	27	63
07/01/2024	"biowaste" AND "hotel"	0	3
07/01/2024	"OFMSW" AND ("bar" or "pub" or "restaurant")	2	2
07/01/2024	"organic solid waste" AND ("bar" or "pub" or "restaurant")	3	6
07/01/2024	"food waste" AND ("bar" or "pub" or "restaurant")	95	193
07/01/2024	"biowaste" AND ("bar" or "pub" or "restaurant")	3	9
07/01/2024	"central de abastecimento"	2	4
Subtotal por base de dados		**173**	**381**
TOTAL		**554**	

Fonte: Autor, 2023

Ao analisar os novos critérios de busca, ficou claro que a palavra-chave que melhor representa o eixo I: tipo de resíduo, é "*food waste*", com o maior resultado numérico de artigos. Pelo expressivo quantitativo de artigos retornados, foi realizada uma adaptação na

metodologia *ProKnow-C*, restringindo a análise ao máximo de 50 artigos mais relevantes por base de dados por grande gerador, que se enquadrou no critério de busca no eixo I: "*food waste*". Para enquadramento na pesquisa, foram excluídos os artigos constantes em ambas as bases de dados, e dos restantes foi feito uma leitura dos resumos. Aqueles artigos cujos resumos não possuíam relação direta com o objeto desta pesquisa foram retirados da revisão. O novo quantitativo de artigos analisados consta no quadro 4.

Quadro 4 - Resultados alcançados após filtragem do eixo I e exclusão dos artigos em duplicidade

Data	**Critérios de busca**	**Nº de artigos**	
		Web of Science	***Scopus***
07/01/2024	"central de abastecimento"	0	4
07/01/2024	"food waste" AND "farmer market"	0	1
07/01/2024	"food waste" AND "hotel"	12	14
07/01/2024	"food waste" AND "supermarket"	8	18
07/01/2024	"food waste" AND ("bar" or "pub" or "restaurant")	10	15
Subtotal por base de dados		**30**	**52**
TOTAL		**82**	

Fonte: Autor, 2023

Para os artigos relacionados à central de abastecimento, observou-se que os artigos identificados na base *Web of Science* também estavam no *Scopus*. Então, analisou-se apenas 4 artigos. Na análise dos estudos envolvendo as feiras livres, foram obtidos 10 artigos, dos quais, após leitura dos resumos, apenas 1 (10% da amostra) possuía relação com tratamento de resíduos sólidos. Os assuntos dos demais artigos removidos da base para fundamentação teórica deste trabalho eram relacionados à área de ciências sociais (40%), medicina (20%), ciências biológicas e agricultura (20%), e negócio, gestão e contabilidade (10%). Em complementação aos artigos para ambos os segmentos (central de abastecimento e feiras livres), buscou-se outros artigos, aplicando-se as palavras-chave na língua portuguesa, na base do Google Acadêmico.

Para os hotéis, 23 artigos foram excluídos por duplicidade nas bases de dados. Os 33 artigos mais relevantes da *Scopus* continham 14 artigos relacionados ao tema (42%). Os 58% excluídos eram das áreas de ciências ambientais (36%), ciências sociais (9%) e outras áreas, como negócio, gestão e contabilidade (10%), e energia (3%). Na base *Web of Science*, foram filtrados 27 artigos, dos quais, 12 trabalhos (44% da amostra) estavam relacionados à geração, quantificação, tratamento e impactos dos resíduos sólidos no setor

hoteleiro. Os demais artigos estavam categorizados em ciência, tecnologia verde e sustentável (19%), ciências ambientais (11%), e outras áreas, como negócios, economia, hotelaria e lazer (26%).

Dentre os artigos selecionados para os supermercados, foram excluídos 35 artigos duplicados, removidos da base *Scopus*. Dentre os 49 mais relevantes selecionados na base *Scopus*, 18 estavam relacionados com os impactos ambientais dos resíduos provenientes dos supermercados ou eram sobre tratamento desses resíduos. Já os que não estavam relacionados, 27% tinham como assunto da área de ciências ambientais, 29% de ciências sociais e 8% relacionados a outros assuntos como saúde pública. Dos 39 filtrados no *Web of Science*, apenas 8 (20,5% da amostra) tinham relação com o objeto desta pesquisa, abordando formas de tratamentos específicos e estimativas de geração de energia a partir dos resíduos. 18% dos artigos não relacionados estavam na categoria de sustentabilidade, 5% na horticultura brasileira, e os demais 56,5% relacionados a outros assuntos como antropologia social, nutrição, análise de risco e alimentos.

Foram excluídos 87 artigos duplicados relacionados aos bares e restaurantes. Dos 50 mais relevantes selecionados na base *Scopus*, apenas 15 foram selecionados para leitura, eliminando-se 34% dos artigos categorizados na área de ciências ambientais, 4% sobre ciências sociais, e os demais sobre agricultura, ciências biológicas, engenharia e outros assuntos (32%). Dos 50 do *Web of Science*, foram filtrados 10 artigos (20%), excluindo os demais, sendo 18% sobre produção limpa, 14% sobre sustentabilidade e 48% enquadrados em outras categorias, como estudos relacionados aos padrões de comportamento de consumo, influências da religião e pandemia de COVID sobre o consumo

Isso demonstra que os resultados obtidos pela aplicação da metodologia *ProKnow-C* para esta pesquisa permitiram apenas quantificar os trabalhos acadêmicos que atendiam a todos os critérios metodológicos, sem qualificar o artigo selecionado como relevante para objetivo da pesquisa. Assim, a metodologia não consegue validar se os resultados estão diretamente relacionados ao objeto de estudo, podendo resultar em uma quantidade de trabalhos que têm apenas uma relação indireta com o tema da pesquisa, por utilizarem algumas das palavras-chave no resumo, título ou nas palavras-chave do artigo. Como não existe um padrão fixo para a seleção das palavras-chave em trabalhos acadêmicos, cada autor tem a liberdade de escolher suas palavras-chave, o que impossibilita garantir que os critérios utilizados resultarão na seleção de trabalhos realmente relevantes.

6.2 Legislação que classifica os grandes geradores nas capitais brasileiras

Além da revisão bibliométrica conduzida, antes de identificar os potenciais grandes geradores, foi realizado um levantamento do arcabouço legal das capitais do país relacionado à classificação dos grandes geradores de resíduos sólidos urbanos, buscando compreender o contexto macro no qual a cidade de João Pessoa está inserida.

As capitais brasileiras foram segregadas de acordo com as cinco grandes regiões que dividem o território nacional com respectivos parâmetros de qualificação do grande gerador, e a legislação que o estabeleceu, reunidos no Quadro 5. Ressalta-se que as taxas de geração diária constituídas pelos municípios foram baseadas nos parâmetros de volume e/ou massa dos resíduos.

Analisando individualmente a legislação vigente de cada capital brasileira, observa-se que, com exceção de Rio Branco, capital do Acre, todas as capitais e o Distrito Federal (DF) já implantaram legalmente o parâmetro que qualifica o grande gerador de resíduos sólidos. Embora já tenham determinado esse parâmetro, constata-se que, mesmo dentro dos limites de uma mesma região territorial, não há uniformidade nos critérios que definem um estabelecimento como grande gerador de resíduos. Foi percebido que essas normas apenas balizam o limitador que caracteriza o grande gerador. Contudo, não são explicitados os critérios e parâmetros utilizados para obtenção do valor limite para qualificação do grande gerador. Esse limite é a relação entre volume ou massa, em função do tempo.

Ao estudar o Nordeste, região na qual a área de estudo está localizada, verifica-se que Maceió (AL) é a capital mais restrita, caracterizando como grande gerador o estabelecimento que excede o volume de 100 (cem) litros ou 20 (vinte) quilos, por período de 24 (vinte e quatro) horas. Por outro lado, as capitais nordestinas identificadas como menos restritivas foram Salvador (BA) e Aracaju (SE), que preconizam como grandes geradores os estabelecimentos que produzem um volume superior a 500 litros.dia^{-1}.

Quadro 5 - Parâmetro caracterizador como grande gerador de resíduos nas capitais brasileiras

Região	Capital – Estado	Legislação Vigente	Parâmetro caracterizador como grande gerador
Sudeste	Rio de Janeiro – RJ	Inciso IX, art. 7º da Lei N.º 3.273/01	Volume diário de 120 (cento e vinte litros) ou 60 (sessenta) quilogramas
	São Paulo – SP	Inciso I, art. 1º da Lei N.º 14.973, de 11 de setembro de 2009	Volume superior a 200 (duzentos) litros diários
	Belo Horizonte – MG	Art. 2º da Lei N.º 10.534, de 10 de setembro de 2012	Volume diário superior a 120 (cento e vinte) litros
	Vitória – ES	Art. 3º do Decreto N.º 17060 DE 19/05/2017	Volume ultrapassa 200 (duzentos) litros por dia
Nordeste	Aracaju – SE	Art. 26, XI, Lei Municipal N° 1.721, de 18 de julho de 1991	Produção exceda o volume de 500 (quinhentos) litros ou 200 (duzentos) quilos por período e 24 horas.
	Fortaleza – CE	Inciso I, art. 1º da Lei N.º 10.340, de 28 de abril de 2015	Volume igual ou superior a 100 (cem) litros por dia
	João Pessoa – PB	Inciso II, art. 7º do Decreto N.º 8886 de 23/12/2016	Volume ultrapasse (200) duzentos litros por dia
	Maceió – AL	Art. 32, § 1º da Lei N.º 6933 de 04/09/2019	Excedam o volume de 100 (cem) litros ou 20 (vinte) quilos, por período de 24 (vinte e quatro) horas
	Salvador – BA	Art. 2º do Decreto N.º 25.316 de 12 e setembro de 2014	Volume gerado seja superior a 500 (quinhentos) litros/dia
	São Luís – MA	Art. 20º da Lei N.º 6.321 de 27 de março de 2018	Volume diário gerado acima de 200 (duzentos) litros
	Teresina – PI	Art. 2º, VIII, da Lei Complementar N.º 4664, de 19/12/2014	Exceda ao volume de 120 (cento e vinte) litros ou 60 (sessenta) quilos diários
	Natal – RN	Especificado no site da Prefeitura	Volume diário gerado acima de 200 (duzentos) litros
	Recife – PE	Art. 28, I, da Lei Municipal N.º 19.026, de 30 de dezembro de 2022	Volume superior a 300 (trezentos) L/d

Norte	Belém – PA	Inciso I, art. 2º do Decreto Municipal N.º 83021, 19 de junho de 2015.	Volume superior a 0,2 m³ (dois décimos de metros cúbicos) diários, ou seja, maior que 200 (duzentos) litros
	Boa Vista – RR	Inciso II, art. 16 da Lei N.º 2.004, DE 12 de julho de 2019.	Volumes maiores que 130 (cento e trinta) Kg/mês ou 160 (cento e sessenta) L/mês
	Manaus – AM	Inciso II, art. 22º, Lei N.º 1411 de 20 de janeiro de 2010	Acima de 200 (duzentos) litros por dia
	Porto Alegre – RS	Inciso II, art. 1º Decreto N.º 20.684, de 11de agosto de 2020.	Volume diário superior a 300 (trezentos) litros
	Porto Velho – RO	Inciso 4º, art. 147 da Lei Complementar 199/2004	Volume superior a 100 (cem) litros/dia
	Rio Branco - AC	-	Não identificado
	Palmas – TO	Anexo IV ao Decreto N.º 700, de 15 de janeiro de 2014	Valores superiores a 200 (duzentos) litros por dia ou 100 kg por dia.
Centro-oeste	Cuiabá – MT	Inciso 1, art. 17º da Lei Complementar N.º 364, de 26 de dezembro de 2014	Volume superior a 200 (duzentos) litros diários ou massa superior a 50 (cinquenta) quilogramas diários
	Campo Grande – MS	Art. 2º do Decreto N.º 13653 de 26/09/2018	Volume de resíduos sólidos gerados seja superior a 200 (duzentos) litros/dia ou 50 (cinquenta) quilogramas
	Brasília – DF	Art. 2º, II, da Lei N.º 5.610, de 16 de fevereiro de 2016	Produzem mais de 120 (cento e vinte) litros diários
	Goiânia – GO	Inciso 1, art. 2º da Lei N.º 9.498, de 19 de novembro de 2014	Volume superior a 200 (duzentos) litros diários
Sul	Porto Alegre – RS	Art. 1º, § 2º do Decreto N.º 20.684/2020	Ultrapassar 300 (trezentos) litros diários
	Florianópolis – SC	Art. 2º, XI da Lei Complementar N.º 718 DE 23/11/2021	Volumes superiores a 1,0 m³ (um metro cúbico) de resíduos da construção civil, vegetais e volumosos ao dia
	Curitiba – PR	Art.10 do Decreto N.º 1753 DE 21/10/2021	Resíduos domiciliares recicláveis e resíduos orgânicos superiores a um volume diário de 600 (seiscentos) litros

Fonte: Autor, 2023

6.3 Quantificação dos resíduos e aproveitamento energético do biometano

O plano metodológico inicial contava com quantificação dos resíduos gerados através de pesagens diárias, no entanto, foi constatado que cada atividade possui características específicas operacionais, e de gestão dos resíduos, como horários de funcionamento, frequência e o horário da coleta. Além das limitações de tempo e pessoal, não se pode fazer a quantificação e análise gravimétrica dos resíduos dos grandes geradores, com exceção da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA). Consequentemente, a quantificação dos resíduos dos demais potenciais grandes geradores foi estimada.

Destaca-se que, devido às especificidades para levantamento e obtenção dos dados de cada grande gerador, este tópico abordará, individualmente, cada grande gerador objeto deste estudo.

6.3.1 Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA)

Para os grandes geradores, iniciaram-se as estimativas pela EMPASA, tendo em vista que os dados disponibilizados e coletados em campo foram triados e planilhados. Foi constatado, conforme as fotografias agrupadas na Figura 6, que a maior parte dos resíduos acondicionados são orgânicos, e uma menor fração são resíduos de outras tipologias, como sacolas plásticas, garrafas PET, papelão/papel e bandejas de ovos. É interessante destacar que o observado nessa pesquisa (Figura 6) é condizente com o que foi reportado na literatura por Leal (2018), que, a partir da análise da composição gravimétrica dos resíduos da EMPASA, relatou que mais de 98% dos resíduos foram identificados como sendo orgânicos, seguidos de papel, terra, madeira, plástico mole e contaminantes químicos.

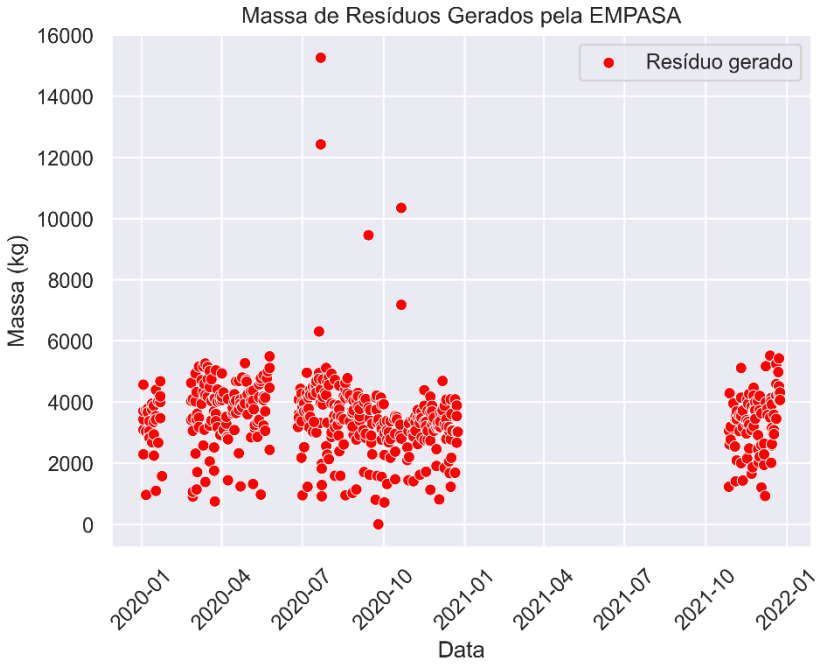
Um dos passos metodológicos cruciais para análise dos dados disponibilizados e coletados em campanha sobre os resíduos da EMPASA foi a importação desses dados para a linguagem de programação Python. Analisando o gráfico de dispersão plotado com as massas de resíduos pesadas diariamente (Figura 7), no período compreendido entre janeiro de 2020 e dezembro de 2021, ficou visível que existe uma grande lacuna de dados no ano de 2021, pois estão ausentes informações referentes a 10 (dez) meses. De semelhante modo, embora não perceptível graficamente, foram observadas outras lacunas no ano de 2020, em meados de fevereiro e junho.

Figura 6 - Registros fotográficos da campanha de coleta de resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

Fonte: Equipe da LPSAU, 2022

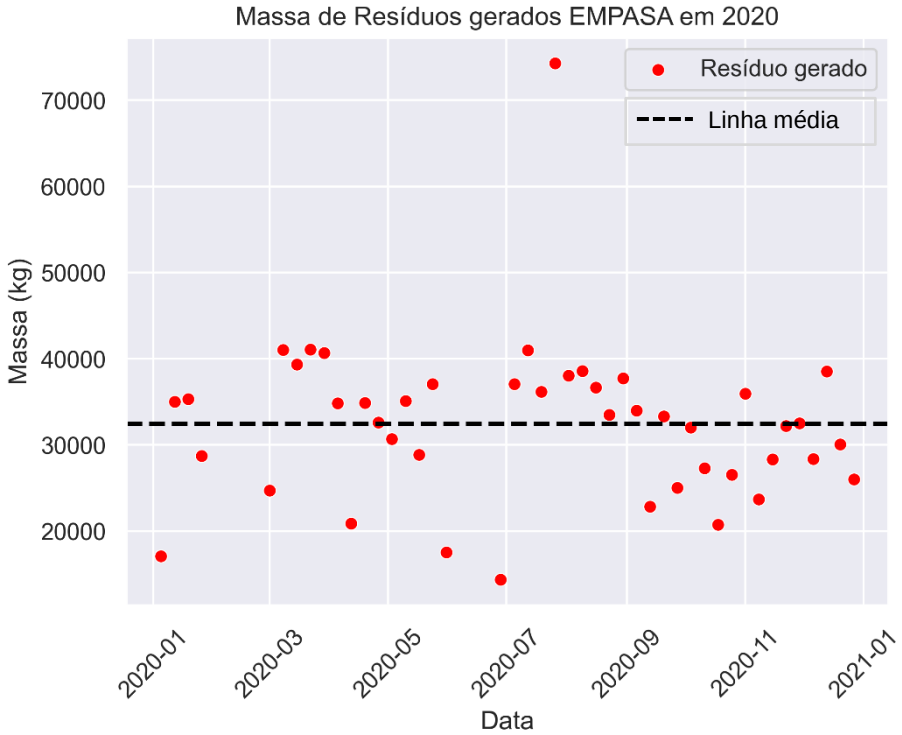
Foi realizado o isolamento do ano de 2020, tendo em vista que possui um período de dados sem lacunas expressivas, e agrupamento semanal das massas de resíduos, para que fosse possível comparar com os dados coletados durante a campanha. Esses ajustes resultaram na Figura 8. Analisando a dispersão dos dados, observa-se que, com exceção da massa gerada em 26 de julho de 2020 (74.300 kg), os demais dados se mantem próximo a média de resíduos, calculada em 32.444,89 kg.

Figura 7 - Dispersão da massa de resíduos gerados pela Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas



Fonte: Autor, 2023

Figura 8 - Dispersão da massa de resíduos gerados semanalmente pela Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas em 2020

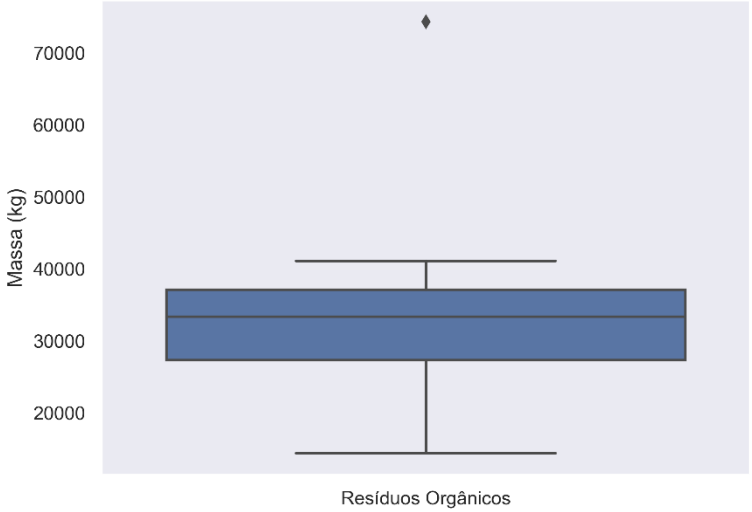


Fonte: Autor, 2023

O gráfico em boxplot foi adotado para melhor análise estatística e discussão. Esse gráfico foi incluído na Figura 9, com a descrição dos dados abrangidos na análise:

quantidade de semanas analisadas (*count*), média (*mean*), desvio padrão (*std*), valor mínimo (*min*), primeiro quartil (25%), segundo quartil (50%), terceiro quartil (75%) e o valor máximo (*max*).

Figura 9 - Boxplot e dados estatísticos referentes às massas de resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas em 2020



	Resíduos Orgânicos
count	45.000000
mean	32444.888889
std	9362.831405
min	14370.000000
25%	27300.000000
50%	33320.000000
75%	37060.000000
max	74300.000000

Fonte: Autor, 2023

Observou-se que, durante sete semanas no ano de 2020, não há dados disponíveis, sendo 4 semanas no mês de fevereiro e 3 semanas no mês de junho. Percebe-se que nos dados estatísticos colacionados na Figura 10, só há registro de 45 semanas (*count*). Não se consegue determinar a razão da ausência da coleta de dados nos períodos supracitados.

No que tange aos dados coletados *in loco*, esses já haviam sido segregados por semana, não necessitando de agrupamentos. Após importação dos dados para o Python, conforme Tabela 9, os dados foram organizados em um *dataframe*, nomeando-se colunas e respectivas informações, com o objetivo de excluir informações não relevantes para a análise comparativa proposta.

Tabela 9 - Massa de resíduo gerado durante campanha de coleta em 2022

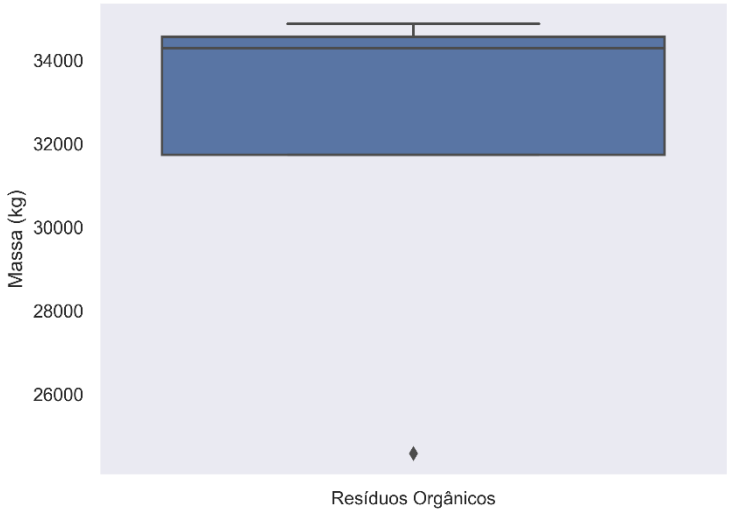
	Semanas	Semana	Quantidade de dias	Resíduos	Geração diária
0	SEMANA 1 (19/04 - 25/04)	2022-04-25	7	34120	4874.285714
1	SEMANA 2 (26/04 - 02/05)	2022-05-02	7	34460	4922.857143
2	SEMANA 3 (03/05 - 09/05)	2022-05-09	7	24570	3510.000000
3	SEMANA 4 (10/05 - 16/05)	2022-05-06	7	34870	4981.428571

Fonte: Equipe da LPSAU, 2022

Como pode ser observado na Tabela 9, na primeira semana de quantificação, foram geradas 34,12 toneladas de resíduos sólidos, com uma geração média diária de 4,8 toneladas, resultado similar à geração de resíduos sólidos durante a segunda semana de análise, quando foram geradas 34,46 toneladas de resíduos sólidos, para uma média de 4,9 toneladas por dia. Por outro lado, na terceira semana de análise, foi registrada uma queda de aproximadamente 28% na geração de resíduos sólidos em relação às semanas anteriores, o que pode ser explicado pelo não funcionamento da feira no feriado de primeiro de maio. Corroborando este indicativo, a quantificação realizada na quarta semana de análise indicou uma geração de 34,8 toneladas de resíduos sólidos, para uma geração diária de 4,9 toneladas por dia, resultado semelhante aos registrados nas duas primeiras semanas.

De semelhante modo, apurou-se os dados estatísticos e gráfico de boxplot, mostrados na Figura 10:

Figura 10 - Boxplot e dados estatísticos referentes às massas de resíduos de campanha em 2022



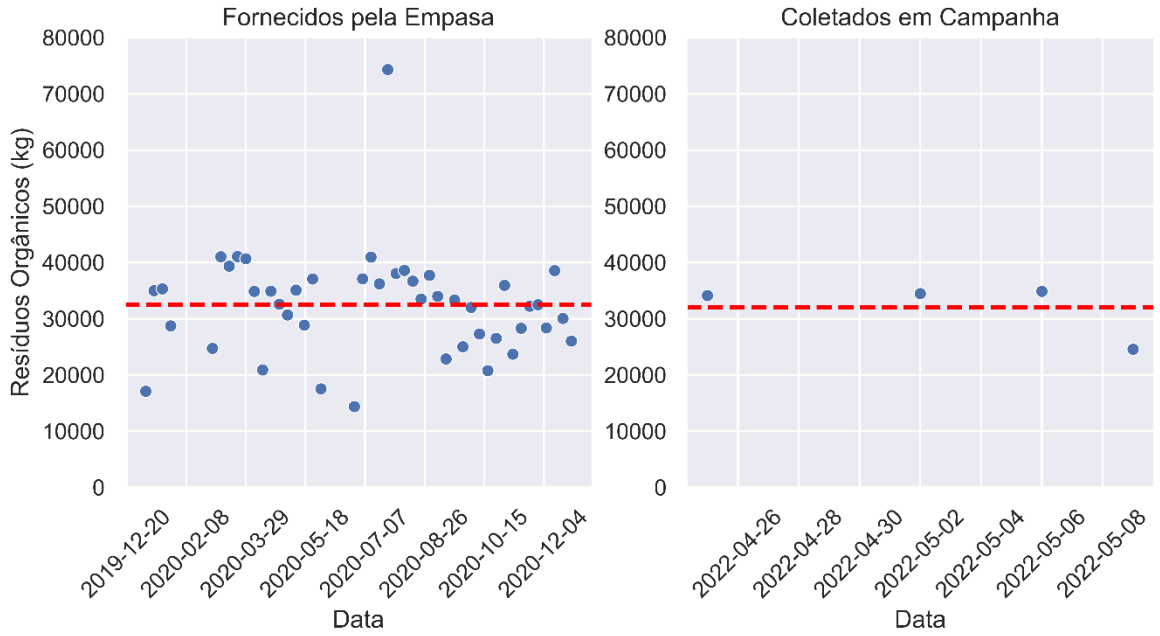
	Resíduos Orgânicos
count	4.00000
mean	32005.00000
std	4966.14203
min	24570.00000
25%	31732.50000
50%	34290.00000
75%	34562.50000
max	34870.00000

Fonte: Autor, 2023

Por fim, a partir da comparação dos dados, apurou-se que as médias de geração de resíduos orgânicos obtidas com os dados fornecidos pela EMPASA e os gerados pela equipe da LPSAU se assemelham, conforme é observado no gráfico da Figura 11. O valor médio para os dados fornecidos pela EMPASA foi de 32.444,89 quilogramas por semana, já os dados coletados em campo resultaram em um montante médio de 32.005,00 quilogramas por semana. Ao comparar esses valores, observamos um desvio menor que

2%. Esse resultado permite inferir que, mesmo com as variações sazonais, a geração média de resíduos da EMPASA é mantida ao longo do ano. A manutenção do valor médio de geração entre 2020 e 2022 pode indicar que, apesar do aumento no consumo, estão sendo adotadas ações sustentáveis para manter ou reduzir a geração de resíduos.

Figura 11 - Comparação entre as massas médias de resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas



Fonte: Autor, 2023

O potencial de geração do biogás com base nos dados da EMPASA será realizado por estimativa, a partir da metodologia já delimitada. De acordo com a equação 3, para estimativa de geração de metano produzida no ano (Q_{CH4} em $m^3.ano^{-1}$), são necessários alguns parâmetros: i é o incremento de tempo em um ano; k é a constante de geração de metano ($anos^{-1}$); L_0 é o potencial de geração de metano ($m^3\ CH_4.ton^{-1}$ resíduos); m_i é massa de resíduo depositada no ano (ton); e t_i é o tempo passado desde o fechamento (anos). Neste caso específico, partindo do pressuposto que o tempo será determinado a partir da tecnologia de DA adotada, considerou-se o t_i igual a 1 (um) ano.

A massa de resíduo depositada no ano foi calculada a partir da média entre os dados fornecidos pela EMPASA e obtidos em campo. O valor médio calculado foi de 32.224,94 quilogramas por semana. Conforme determinou Leal (2018), a matéria orgânica representa 98,119% da massa total de resíduos, o que significa 31.618,79 quilogramas por semana. Extrapolando a massa para as 52 semanas em um ano, conclui-se que a massa de resíduo (m_i) é de 1.644.177,02 $kg.ano^{-1}$ que equivalem a 1.644,18 $ton.ano^{-1}$.

Tabela 10 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da massa de resíduo (m_i) da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

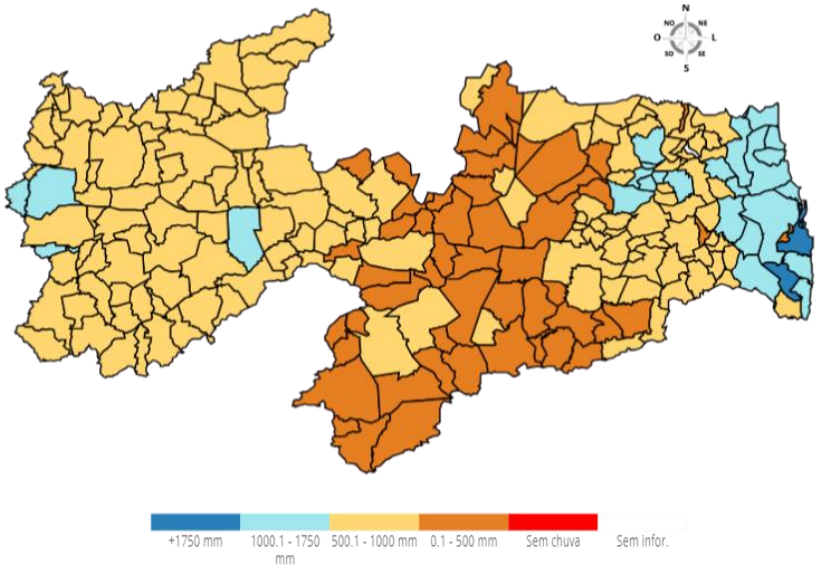
Parâmetros	Valor	Unidade	Observações
Massa de resíduos	32.444,89	kg.semana^{-1}	Relatório da EMPASA
Massa de resíduos	32.005,00	kg.semana^{-1}	Pesado durante a campanha
Média da massa de resíduos (m_i)	32.224,94	kg.semana^{-1}	-
Massa de orgânicos	31.618,79	kg.semana^{-1}	Considerando 98,119%
Massa anual de orgânicos	1.644,18	ton.ano^{-1}	Considerando 52 semanas

Fonte: Autor, 2024

O método *Scholl Canyon*, utilizado para avaliar a produção de metano, estima a produção de metano em um dado intervalo de tempo em função da constante de geração de metano (k), que se baseia na precipitação anual, e do potencial de geração de metano (L_0), que, por sua vez, se baseia na caracterização do resíduo, variando entre relativamente inerte e altamente degradável.

De acordo com a Agência Executiva de Gestão das Águas - AESA (2023), a precipitação máxima de João Pessoa só no ano 2023 ultrapassou os 1000 mm, conforme Figura 12. Outrossim, tendo em vista que mais de 98% dos resíduos da EMPASA são orgânicos, considerou-se que os resíduos são altamente degradáveis. Portanto, a constante de geração de metano (k) adotada foi de 0,09 anos^{-1}. De semelhante modo, por serem altamente degradáveis, adotou-se L_0 mínimo de 225 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos e L_0 máximo de 300 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos.

Figura 12 - Precipitação máxima no estado da Paraíba em 2023



Fonte: AESA, 2023

A vazão de metano estimado (Q_{CH4} em $m^3.ano^{-1}$) foi obtida através da aplicação da equação 3, a partir do *input* das considerações acima explicitadas e consolidadas na Tabela 11. Nesse sentido, a partir da aplicação dos parâmetros citados naquela equação, a vazão de metano calculada para o potencial mínimo de geração (L_0 mínimo) foi de 30.428,96 m^3 por ano (Q_{CH4} *mínima*). Por outro lado, a geração de metano para o potencial máximo (L_0 máximo) foi de 40.571,95 (Q_{CH4} máxima).

Tabela 11 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Massa de resíduo (*mi*)	1.644,18	$ton.ano^{-1}$
Constante de geração de metano (*k*)	0,09	$anos^{-1}$
Potencial mínimo de geração de metano ($L_{0\ mínimo}$)	225	$m^3\ CH_4.ton^{-1}$ resíduos
Potencial máximo de geração de metano ($L_{0\ máximo}$)	300	$m^3\ CH_4.ton^{-1}$ resíduos
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	30.428,96	$m^3\ CH_4.ano^{-1}$
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	40.571,95	$m^3\ CH_4.ano^{-1}$

Fonte: Autor, 2024

Para a estimativa de energia elétrica possível de ser gerada, em kWh, foi utilizada a equação 4. O volume anual de metano produzido (Q_{CH4}) foi calculado acima. O poder calorífico inferior (PCI) do gás metano é de 8.500 $kcal.m^{-3}$. No que diz respeito à eficiência da conversão elétrica do conjunto motogerador, de acordo com Carvalho (2021), após analisar a eficiência de seis (6) diferentes conjuntos motogeradores com diferentes substratos, estabeleceu a eficiência média de 29,47%. Cudjoe, Su Han e Nandiwardhana (2020), ao analisar três (3) diferentes estudos, concluíram que a eficiência de um equipamento de conversão é de 35%. Por conseguinte, adotou-se a eficiência média de 35%. Por isso, pôde-se determinar que, anualmente, o resíduo orgânico produzido pela EMPASA tem capacidade para gerar entre 105.262,97 e 140.350,63 kWh de energia elétrica.

Tabela 12 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas.

Parâmetros	Valor	Unidade
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	30.428,96	$m^3\ CH_4.ano^{-1}$
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	40.571,95	$m^3\ CH_4.ano^{-1}$
Poder calorífico inferior (*PCI*)	8.500	$Kcal.m^{-3}$
Eficiência do conjunto motogerador (*n*)	35	%
Potencial mínimo de geração de energia elétrica	105.262,97	$kWh.ano^{-1}$
Potencial máximo de geração de energia elétrica	140.350,63	$kWh.ano^{-1}$

Fonte: Autor, 2024

A pesquisa desenvolvida na usina de digestão anaeróbia em escala piloto instalada na CEASA/PE, entre novembro de 2020 e março de 2022, foi composta por 6 diferentes fases, considerando o *start* da planta até o colapso do sistema em virtude do aumento de carga. Devido a heterogeneidade dos resíduos gerados, cada fase foi composta por um tipo e massa de resíduo, assim como, inóculos, variando entre lodo de ETE, rúmen bovino, chorume e recirculação de digestato. A massa de resíduos que alimentou o reator no período do estudo foi de 13.475 kg. Para essa massa de resíduo, o volume acumulado de biogás foi de 567,83 m³. Considerando o motogerador de 8 kW instalado na planta, o biogás gerado resultaria numa geração de 1.135,66 kWh de energia elétrica durante o período em estudo (Paiva, 2023). Desse modo, é possível inferir que cada tonelada de resíduo gera aproximadamente 84,279 kWh, o que representa uma taxa de geração de 84,279 $kWh.ton^{-1}$.

Considerando a massa de biorresíduo estimada para a EMPASA de 1.644,18 $ton.ano^{-1}$, aplicando-se a taxa de geração de 84,279 $kWh.ton^{-1}$ encontrada na usina piloto da CEASA/PE, a EMPASA possui potencial de geração de 138.569,60 $kWh.ano^{-1}$. Comparado ao potencial máximo calculado, de 140.350,63 $kWh.ano^{-1}$, observa-se uma variação de apenas 1,3%. Isso ratifica a estimativa realizada neste estudo e valida o potencial de reaproveitamento energético dos resíduos sólidos gerados pela EMPASA.

Como já citado, segundo o IBGE (2023), João Pessoa possuía, em 2022, período no qual a campanha de coleta e quantificação dos resíduos ocorreu, uma população de 833.932 pessoas. Portanto, o potencial de geração de energia elétrica *per capita*, através do biogás gerado pela digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos da EMPASA, estaria entre 0,13 e 0,17 $kWh.ano^{-1}.hab^{-1}$. Esse dado possui caráter comparativo, com o intuito de

unificar parâmetros que possam ser comparados em estudos posteriores, não implicando dizer que a população local possui relação diretamente proporcional à geração de resíduos na EMPASA.

6.3.2 Feiras livres

Inicialmente, obteve-se, junto à Empresa Municipal de Limpeza Urbana, a relação das feiras livres de maior importância e porte na cidade de João Pessoa. A partir da relação nominal das feiras disponibilizada, buscou-se compilar as principais informações, como a localização, dias de operação e a qual lote para coleta a feira pertencia, consolidando as principais informações no Quadro 6:

Quadro 6 – Informações sobre as principais feiras livres da cidade de João Pessoa

#	Bairro de localização	Endereço	Principais dias de ocorrência	Lote
1	Bessa	R. Renato de Souza Maciel, 353 - Bessa, 58035-150	Todos os dias	I
2	Tambaú	Av. Sen. Ruy Carneiro, S/N - Tambaú, 58039-181	Todos os dias	II
3	Bairro dos Estados	R. Joaquim Pires Ferreira, 37 - Estados, 58027-033	Sábado	I
4	Torre	Torre, 58040-243	Sábado e domingo	I
5	Mercado Central	Av. Dom Pedro II - Centro, 58013-420	Todos os dias	I
6	Mangabeira	R. Josefa Taveira, 1439 - Mangabeira, 58056-290	Todos os dias	III
7	Valentina	R. Carlos Freitas Lins, 19 - Conj. Valentina Figueredo I	Sábado e domingo	III
8	Oitizeiro	Av. Cruz das Armas, 216 - Oitizeiro, João Pessoa - PB, 58085-000	Sexta, sábado e domingo	II
9	Rangel	Av. Dois de Fevereiro, S/N - Varjão, 58070-000	Todos os dias	II
10	Geisel	R. Dep. Petrônio Figueiredo - Ernesto Geisel, 58075-410	Sábado e domingo	III
11	Grotão	R. Espedito Belmiro Santos, 111-117 - Cidade dos Funcionários - 58079-794	Sábado e domingo	III
12	Mercado Cruz das Armas	Mercado Público Sindolfo Freire - Av. Cruz das Armas, 759 , 58085-000	Todos os dias	II
13	Jaguaribe	R. Generino Maciel, 511 - Jaguaribe, 58015-700	Quarta	II

Fonte: Autor, 2023

Conforme esperado, semelhante a geração de resíduos da EMPASA, as feiras livres têm produção majoritariamente de RSO, devido aos tipos de produtos comercializados, como os hortigranjeiros. Corroborando com o referenciado, como mostra a Figura 13, constata-se que cada feira possui suas especificidades de forma de armazenamento, de disposição de contêineres para coleta, entre outros pontos observados. Um dos pontos que se pode inferir é que a capacidade de armazenamento temporário dos resíduos gerados pode estar subdimensionada, pois se observa parte do resíduo gerado fora dos contêineres, com destaque para a feira de Jaguaribe, que, além dos contêineres cheios, existe uma quantidade relativamente expressiva de resíduo fora do local de armazenamento.

Figura 13 - Registros fotográficos das feiras livres em João Pessoa: a) Torre; b) Mercado Central; c) Jaguaribe; d) Tambaú

Fonte: Equipe da LPSAU, 2022

Um dos objetivos traçados para essa pesquisa foi a quantificação e caracterização dos resíduos gerados nas feiras listadas (*vide* Quadro 6). Todavia, diante da dificuldade para formalização de parceria com a empresa responsável, não houve como avaliar esses resíduos. Em adição, durante a revisão bibliográfica que fundamentou essa pesquisa, não foi identificado uma taxa de geração padrão, nem um modelo matemático padrão capaz de predizer a geração de resíduos dessas feiras.

Conforme narrado na metodologia traçada, a estimativa de resíduos orgânicos gerados em cada feira foi obtida a partir da aplicação, na equação 1, de informações extraídas da observação de campo e quantificação visual das feiras. Salienta-se que, como visto na Figura 13, em algumas feiras, os contêineres não comportam todo o resíduo gerado e, frente a impossibilidade de quantificar essa parcela, na estimativa realizada, essa não foi levada em consideração. Outrossim, os parâmetros utilizados consideraram os dias de feiras regulares, tendo em vista que as gerações de resíduos, em algumas feiras pesquisadas, aumentam em 100% nos dias principais de venda.

A composição gravimétrica dos resíduos provenientes das feiras livres possui variação relevante, considerando que depende de diversos fatores, como sazonalidade, localização e padrões de consumo da população. Vaz *et al*. (2003), ao analisarem a composição dos resíduos da feira situada no bairro do Tomba, em Feira de Santana – BA, observaram que 84,2% eram orgânicos e que, devido ao alto teor de orgânicos, o peso específico do resíduo gerado foi de 0,66 $ton.m^{-3}$. Fonseca *et al*. (2016), em um estudo semelhante, caracterizaram os resíduos da feira livre situada em Formosa – GO, e determinaram que 83% do resíduo avaliado era constituído de material orgânico, com peso específico de 0,46 $ton.m^{-3}$. Partindo do pressuposto que os valores alcançados nessas pesquisas são próximos, para a estimativa da massa de resíduo em cada feira, adotou-se os valores médios de fração de orgânicos e peso específico dos resíduos.

As principais informações calculadas, obtidas através da quantificação visual e visita em campo, foram compiladas na Tabela 13, a fim de obter a geração anual de orgânicos em toneladas. Essa tabela foi organizada de forma decrescente de geração de RSO, iniciando da feira com maior contribuição, até a de menor geração estimada. As capacidades de armazenamento das feiras foram obtidas através das visitas *in loco*, com verificação das etiquetas fixadas nos contêineres. Nos casos em que não havia etiqueta, considerando que as lixeiras e caçambas dispostas nas feiras eram semelhantes aos contêineres presentes em outras feiras, adotou-se o valor especificado nas etiquetas identificadas.

Tabela 13 – Estimativa de geração de resíduos orgânicos por feira livre em João Pessoa

Bairro	Capacidade de armazenamento m^3	Volume semanal gerado m^3	Massa de resíduos $ton.ano^{-1}$	Geração anual de orgânicos $ton.ano^{-1}$
Mangabeira	1,80	33,60	978,43	817,97
Rangel	3,60	25,20	733,82	613,48
Mercado Central	2,00	14,00	407,68	340,82
Bessa	1,80	12,60	366,91	306,74
Tambaú	1,68	11,76	342,45	286,29
Oitizeiro	4,80	10,80	314,50	262,92
Mercado Cruz das Armas	1,40	9,80	285,38	238,57
Torre	3,60	7,20	209,66	175,28
Jaguaribe	3,60	7,20	209,66	175,28
Bairro dos Estados	3,60	3,60	104,83	87,64
Geisel	1,20	4,80	139,78	116,85
Valentina	1,50	3,00	87,36	73,03
Grotão	Em reforma, no período de coleta de dados (julho de 2024)			
Total	33,58	143,56	4.180,47	3.494,87

Fonte: Autor, 2024

Além dos dados quantitativos tabelados acima, foram extraídas informações qualitativas, segundo dados fornecidos pelos administradores das feiras. Quanto à informação da fração de orgânicos presentes no resíduo gerado, a composição variou de 80%, conforme reportado por responsável pela feira de Jaguaribe, a 30%, em Mangabeira. Na maioria das feiras, os responsáveis não possuem estimativa, considerando que os resíduos são totalmente misturados. É importante destacar que a segregação desses resíduos no local de geração é essencial para a gestão eficiente com reaproveitamento de forma adequada dos resíduos descartados. Na feira de Valentina, estima-se que aproximadamente 150 kg dos RSO gerados são coletados por criadores para alimentação de animais, o que reduz a destinação inadequada de orgânicos ao ASMJP. Sobre a feira do Grotão, em reforma durante a pesquisa, as bancas foram agregadas às casas circunvizinhas e, por não possuírem coletores dispostos, sendo impraticável estimar a geração. No Rangel, a estrutura central da feira também está em reforma, operando com apenas cerca de 90 bancas.

Um conjunto de fatores influenciam a geração de resíduos nas feiras: aspectos sazonais, aspectos climáticos, influências regionais, localidade, principais produtos

comercializados, além da quantidade de boxes e barracas. A fim de comparar os dados estimados desta pesquisa, com pesagens de resíduos em feira livre, analisou-se o estudo dirigido por Sousa *et al.* (2017), na feira da Prata na cidade de Campina Grande, na Paraíba, por meio de coletas diárias ao longo de 4 semanas. Esse levantamento determinou uma geração mensal de 50,33 toneladas de RSO, que, extrapolando-se para um ano, tem-se uma produção de 603,95 ton.ano^{-1} de RSO. De acordo com esse estudo, a feira da Prata possuía cerca de 6 boxes e 530 bancas, o que totaliza 536 pontos de comércio. Ao analisar a área construída da feira da Prata pela ferramenta *Google Earth Pro*, a feira possui cerca de 7.200 m² de área coberta. Embora a feira do Rangel seja a que possui geração mais próxima da feira da Prata, assumindo que a reforma influencia a geração, comparou-se a feira da Prata, com a feira de Mangabeira, que possui área semelhante, de aproximadamente 7.500 m². Mesmo que a feira de Mangabeira possua menos pontos de comércio, 428 (368 boxes e 60 barracas), sua área de cobertura é superior, assim como a sua geração estimada de 817,97 ton.ano^{-1}. De tal forma que, não se consegue comparar gerações entre as feiras livres, sem que todas as variáveis que possam influenciar sejam consideradas.

Estimada a massa de orgânicos gerados pelas feiras livres de João Pessoa, a previsão de metano produzido (Q_{CH4} em m³.ano^{-1}) foi feita por meio da aplicação dessa massa e dos parâmetros considerados (k de 0,09 anos^{-1}; L_0 mínimo de 225 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos e L_0 máximo de 300 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos) na equação 3. Projeta-se que a vazão de metano calculada para o potencial mínimo de geração (L_0 mínimo) é de 64.679,94 m³ por ano (Q_{CH4} mínima). Enquanto a geração de metano para o potencial máximo (L_0 máximo) é de 86.239,92 (Q_{CH4} máxima).

Tabela 14 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos das feiras livres de João Pessoa

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Massa de resíduo (mi)	3.494,87	ton.ano^{-1}
Constante de geração de metano (k)	0,09	anos^{-1}
Potencial mínimo de geração de metano ($L_{0\ mínimo}$)	225	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Potencial máximo de geração de metano ($L_{0\ máximo}$)	300	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	64.679,94	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	86.239,92	m³ CH_4.ano^{-1}

Fonte: Autor, 2024

Para a estimativa de energia elétrica possível de ser gerada, em kWh, foi utilizada a equação 4, no qual, estimou-se que, anualmente, o resíduo orgânico produzido pelas principais feiras livres tem capacidade para gerar entre 191.783,55 e 255.711,40 kWh de energia elétrica.

Tabela 15 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos das feiras livres de João Pessoa

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	64.679,94	$m^3\ CH_4.ano^{-1}$
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	86.239,92	$m^3\ CH_4.ano^{-1}$
Poder calorífico inferior (*PCI*)	8.500	$Kcal.m^{-3}$
Eficiência do conjunto motogerador (*n*)	30	%
Potencial mínimo de geração de energia elétrica	191.783,55	$kWh.ano^{-1}$
Potencial máximo de geração de energia elétrica	255.711,40	$kWh.ano^{-1}$

Fonte: Autor, 2024

Oliveira e Gattamorta (2021) analisaram a geração de metano e energia elétrica a partir dos resíduos sólidos orgânicos gerados em feiras livres na cidade de São Paulo. O estudo envolveu a quantificação dos resíduos gerados ao longo de um mês em duas feiras livres. Posteriormente, a partir da aplicação do método empírico *Scholl Canyon* da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América - *United States Environmental Protection Agency* (US-EPA), determinou-se a quantidade de metano e potencial geração de energia elétrica. Para a massa de resíduo quantificada de 19,91 $ton.ano^{-1}$, estimou a geração potencial de metano entre 1.059,67 $m^3.ano^{-1}$ e 1.412,89 $m^3.ano^{-1}$. Consequentemente, a geração de energia elétrica anual seria de 11.158,85 $kwh.ano^{-1}$ a 14.878,44 $kwh.ano^{-1}$. Os pesquisadores concluíram que, a partir da análise de custo-benefício, a viabilidade seria baixa, sugerindo alternativas para os resíduos das feiras livres, como a Homebiogás, com o aproveitamento do metano em cozinhas para preparo dos alimentos nas escolas. Entretanto, este estudo demonstrou que a geração de RSO nas feiras livres de João Pessoa é expressiva, o que viabiliza a instalação de um sistema centralizado de tratamento mais robusto que comporte toda a massa de resíduos gerada. Além disso, a vazão de biometano estimada só considerou as 12 principais feiras livres na cidade, existindo, em funcionamento, outras feiras de menor porte, mas com geração de RSO que podem incrementar a geração de metano e reduzir os impactos desses serem destinados ao ASMJP.

Para cálculo do potencial de geração de energia elétrica *per capita*, considerando que a massa dos resíduos foi estimada em 2024, estimou-se a taxa de crescimento da população da cidade de João Pessoal para 2024, através do método geométrico, baseando-se na população identificada pelo IBGE no censo de 2022, através das equações 5 e 6, nos quais, a população estimada para o 2024 (P_t) foi de 853.908 habitantes, para uma taxa de crescimento geométrico (K_g) de 1,18%. Portanto, o potencial de geração de energia elétrica *per capita*, através do biogás gerado pela digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos oriundos das principais feiras livres da cidade, estaria entre 0,22 e 0,30 $kWh.ano^{-1}.hab^{-1}$. Diferentemente do que ocorre na EMPASA, no qual a geração de RSO pode ser influenciada por vendedores e compradores externos à cidade de João Pessoa, para as feiras livres, entende-se que a geração pode estar mais relacionada com a população local, o que justificaria o parâmetro de geração de energia elétrica *per capita*.

6.3.3 Hotéis

O estudo mais recente do setor hoteleiro de João Pessoa foi desenvolvido por Quaresma *et al.* (2024), aluno de doutorado integrante da equipe da LPSAU. A base de dados da pesquisa foi obtida através de pesagens diárias, realizada em dois ciclos, entre outubro de 2018 e abril de 2019, e entre junho e setembro de 2021, totalizando 287 dias, em uma amostra que representou cerca de 10% do total de estabelecimentos do setor hoteleiro de João Pessoa: sete hotéis de diferentes portes, sendo dois hotéis de grande porte, quatro hotéis de médio porte e um hotel de pequeno porte.

De acordo com Quaresma *et al.* (2024), a partir de informações extraídas da base de dados do Ministério do Turismo, em meados de 2022, o setor hoteleiro de João Pessoa é composto por 72 meios de hospedagem, com capacidade de 4.222 quartos, abrangendo os pequenos hotéis, com menos de 50 quartos, aos hotéis de grande porte, com mais de 110 quartos.

A base de dados obtida na pesquisa dos sete hotéis foi utilizada para estimar a geração diária de resíduos do setor hoteleiro na cidade, através de modelos de regressão linear (Quaresma *et al.*, 2024). Utilizando o *software Statistica* 10, a estimativa de geração de resíduos sólidos foi obtida pelo autor, por meio do método *Stepwise*, que relaciona variáveis dependentes a variáveis independentes, através da equação 7:

$$Y=\beta 0+ \beta 1X1+ \beta 2X2+\cdots \beta nXn \quad (7)$$

Em que:

Y é a variável dependente,

Xn é a variável independente,

β0 é a constante, e

βs é o coeficiente de regressão linear.

Quaresma *et al.* (2024), testou, previamente, os modelos de regressão linear múltipla, analisando as seguintes premissas: tamanho da amostra, normalidade e homoscedasticidade (avaliando a performance do modelo através do R^2), multicolinearidade (a partir do coeficiente de correlação de Pearson – PCC) e independência de erros. As variáveis independentes foram obtidas através das principais características dos sete hotéis analisados: número de quartos (Nr), número de leitos (Nb), números de hóspedes (Pop), taxa de ocupação média (Oc), número de funcionários (Ne), e o peso que cada serviço oferecido tinha na geração de resíduos (Sv), de acordo com o chefe de governança de cada hotel. As principais características dos sete hotéis analisados pelo pesquisador foram compiladas na Tabela 16.

Tabela 16 – Características dos hotéis

Hotéis	Número de quartos	Número de leitos	Área (m²)	Ocupação média (hóspedes.dia^{-1})	Taxa de Ocupação (%)	Peso dos serviços	Porte dos hotéis
Hotel A	170	350	9.334	154	43,70	46,43	Grande porte
Hotel B	138	299	7.690	156	52,77	46,43	Grande porte
Hotel C	110	337	8.956	86	25,62	43,42	Médio porte
Hotel D	110	236	6.300	87	36,86	32,14	Médio porte
Hotel E	101	240	3.750	85	35,26	37,85	Médio porte
Hotel F	96	230	8.611	65	28,31	04,00	Médio porte
Hotel G	50	157	3.812	89	56,69	10,71	Pequeno porte

Fonte: Quaresma *et al.*, 2024

As variáveis dependentes avaliadas no estudo conduzido por Quaresma *et al.* (2024) foram: produção diária de resíduos sólidos (MR, em kg.dia^{-1}), taxa de geração por hóspede (Tx_1, em kg.hóspede^{-1}.dia^{-1}), e a taxa de geração de acordo com a área do hotel (Tx_2, em kg.m^{-2}.dia^{-1}).

A análise de multicolinearidade avaliou a relação entre as variáveis, desconsiderando variáveis independentes que se relacionavam entre si, como o número de quartos e número de leitos, partindo do pressuposto que essas não devem constar simultaneamente no modelo. Ao analisar a correção entre as variáveis dependentes e

independentes, a maior correlação demonstrada foi entre o número de hóspedes (Pop) e a geração de resíduos sólidos (MR), com PCC = 0,81, seguida da correlação entre MR e número de funcionários (PCC = 0,58), MR e número de quartos (PCC = 0,56), e a geração de resíduos e a quantidade de serviços ofertados pelo hotel (PCC = 0,55). Para a variável dependente Tx_1, a maior correlação ocorreu com o número de funcionários (PCC = 0,44), enquanto para a variável Tx_2, o número de hóspede apresentou maior correlação (PCC = 0,78). A correlação entre as variáveis dependentes e independentes calculadas pelo pesquisador estão compiladas na Tabela 18.

Tabela 17 – Geração de resíduos sólidos pelos hotéis

Hotéis	Resíduos Sólidos ($kg.dia^{-1}$)	Taxa de geração ($kg.hóspedes^{-1}.dia^{-1}$)	Taxa de geração ($kg.m^{-2}.dia^{-1}$)
Hotel A	179,92	1,17	0,019
Hotel B	203,83	1,30	0,026
Hotel C	63,88	0,74	0,007
Hotel D	63,46	0,73	0,010
Hotel E	44,54	0,53	0,012
Hotel F	25,14	0,39	0,003
Hotel G	59,28	0,66	0,013

Fonte: Quaresma *et al.*, 2024

Tabela 18 – Análise das variáveis e respectivos coeficiente de correlação de Pearson

Variáveis	Hóspedes (Pop)	Funcionários (Ne)	Serviços ofertados (Sv)	Quartos (Nr)	Leitos (Nb)	Taxa de Ocupação (Oc)	Variáveis Consideradas
MR	0,80	0,63	0,55	0,56	0,50	0,38	Pop, Ne, Sv
Tx_1	-0,017	0,43	0,42	0,40	0,36	-0,21	Ne, Sv
Tx_2	0,78	0,53	0,48	0,38	0,31	0,54	Pop, Ne, Sv, Oc

Fonte: Quaresma *et al.*, 2024

O modelo aplicado, descrito na equação 8, foi capaz de explicar 71,1% da geração diária de resíduos sólidos do setor hoteleiro (R^2=0,711). Em adição, a influência das variáveis independentes no aumento da geração de resíduos sólidos foi avaliada. A aplicação do modelo permitiu concluir que um hóspede a mais pode levar a um aumento de 0,21% na massa de resíduos sólidos gerados, assim como, mais uma unidade no peso dos serviços prestados aumentará 0,77%, enquanto um trabalhador adicional pode aumentar em 0,63% a geração de resíduos.

$$MR = 10^{[(1{,}1445+(0{,}0021.Pop)+(0{,}007755.Sv)+(0{,}0063.Ne)]} \quad (8)$$

Em que:

MR é a produção de resíduos sólidos (kg.dia^{-1}),

Pop é o número de hóspedes,

Sv é o peso dos serviços ofertados, e

Ne é o número de funcionários.

Portanto, o modelo para a geração de resíduos sólidos (MR) indica que a produção de resíduos sólidos do setor hoteleiro em João Pessoa pode ser estimada em 4.148 kg.dia^{-1}, dos quais, de acordo com o estudo da composição gravimétrica da pesquisa, 2.455,49 kg.dia^{-1} são orgânicos (59,2%), 907,69 kg.dia^{-1} são recicláveis (21,9%), e 784,89 kg.dia^{-1} não são recicláveis (18,9%) (Quaresma *et al.*, 2024). Tendo em vista que constavam, na base do setor hoteleiro em 2022, 72 meios de hospedagem, tem-se uma média de geração de RSO de 34,10 kg.dia^{-1}. Ao extrair os meios de hospedagem no CADASTUR em 2024, obteve-se 86 estabelecimentos. A uma geração média de 34,10 kg.dia^{-1}, tem-se uma geração de RSO de 2.932,95 kg.dia^{-1}.

É importante destacar que mais de 80% desses resíduos podem ser reaproveitados. Isso inclui os resíduos orgânicos, que podem ser tratados biologicamente através de compostagem ou biometanização, e os recicláveis, que podem retornar ao ciclo produtivo ou ser reutilizados para outras finalidades. O levantamento realizado em hotel de médio porte em Pelotas, RS, com área construída de 6.800m², encontrou valores de até 55,74% de RSO na composição dos resíduos do hotel, em alta temporada (Peruchinn *et al.*, 2015), valor muito próximo ao identificado por Quaresma *et al*. (2014), com variação menor que 6%. Ao analisar o Brasil de modo macro, a composição gravimétrica dos resíduos gerados nos hotéis possui valores médios de 43-49% de matéria orgânica putrescível, 25-33% de resíduos recicláveis, 12-15% de resíduos perigosos e de 7-10% de outros tipos de resíduos (Guidoni *et al*., 2018; Peruchinn *et al.*, 2015).

De semelhante modo, a estimativa de vazão de metano produzido (Q_{CH4} em m³.ano^{-1}) foi obtida através da equação 3, a partir da massa de orgânicos identificada, e dos parâmetros considerados, conforme critérios já explicitados: constante de geração de metano (*k*) de 0,09 anos^{-1}; L_0 mínimo de 225 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos e L_0 máximo de 300 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos.

Extrapolando a massa de resíduos orgânicos para um ano, conclui-se que a massa de resíduo (m_i) é de 1.070.525,43 kg.ano^{-1} que equivalem a 1.070,53 ton.ano^{-1}. Nesse sentido, a partir da aplicação desses parâmetros na equação 3, a vazão de metano calculada para o potencial mínimo de geração (L_0 mínimo) foi de 19.812,33 m³ por ano (Q_{CH4} mínima). Por outro lado, a geração de metano para o potencial máximo (L_0 máximo) foi de 26.416,44 (Q_{CH4} máxima).

Tabela 19 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos do setor hoteleiro de João Pessoa

Parâmetros	Valor	Unidade
Massa de resíduo (mi)	1.070,53	ton.ano^{-1}
Constante de geração de metano (k)	0,09	anos^{-1}
Potencial mínimo de geração de metano ($L_{0\ mínimo}$)	225	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Potencial máximo de geração de metano ($L_{0\ máximo}$)	300	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	19.812,33	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	26.416,44	m³ CH_4.ano^{-1}

Fonte: Autor, 2024

Estimou-se, a partir da equação 4, que, anualmente, o resíduo orgânico produzido pelo setor hoteleiro de João Pessoa tem capacidade para gerar entre 58.745,86 e 78.327,81 kWh de energia elétrica.

Tabela 20 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor hoteleiro de João Pessoa

Parâmetros	Valor	Unidade
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	19.812,33	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	26.416,44	m³ CH_4.ano^{-1}
Poder calorífico inferior (PCI)	8.500	Kcal.m^{-3}
Eficiência do conjunto motogerador (n)	30	%
Potencial mínimo de geração de energia elétrica	58.745,86	kWh.ano^{-1}
Potencial máximo de geração de energia elétrica	78.327,81	kWh.ano^{-1}

Fonte: Autor, 2024

No Brasil, o Renaissance São Paulo Hotel tem processado 300 kg.dia^{-1} de RSO através do biodigestor ECO-PRO, convertendo a fração orgânica em um efluente que pode ser reaproveitado na própria unidade ou tratado por sistema específico. Em 2023, foram digeridas mais de 37 toneladas de resíduos orgânicos, além da reciclagem de mais de 12

toneladas de papel e 4 de vidro, conforme é veiculado no canal do *Environmental, Social and Governance - ESG* (Ambiental, Social e Governança) no *website* da empresa (RENAISSANCE, 2024). Esse caso concreto permite demonstrar que há viabilidade para o tratamento dos resíduos gerados pelo setor hoteleiro por sistemas de biodigestão, que possibilita a geração de um efluente nutritivo que pode ser reutilizado nas instalações do hotel, com os devidos cuidados, ou pode ser destinado a um tratamento específico. Notabiliza-se que esse tipo de ação, além de cumprir a responsabilidade legal do hotel como empresa, gera marketing positivo para o negócio.

Considerando a população de 833.932 pessoas em 2022, o potencial de geração de energia elétrica *per capita*, através do biogás gerado pela digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos dos meios de hospedagem de João Pessoa, estaria entre 0,07 e 0,09 $kWh.ano^{-1}.hab^{-1}$. De modo semelhante ao contextualizado aos demais grandes geradores, o parâmetro de potencial de geração *per capita* pode não possuir relação direta com a população local, considerando que esse segmento é utilizado, majoritariamente, por turistas de outros locais; porém, com o objetivo de consolidar um parâmetro que possa ser confrontado com outras pesquisas, manteve-se o cálculo *per capita*.

6.3.4 Supermercados

A base de supermercados construída permitiu concluir que existem 103 supermercados em atividade na cidade de João Pessoa, como mostra o Quadro 7, que especifica o quantitativo por código CNAE e atividade principal. Os 103 supermercados foram importados e georreferenciados pela ferramenta *Google Earth Pro*. Importou-se, ainda, a delimitação territorial de João Pessoa, disponível pelo IBGE, demonstrando que todos os supermercados estão dentro dos limites do município, como pode ser visto na Figura 14.

No que diz respeito a geração, a média obtida junto à empresa de coleta é de 30 $ton.mês^{-1}$ (1 $ton.dia^{-1}$), com composição média de 70% de resíduos orgânicos. Desse modo, a massa de orgânicos seria equivalente a 0,7 $ton.dia^{-1}.supermercado^{-1}$.

O estudo liderado por Zambo (2022) analisou a composição gravimétrica dos resíduos de dois supermercados em Sorocaba, SP, sendo um de médio porte, SM1, integrante de uma rede de supermercados, e um de pequeno porte, SM2, caracterizado como supermercado local. O SM1 possui restaurante, açougue, padaria e hortifruti, com massa de orgânicos de 1,3 $ton.dia^{-1}$, e composição de orgânicos calculada em

aproximadamente 49%. O SM2 não possui restaurante, e a massa de orgânicos é de cerca de 0,3 ton.dia^{-1}, que representa 33% da massa total dos resíduos gerados.

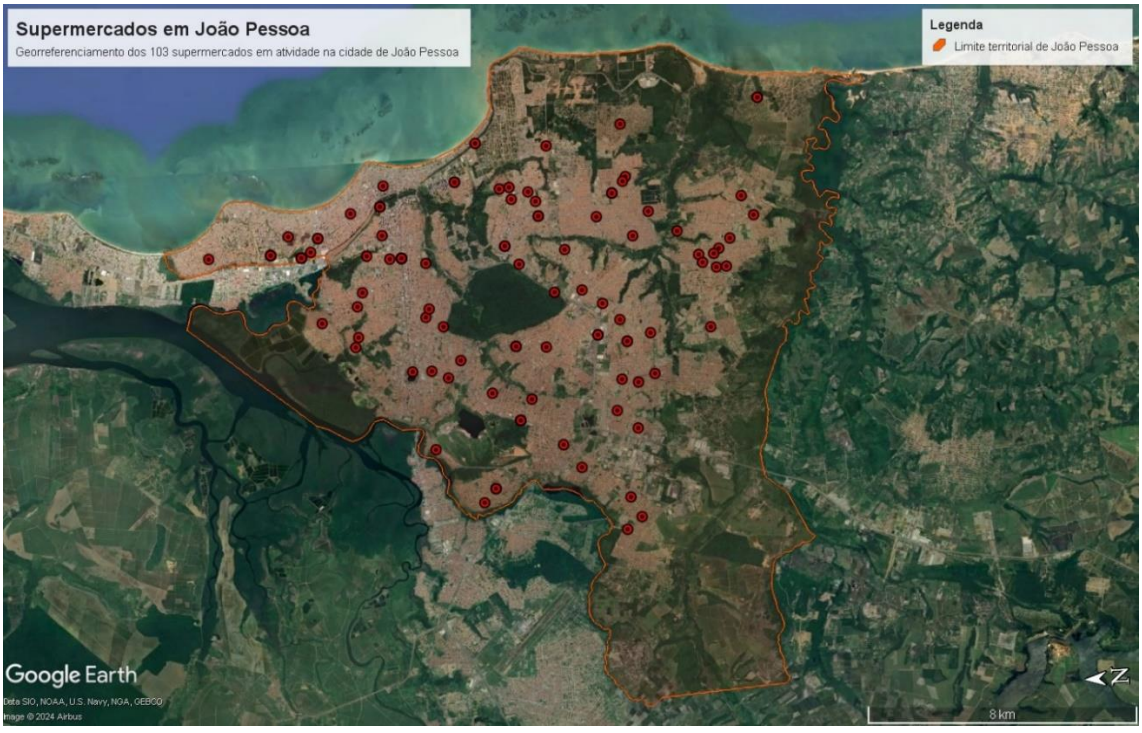
Quadro 7 – Supermercados por enquadramento no código Classificação Nacional de Atividades Econômicas

Código CNAE	Atividade principal	Quantidade
4711301	Comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios - hipermercados	13
4711302	Comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios - supermercados	73
4712100	Comércio varejista de mercadorias em geral, com predominância de produtos alimentícios - minimercados, mercearias e armazéns	17

Fonte: Autor, 2023

A pesquisa desenvolvida por Ochoa *et al*. (2010), ao analisar três diferentes restaurantes na Cidade do México, capital mexicana, encontrou valores bem inferiores, com média de 23% para resíduos orgânicos na composição gravimétrica dos resíduos coletados. A massa de orgânicos gerados nos três supermercados analisados foi de 6.728 kg.semana^{-1}, o que representa 0,32 ton.dia^{-1}.supermercado^{-1}.

Figura 14 – Georreferenciamento dos 103 supermercados em operação em João Pessoa



Fonte: Autor, 2024

Dessa forma, não se pode precisar a geração de orgânicos por estabelecimento, sem a real pesagem *in loco*, dadas as especificidades de cada supermercado, como os segmentos integrantes, padrões de consumo da população circunvizinha, entre outros fatores. Porém, a partir dos dados informados pela empresa que coleta os resíduos de alguns dos maiores supermercados da cidade, considerou-se, para fins de estimativa de geração, que os resíduos orgânicos representam 50% de tudo que é gerado nos estabelecimentos, o que equivale a massa diária de 0,5 ton.dia^{-1}.supermercado^{-1}. A massa estimada para todos os 103 supermercados é de 18.797,50 ton.ano^{-1}.

Estimada a massa de orgânicos gerados pelos supermercados de João Pessoa, a previsão de metano produzido (Q_{CH4} em m³.ano^{-1}) foi feita por meio da aplicação dessa massa e dos parâmetros considerados (k de 0,09 anos^{-1}; L_0 mínimo de 225 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos e L_0 máximo de 300 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos) na equação 3. Projeta-se que a vazão de metano calculada para o potencial mínimo de geração (L_0 mínimo) é de 347.887,33 m³ por ano (Q_{CH4} mínima). Enquanto a geração de metano para o potencial máximo (L_0 máximo) é de 463.849,78(Q_{CH4} máxima).

Tabela 21 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos dos supermercados de João Pessoa

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Massa de resíduo (mi)	18.797,50	ton.ano^{-1}
Constante de geração de metano (k)	0,09	anos^{-1}
Potencial mínimo de geração de metano ($L_{0\ mínimo}$)	225	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Potencial máximo de geração de metano ($L_{0\ máximo}$)	300	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	347.887,33	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	463.849,78	m³ CH_4.ano^{-1}

Fonte: Autor, 2024

A estimativa de energia elétrica possível de ser gerada, em kWh, com o resíduo orgânico produzido pelo setor supermercadista de João Pessoa está entre 1.031.526,40 e 1.375.368,53 kWh de energia elétrica.

Tabela 22 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos do setor supermercadista de João Pessoa

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	347.887,33	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	463.849,78	m³ CH_4.ano^{-1}

Poder calorífico inferior (*PCI*)	8.500	$Kcal.m^{-3}$
Eficiência do conjunto motogerador (*n*)	30	%
Potencial mínimo de geração de energia elétrica	1.031.526,40	$kWh.ano^{-1}$
Potencial máximo de geração de energia elétrica	1.375.368,53	$kWh.ano^{-1}$

Fonte: Autor, 2024

Para cálculo do potencial de geração de energia elétrica *per capita*, considerou a massa dos resíduos e a população da cidade de João Pessoal estimada em 853.908 habitantes, para 2024. Portanto, o potencial de geração de energia elétrica *per capita*, através do biogás gerado pela digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos oriundos dos supermercados em operação na cidade de João Pessoa, estaria entre 1,21 e 1,62 $kWh.ano^{-1}.hab^{-1}$.

6.3.5 Bares e restaurantes

A partir de dados obtidos na ABRASEL e CADASTUR, em meados de março e abril de 2024, estima-se que João Pessoa possui 190 restaurantes e bares, sendo 133 tradicionais, e 57 unidades localizados em praças de alimentação dos shoppings da cidade. Esses estabelecimentos geram resíduos com características majoritariamente orgânica. Segundo Alves e Ueno (2015), no estudo realizado em Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN), cerca de 85% do resíduo gerado é orgânico. O trabalho desenvolvido por Oliveira e Souza (2018), em três restaurantes comerciais no estado do Amazonas, concluiu que 71% da geração era RSO. Forner e Conto (2020), ao analisar a geração de resíduos em restaurante de uma Instituição de Ensino Superior, identificaram que a fração de orgânicos média era de 89,19%. Para fins de estimativa, essa pesquisa adotou o valor intermediário de 85%.

No que diz respeito ao peso específico dos resíduos em restaurantes e/ou bares, observou-se que a maioria dos estudos desenvolvidos objetivam apenas realizar a composição gravimétrica; desse modo, não avaliam o peso específico dos resíduos analisados. Todavia, Oliveira e Souza (2018) observaram que o peso específico aparente dos resíduos dos restaurantes estudados variou entre 100 e 250 $kg.m^{-3}$, respeitando uma média de 230 $kg.m^{-3}$. Seguindo esse dado empírico, o peso específico adotado para estimativa de geração foi de 230 $kg.m^{-3}$.

De posse dos parâmetros de fração de orgânicos e peso específico dos resíduos, para estimativa de geração de resíduos desse segmento, é necessário o volume de resíduos

gerados. Diante da impossibilidade da coleta real dos resíduos desses bares e restaurantes, considerou-se a geração mínima fixada no Decreto municipal de 200 litros de resíduos diários. Aplicando-se todos os valores supracitados na equação 2, a geração de resíduos orgânicos por esses estabelecimentos foi calculada.

A partir da massa de RSO estimada de 2.711,59, projeta-se uma geração de 14,27 ton.ano^{-1}.restaurante^{-1}, que seria o equivalente a fração de orgânicos presente em 200 litros por dia de resíduos. Lafuente Junior (2012), ao quantificar os resíduos em um restaurante comercial em Santos, SP, determinou que a fração de orgânicos equivalia a aproximadamente 54% dos resíduos, com massa de 13,50 ton.ano^{-1}, apenas durante o horário de almoço. Em São Paulo, SP, Domingues *et al*. (2016) extrapolaram a geração quantificada em 6 semanas de um restaurante universitário, determinando a massa de RSO em 16,05 ton.ano^{-1}, também durante o horário de almoço. A massa estimada se mostra razoável, quando comparada com os estudos supracitados.

Tabela 23 – Estimativa de geração de resíduos orgânicos por bares e restaurantes em João Pessoa

Bares e Restaurantes	**Quantidades**	**Volume diário gerado**	**Massa de resíduos**	**Geração anual de orgânicos**
	unidade	**m³**	**ton.ano^{-1}**	**ton.ano^{-1}**
Tradicionais	133	26,60	2.233,07	1.898,11
Praças de Alimentação	57	11,40	957,03	813,48
Total	190	38,00	3.190,10	2.711,59

Fonte: Autor, 2024

A partir da massa de RSO estimada de 2.711,59, projeta-se uma geração de 14,27 ton.ano^{-1}.restaurante^{-1}, que seria o equivalente a fração de orgânicos presente em 200 litros por dia de resíduos. Lafuente Junior (2012), ao quantificar os resíduos em um restaurante comercial em Santos, SP, determinou que a fração de orgânicos equivalia a aproximadamente 54% dos resíduos, com massa de 13,50 ton.ano^{-1}, apenas durante o horário de almoço. Em São Paulo, SP, Domingues *et al*. (2016) extrapolou a geração quantificada em 6 semanas de um restaurante universitário, determinando a massa de RSO em 16,05 ton.ano^{-1}, também durante o horário de almoço. A massa estimada se mostra razoável, quando comparada com os estudos supracitados.

Estimada a massa de orgânicos gerados pelos bares e restaurantes de João Pessoa, a previsão de metano produzido (Q_{CH4} em m³.ano^{-1}) foi feita por meio da aplicação dessa

massa e dos parâmetros considerados (*k* de 0,09 anos^{-1}; L_0 mínimo de 225 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos e L_0 máximo de 300 m³ CH_4.ton^{-1} resíduos) na equação 3. Projeta-se que a vazão de metano calculada para o potencial mínimo de geração (L_0 mínimo) é de 50.183,59 m³ por ano (Q_{CH4} mínima). Enquanto a geração de metano para o potencial máximo (L_0 máximo) é de 66.911,46 (Q_{CH4} máxima).

Tabela 24 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo da vazão de metano produzido a partir dos resíduos dos bares e restaurantes de João Pessoa

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Massa de resíduo (*mi*)	2.711,59	ton.ano^{-1}
Constante de geração de metano (*k*)	0,09	anos^{-1}
Potencial mínimo de geração de metano ($L_{0\ mínimo}$)	225	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Potencial máximo de geração de metano ($L_{0\ máximo}$)	300	m³ CH_4.ton^{-1} resíduos
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	50.183,59	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	66.911,46	m³ CH_4.ano^{-1}

Fonte: Autor, 2024

O resíduo orgânico produzido pelos bares e restaurantes de João Pessoa tem capacidade para gerar entre 148.800,19 e 198.400,25 kWh de energia elétrica.

Tabela 25 – Parâmetros e valores utilizados para cálculo do potencial de geração de energia elétrica a partir dos resíduos dos bares e restaurantes de João Pessoa

Parâmetros	**Valor**	**Unidade**
Vazão mínima de metano (Q_{CH4} *mínima*)	50.183,59	m³ CH_4.ano^{-1}
Vazão máxima de metano (Q_{CH4} *máxima*)	66.911,46	m³ CH_4.ano^{-1}
Poder calorífico inferior (*PCI*)	8.500	Kcal.m^{-3}
Eficiência do conjunto motogerador (*n*)	30	%
Potencial mínimo de geração de energia elétrica	148.800,19	kWh.ano^{-1}
Potencial máximo de geração de energia elétrica	198.400,25	kWh.ano^{-1}

Fonte: Autor, 2024

Para cálculo do potencial de geração de energia elétrica *per capita*, em vista de que a massa dos resíduos foi estimada em 2024, considerou-se a população estimada para 2024 de 853.908 habitantes. Portanto, o potencial de geração de energia elétrica *per capita*, através do biogás gerado pela digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos oriundos dos bares e restaurantes da cidade, estaria entre 0,17 e 0,23 kWh.ano^{-1}.hab^{-1}. De maneira

análoga ao setor hoteleiro, os bares e restaurantes também são influenciados pelo turismo; porém, para fins de padronização, realizou-se o cálculo *per capita*.

6.4 Consolidação do estudo

Portanto, estima-se que os grandes geradores da cidade de João Pessoa, analisados nesta pesquisa, produzem aproximadamente 27.718,66 toneladas de RSO por ano. O setor supermercadista é o maior contribuinte, representando, cerca de 68% de toda a fração de orgânicos gerada, seguido pelas feiras livres, bares e restaurantes, EMPASA e o setor hoteleiro. A Tabela 26 detalha a geração de RSO em toneladas por ano para cada grande gerador, assim como, a respectiva contribuição de geração na massa total estimada.

Tabela 26 – Estimativa de geração dos resíduos orgânicos dos grandes geradores da cidade de João Pessoa

Atividade Econômica	**Massa de resíduo ($ton.ano^{-1}$)**	**Contribuição na massa total (%)**
Supermercados	18.797,50	67,8%
Feiras livres	3.494,87	12,6%
Bares e Restaurantes	2.711,59	9,8%
EMPASA	1.644,18	5,9%
Hotéis	1.070,53	3,9%
TOTAL	27.718,66	100%

Fonte: Autor, 2024

Ao tratar sobre a vazão de metano potencialmente gerado pelos RSO desses geradores, observa-se que capacidade volumétrica anual se situa entre 512.992,16 m^3 $CH_4.ano^{-1}$ e 683.989,54 m^3 $CH_4.ano^{-1}$, consoante detalhamento da Tabela 27.

Tabela 27 – Estimativa de vazão de metano gerado através da digestão dos resíduos orgânicos dos grandes geradores da cidade de João Pessoa

Atividade Econômica	**Potencial de Geração de Metano (m^3 $CH_4.ano^{-1}$)**	
	Mínimo	**Máximo**
Supermercados	347.887,33	463.849,78
Feiras livres	64.679,94	86.239,92
Bares e Restaurantes	50.183,59	66.911,46
EMPASA	30.428,96	40.571,95
Hotéis	19.812,33	26.416,44
TOTAL	512.992,16	683.989,54

Fonte: Autor, 2024

Consolida-se que o potencial de geração de biogás proveniente das atividades econômicas grandes geradoras de resíduos orgânicos da cidade de João Pessoa permite gerar aproximadamente 2.048.158,61 $kWh.ano^{-1}$ (Tabela 28). Para calcular esse potencial, foram levadas em conta as perdas de energia, conforme a 2ª lei da termodinâmica, aplicando-se a eficiência da conversão elétrica do conjunto motogerador, conforme dados obtidos na literatura. Também foi considerado o fato de que o biogás gerado não é formado apenas por metano, mas inclui outros gases, como dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio. O cálculo baseou-se no modelo de decaimento de primeira ordem, que estima a produção de biometano pela digestão anaeróbia dos resíduos sólidos orgânicos.

Tabela 28 – Potencial de geração de energia elétrica dos grandes geradores de resíduos orgânicos da cidade de João Pessoa

Atividade Econômica	**Potencial de Geração de Energia Elétrica ($kWh.ano^{-1}$)**	
	Mínimo	**Máximo**
Supermercados	1.031.526,40	1.375.368,53
Feiras livres	191.783,55	255.711,40
Bares e restaurantes	148.800,19	198.400,25
EMPASA	105.262,97	140.350,63
Hotéis	58.745,86	78.327,81
TOTAL	1.536.118,96	2.048.158,61

Fonte: Autor, 2024

Consoante o Anuário Estatístico de Energia Elétrica referente ao ano base 2022 (EPE, 2023), o consumo *per capita* médio da região Nordeste é o menor do país, sendo 1.516 $kWh.hab^{-1}$. De posse da estimativa do potencial de geração de energia, projeta-se que o reaproveitamento dos resíduos dos grandes geradores de orgânicos analisados nesta pesquisa supriria a demanda por energia elétrica do município de São José do Brejo da Cruz, PB, com população de 1.699 habitantes, de acordo com o último censo demográfico (IBGE, 2022), por cerca de 9 meses e meio.

Consta-se, nesse sentido, que a recuperação energética dos resíduos gerados pelos grandes geradores é viável, à luz de que os resíduos são majoritariamente orgânicos, separados ou facilmente separáveis, e que a geração de aproximadamente 75,94 $ton.dia^{-1}$ pode viabilizar a implantação de uma usina de biometanização na cidade, como a Usina Termoelétrica a Biogás (UTB), situada em Ponta Grossa, PR. Essa usina, inaugurada em 2021, tem convertido 30 toneladas de RSO em energia injetada diretamente na rede da Companhia Paranaense de Energia (COPEL). Ao analisar os grandes geradores estudados, apenas o setor supermercadista, com geração de 51,50 $ton.dia^{-1}$, já justificaria a implantação de uma usina.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Dessa forma, observa-se que o cenário da gestão dos resíduos sólidos no Brasil apresenta gigantescos desafios e avanços modestos. A gestão de resíduos sólidos apresenta deficiências em todas as suas etapas, desde a geração exacerbada até a disposição inadequada, passando pelo tratamento ineficiente, com a recuperação de recursos e a geração de renda ainda discretas. O aumento da demanda de produtos tem pressionado os ecossistemas além de suas capacidades, implicando diversos problemas ambientais. A ausência de políticas públicas assertivas que incentivem o reaproveitamento dos resíduos atrelada à escassez de fiscalizações por parte dos agentes públicos têm resultado em um panorama calamitoso na conjuntura nacional. Em oposição a esse cenário, a economia verde é vista como um modelo que busca reverter essas tendências, de modo a fomentar o desenvolvimento sustentável. Assim, estudos que permitam compreender a situação do país e promovam técnicas inovadoras para o aproveitamento desses resíduos são ferramentas essenciais para enfrentar as ameaças e desafios globais.

O município de João Pessoa apresenta similaridades frente aos desafios da gestão dos resíduos sólidos no Brasil; porém, a prefeitura, em parceria com a EMLUR e outras instituições, tem desenvolvido estudos para diagnosticar o macro cenário da cidade, e tem fomentado projetos para mitigação dos danos socioambientais causados pela destinação inadequada dos resíduos, focando no reaproveitamento desses resíduos. Neste cenário de aproveitamento energético dos biorresíduos, e levando-se em conta que cabe aos municípios o gerenciamento dos RSU, é responsabilidade dos gestores municipais a identificação dos principais geradores e respectivas estimativas de produção dos resíduos orgânicos para estimular, através de análises de viabilidade e um planejamento estratégico assertivo e eficaz, investimentos no setor.

Embora tenha aumentado o quantitativo de pesquisas relacionadas ao tema, associado ao apoio do Governo, que tem criado uma base de regulações e resoluções, a utilização do biogás como forma de geração de energia ainda é insipiente no país, reforçando a necessidade de maior investimento para coleta e utilização do biogás, a fim de reduzir a dependência energética por combustíveis fósseis. Mais relevante que a determinação dos parâmetros de enquadramento dos estabelecimentos como grandes geradores, é a identificação e caracterização desses geradores. A partir da identificação dos principais setores econômicos e projeção dos resíduos orgânicos gerados, esse estudo

demonstrou o potencial existente nesses resíduos que são destinados atualmente ao aterro sanitário.

Dentre os potenciais grandes geradores estudados, os supermercados representam uma parcela significativa de toda a geração estimada, correspondendo a quase 70%. Ressalta-se que aproximadamente 50% desse resíduo é orgânico, o que indica uma oportunidade viável para a gestão e separação dessa fração, visando sua destinação adequada às usinas de biometanização. Embora o resíduo gerado por esse segmento esteja espalhado por toda a cidade de João Pessoa, já existe um sistema de coleta e destinação adequado. A proposta é que, com a separação na fonte geradora, a coleta seja realizada para cada fração, e, em especial, a fração orgânica seja encaminhada para uma solução mais sustentável: uma usina de metanização. Levando em conta a disponibilidade de massa de RSO de todos os segmentos estudados, a viabilidade para a implantação desse sistema de tratamento deve ser determinada com base em critérios técnicos, financeiros e ambientais.

Ressalta-se que esse estudo se limitou a parte dos estabelecimentos potenciais grandes geradores. Isso implica dizer que a geração de orgânicos dos grandes geradores em João Pessoa ainda é superior ao estimado nesta pesquisa. Recomenda-se que seja realizada a quantificação e composição gravimétrica de todos os grandes geradores estudados. Sugere-se, ainda, a ampliação desta pesquisa com relação aos grandes geradores, especialmente, no que diz respeitos aos resíduos agroindustriais, com foco específico para as indústrias alimentícias, pois são geradoras de um volume expressivo de biorresíduos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOGÁS, Associação Brasileira de Biogás e Biometano. ABiogás divulga novo potencial do biogás para o mercado brasileiro. São Paulo: ABiogás, 2021. Disponível em: <https://abiogas.org.br/abiogas-divulga-novo-potencial-do-biogas-para-o-mercado-brasileiro-durante-forum-em-sao-paulo/>. Acesso em: 23 abr, 2024.

ABRACEN. Manual Operacional das Ceasas do Brasil. Ad2 editora. Belo Horizonte. 2011.

ABRELPE, 2023, PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Disponível em: < https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>. Acesso em: 03 jul, 2023.

ABREMA, 2023, PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS NO BRASIL, Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. Disponível em: < https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/dlm_uploads/2024/03/Panorama_2023_P1.pdf>. Acesso em: 09 jun, 2024.

AESA. Meteorologia – Chuvas: Precipitação máximo dos municípios/postos no ano de 2023. 2023. Disponível em: < http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2023-08-31&produto=municipio&periodo=anual>. Acesso em: 31 de agosto de 2023.

ALVES, I. R. de F. S. Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 31. 2008.

ALVES, M. G.; UENO, M. Identificação de fontes de geração de resíduos sólidos em uma unidade de alimentação e nutrição. **Rev. Ambient. Água**, vol. 10 n. 4 Taubaté – Oct. / Dec. 2015.

ANGELIDAKI, I.; ALVES, M.; BOLZONELLA, D.; BORZACCONI, L.; CAMPOS, J. L.; GUWY, A. J.; KALYUZHNYI, S.; JENICEK, P.; VAN LIER, J. B. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science & Technology – WST**, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro/RJ. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.

BARCELOS, B.R. Avaliação de diferentes inóculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos. Dissertação (Mestrado em Tecnologia ambiental e recursos hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília. 2009.

BLANCO, L. A. de O. Estudo sobre a gestão de resíduos sólidos nos hotéis Dall'Onder e Novotel. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Tecnológica como requisito para a obtenção do título de mestre em Gestão Tecnológica: Qualidade Ambiental. Novo Hamburgo, p. 89. 2008.

BRASIL. Decreto N.º 11.043, de 13 de abril de 2022. Aprova o Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa SDA N.º 27, 05 DE JUNHO DE 2006 (Alterada pela IN SDA nº 7, de 12/04/2016, republicada em 02/05/2016). Brasília, DF. 2006.

BRASIL. Lei N.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF. 5 jan. 2007.

BRASIL. Lei N.º 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. 2 ago. 2010a.

BRASIL. Ministério do Turismo. Cartilha de Orientação Básica – Sistema Brasileiro de Classificação de Meios de Hospedagem. Brasília, DF: Ministério do Turismo, 2010b. Disponível em: <http://www.turismo.gov.br/sites/default/turismo/programas_acoes/Arquivos/1_CARTILHA_PROCESSO_CLASSIFICAxO.pdf>. Acesso em: 16 de jul, 2022.

BRASIL. Projeto de Lei N.º 5.739, de 2016. Acrescenta os artigos 13, III, 20, "c", parágrafo único ao art. 28 e parágrafo único ao art. 60 à Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), para incluir os resíduos extraordinários. 2016. Disponível em: < https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1556882>. Acesso em: 18 jun, 2022.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Probiogás. Conceitos para o licenciamento ambiental de usinas de biogás / Probiogás; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ); autores, Felipe Correa de Souza Pereira Gomes *et al.* – Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2016.

BRASÍLIA. Cartilha Grandes Geradores de Lixo. Novas responsabilidades de quem produz mais de 120 litros de resíduos por dia. 2016. Disponível em: <https://www.agenciabrasilia.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2016/11/Grande_Geradores_de_Lixo_Agencia_Brasilia.pdf>. Acesso em: 11 jun, 2022.

CARVALHO, M. V.; OLIVEIRA, M. M.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; MORAIS JÚNIOR, J. de A. Proposta de um modelo de caracterização de resíduos sólidos de supermercados e possíveis tratamentos. 3º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade, 2020. Disponível em: < https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2020/IV-017.pdf>. Acesso em: 13 jul, 2022.

CARVALHO, M. V. Análise econômica das opções de biometanização, compostagem e reciclagem para tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 39-40. 2021.

CARVALHO, R. V. Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos: análise do potencial de geração de biogás proveniente da digestão anaeróbia da casca de tangerina. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Pontíficia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 49. 2020.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 1997.

CIBiogás (Brasil). Panorama do Biogás no Brasil 2022. Relatório Técnico nº 001/2023 – Foz do Iguaçu, CIBiogás, 2023.

CORRÊA, M. S. Desafio da gestão de resíduos sólidos em unidades de alimentação e nutrição: proposições para legislação, instituições e formação profissional. 2014. 146f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

COSKUN, A.; FILIMONAU, V. 'I waste food but this is not my fault!': Exploring the drivers of plate waste in foodservices of Turkey through the prism of neutralisation theory. **Journal of Cleaner Production**, 2021.

COSTA, M. O.; SILVA, K. C.; BENTES, M. K. S.; DIAS, G. F. M. Projeção populacional do Município de Santa Izabel do Pará/PA-RMB. Nature and Conservation, v.15, n.3, p.132-145, 2022. DOI: http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2022.003.0011

CUDJOE, D.; SU HAN, M.; NANDIWARDHANA, A. P. Electricity generation using biogas from organic fraction of municipal solid waste generated in provinces of China: Techno-economic and environmental impact analysis. **Fuel Processing Technology**, v. 203, 15 Jun, 2020.

DOMINGUES, C. F. S.; THOMAZ, D. P. C.; SIMOES, D. M.; WEBER, M. L. Geração de resíduos sólidos orgânicos em um restaurante universitário de São Paulo/SP. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, número 5. Curitiba – PR. Jan/maio - 2016

EUROPEAN COMPOST NETWORK (ECN). Re-Thinking the Circular Economy Package. 2015, Europa: ECN. Disponível em: <https://www.unilever.com/sustainable-living/reducing-environmental-impact/waste-and-packaging/rethinking-waste-towards-a-circular-economy/>. Acesso em: 15 de julho, 2022.

FAO. Pensa um Momento, Poupa um Alimento! – Dossiê de material didático sobre o desperdício alimentar para o ensino básico e secundário. Para a faixa etária 4 (14 anos +). Lisboa, 2021.

FONSECA, V. M.; NASCIMENTO, J. G. V.; TEIXEIRA, N. R. B.; ANGELUCI, C. H. G. Caracterização dos resíduos sólidos gerados na feira livre do município de Formosa-GO. VI SECITEC - SEMANA DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Instituto Federal de Goiás, Campus Formosa, 2016.

FORNER, J.; CONTO, S. Geração de resíduos sólidos de um restaurante em uma instituição de ensino superior. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, n. 1, p. 255-272, jan/mar. 2020.

GUIDONI, L. L. C.; PERUCHINI, B.; CORRÊA, L. B.; MARQUES, R. V.; VIEIRA, L. A.; SIQUEIRA, T. M.; CORRÊA, E. A. Solid waste generation in a hotel event service. **Rev. Int. Contam. Ambiente**, v. 34, n. 2, p. 237-247, 2018.

HOLANDA, R. O.; RODRIGUES, M. E.; SANTOS, A. G. P. dos. Gerenciamento dos resíduos sólidos na feira do Mercadão 2.000, em Santarém – PA. 2017, VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JOÃO PESSOA. Decreto N.º 8886, de 23 de dezembro de 2016. Dispõe sobre a Política Municipal de Resíduos Sólidos do Município de João Pessoa e dá outras providências. Diário Oficial do Município. João Pessoa, PB. 2016.

JESUS, A. N.; SILVA, J. B.; GATTAMORTA, M. A. Gestão de resíduos sólidos em empreendimentos comerciais urbanos e potencialidade de uso energético. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**. Florianópolis, v. 9, n. 4, p. 464-483, out/dez. 2020.

JOÃO PESSOA. Lei Ordinária N.º 12797, de 03 de fevereiro de 2014. Dispõe sobre a exigência de apresentação de Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para a concessão de licença ambiental de atividades e empreendimentos definidos nesta lei. Diário Oficial do Município. João Pessoa, PB. 2014a.

JOÃO PESSOA. PLANO MUNICIPAL DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE JOÃO PESSOA. João Pessoa, PB. 2014b.

JOÃO PESSOA. Limpeza Urbana: Coletas. Atualizado em 17 de janeiro de 2023. Disponível em: < https://www.joaopessoa.pb.gov.br/servico/coletas/#:~:text=Atualmente%2C%20a%20cidade%20conta%20com,funciona%20no%20Aterro%20Sanit%C3%A1rio%20Metropolitano. >. Acesso em: 06 de julho, 2023.

JOÃO PESSOA. Mais de 50% dos resíduos domiciliares de João Pessoa são orgânicos; plásticos somam 20%. 01 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.joaopessoa.pb.gov.br/noticias/mais-de-50-dos-residuos-domiciliares-de-joao-pessoa-sao-organicos-plasticos-somam-20/#:~:text=Gravimetria-,Mais%20de%2050%25%20dos%20res%C3%ADduos%20domiciliares%20de%20Jo%C3%A3o,s%C3%A3o%20org%C3%A2nicos%3B%20pl%C3%A1sticos%20somam%2020%25&text=Mais%20de%2050%25%20dos%20res%C3%ADduos%20domiciliares%20gerados%20na%20cidade%20de,do%20Pa%C3%ADs%20do%20mesmo%20porte.> Acesso em: 06 de julho de 2023.

JUCÁ, J. F. T. *e al*. Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão. Jaboatão dos

Guararapes, PE: Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE e Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, 2014. 181p.

KIYASUDEEN, K.S.; IBRAHIM, M.H.; QUAIK, S.; ISMAIL, S.A. *Introduction to Organic Wastes and Its Management*. em: KIYASUDEEN, K.S.; IBRAHIM, M.H.; QUAIK, S.; ISMAIL, S.A. *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*. Nova York: Springer. p. 121. 2016.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Sbera: Embrapa Suínos e Aves, p. 209, Concórdia, SC. 2019.

LAFUENTE JUNIOR, A. N. A. Resíduos sólidos em restaurante comercial: um estudo de caso na cidade de Santos/SP. **Revista de Tecnologia Aplicada** – Faculdade Campo Limpo Paulista, v.6, n.2, p.44-61, 2012.

LEAL, A. M. F. Caracterização gravimétrica dos resíduos sólidos da Empresa Paraibana De Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA). Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 17. 2018.

MARTINS, W. A. Avaliação do ciclo de vida do programa de coleta seletiva do município de João Pessoa- PB, Brasil. Dissertação (Dissertação em engenharia civil e ambiental). João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2017.

MASCARENHAS, G.; DOLZANI, M. C. S. Feira livre: territorialidade popular e cultura na metrópole contemporânea. Ateliê Geográfico, Goiânia, v. 2, n. 4, p. 72-87, ago. 2008. Disponível em:< https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2340>. Acesso em: 01 jan, 2024.

MEDEIROS, J. E. S. F.; PAZ, A. R.; MORAIS JÚNIOR, J. A. *Analysis of the evolution and future estimates of collected domestic solid waste in João Pessoa and its relation with other consumption indicators*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 20 (1), p. 119-130. 2015.

MEDINA JÚNIOR, A. W. Biometanização e o estudo de caso da usina de metanização de resíduos orgânicos e aproveitamento energético de biogás (TMETHAR) localizada na UTR-CAJU/COMLURB no Rio de Janeiro. Monografia (Graduação em Química Industrial) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2021.

MENDES, D. B. Perdas de Alimentos nas Centrais de Abastecimento do Brasil: E a importância da hierarquia de recuperação dos alimentos. Dissertação (Mestrado em Planejamento Ambiental) – Universidade Católica do Salvador. Salvador. 2019.

NASCIMENTO, D. P. do. Análise energética dos processos do aterro sanitário metropolitano de João Pessoa/PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 22. 2020.

NASS, G. da S. S.; PLESTCH, T. A.; DUARTE, M. A. de N. Avaliação da gestão de resíduos sólidos de uma rede de supermercados em Nova Venécia. **IFES Ciência**, v.5, n.1,

2019. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/1485/Artigo%20-%20Gilmara%20da%20Silva%20Santos%20Nass.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 jul, 2022.

NÓBREGA, C. C. Viabilidade Econômica, com valoração ambiental e social, de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares – estudo de caso: João Pessoa/PB. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.

OCHOA, A. F.; VEJA, C. A.; DELGADO, O. B.; SALAS, B. V. Análisis de la generación de residuos sólidos en supermercados de la Ciudad de Mexicali, México. **Rev. Int. Contam. Ambient**. 26 (4) 291-297, 2010.

OLIVEIRA, A. J. de; RODRIGUES, L. dos S.; OHAMA, M. A.; PAIXÃO, M. V. F. da; AMARANTE, M. dos S. Biogás como fonte energética. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 1, mai. 2018.

OLIVEIRA, B. O. S. de; SOUZA, N. R. de. Gestão de resíduos sólidos em três restaurantes comerciais de Humaitá – AM. R. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental. Florianópolis, v. 7, n. 3, p.679-694, jul/set. 2018.

OLIVEIRA, J. da S.; GATTAMORTA, M. A. Avaliação de resíduos sólidos orgânicos em feiras livres na região metropolitana de São Paulo e potencialidade de geração de metano e energia elétrica – um estudo de caso. ***Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation***, v.9, p. 468-489, 2021.

OLIVEIRA, R. L. de.; MACHADO, A. G. C. Gestão Ambiental Empresarial: Estudo de Casos em Empresas Líderes dos Setores Supermercadista e de Refrigerantes. **Revista Gestão Social e Ambiental**. [s. n.] [S. l.] v.4, n.2, p. 21-39, 2010. Disponível em: <https://rgsa.emnuvens.com.br/rgsa/article/view/267/101>. Acesso em: 16 jul. 2022.

PERUCHINN, B.; FERRÃO, A. L. L. C.; GUIDONI, L. L. C.; CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B. Estudo da geração dos resíduos sólidos em hotel. **Revista Turismo - Visão e Ação – Eletrônica**, v. 17, n. 2, 2015.

PAIVA, E. P. L. de B. Estudo do aproveitamento de resíduos orgânicos do centro de abastecimento e logística do Estado de Pernambuco visando a produção de biogás. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

PEREIRA, L. F. A.; FIRMO, W. da C. A.; COUTINHO, D. F. A importância do reaproveitamento de resíduos da indústria alimentícia: o caso do processamento de frutas. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 12. 2022.

PERUCHINN, B.; FERRÃO, A. L. L. C.; GUIDONI, L. L. C.; CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B. Estudo da geração dos resíduos sólidos em hotel**. Revista Turismo - Visão e Ação - Eletrônica**, Vol. 17 - n. 2 - mai. - ago. 2015.

PHU, S. T. P.; FUJIWARA, T.; HOGANG, M. G.; PHAM, V. D.; THAN, M. T. Waste separation at source and recycling potential of the hotel industry in Hoi An city, Vietnam. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 21. p. 23-34. 2019.

PIVATO, A.; VANIN, S.; RAGA, R.; LAVAGNOLO, M. C.; BARAUSSE, A.; RIEPLE, A.; LAURENT, A.; COSSU, R. Use of digestate from a decentralized on-farm biogas plant as fertilizer in soils: An ecotoxicological study for future indicators in risk and life cycle assessment. **Waste Management**, v.49, 378-389, março 2016.

POLETTO, L. D. Metodologia de definição de grandes geradores de resíduos sólidos urbanos para o município de Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, p.51. 2018.

QUARESMA, I. N. Resíduos sólidos gerados em um hotel: estratégias de redução do montante a ser destinado ao aterro sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 6. 2020.

QUARESMA, I. N.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; BAYARD, R.; SOUZA, E. L; MORAIS JÚNIOR, J. A.; CASTILHO JUNIOR, A. B. Models for estimating solid waste production in hospitality establishments in João Pessoa, Brazil. Revista Aidis de Ingeniería y Ciencias Ambientales, 2024.

QUIRINO, A. G. C. Investigação do processo fenton heterogêneo no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 44-48. 2021.

RAIOL, I. do N.; CASTRO, L. R. C.; NEVES, D. I. da S. Diagnóstico do gerenciamento de resíduos sólidos na feira livre 8 de Maio no distrito administrativo de Icoaraci em Belém – Pará. **Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 182-198, out/dez. 2019. Florianópolis.

RENAISSANCE SÃO PAULO HOTEL. ESG 2024. Disponível em:< https://www.renaissancesaopaulohotel.com/esg-renaissance> . Acesso em: 23 jul, 2024.

ROS C.; LIBRALATO G.; GHIRARDINI A. V.; RADAELLI M.; CAVINATO C. Assessing the potential phytotoxicity of digestate from winery wastes. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, n. 150, p. 26–33, 2017.

SCHALCH, V.; LEITE, W. C. de A.; FERNANDES JUNIOR, J. L.; CASTRO, M. C. A. A. Gestão e gerenciamento de resíduos sólidos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SILVA, de A.; HAETINGER, C. Gestão de resíduos sólidos em feiras livres do município de Santa Maria/RS – narrativas das feiras e impressões in loco. Revista EA, 2016. V. XXI, n.º 79. Disponível em: <https://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=2340>. Acesso em: 18 jun, 2022.

SILVA, G. A.; MORAIS JUNIOR., J. A.; ROCHA, E. R. Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos. **Eng Sanit Ambient**, v.21, n.1, jan/mar 2016, p. 11-16.

SILVA, G. A. Estimativa da geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa através do teste BMP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p. 128. 2012.

SOUSA, G. M.; SANTOS, V. S.; OLIVEIRA, F. F. D.; ARAÚJO, B. J. B. L.; FIGUEIREDO, C. F. V. O estudo da geração de resíduos sólidos orgânicos: na feira da Prata da cidade de Campina Grande. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental (Pombal - PB - Brasil)**, v.11, n.1, p.162 - 167, jan-dez, 2017.

SOUZA, F. R. A.; OLIVEIRA, J. S. T. de; SILVA, D. P.; OLIVEIRA, M. G.; VENES, D. D.; SILVA, W. E.; STAMFORD, T. C. M. Biopolímeros na indústria de alimentos: do aproveitamento de resíduos agroindustriais a produção de biopolímeros. **Avanços em ciência e tecnologia de alimentos**, v. 4, capítulo 24, p. 370-388. 2021.

SPOTI, T. B.; AMARAL, C. S. T. Os desafios da gestão de resíduos sólidos urbanos domésticos no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, 9(2), 8712–8724. https://doi.org/10.34117/bjdv9n2-164. 2023.

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. "Metcalf & Eddy, Inc. Wastewater Engineering Teatment and Reuse," **J. Wastewater Eng.,** p. 4th edition, 2003.

THE WORLD BANK. Handbook for the prepartion of landfill gas to energy projects in Latin America and Caribbean. Conestoga-Rovers & Associates 651 Colby Drive Waterloo, Ontario N2V 1C2, janeiro, 2004.

VALENÇA, R. B. Avaliação da geração de biometano em diferentes cenários de Biodegradação de resíduos alimentares. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 30-34. 2017.

VAZ, L. M. S.; COSTA, B. N.; GUSMÃO, O. S.; AZEVEDO, L. S. Diagnóstico dos resíduos sólidos produzidos em uma feira livre: o caso da feira do Tomba. **Sitientibus**, Feira de Santana, n.28, p.145-159, jan./jun. 2003.

ZAGO, V. C. P; BARROS, R. T. de V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade**. Eng Sanit Ambient**, v.24, n.2, mar/abr 2019, p. 219-228.

ZAMBO, B. C. Gerenciamento de resíduos sólidos em um supermercado estudo e sugestões de melhoria. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Estadual Paulista. Sorocaba, p. 24-26. 2022.