



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

VICTOR CARLOS DE LIMA ARRUDA

**ANÁLISE SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE
PEDRAS DE FOGO - PB**

João Pessoa – PB
2021

VICTOR CARLOS DE LIMA ARRUDA

**ANÁLISE SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE
PEDRAS DE FOGO - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega.

FOLHA DE APROVAÇÃO

VICTOR CARLOS DE LIMA ARRUDA

ANÁLISE SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE PEDRAS DE FOGO - PB

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 03/12/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Claudia Coutinho Nóbrega

APROVADO

Orientadora Profa. Dra. Claudia Coutinho Nóbrega
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

(Aprovado/Reprovado)

Joácio de Araújo Morais Júnior

APROVADO

Prof. Dr. Joácio de Araújo Morais Júnior
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

(Aprovado/Reprovado)

Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

APROVADO

Profa. Dra. Aline Flavia Nunes Remigio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

(Aprovado/Reprovado)

Aline Flavia Nunes Remigio Antunes

Profa. Dra. Aline Flavia Nunes Remigio Antunes
Coordenadora Substituta do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A779a Arruda, Victor Carlos de Lima.
ANÁLISE SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO
MUNICÍPIO
DE PEDRAS DE FOGO - PB / Victor Carlos de Lima Arruda.
- João Pessoa, 2021.
49 f. : il.

Orientação: Claudia Coutinho Nóbrega.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Resíduos sólidos domiciliares. 2. Biogás. 3.
Bioeconomia. 4. Economia Circular. I. Nóbrega, Claudia
Coutinho. II. Título.

UFPB/BSCT

CDU 54(043.2)

Em memória do meu generoso amigo Tarcísio Valério da Costa e a Deus, que me munuiu de forças em todos os momentos dessa jornada. Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, a força criadora de tudo e de todos, que me sustenta com seu amor, oportuniza a liberdade e que incontáveis vezes coloca as pessoas para agir em seu nome e auxiliar os seus. Graças e louvores a ti Senhor!

A minha Mãe, Aldira, pelo dom da vida, pelo dom da família, pela vigia zelosa, por me suportar, por tentar me entender, por ser o motivo de minhas saudades e pelo amor depositado em mim.

Ao meu Pai, Carlos Arruda, pelo nome, pelo gênio e pela forma estranha de amar.

A minha tia Aldenira, pelo lado direito da cama, por me abrigar e por tão irritantemente tentar me manter seguro.

Ao meu irmão, Gabriel, pelo simples fato de existir, de estar ali para brigar, para gritar, para abraçar e me apoiar por diversas vezes.

A Gabriela Maria, prima minha, pela escrivadinha e a sua Mãe, Tia Netinha pelas refeições e pela acolhida sempre que precisada.

Aos meus Avós, Arlindo e Maria Anunciada pelo abraço, pelo choro, pelas risadas e pelo carinho.

A Daniele Lima, amiga de sempre, que independente do porquê, me abraçou quando caí e pôs ao meu lado uma família inteira.

A Marília Cavalcante, amiga pungente, pelas aventuras em série, pelas risadas e brigas, pelo suporte, pela confiança e pela parceria.

A Dona Marta, pela acolhida, pelo cafezinho da tarde, pelo “Quero tanto bem a tu!” que guardo em meu coração.

A Kênia Leandra, amiga surpresa, pela motivação e pela inspiração nas horas precisas e pela revisão desse serviço último.

Ao Professor Joácio Morais, pela amizade e confiança depositada em mim e nos meus trabalhos, e pela primeira oportunidade.

A Professora Claudia, por aceitar o desafio de me orientar neste trabalho, pelo apoio e pelo carinho e disponibilidade.

Sempre grato a todos esses e também a muitos outros que me auxiliaram nessa caminhada e que nesse papel é impossível listar.

Grato!

RESUMO

Os municípios brasileiros, vêm assumindo cada vez mais atribuições, como cuidar da saúde e assistência pública, garantir acesso à cultura, à educação, à ciência, ao saneamento e proteger o meio ambiente. O Manejo de Resíduos Sólidos, também de responsabilidade municipal é oneroso e segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), em 44,8% dos municípios não há taxa de cobrança por esse serviço. De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2020) a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) a nível nacional é 40,5% inadequada, com 23% indo para aterros controlados e ainda 17,5% para lixões. Entretanto, vale salientar que aterro controlado também é uma prática inadequada. Uma alternativa para atenuar os custos e possibilitar retorno econômico à municipalidade é o aproveitamento dos resíduos como novos materiais na cadeia de produção. Esta pesquisa teve enfoque nos processos de beneficiamento dos Resíduos Sólidos Urbanos com ênfase nos Resíduos Domiciliares Orgânicos (RDO), estimando a produção de biogás, potencialmente usado como combustível para cocção ou geração de energia. No município de Pedras de Fogo-PB, os RDO são cerca de 43% (Arruda et al, 2021). Através da busca de parâmetros na literatura foi possível realizar uma modelagem do sistema desde a disposição dos resíduos até a geração de biogás e suas formas de aproveitamento. Estimou-se que com uma geração de cerca 17,16 t/dia de RSU, sendo 7,38 t/dia RDO, onde há um potencial de geração de 817,61 m³ de biogás por dia, o que poderia gerar cerca de 52,91 kWh de energia, o equivalente para abastecer 383 famílias a cada mês ou oferecendo uma economia de R\$ 23.600,09 aos cofres públicos. Observando o cenário de altos valores de combustíveis fósseis, energia elétrica e da cesta básica no País, apresentou-se uma alternativa ao estimar o uso do biogás para cocção de alimentos em substituição ao GLP, obtendo assim um equivalente a 509 botijões de 13 kg a cada mês, significando R\$ 47.550,72 por mês. A partir da correção dos valores monetários, através do IGP-M, estimou-se o investimento para uma planta de biometanização para o município de Pedras de Fogo-PB. A descoberta de tais potencialidades é de grande relevância, pois embasa e fomenta as articulações entre municípios circunvizinhos, deixando-os mais fortes e melhor estruturados para o cumprimento das políticas públicas, do desenvolvimento econômico, da justiça social e do equilíbrio ambiental.

Palavras-chave: Resíduos sólidos domiciliares; Biogás; Bioeconomia; Economia circular.

ABSTRACT

The Brazilian municipalities have been taking on more and more responsibilities, such as taking care of health and public assistance, guaranteeing access to culture, education, science, sanitation and protecting the environment. Solid Waste Management, also under municipal responsibility, is onerous and according to the National Sanitation Information System – SNIS (2019), in 44.8% of the municipalities there is no charge for this service. According to the Brazilian Association of Public Cleaning and Special Waste Companies - ABRELPE (2020) the final disposal of urban solid waste (USW) at the national level is 40.5% inadequate, with 23% going to controlled landfills and still 17.5 % for dumps. However, it is worth noting that controlled landfill is also an inadequate practice. An alternative to reduce costs and enable an economic return to the municipality is the use of waste as new materials in the production chain. This research focused on urban solid waste processing processes with emphasis on Organic Household Waste (RDO), estimating the production of biogas, potentially used as fuel for cooking or energy generation. In the municipality of Pedras de Fogo-PB, the RDO are around 43% (Arruda et al, 2021). Through the search for parameters in the literature, it was possible to model the system from the disposal of waste to the generation of biogas and its forms of use. It was estimated that with a generation of around 17.16 of MSW, of which 7.38 t/day RDO, where there is a potential generation of 817.61 m³ of biogas per day, which could generate around 52.91 kWh of energy, the equivalent to supply 383 families each month or offering savings of R\$ 23,600.09 to the public coffers. Observing the scenario of high values of fossil fuels, electricity and the basic food basket in the country, an alternative was presented when estimating the use of biogas to cook food in replacement of LPG, thus obtaining an equivalent to 509 cylinders weighing 13 kg each month, meaning R\$ 47,550.72 per month. From the correction of monetary values, through the IGP-M, the investment for a biomethanization plant for the municipality of Pedras de Fogo-PB was estimated. The discovery of such potential is of great relevance, as it supports and encourages the articulation between surrounding municipalities, leaving them stronger and better structured for the fulfillment of public policies, economic development, social justice and environmental balance.

Keywords: Domestic solid waste; Biogas; Bioeconomy; Circular Economy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos do Brasil	19
Figura 2 - Mapa de Localização de Pedras de Fogo-PB.....	24
Figura 3 - Reunião com Técnicos da Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo.	25
Figura 4 - Análise gravimétrica	26
Figura 5 - Mapa de localização do Lixão municipal desativado	29
Figura 6 - Setores da Zona Urbana	31
Figura 7 - Composição gravimétrica	32
Figura 8 - Granulador e lavador de materiais plásticos	33
Figura 9 - Secador de granulados plásticos	33
Figura 10 - Rota Tecnológica do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Pedras de Fogo – PB.....	34
Figura 11 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares	36
Figura 12 - Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e o beneficiamento de materiais	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Categorias MODECOM utilizadas na categorização dos RSU de Pedras de Fogo-PB.	26
Tabela 2 - Quadro da coleta de resíduos sólidos urbanos por dia, turno e setor na Zona Urbana	30
Tabela 3 - Quadro da coleta de resíduos sólidos urbanos por dia, turno e setor na Zona Rural.	30
Tabela 4 - Percentual da composição em quatro frações de resíduos	35
Tabela 5 - Valor econômico diário estimado através comercialização de recicláveis. ...	36
Tabela 6 - Valor econômico mensal estimada da comercialização de recicláveis	37
Tabela 7 - Geração potencial de metano por substrato.....	37
Tabela 8 - Parâmetros para estimativa da geração de energia elétrica	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo	11
1.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1	Diagnóstico.....	29
4.2	Rota tecnológica ou fluxo de resíduos sólidos urbanos no município de Pedras de Fogo-PB	33
4.3	Da valoração teórica dos resíduos sólidos urbanos	34
4.3.1	Valoração teórica dos recicláveis.....	36
4.3.2	Aproveitamento de resíduos orgânicos domiciliares através da biometanização.....	37
4.4	Rota tecnológica ou fluxo da gestão de resíduos sólidos urbanos aplicando o beneficiamento de materiais	40
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a evolução tecnológica aumentaram a demanda por recursos naturais e por fontes de energia demasiadamente, todavia a natureza dispõe de recursos finitos, ou ainda, recursos que não se renovam tão rápido quanto aos processos produtivos e de consumo que atualmente demandam. A cadeia econômica linear, vigente, não vem se mostrando sustentável, o que causa crises econômicas, políticas, sociais e ambientais.

Nesse sentido a Economia Circular (EC) apresenta-se como alternativa para a mudança de paradigma. Onde busca-se redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para a sociedade como um todo. O conceito prega à dissociação da atividade econômica do consumo de recursos finitos e eliminar resíduos do sistema. Uma cadeia circular de materiais. A EC é também fundamentada na transição para fontes de energia renovável. A partir da abordagem da Ellen Macarthur Foundation (2020), a EC possui dois fluxos, o ciclo técnico e o ciclo biológico, o primeiro se refere ao fluxo econômico tecnológico de recuperação e restauração de produtos, componentes e materiais através do reuso, reparo, da remanufatura e da reciclagem, em último caso. O segundo, é o ciclo onde se dá o consumo de alimentos e outros materiais orgânicos, algodão e madeira por exemplo, que são projetados para retornarem ao sistema através de processos de tratamento como a compostagem e a digestão anaeróbia. O ciclo biológico, também chamado de Bioeconomia, é o responsável por regenerar os sistemas vivos, como o solo por exemplo, e assim proporciona recursos renováveis para a economia.

As cidades consomem grande parte dos recursos naturais e do suprimento global de energia. Por esse motivo, podem ser as maiores catalisadoras da circularidade da bioeconomia ao adquirir alimentos cultivados de forma regenerativa e quando fizer sentido localmente; aproveitando os alimentos ao máximo; e desenvolvendo e comercializando produtos alimentícios mais saudáveis. Além da produção de alimentos, se deseja o máximo aproveitamento dos coprodutos e subprodutos, através do uso da biotecnologia e da logística de matérias. Desse modo é possível proporcionar a reciclagem dos resíduos orgânicos e a geração de bioenergia.

Nas cidades, os processos de tratamento de materiais orgânicos mais comuns são a compostagem, a digestão anaeróbia e o tratamento de efluentes, tais processos resultam em adubo, digestato e bioenergia. A valorização dos resíduos orgânicos municipais através do redirecionamento da matéria orgânica dos aterros e lixões para biorrefinarias propicia um ambiente para a Bioeconomia. As biorrefinarias podem ser empregadas para produção de

biocombustíveis, biogás, bioetanol, insumos da indústria química, biofertilizantes e outros bioinsumos para agricultura e ainda para geração de energia.

A destinação inadequada dos resíduos sólidos urbanos - RSU, em especial, o envio de Resíduos Orgânicos Domiciliares (RDO) para aterros sanitários causa a elevação dos custos de tratamento, diminuem o tempo de vida útil desses equipamentos e ainda agravam os impactos ambientais. Paralelamente a busca de outras fontes de energia, acelerada pelo encarecimento dos preços dos combustíveis fósseis, da energia elétrica e dos itens de consumo incentivam o aproveitamento e beneficiamento dos RDO, uma oportunidade de transformar o passivo ambiental em recurso. Nesse sentido, deve ser realizada uma análise na Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU) com o intuito de identificar as oportunidades e potencialidades que as cidades, sozinhas ou articuladas, possuem para melhorarem seus sistemas.

Esse trabalho versa brevemente sobre os processos de tratamento e beneficiamento de RSU, a reciclagem, a compostagem e a biometanização. O último foi o foco deste, onde se estimou a produção de biogás a partir dos RDO, a energia gerada e a equivalência ao Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) para o município de Pedras de Fogo-PB, área da realização do estudo.

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho foi estimar as potencialidades de beneficiamento de resíduos orgânicos no município de Pedras de Fogo-PB.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos.
- Quantificar Quanti-qualitativamente os Resíduos Sólidos Urbanos gerados.
- Indicar potenciais formas de tratamento e beneficiamento dos Resíduos Sólidos Urbanos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A Economia Circular (EC) é definida por Kirchherr et al (2017) como um sistema econômico que se baseia em modelos de negócios que substituem o conceito de “fim de vida” pela redução, ou reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção, distribuição e consumo, no nível micro (produtos, empresas, consumidores), até o nível macro (cidade, região, nacional e além), com o objetivo de realizar o desenvolvimento sustentável, o que implica na criação de qualidade ambiental, prosperidade econômica e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras.

Segundo a Ellen Macarthur Foundation (2020) a Economia Circular é uma alternativa atraente que busca redefinir a noção de crescimento, com foco em benefícios para toda a sociedade. Isto envolve dissociar a atividade econômica do consumo de recursos finitos, e eliminar resíduos do sistema. Apoiada pela transição para fontes de energia renovável, o modelo circular constrói capital econômico, natural e social. Se baseia em eliminar resíduos e poluição; manter produtos e materiais em uso e regenerar sistemas naturais.

O conceito EC remonta de escolas de pensamentos diferentes, a partir da Teoria de Pearce e Turner (1989), com base nos estudos de Boulding (1966) e Georgescu-Roegen (1971) se introduz que o sistema de EC é um pré-requisito para a manutenção da sustentabilidade da vida humana na terra e que se necessita de uma mudança do tradicional modelo econômico aberto para um modelo circular em consequência da degradação da matéria e da energia (entropia) (GHISELLINI, 2016).

A ideia de EC que se tem hodiernamente foi refinada por várias outras linhas filosóficas como o Design Regenerativo (LYLE, 1994), descrito como o meio pelo qual se visa criar um desenvolvimento que seja capaz de recuperar a saúde das comunidades humanas e dos ecossistemas em que fazem parte (ZARI; JENKIN, 2009; ZARI, 2012 apud TAVARES, 2017).

A Economia de Performasse (STAHEL, 1976, 2010) apresenta a perspectiva de uma economia concebida em ciclos fechados e seus respectivos impactos na criação de postos de trabalho, na competitividade econômica, na economia de recursos e na prevenção de externalidades ambientais. Tem como objetivos principais a extensão do ciclo de vida do produto, a produção de bens de consumo duráveis, a restauração de produtos e a prevenção do desperdício (VEIGA, 2019).

Braungart e McDonough, (2014) consideram todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais como nutrientes, dos quais há duas principais categorias: nutrientes biológicos, aqueles que são reincorporados à biosfera com segurança e que têm a

capacidade de regenerar o capital natural; e os nutrientes técnicos, os materiais finitos, que devem ser mantidos nos ciclos produtivos, sem retornar à biosfera, a fim de diminuir a extração de recursos naturais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020; VEIGA, 2019).

A Ecologia Industrial (EI) que introduz a análise do sistema industrial e o seu ambiente, com fluxo de matéria, energia, informação, recursos e serviços (ERKMAN, 1997). A EI serve como base para a EC ao se analisar o metabolismo do sistema industrial e ao se buscar a otimização com vistas na redução da captação de matéria-prima e recursos e na mitigação da poluição. Entender com uma abordagem de ecossistema industrial, com uma visão sistêmica com o intuito de conectar operadores de acordo com as restrições locais, fazendo resíduos de insumos, eliminando assim a ideia de subprodutos indesejáveis (GHISELLINI, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

A partir da lei da entropia a reciclagem de materiais tende a diminuir até um “ponto de corte” sendo inviável economicamente ou ambientalmente a partir deste, evidencia-se a impossibilidade de um sistema ser completamente circular. (DALY, 1977; ANDERSEN, 2007 apud GHISELLINI, 2016).

A Biomimética, idealizada por Benuys (2003), é uma abordagem de inovação inspirada pela Natureza, definida como uma "nova disciplina que estuda as melhores ideias da natureza e então imita esses designs e processos para solucionar os problemas humanos". Guiada pelos princípios (I) a natureza como modelo; (II) a natureza como medida; e (III) a natureza como mentora de um processo de aprendizado (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

A Blue Economy, movimento “open source”, iniciado por Gunter Pauli, que traz a lógica dos ecossistemas para os negócios. Em relatório que contém 100 casos inovadores, apresentado ao Clube de Roma, em 2010, afirma: “usando os recursos disponíveis em sistemas em cascataeamento (...) os resíduos de um produto se tornam insumos para criar um novo fluxo de caixa”. Esse movimento insiste em soluções determinadas pelas características locais físicas e ecológicas, tendo a gravidade como fonte primária de energia (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020; VEIGA, 2019).

O Capitalismo Natural, apresentado por Hawken, Lovins e Amory Lovins (2000), um modelo baseado na ideia de uma economia global na qual os interesses comerciais e ambientais se complementam, reconhecendo as interdependências existentes entre a produção, o capital humano e o capital natural, ou seja, os estoques mundiais de ativos naturais, incluindo o solo, o ar, a água e os seres vivos. Possui quatro princípios: (I) produtividade radical dos recursos; (II) biomimetismo (III) economia de serviços e de fluxos; (IV) investimento em capital natural

para reverter, restaurar e expandir os serviços ambientais e, por conseguinte, a oferta de ativos naturais. (VEIGA, 2019).

Ambas as correntes de pensamento defendem que a EC é capaz de equilibrar a oferta e a demanda de recursos naturais, possibilitando aos recursos ilimitados como o trabalho, possuir um papel mais relevante, cabendo aos recursos naturais um papel de apoio. Para lidar com a escassez de recursos naturais, além de minimizar seu uso e otimizar os processos produtivos, se faz necessário abandonar o padrão linear de consumir e descartar em prol da aproximação dos sistemas vivos, cíclicos (VEIGA, 2019).

A abordagem da Ellen Macarthur Foundation (2020) mostra que a EC está dividida em dois fluxos distintos de processos e produtos: biológico, onde se dá o consumo de alimentos e outros materiais de base biológica (como algodão e madeira) são projetados para retornar ao sistema através de processos como compostagem e digestão anaeróbica. Esses ciclos regeneraram os sistemas vivos, tais como o solo, que por sua vez proporcionam recursos renováveis para a economia; e o técnico, que recupera e restaura produtos, componentes e materiais através de estratégias como reuso, reparo, remanufatura ou em última instância a reciclagem.

Para Veiga (2019) a EC defende um modelo de "serviço funcional", no qual os fabricantes e os varejistas mantêm a propriedade dos seus produtos e atuam como prestadores de serviço, vendendo o uso dos produtos, ao invés de bens de consumo. Essa mudança implica no desenvolvimento da logística reversa, na adoção de práticas de design de produtos e modelos de negócios mais duráveis e versáteis, fáceis de desmontar e remodelar.

Com relação ao conceito de bioeconomia, este vem sendo desenvolvido desde o final do século 19, e desde então vem sendo moldado e enriquecido por diversos autores e organizações. Segundo Vivien et al (2019) conforme citado por Giampietro (2019) há três principais linhas de interpretação da bioeconomia: uma delas seria a que se apoia na narrativa da entropia do processo econômico (Georgescu-Roegen); a segunda se refere ao desenvolvimento industrial promovido pela revolução da biotecnologia; e a terceira se refere a bio-base econômica de carbono. Para Enriquez e Martinez (1997), bioeconomia são as atividades empresariais baseadas em pesquisas científicas e implementações voltadas para a compreensão de mecanismos e processos em nível genético para aplicá-los em processos industriais.

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico - OCDE (2009) entende que bioeconomia pode ser pensada como um mundo onde a biotecnologia contribui

para uma significativa parcela da produção econômica, global e sendo guiada pelo desenvolvimento sustentável e sustentabilidade ambiental.

Para Chyłek e Rzepecka (2011) a bioeconomia é baseada em recursos naturais, que incluem matérias-primas animais e vegetais, bem como microrganismos.

A Comissão Europeia, no documento - *A Sustainable Bioeconomy for Europe: Strengthening the Connection Between Economy, Society and the Environment* (2018) afirma que a bioeconomia abrange todos os setores e sistemas que dependem de recursos biológicos (animais, plantas, microrganismos e biomassa derivada, incluindo resíduos orgânicos), suas funções e princípios. Inclui e interliga: ecossistemas terrestres e marinhos e os serviços que fornecem; todos os setores de produção primária que usam e produzem recursos biológicos (agricultura, silvicultura, pesca e aquicultura); e todos os setores econômicos e industriais que usam recursos e processos biológicos para produzir alimentos, rações, produtos de base biológica, energia e serviços.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa – (2020) bioeconomia é um modelo de produção industrial baseado no uso de recursos biológicos, cujo objetivo é oferecer soluções para a sustentabilidade dos sistemas de produção com vistas à substituição de recursos fósseis e não renováveis.

Para a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2020) a bioeconomia é a geração de renda e riqueza a partir do desenvolvimento de produtos derivados de recursos biológicos com o uso de tecnologias inovadoras.

Giampietro (2019) afirma que a intercessão entre a EC e a bioeconomia, a Bioeconomia Circular, é uma solução para impulsionar o crescimento econômico sustentável. Sendo a Bioeconomia Circular uma combinação “do que é desejável”, a EC, com o “como viabilizar a EC”, que é através da Bioeconomia.

Segundo Marcinek (2020) o Roteiro Polonês (2019) aponta que a bioeconomia circular é um ciclo biológico da economia, que é um dos dois principais pilares da EC (do lado do ciclo tecnológico).

Foi estimado que, em 2018, mais da metade da população vivia em cidades e espera-se que até 2050 esse número cresça 68% (EMF, 2019). A combinação de negócios, órgãos públicos, organizações e comunidades situada em um mesmo espaço configura a área urbana que consome 75% dos recursos naturais do mundo e 80% do suprimento global de energia. O consumo nas cidades é mais alto, uma vez que, a renda média da população urbana tende a ser maior que a rural. Até 2050, cerca de 80% dos alimentos serão destinadas as cidades. Ainda que todos os alimentos comestíveis excedentes fossem distribuídos, as cidades continuariam

produzindo coprodutos de alimentos não comestíveis, resíduos humanos e verdes, tais materiais contêm nutrientes valiosos, que com menos 2% desses nutrientes, as cidades podem capturar por inteiro o valor contido nos resíduos orgânicos. Com mão de obra qualificada, varejistas e prestadores de serviços próximos as cidades através de seus governos e empresas têm a oportunidade de inovar em direção da EC dos alimentos, transformando ônus econômico, ambiental e de saúde dos resíduos orgânicos em fonte de valor através de sistemas de coleta efetivos e fluxos de resíduos puros. Em uma década as cidades como Milão, Sardenha, Parma e Ferrara aumentaram sua taxa de coleta de resíduos orgânicos (RO) de 4% para 60% (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2013, 2019; KAZA, 2018; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

As cidades podem funcionar como catalisador da bioeconomia circular, adquirindo alimentos cultivados de forma regenerativa e, quando fizer sentido localmente; aproveitando os alimentos ao máximo, desenvolver e comercializar produtos alimentícios mais saudáveis. Nas cidades, os processos de gestão de materiais orgânicos mais comuns são a compostagem, a digestão anaeróbia e o tratamento de efluentes, tais processos resultam em fertilizantes orgânicos como adubo e digestato. Uma vez em conformidade com os padrões sanitários/ambientais podem ser retornados a fazendas periurbanas, para reconstruir solos e aumentar a produção, sendo a alternativa a fertilizantes sintéticos. O adubo e o biodigestato contém carbono, nutrientes e propriedades que variam devido a sua origem e aos seus diferentes processos de tratamento. O biodigestato proveniente de efluentes de resíduos humanos é rico em nitrogênio enquanto o adubo é rico em carbono, fungos e microrganismos, ideal para a reconstrução da matéria orgânica do solo. Com apenas meia polegada de adubo espalhada por 50% das terras de pastagem da Califórnia (equivalente à metade da área total do Reino Unido) compensaria todas as emissões anuais de gases de efeito estufa dos setores de energia comercial e residencial da Califórnia (NICHOLSON, 2016; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Além da produção de alimentos, o design regenerativo dos materiais orgânicos visa o máximo aproveitamento dos coprodutos e subprodutos, através do uso da biotecnologia e da logística de matérias é possível proporcionar a reciclagem dos resíduos orgânicos e a geração de bioenergia. A ideia de valorização dos resíduos orgânicos municipais através do redirecionamento dos biorresíduos dos aterros e lixões para biorrefinarias vem sendo amplamente discutida. Segundo Mohan et al. (2019) o uso excessivo de recursos gera um montante de resíduos (coprodutos e subprodutos), que afetam o meio ambiente local e globalmente. Os resíduos são uma importante fonte de recursos renováveis como preconiza o

conceito da EC. A ideia de substituir os combustíveis fósseis por energia renovável e ainda agregar valor aos resíduos orgânicos tem como método bioeconômico as biorrefinarias de resíduos. As biorrefinarias podem ser empregadas para produção de biocombustíveis, biogás, bioetanol, insumos indústria química, biofertilizantes e outros bioinsumos para agricultura e ainda para geração de energia. Por exemplo, em 2018 o primeiro Centro de Recuperação de Recursos Orgânicos (CRRO) começou a operar em Hong Kong. O CRRO foi projetado para tratar mais de 200 toneladas por dia (até 80.000 toneladas por ano) de resíduos orgânicos separados na fonte. Após um pré-tratamento, os recursos orgânicos passam por uma usina de Digestão Anaeróbia (DA), produzindo biogás e adubo. Uma unidade de calor e energia (CHP) transforma o biogás em eletricidade, que é vendida para a rede, e em calor útil. Uma tonelada de biorresíduo gera aproximadamente 1 MWh de biogás e 100 kg de adubo. Em Nova Gales do Sul, Austrália, a usina *EarthPower* da Veolia é a primeira usina de valorização energética de alimentos da Austrália, projetada e licenciada para aceitar biomassa sólida e líquida de alimentos dos setores municipais, comerciais e industriais na região de Sydney. A usina, localizada no subúrbio de Camellia, gera conjuntamente eletricidade suficiente para 3.600 domicílios a partir do biogás e produz um fertilizante orgânico rico em nutrientes como um coproduto (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2019).

Segundo a Organização das Nações Unidas - ONU (2018) cerca de 99% dos produtos que são comprados são descartados em menos de 6 meses. São produzidos 2 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por ano, e estima-se que para acomodar 7,6 bilhões de pessoas no mundo, suprir as demandas de recursos e absorver os resíduos gerados seria necessário 70% de outro planeta (Banco Mundial, 2018). Ainda de acordo com o relatório “What a Waste 2.0” feito pelo Banco Mundial em 2018, em 2050 a geração de resíduos esperada é de 3,4 bilhões de toneladas por ano, incrementada segundo o mesmo relatório pela urbanização, pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento econômico. Pode-se definir resíduos sólidos, à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (2010), como:

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

A partir do relatório do Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de efeito estufa - SEEG para 2018, o setor de resíduos sólidos no Brasil, junto com o setor de processos industriais representaram cerca de 5% das emissões de gases efeito estufa - GEE, com 91,9 milhões de toneladas de CO₂ em 2018, um aumento de 1,3% comparado com o ano anterior (SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA, 2018).

O maior problema ocorre nos pequenos municípios brasileiros, que segundo as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para 2019, disponibilizadas no Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA dos 5570 municípios brasileiros, 4879 possuem menos de 50 mil habitantes, ou seja cerca de 88%. Os municípios brasileiros, desde que se tornaram entes autônomos na Federação, vêm assumindo cada vez mais atribuições, como cuidar da saúde e assistência pública, garantir acesso à cultura, à educação e à ciência e proteger o meio ambiente. Ao mesmo tempo em que 70% das prefeituras dependem de mais 80% de verbas federais além de sua arrecadação. O Manejo de Resíduos Sólidos, um dos componentes do saneamento básico, também é de responsabilidade municipal. O serviço de coleta, tratamento e disposição dos resíduos é oneroso e em 44,8% dos municípios não há taxa de cobrança pelo serviço. Tais condições proporcionam um cenário onde as cidades não conseguem priorizar e investir no adequado acondicionamento dos resíduos sólidos urbanos (CANZIAN, 2019; MARCO, 2005; SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO, 2019).

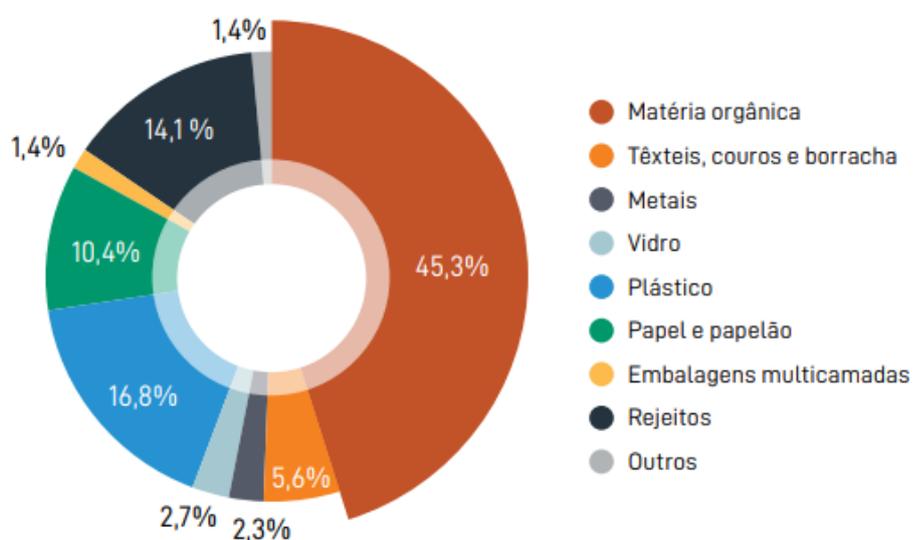
O Brasil é um dos países que mais geram resíduos sólidos, cuja destinação final deveria receber tratamento com soluções economicamente viáveis, de acordo com a legislação e com as tecnologias disponíveis, mas acabam que em partes sendo despejados a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos e queimados, acarretando em sérios problemas ambientais e na saúde pública, onde ao longo dos anos, a disposição irregular tem causado a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos e também doenças como a dengue, leishmaniose, leptospirose, esquistossomose e entre outras, cujos vetores encontram nos lixões um ambiente propício para disseminação (INSTITUTO DE PESQUISAS ECONÔMICA APLICADA, 2020).

Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2020), em 2019 foram gerados 79 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil, uma geração de 379,2 quilogramas por habitante por ano. Um aumento de 19% em 10 anos. No nordeste brasileiro, a geração foi de 19,7 milhões de toneladas, com uma geração de 347,1 quilogramas por habitante por ano. Em especial na Paraíba, a geração foi de 1,28 milhões de toneladas em 2019. Em uma década a cobertura da

coleta aumentou 24%, sendo 72,7 milhões de toneladas, atingindo a marca de 92% de cobertura, uma melhora quando comparado com o quadro de 2010 com 88% de cobertura do serviço de coleta. Na Paraíba, a cobertura do serviço também aumentou, com 86,7%. Como já citado anteriormente, a disposição final dos RSU a nível nacional é 40,5% inadequada, com 23% indo para aterros controlados e ainda 17,5% para lixões. Um aumento de 16% de disposição inadequada em relação a 2010, impactando diretamente a saúde de milhões de brasileiros, com um custo ambiental e de saúde de cerca de 1 bilhão de dólares por ano. A região Nordeste concentra o maior índice de destinação irregular, cerca de 74,6% (BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2020).

O cidadão brasileiro descarta cerca de 170 quilogramas de matéria orgânica por ano. A partir da composição gravimétrica nacional pode-se observar que a maior parcela, 45,3% é composto de matéria orgânica, ou seja, sobras e perdas de alimentos, resíduos verdes e madeiras. Os recicláveis, cerca de 35%, estão divididos em plásticos que fazem 16,8%; papel e papelão somam 10,4%; têxteis são 5,6%; 2,7% de vidro; 2,3% corresponde a metais; embalagens multicamadas e outros fazem 1,4% cada. Seguidos dos Rejeitos com 14,1%, que incluem resíduos sanitários, materiais contaminados, inseparáveis ou não identificados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2020).

Figura 1 - Gravimetria dos Resíduos Sólidos Urbanos do Brasil



Fonte: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2020.

A construção de instrumentos para a execução das políticas públicas que visam a transição para uma cadeia econômica mais sustentável depende anteriormente da formação de um sólido arcabouço legal. A formação não significa somente a existência da norma, mas também a sua efetividade, ou seja, sua exigência, regulamentação e fiscalização. Os principais elementos normativos-legais que versam sobre a Gestão de RSU e o aproveitamento de RDO são:

- Lei Federal nº 6938, de 31 de agosto de 1981, dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.
- Lei Federal nº 9795, de 27 de abril de 1999, dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.
- Lei Federal nº 10257 de 10 de julho de 2001 ou Estatuto das Cidades, regulamenta os arts. 182 e 183 da constituição federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências.
- Lei Federal nº 12305 de 02 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera outros dispositivos legais e dá outras providências.
- Lei Federal nº 14026 de 15 de julho de 2020, atualiza o marco legal do saneamento básico e altera diversos dispositivos legais.
- Decreto Federal nº 10240 de 02 de fevereiro de 2020, regulamenta a PNRS e complementa outros dispositivos legais quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico.
- Decreto Federal nº 10375 de 26 de maio de 2020, institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos.
- Decreto Federal nº 10388 de 05 de junho de 2020, regulamenta a PNRS e institui o Sistema de Logística Reversa de Medicamentos Domiciliares Vencidos ou em Desuso, de Uso Humano, Industrializados e Manipulados, e de suas Embalagens após o Descarte pelos Consumidores.
- Decreto Federal nº 5940 de 25 de outubro de 2006, que institui a Separação dos Resíduos Recicláveis Descartados pelos Órgãos e Entidades da Administração Pública Federal.
- Lei Estadual nº 8728 de 24 de dezembro de 2008, dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Estadual de Educação Ambiental e complementa a Lei Federal nº 9.795 no âmbito do estado da Paraíba.

- Lei Estadual nº 9293 de 23 de dezembro de 2020, institui o Programa de Beneficiamento de Associações e Cooperativas dos Catadores de Materiais Recicláveis da Paraíba com a Separação dos Resíduos Recicláveis Descartados pelos Órgãos e Entidades da Administração Pública Estadual Direta e Indireta, na Fonte Geradora, a sua Destinação às Associações e Cooperativas dos Catadores de Materiais Recicláveis, e dá Outras Providências.
- Lei Estadual nº 11656 de 29 de novembro de 2019, dispõe sobre a Política Estadual de Valorização da Profissão de Agente de Coleta de Resíduos, de Limpeza e de Conservação de Áreas Públicas e dá Outras Providências.
- Lei estadual nº 10538 de 22 de outubro de 2015, estabelece Implementação de Ação Conjunta para a Compostagem dos Resíduos Orgânicos do Processamento de Alimentos nas Unidades dos Restaurantes Populares Estaduais e nas Escolas da Rede Pública Estadual de Educação, a fim de destinar o Composto Orgânico Resultante aos Projetos de Agricultura Familiar, às Hortas Comunitárias e a Conservação da Jardinagem em Ambientes Públicos Estaduais.
- Lei estadual nº 11656 de 26 de março de 2020, define Diretrizes Gerais para a Instituição do Programa de Reciclagem de Resíduos Sólidos na Rede Pública Estadual de Educação no Estado da Paraíba.

Com relação ao tratamento de resíduos sólidos urbanos pode-se citar:

Reciclagem

Segundo a PNRS (2010) a reciclagem é um processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos. Silva e Reis (2012) definem a reciclagem como a sequência de processos de coleta, triagem, separação e processamento de RSU descartáveis a fim de utilizá-los como matéria-prima para a fabricação de bens feitos anteriormente com matéria-prima virgem.

No processo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos - GRSU, Veras e Rocha (2018) observaram que os catadores trabalhavam em condições insalubres e expostos a agentes contaminantes, possuindo dificuldades para o transporte e para a coleta, o armazenamento e a venda de RSU. Os autores supracitados concluíram que se faz necessário a implantação de um

sistema de gerenciamento de RSU com coleta seletiva e programas de reciclagem, facilitando assim a catação e a valorização de materiais recicláveis coletados, proporcionando uma melhoria das condições de trabalho dos catadores. (CARVALHO, 2021)

Beneficiamento de Resíduos Orgânicos

Atualmente, a geração de biogás a partir da decomposição de resíduos sólidos orgânicos (RSO) é uma das fontes de energia renovável que se destaca frente ao cenário de encarecimento dos preços de combustíveis e da energia elétrica. É inegável que a fração de RSO é o majoritário encontrado nos RSU, necessitando-se assim de processos para a degradação da matéria orgânica, a fim de se reduzir os impactos ambientais provocados por esses poluentes (CARVALHO, 2021).

Biometanização

Segundo Deublein e Steinhäuser (2008) através da conversão de biomassa em energéticos pode-se obter o biogás que é uma mistura gasosa produzida a partir da decomposição anaeróbia de materiais orgânicos, composto de 55-70% de metano (CH_4) e 30-45% dióxido de carbono (CO_2), com pequenas quantidades de ácido sulfídrico (H_2S) e amônia (NH_3), traços de hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), monóxido de carbono (CO), carboidratos e oxigênio (O_2) (ARAÚJO, 2017).

Os processos de produção de biogás, a partir de resíduos sólidos urbanos são, em primeiro lugar, processos de tratamento que oferecem vantagens sociais, ambientais e econômicas, pois reduzem e/ou estabilizam o volume de resíduos a ser destinado a aterros, reduzem a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e geram energia. O Brasil tem um grande potencial para a geração de energia elétrica através da queima do biogás gerado pela decomposição anaeróbia da matéria orgânica dos RSU. Além disso, apontou-se que, no país, haveria uma redução dos danos ambientais causados pelos descartes, manuseios e disposição final inadequada dos RSU, caso tenha maiores investimentos para a construção e operação de usinas elétricas de biomassa (PROBIOGÁS, 2015; CARVALHO, 2021).

Segundo a PROBIOGÁS (2015) às tecnologias usuais diferenciam-se em reatores de digestão anaeróbia seca ($\text{ST} > 20\%$) e úmida ($\text{ST} < 15\%$). Diferente dos substratos da agropecuária e indústria de alimentos, os resíduos sólidos urbanos se caracterizam pela sua composição complexa que varia de acordo com os serviços (qualidade, frequência, etc.) de

coleta seletiva e de variação de locais públicos prestados, das atividades comerciais e industriais desenvolvidas, do nível econômico e educacional da sociedade, entre outros fatores. Para o tratamento anaeróbio desses resíduos, empregam-se usualmente três processos: a digestão anaeróbia seca descontínua (1), a seca contínua (2) e a úmida (3). A tecnologia aplicada sempre deve ser escolhida a partir das características do substrato (principalmente a carga de sólidos totais – ST) e dos objetivos do tratamento, que podem exigir, por exemplo, a higienização do produto de tratamento.

Compostagem

A compostagem era realizada desde dos primórdios da humanidade de maneira empírica, pelos povos orientais, romanos e gregos, pois eles já detinham conhecimento que os resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo sem lhe prejudicar (FERNANDES, 1999). A compostagem é um processo biológico de decomposição dos RSO que os transforma em substâncias húmicas estabilizadas e ricas em nutrientes, reduzindo assim a quantidade de RSU destinados a aterros sanitários e gerando compostos orgânicos como adubo (SILVA; REIS, 2012; LIMA, 2020).

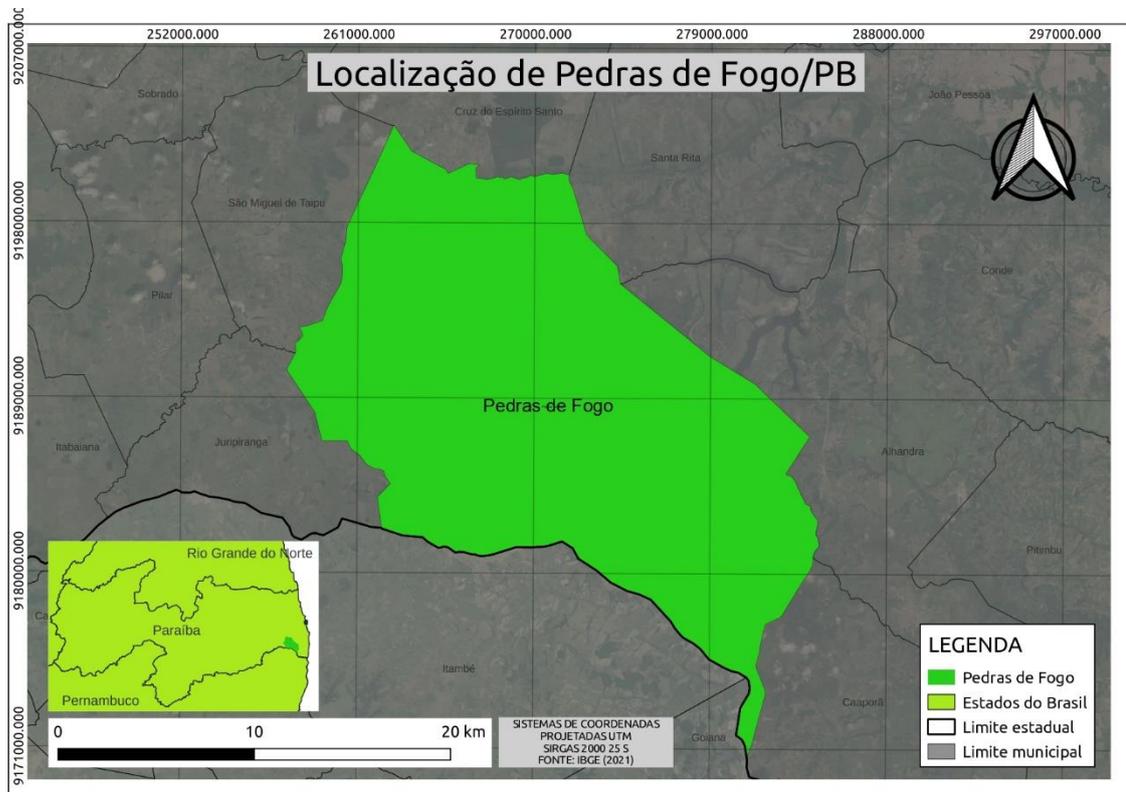
Incineração

A incineração é uma técnica para tratamento aplicada para a destruição dos RSU em um forno monitorado. A queima ocorre a altas temperaturas, entre 700 e 1100 °C. O Objetivo é a degradação dos elementos orgânicos dos RSU, com a presença de oxigênio para diminuir em quase 70% da massa total e 90 % do volume, convertendo em calor e energia (ANDRETTI, 2021).

3 METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho se escolheu o município de Pedras de Fogo como área de estudo, localizado na região geográfica intermediária e imediata de João Pessoa no Estado da Paraíba. Com uma área territorial de 406,729 km² e população estimada para o ano de 2021 de 28.607 habitantes (IBGE, 2021). A Figura 2 mostra a localização do município de Pedras de Fogo/PB.

Figura 2 - Mapa de Localização de Pedras de Fogo-PB.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

A pesquisa teve sua metodologia planejada em três etapas, a primeira consistiu no levantamento bibliográfico, onde realizou-se uma revisão de literatura, em prol do aprofundamento técnico e científico acerca da Gestão de Resíduos Sólidos. Para tal, foram feitas buscas, através das plataformas Scopus, Science Direct e Google Acadêmico de artigos e estudos publicados de relevância nacional e internacional sobre gestão de RSU em municípios. Para dar maior embasamento acerca do manejo de resíduos orgânicos também foram estudados os conceitos como Economia Circular e Bioeconomia e suas possíveis aplicações na Gestão de RSU municipal, tratamento de resíduos sólidos orgânicos, entre outros. Ainda foi feita a coleta

de dados secundários através das plataformas oficiais como IBGE a fim de observar a demografia da cidade e região. Bem como também trabalhos técnicos, como o Plano Municipal de Resíduos Sólidos de Pedras de Fogo - 2014, publicado no mesmo ano.

A segunda etapa trata da caracterização do sistema de RSU da área estudada, nesta etapa foram analisados o atual funcionamento da gestão de RSU, em especial dos Resíduos Domiciliares Orgânicos (RDO), assim como os agentes responsáveis pela coleta, transporte, tratamento e disposição final dos RSU no município estudado a partir de dados primários coletados in situ. Essa fase foi feita através de visitas técnicas, reuniões e entrevistas com gestores municipais; técnicos das Secretaria Municipal de Infraestrutura, da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (Figura 3); com agentes de limpeza; catadores de materiais recicláveis associados ou independentes; empreendedores do ramo da reciclagem e populares.

Figura 3 – Reunião com Técnicos da Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo.



Fonte: Acervo pessoal, 2021

Para obter maior precisão nas estimativas e realizar a caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos da cidade, também foi realizada uma Análise Gravimétrica durante os dias 09 e 11 de novembro de 2021. A análise gravimétrica foi executada através de uma parceria entre a Universidade Federal da Paraíba, por meio do Projeto de Extensão “Universidade parceira na gestão de resíduos sólidos: uma experiência em Pedras de Fogo-PB”, e a Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo-PB (PMPF), (Figura 4):

Figura 4 - Analise gravimétrica



Fonte: Acervo Pessoal, 2021.

O método utilizado para a execução da gravimetria foi o MODECOM, método francês que classifica os resíduos em 13 categorias, como mostra a tabela 1:

Tabela 1 - Categorias MODECOM utilizadas na categorização dos RSU de Pedras de Fogo-PB.

Categorias caracterizadas	Componentes
Resíduo Verde	Poda em geral e coco
Resíduos Orgânicos	Restos de Alimento e de preparo
Papel	Jornal, Revistas, papeis em geral
Papelão	Caixas, embalagens entre outros
Plástico	Sacola, PET, descartáveis e embalagens
Vidro	Todas as vidrarias, exceto espelho
Metal	Ferrosos e não ferrosos: latinhas, tampinhas e embalagens
Tecido	Roupas, retalhos, lençóis, entre outros
inflamáveis	Couro, madeira, borracha
Higiene Pessoal	Papel higiênico, absorvente, fraldas e demais utensílios oriundos da higiene

Resíduos Especiais	Hospitalar, pilhas, aerossol, tintas e óleos, colas e produtos com a mistura desses
Inerte	Pedra, Osso, cerâmica, porcelana
Finos	Resíduos inferiores à 20 mm

Fonte: LIMA (2015).

A terceira etapa compreendeu a concepção e modelagem do sistema, que com auxílio de planilhas eletrônicas foi possível o estabelecimento de limites por meio de parâmetros e outros dados auxiliares obtidos na primeira etapa.

Para a definição das fronteiras e limites do sistema, utilizou-se os dados primários e secundários para estabelecer o número de habitantes cobertos pelo serviço de coleta de resíduos e, conseqüentemente, estimar a geração per capita de resíduos. Outras fronteiras escolhidas foram as formas de tratamento, disposição final e valoração econômica dos resíduos e materiais.

Os resultados deste trabalho estão dispostos em três partes independentes e complementares entre si e foram construídas simultaneamente ao longo das três etapas descritas no processo metodológico. A primeira parte, o Diagnóstico, foi obtida majoritariamente através da investigação direta, ou seja, a coleta das informações na cidade e com os agentes imediatamente ligados à Gestão de Resíduos Sólidos.

A segunda parte é ao Rota Tecnológica ou Fluxo de Resíduos Sólidos Urbanos de Pedras de Fogo - PB em esquema - demonstrando as fronteiras do estudo e aspectos da GRSU.

A terceira parte, objetiva a Valoração Potencial Teórica dos RSU, parte que trata do beneficiamento e estima cenários potenciais para reciclagem e biodigestão. Para a realização desta foi necessário aplicar os conceitos de bioeconomia circular nas cidades e, a partir daí, modelar por meio de dados auxiliares de referência.

A confecção do valor potencial teórico atingido nos cenários de reciclagem foi feita a partir dos valores do preço médio para o Nordeste em R\$/kg obtidos no Anuário da Reciclagem 2020 e pelo volume de resíduos estimados.

O potencial de biogás foi calculado através dos dados estimados da geração de RSU e o coeficiente da geração de Metano por Resíduos Orgânicos Domiciliares segregados, retirados dos trabalhos técnicos Probiogás (2015).

O potencial de geração de energia elétrica foi calculado através dos dados do PCI do Biogás 60% de CH₄, da conversão de KWh/m³, e do rendimento do gerador de 26%, segundo De Souza, (2016). O valor econômico agregado foi estimado com a produção potencial de biogás e o valor do preço do KWh pago pelas famílias na cidade estudada.

A estimativa do aproveitamento térmico foi realizada através da equivalência mostrada por Sganzela (1983) e do potencial de geração de biogás estimado anteriormente. O valor econômico direto foi calculado a partir da convenção do preço médio de mercado do botijão de 13 kg para outubro de 2021 - segundo a Petrobras.

Outros dados auxiliares foram: a geração em m^3/Kg de resíduos orgânicos; o teor de metano no biogás; a geração de KWh/m^3 de biogás; a tarifa energética por KWh ; o consumo energético médio das famílias; a equivalência energética de 1m^3 e quilogramas de GLP e a densidade relativa do gás, bem como seu poder calorífico inferior.

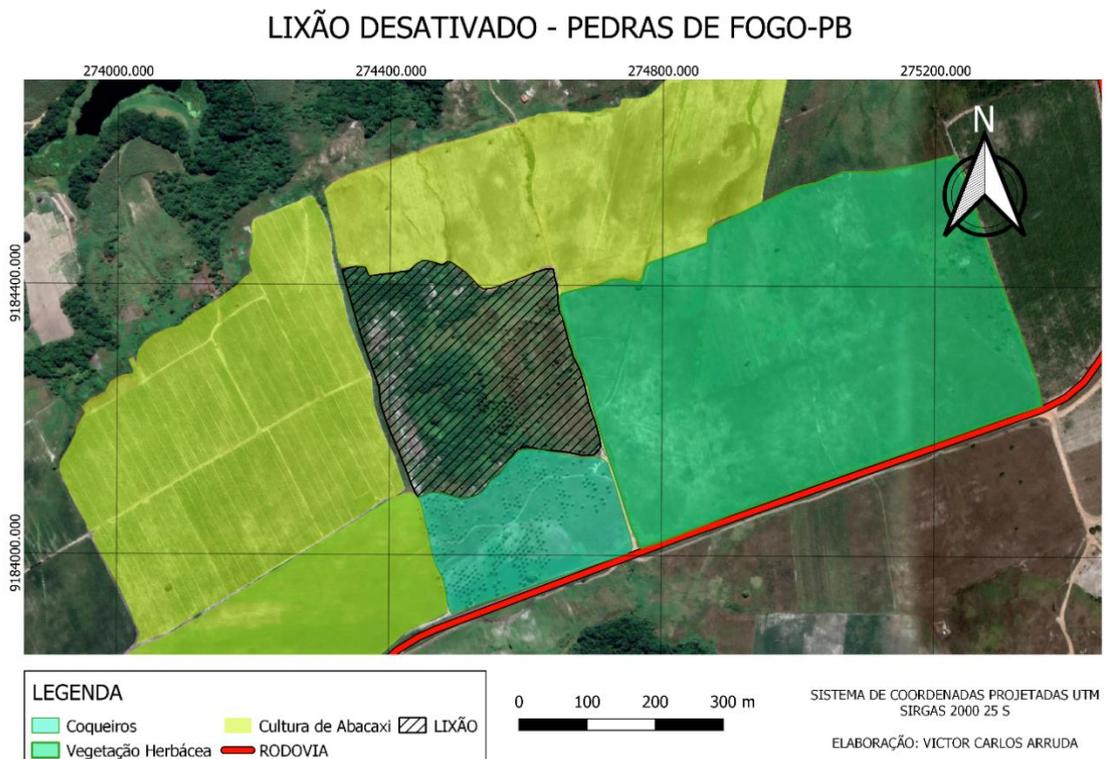
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Diagnóstico

Pedras de Fogo é uma cidade limítrofe com o estado de Pernambuco (Figura 2), situada numa posição estratégica para qualquer rota comercial ou política pública. Segundo o IBGE (2021), possui uma população de 27.032 habitantes (Censo - 2010), dos quais 16.358 habitavam na Zona Urbana, cerca de 60,51%, e 10.674 habitantes viviam na Zona Rural do município, cerca de 39,49%. E, uma população estimada para 2021 de 28.607 habitantes (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021) – valor de referência para este trabalho.

Até dezembro de 2020, o município realizava a GRSU com pessoal e equipamentos próprios. Os resíduos no município eram coletados parte em veículos abertos e parte em caminhão compactador. O município dispunha seus RSU misturados após a coleta, sem tratamento ou beneficiamento, em um terreno arrendado pela municipalidade nas proximidades da PB-032 (Figura 5). O Lixão teve suas atividades encerradas no final de dezembro de 2020, porém aguarda sua até o momento ainda não iniciaram as atividades para a recuperação ambiental da área degradada.

Figura 5 - Mapa de localização do Lixão municipal desativado



Fonte: Autoria própria, 2021.

Segundo a Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo (PMPF), atualmente, o Serviço de Limpeza Urbana, a Coleta e transporte de Resíduos Sólidos Domiciliares; a roça do meio-fio e a poda, é terceirizada. A Empresa contratada, a SINCOL, conta com 28 funcionários atuando no município, sendo 12 Garis, 4 motoristas, 4 roçadores, 2 podadores, 2 vigilantes e 4 auxiliares para demais serviços, ambos em regime CLT. A coleta e transporte dos RSU é realizado por caminhões compactadores na zona urbana e por caminhão tipo caçamba na zona rural. Os resíduos têm sua disposição final no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), localizada na cidade de João Pessoa, a 48,1 Km de Pedras de Fogo. Desse modo, a disposição final também é terceirizada.

A coleta é setorizada sendo feita em dias alternados em diferentes bairros e comunidades da cidade (Tabela 1 e 2).

Tabela 2 - Quadro da coleta de resíduos sólidos urbanos por dia, turno e setor na Zona Urbana

Turno/Dia	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sáb
Diurno	Sto. Antônio/ Cidade Jardim	Planalto/ São Miguel	Sto. Antônio/ Cidade Jardim	Planalto/ São Miguel	Sto. Antônio/ Cidade Jardim	Planalto/ São Miguel
Noturno	Concórdia	Centro/Mangueira	Concórdia	Centro/Mangueira	Concórdia	Centro/Mangueira

Fonte: Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo, 2021.

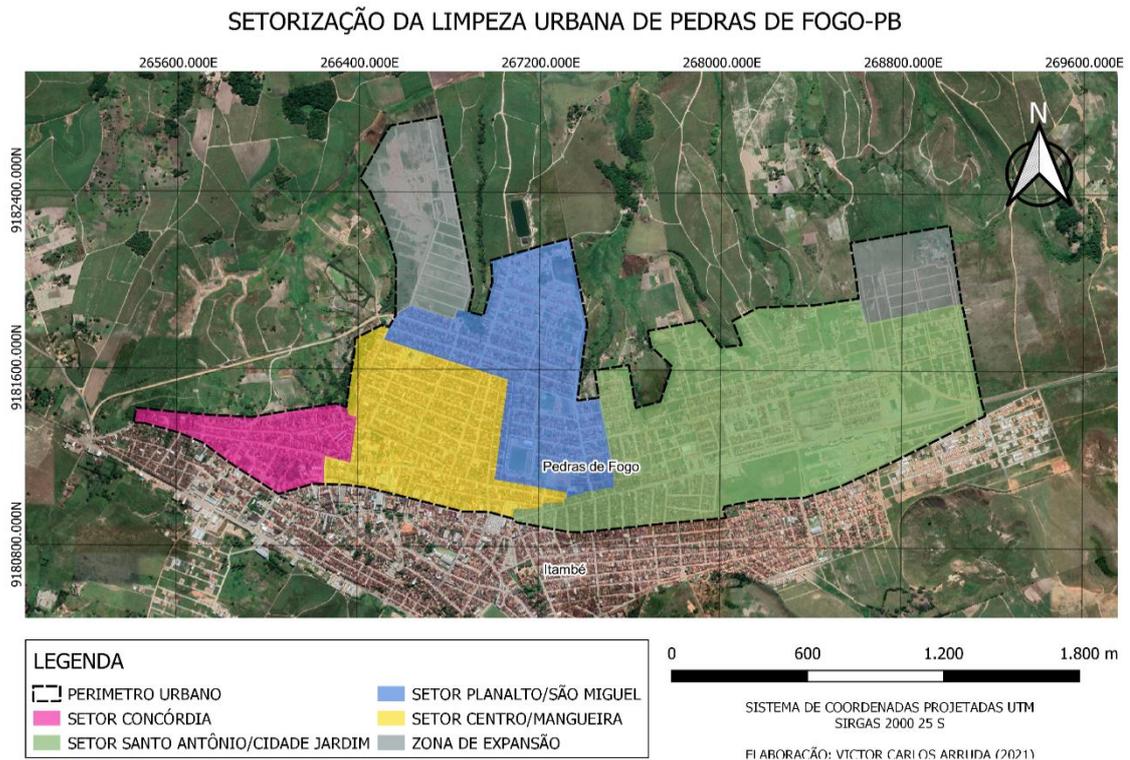
Tabela 3 - Quadro da coleta de resíduos sólidos urbanos por dia, turno e setor na Zona Rural.

Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
Itabatinga	Fazendinha	Mata de Vara	Jangada	Uma I e II	Alagadiço
Covoada	Engenho Novo I e II	Nova Tatiana	Ibiribeira	Fazenda Pau Duro	Nova Aurora
Campo Verde	Santa Terezinha		Gume Cabana		Bala Rosa

Fonte: Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo, 2021.

Através da Figura 6 pode-se observar a setorização da coleta e transporte de RSU:

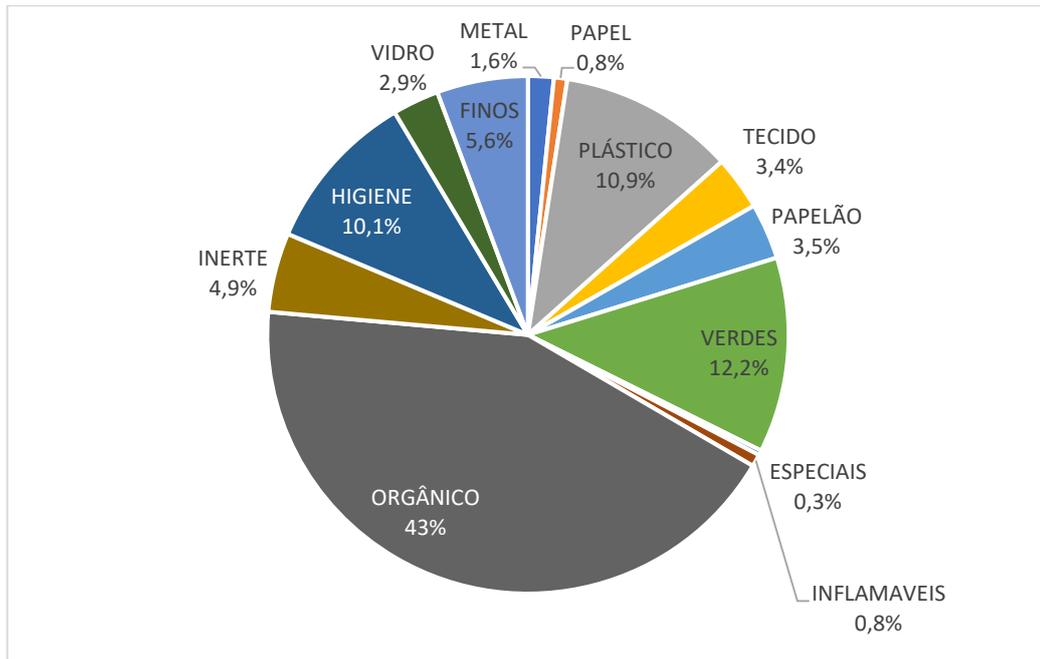
Figura 6 - Setores da Zona Urbana



Fonte: Prefeitura Municipal de Pedras de Fogo, 2021.

A composição gravimétrica auxilia e fundamenta políticas e estratégias para GRSU, seja nas formas de coleta, transporte, tratamento, beneficiamento e valorização econômica. A Gravimetria realizada nos dias 09 a 11 de novembro de 2021, pelo Projeto de Extensão em parceria com o município, mostrou qualitativamente o que a cidade gera e descarta a cada dia. Cerca de 43% dos resíduos gerados são Resíduos Orgânicos Domiciliares, ou seja, frutas, leguminosas, carnes, ossos e outros resíduos alimentares, sendo essa a maior parcela tipificada. Os resíduos de poda e de jardinagem, nomeados de Resíduos Verdes são a segunda maior parcela com 12,2%. Seguidos dos Resíduos advindos da Higiene Pessoal com 10,1 % da composição gravimétrica, compreendendo papel higiênico, utensílios de depilação, absorventes, fraldas etc. Os outros componentes são mostrados no gráfico da Figura 7:

Figura 7 - Composição gravimétrica



Fonte: Arruda et al, 2021.

No município não há política consolidada para o beneficiamento e valoração econômica de resíduos sólidos. Porém existem iniciativas de coleta seletiva e uma associação de catadores de materiais recicláveis, a Associação de Catadores de Lixo de Pedras de Fogo - ACLIPEF, que possui 28 membros atuando em todo perímetro urbano. Ainda há empreendedores que atuam na área da reciclagem, atravessando os materiais coletados pelos catadores, selecionando, beneficiando com lavagem e trituração e transportando. Os Empreendedores utilizam de equipamentos como Granulador e Secador em forma de centrífuga, como mostram as Figuras 8 e 9:

Figura 8 - Granulador e lavador de materiais plásticos



Fonte: Acervo pessoal, 2021.

Figura 9 – Secador de granulados plásticos

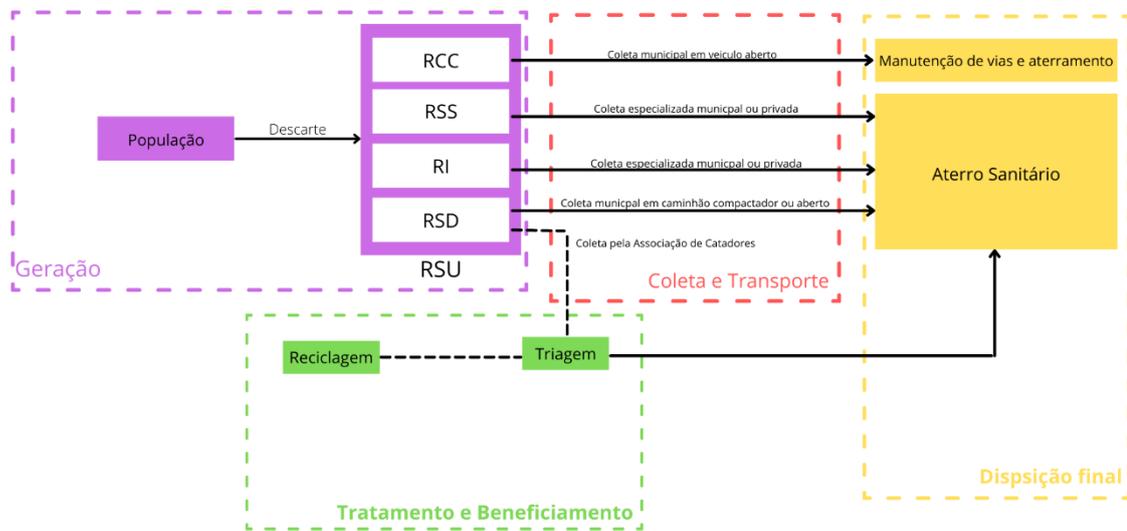


Fonte: Acervo pessoal, 2021.

4.2 Rota Tecnológica ou Fluxo de Resíduos Sólidos Urbanos no município de Pedras de Fogo-PB

Através da observação *in loco* e das entrevistas e reuniões realizadas com os agentes e populares foi possível identificar e, conseqüentemente, esboçar o fluxo de RSU na cidade como mostra a Figura 10:

Figura 10 - Rota Tecnológica do Gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Pedras de Fogo – PB



Fonte: Autoria própria, 2021.

Por meio da Figura 10, pode-se observar que além da coleta seletiva promovida pelos catadores associados não há qualquer outra ação de beneficiamento voluntária no sistema. Desse modo a maior parte dos resíduos que poderiam ser aproveitados estão sendo enviados juntamente com os rejeitos para o ASMJP, descumprindo o que preconiza a PNRS já que tais resíduos são materiais economicamente valoráveis.

4.3 Da Valoração Teórica dos Resíduos Sólidos Urbanos

A estimativa das potencialidades da cidade foi feita a partir dos fundamentos da Economia Circular e da Bioeconomia. Com a definição dos limites e fronteiras do sistema idealizado foi possível valorar teoricamente o impacto econômico os RSU, através das considerações conceituais e da modelagem com os parâmetros de referência encontrados na literatura.

A Geração de Resíduos sólidos no município de Pedras de Fogo-PB:

Como já citado anteriormente, o município conta com uma população estimada, para o ano de 2021, de 28.607 habitantes segundo o IBGE (2021). E segundo o relatório parcial do Projeto de extensão: “Universidade parceira na gestão de resíduos sólidos: uma experiência em

Pedras de Fogo-PB” (2021) a cidade apresenta uma Geração per capita de 0,60kg/dia. Assim, por meio da equação (1) pode-se obter a Geração estimada de resíduos sólidos Urbanos:

$$GERSU = Pop \times Gpc \text{ (equação 01)}$$

$$GERSU = 28.607 \times 0,5997 \Rightarrow$$

$$GERSU = 17.155,7 \text{ kg/dia}$$

Onde, GERSU é a Geração Estimada de Resíduos Sólidos Urbanos; Pop é a população considerada para o cálculo e Gpc é a Geração per capita de resíduos domiciliares.

Com geração estimada de cerca de 17,16 toneladas por dia e assumindo uma classificação em quatro frações: Recicláveis (plásticos, papel, metal, papelão e vidro), Orgânicos, Rejeitos (inerte, inflamáveis, higiene pessoal e finos) e Resíduos Verdes, pode-se ainda encontrar a geração segundo a sua tratabilidade a partir da adaptação dos dados da gravimetria realizada, como mostrado na Tabela 3:

Tabela 4 - Percentual da composição em quatro frações de resíduos

Tipo de resíduo	Variável atribuída	Percentual (%)
Reciclável	RSUR	19,7
Orgânico	RSUO	43,0
Rejeito	Rejeitos	25,1
Verdes	RV	12,2

Fonte: Autoria própria, 2021.

A partir da equação (2) se obteve as seguintes gerações segundo a tratabilidade:

$$GERSU \times Percentual = GER(\text{Tipo de resíduo}) \text{ (equação 02)}$$

- $RSUR = GERSU \times \%Reciclável \Rightarrow RSUR = 3.376,96 \text{ kg/dia}$
- $RSUO = GERSU \times \%Orgânico \Rightarrow RSUR = 7.376,96 \text{ kg/dia}$
- $RV = GERSU \times \%Verdes \Rightarrow RV = 20.092,99 \text{ kg/dia}$
- $Rejeitos = GERSU \times \%Rejeitos \Rightarrow Rejeitos = 4306,08 \text{ kg/dia}$

Desse modo é possível configurar uma classificação conforme o gráfico da Figura

11:

Figura 11 - Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares



Fonte: Autoria própria, 2021.

4.3.1 Valoração Teórica dos Recicláveis

Considerando que cerca de 20% dos RDO do município são recicláveis pode-se estimar os seguintes cenários de comercialização para a Reciclagem de Plástico, Papel, Papelão, Metal e Vidro (Tabelas 4 e 5):

Tabela 5 - Valor econômico diário estimado através comercialização de recicláveis.

Material	Preço R\$/Kg	Potencial diário (kg/dia)	Eficiência da coleta (%)					
			5	10	20	30	50	100
METAL	0,38	274,5	R\$ 5,22	R\$ 10,43	R\$ 20,86	R\$ 31,29	R\$ 52,15	R\$ 104,31
PAPELÃO	0,30	137,2	R\$ 2,06	R\$ 4,12	R\$ 8,23	R\$ 12,35	R\$ 20,59	R\$ 41,17
PLÁSTICO	1,02	1870,0	R\$ 95,37	R\$ 190,74	R\$ 381,47	R\$ 572,21	R\$ 953,69	R\$ 1.907,37
PAPELÃO	0,34	600,5	R\$ 10,21	R\$ 20,42	R\$ 40,83	R\$ 61,25	R\$ 102,08	R\$ 204,15
VIDRO	0,10	497,5	R\$ 2,49	R\$ 4,98	R\$ 9,95	R\$ 14,93	R\$ 24,88	R\$ 49,75
		TOTAL	R\$ 120,34	R\$ 240,68	R\$ 481,35	R\$ 722,03	R\$ 1.203,38	R\$ 2.406,76

Fonte: Autoria própria, 2021.

Material	Preço R\$/Kg	Potencial mensal (kg/mês)	Eficiência da coleta (%)					
			5	10	20	30	50	100
METAL	0,38	8234,74	R\$ 156,46	R\$ 312,92	R\$ 625,84	R\$ 938,76	R\$ 1.564,60	R\$ 3.129,20
PAPELÃO	0,30	4117,37	R\$ 61,76	R\$ 123,52	R\$ 247,04	R\$ 370,56	R\$ 617,61	R\$ 1.235,21
PLÁSTICO	1,02	56099,19	R\$ 2.861,06	R\$ 5.722,12	R\$ 11.444,23	R\$ 17.166,35	R\$ 28.610,58	R\$ 57.221,17
PAPELÃO	0,34	18013,50	R\$ 306,23	R\$ 612,46	R\$ 1.224,92	R\$ 1.837,38	R\$ 3.062,30	R\$ 6.124,59
VIDRO	0,10	14925,47	R\$ 74,63	R\$ 149,25	R\$ 298,51	R\$ 447,76	R\$ 746,27	R\$ 1.492,55
		TOTAL	R\$ 3.465,14	R\$ 6.930,27	R\$ 13.860,54	R\$ 20.790,82	R\$ 34.651,36	R\$ 69.302,72

Tabela 6 - Valor econômico mensal estimada da comercialização de recicláveis

Fonte: Autoria própria, 2021.

Como observa-se os ganhos econômicos potenciais para a reciclagem são bastante significantes ao aumentar a eficiência da coleta, significando que o investimento em reciclagem deve ser analisado e viabilizado. No menor cenário para a comercialização do plástico com 5% de eficácia de coleta, ou seja, coleta e seleção de 5% do plástico gerado e descartado no município, observa-se cerca de R\$ 2900,00 vendidos em plástico para uma seleção de 2,8 t aproximadamente no espaço de um mês. Para o mesmo material, e agora, considerando o melhor cenário, de 100% do plástico gerado e descartado sendo destinado para a reciclagem, pode-se estimar ganhos em torno de R\$ 57. 200,00 ao mês.

4.3.2 Aproveitamento de Resíduos Orgânicos Domiciliares através da Biometanização:

Potencial da Geração de Biogás

Para estimar a geração potencial de biogás foi necessário o auxílio dos seguintes parâmetros conforme a tabela 7:

Tabela 7 - Geração potencial de metano por substrato

SUBSTRATO ORGÂNICO	m ³ CH ₄ /Kg substrato		
	mínimo	Máximo	média
ROD MISTURADO	0,041	0,094	0,0675

ROD SEPARADO	0,044	0,089	0,0665
RDO ALIMENTAR	0,059	0,097	0,078
R CX DE GORDURA	0,146	0,333	0,2395

Fonte: Adaptado de Probiogás, 2015.

Onde, RDO são os resíduos domiciliares orgânicos e R CX são os resíduos da Caixa de Gordura.

Dessa forma, convencionando a implantação da coleta segregada de resíduos domiciliares orgânicos (RDO separados) e assumindo a média da produção de metano por kg de resíduo pode-se obter a geração potencial de metano e, conseqüentemente, o biogás, como se mostra na equação (3):

$$Pot\ m^3CH_4 = RSUO \times m^3CH_4/Kg\ substrato\ (ROD - separado)\ (equação\ 03)$$

$$Pot\ m^3CH_4 = 7.376,96 \times 1000 \times 0,0665 \Rightarrow$$

$$Pot\ m^3CH_4 = 490,57\ m^3/dia$$

Onde, $Pot\ m^3CH_4$ é a geração potencial de metros cúbicos de metano em um dia.

A geração potencial estimada de 490,57 m³ por dia, ou seja, 20,44 m³CH₄ por hora, que se assumirmos uma composição de 60% de metano, pode ser entendida como 34,07 m³ de biogás por hora ou 817,61m³ por dia.

Potencial de geração de energia elétrica

Os parâmetros utilizados para determinar o potencial energético por m³ de biogás foram adaptados de Avellar (2001) com o incremento da conversão de Kcal para KWh, como mostra a tabela 7:

Tabela 8 - Parâmetros para estimativa da geração de energia elétrica

%CH ₄ /m ³ Biogás	Peso específico		PCI	
	kg/m ³	kcal/kg	kcal/m ³	KWh/m ³

10	1,8393	465,43	856,07	0,995604059037
40	1,46	2233,85	3261,42	3,793032623
60	1,2143	4229,98	5136,46	5,973708462382
65	1,1518	4831,14	5564,51	6,471521701476
75	1,0268	6253,01	6420,59	7,467146946884
95	0,7768	10469,60	8132,79	9,45842928064
99	0,7268	11661,02	8475,23	9,856691717768

Fonte: Adaptado de Avellar, 2001 apud Lima, Passamini, 2012.

Desse modo, estabelece-se que para o biogás 60% haverá uma geração potencial de 5,97 KWh por m³. Para determinar o Potencial Teórico de Produção de Eletricidade (PTP) e, conseqüentemente, o Potencial Técnico de Geração (PTG), considerando o rendimento do motor-gerador de 26%, como sugerido por De Souza (2016) podem-se expressar as equações (4) e (5):

$$PTP = PCI \times P_{\text{Biogás}} \text{ (equação 04)}$$

$$PTG = PTP \times \eta \text{ (equação 05)}$$

Onde, o P_{Biogás} é o potencial de Biogás em metros cúbicos gerados por hora. Assim tem-se:

$$PTG = 5,97 \times 34,07 \times 0,26 \Rightarrow$$

$$PTG = 52,91 \text{ kWh}$$

O potencial técnico gerado é de 52,9 kWh, ou seja, cerca de 1270 kW por dia. Para estimar o valor financeiro possivelmente economizado atribuído (VFA), expressado na equação (6), considerou-se o preço de R\$ 0,61948 por KWh para uma residência convencional sem benefício, ou seja, Tarifa do tipo B convencional segundo a concessionária de energia elétrica no local, a CELPE, através da Resolução Homologatória N° 2.861 de 27 de abril de 2021.

$$VFA(\text{ao dia}) = T \times PTG \times 24 \text{ (equação 06)}$$

Onde, T é a tarifa do tipo B1 para uma residência convencional.

$$VFA(\text{ao dia}) = 0,61948 \times 52,91 \times 24 \Rightarrow$$

$$VFA(\text{ao dia}) = 786,67 \text{ reais.}$$

O valor financeiro pôde ser estimado em R\$ 786,70 por dia, ou até R\$23.600,10 ao mês. Quando comparado com o consumo médio mensal das famílias nordestinas de 99,49 kWh, segundo Abraão e Souza (2021), a geração de energia é equivalente ao consumo mensal de 383 famílias.

Potencial para aproveitamento térmico

A partir dos resultados obtidos para a geração de biogás e embasados na equivalência de 1 m³ para 0,45 kg de GLP apresentada por Sganzerla (1983), pode-se obter, através da equação (7), o aproveitamento teórico equivalente de GLP (ATEq):

$$ATEq = P_{\text{Biogás}} \times 24 \times Eq_{\text{GLP}} \text{ (equação 07)}$$

$$ATEq(\text{ao dia}) = 34,07 \times 24 \times 0,45 \Rightarrow$$

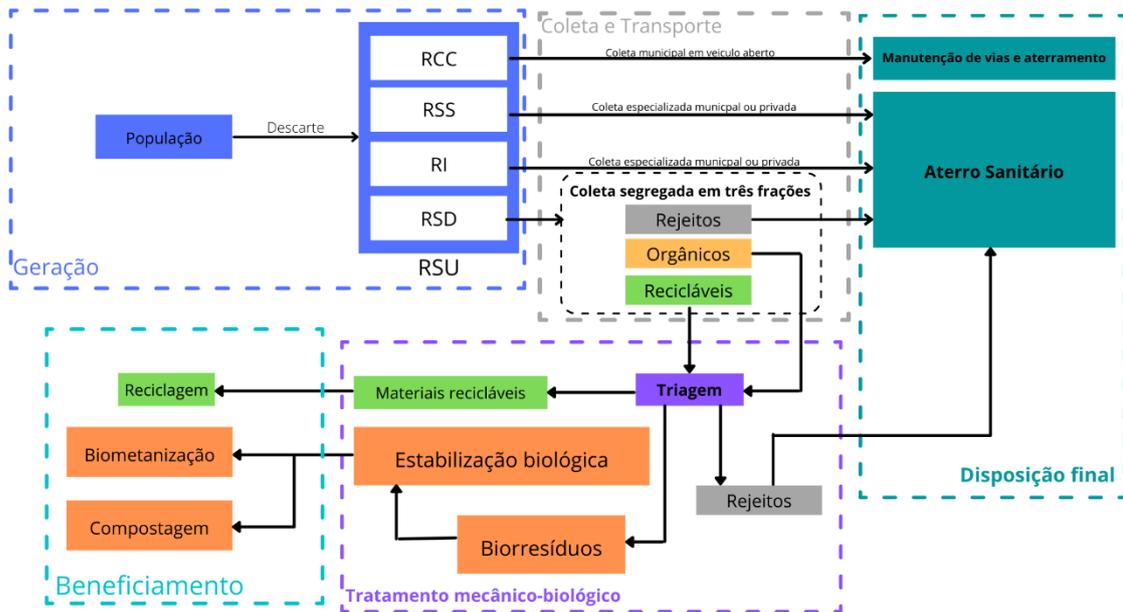
$$ATEq(\text{ao dia}) = 367,93 \text{ kg de GLP}$$

O aproveitamento potencial do biogás equivale a cerca de 368 kg de GLP por dia, ou ainda, 11 T de GLP ao mês, o que significaria 849 botijões de 13 Kg. Financeiramente, considerando o preço médio unitário do Botijão de 13 kg de GLP de R\$ 93,34 para outubro de 2021 (PETROBRAS, 2021), equivale a R\$ 79.251,20 ao mês.

4.4 Rota Tecnológica ou Fluxo da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos aplicando o beneficiamento de materiais:

Ao aplicar conceitos de Economia e Bioeconomia Circular pode-se elaborar um esquema que mostra o fluxograma da GRSU (Figura 12) voltado para o beneficiamento dos RSU. Uma das primeiras considerações para a transição é o sucesso da coleta segregada de Resíduos domiciliares.

Figura 12 - Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e o beneficiamento de materiais



Fonte: Autoria própria, 2021.

A implementação desse arranjo tecnológico deve ser feita por etapas, como proposto em Probiogás (2015). Adaptando para a realidade do município estudado, a primeira etapa a ser implantada deverá ser o tratamento mecânico para a segregação dos recicláveis, dessa forma favorecendo a incorporação dos agentes de segregação de recicláveis na Gestão de RSU, bem como, consolidando um tratamento de menor complexidade e de retorno ambiental e financeiro já conhecido. Paralelamente, sensibilizando a comunidade sobre a importância da segregação na fonte. Em segundo momento, o tratamento biológico, que combina a biometanização e a compostagem. Uma vez já difundida a coleta seletiva, o arranjo já pode agregar a biometanização e o pós-tratamento com a compostagem.

Segundo a Probiogás (2015) a biometanização por meio da Digestão Anaeróbia Úmida Contínua (CSTR) é a mais indicada para os RDO separados na fonte, pois possuem índices menores que 15% de sólidos totais e devem apresentar baixo nível de contaminação. A partir do mesmo documento pode-se identificar que para uma produção mínima de 25 m³/h CH₄, e que nesta modelagem atingiu 20,44 m³, tem-se os investimentos em torno de 12.000 a 35.000 R\$/m³ CH₄ no ano de sua publicação, 2015. Pode-se corrigir os valores na Calculadora do Cidadão no sítio eletrônico do Banco Central, conforme o Índice Geral de Preços do Mercado (IGPM-Brasil) que registra a inflação de preços de matérias-primas agrícolas e industriais até bens e serviços. Obteve-se assim os valores de investimento entre R\$ 586.487,50 a R\$ 1.710.588,25. Para a obtenção dos valores de investimentos não foram consideradas as variáveis

econômicas, políticas ou tecnológicas envolvidas para a precificação de insumos e da infraestrutura demandada para a instalação de uma planta de biometanização, bem como não foi especificada as variações unitárias em cada equipamento envolvido para a construção de um empreendimento desse porte.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pandemia do COVID-19 dificultou significativamente a obtenção dos resultados quanto à análise e investigação do local estudado, a rota tecnológica ou fluxo de resíduos sólidos e a forma de manejo dos agentes da limpeza urbana. A adaptação das formas de diagnóstico através de entrevista via plataforma online com os gestores municipais possibilitou a elaboração do fluxograma dos resíduos, o que auxilia a administração pública a entender a atual dinâmica da Gestão de Resíduos Sólidos no município.

As visitas técnicas realizadas posteriormente, quando houve relaxamento das restrições sanitárias, foram essenciais para a continuidade do trabalho. De todo modo ainda houve dificuldades no que tange à celeridade e empenho dos agentes parceiros envolvidos no trabalho. O município de Pedras de Fogo-PB pode ser palco da aplicação de políticas bioeconômicas, potencialmente promissoras, quando articuladas com outros municípios ou ainda quando combinadas com outras boas práticas para a cadeia de materiais, como a coleta seletiva, a compostagem, o beneficiamento de materiais recicláveis com a participação de cooperativas de segregadores.

Como visto neste trabalho, o aproveitamento dos RSU e em especial os Resíduos Domiciliares Orgânicos podem propiciar vantagens econômicas e ainda sociais, como por exemplo, a produção e destinação de biogás para cocção equivalente a 849 botijões de gás ao mês, podendo assistir a famílias com vulnerabilidade socioeconômicas, sobretudo em um contexto de recuperação econômica nacional agravado pela pandemia do COVID-19.

Até recentemente a municipalidade destinava os RSU para o Lixão causando passivos ambientais e neste ano corrente foram tomadas decisões para adequação ambiental, evidenciando que a governança política está estritamente ligada a sustentabilidade. As descobertas das potencialidades no município indicam a transformação dos problemas em solução, dando cabo das inconformidades legais, da insalubridade ambiental e social, do agravamento da saúde pública e de maiores danos econômicos.

Devido ao porte do município, Pedras de Fogo-PB sozinha, segundo a bibliografia consultada e modelagem realizada neste trabalho, não consegue ter sua viabilidade técnica – financeira para a implementação da Usina de biometanização. Porém Pedras de Fogo faz limite e se encontra em conurbação com a cidade de Itambé, formando um único centro cultural e econômico para as duas cidades, desse modo, afim de suplementar a demanda de resíduos necessários para a viabilidade técnico-financeira, esse trabalho sugere a formação de um consorcio para a limpeza pública, oferecendo cobertura de pelo menos nas zonas urbanas dos

municípios supracitados. Compartilhando ativos, pessoal, investimento, custos de operação, o tratamento e o beneficiamento dos RSU.

Este trabalho, ainda que necessitem de maiores estudos, apontam caminhos possíveis para o beneficiamento de RSU, desde que fomentados com investimentos técnicos e tecnológicos, e ainda evidenciam de forma preliminar que a articulação intermunicipal, a cooperação entre as instituições e a adesão da população são determinantes para a aplicação de políticas públicas de cunho sustentável que trazem justiça social, retorno econômico, equilíbrio ecológico e atingem a satisfação pública.

REFERÊNCIAS

ABRAHÃO, K. C. de F. J.; SOUZA, R. G. V. de. Estimativa da evolução do uso final de energia elétrica no setor residencial do Brasil por região geográfica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 383-408, abr./jun. 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/MC5DNWHS46jH6hCKKtCzFCc/?lang=pt#>. Acesso em: 16 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: [s.n.], 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-panorama-2020/>. Acesso em: 23 jan. 2021.

CHMURZYNKI, G.; RODRIGUES, M. J. **CNI apresenta plano de ação para alavancar a bioeconomia no Brasil**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/sustentabilidade/cni-apresenta-plano-de-acao-para-alavancar-a-bioeconomia-no-brasil/>. Acesso em: 17 dez. 2020.

ANDRETTI, F. V. **Avaliação técnico-econômica de planta de incineração de resíduos sólidos urbano em países em desenvolvimento: uma simulação aplicada a cidade do Rio de Janeiro, Brasil**. 2021. 137 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.btd.uerj.br:8443/handle/1/16946>. Acesso em: 07 dez. 2021.

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017, 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20292>. Acesso em 01 nov. 2021.

ARRUDA, V. C. de L. et al. **Relatório Parcial do Projeto de Extensão: “Universidade parceira na gestão de resíduos sólidos: uma experiência em Pedras de Fogo-PB”**. Pedras de Fogo: [s.n.], 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 122, 2010. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 01 ago 2020.

CANZIAN, F. 70% dos municípios dependem em mais de 80% de verbas externas. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 07 fev. 2019. Ranking de Eficiência dos Municípios - Folha. Disponível em: <http://temas.folha.uol.com.br/remf/ranking-de-eficiencia-dos-municipios-folha/70-dos-municipios-dependem-em-mais-de-80-de-verbas-externas.shtml>. Acesso em: 14 ago. 2021.

CARVALHO, Matheus Vieira. **Análise econômica das opções de biometanização, compostagem e reciclagem para tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. 2021. 109 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2021. Disponível em <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/20992>. Acesso em: 01 nov. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Cidades e Economia Circular dos Alimentos**. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/act/alimentos>. Acesso em: 07 jan. 2021.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The Circular Economy in detail**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>. Acesso em: 15 dez. 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **What-is-the-circular-economy**. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/what-is-the-circular-economy>. Acesso em: 15 dez. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Bioeconomia. [Brasília], 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-bioeconomia>. Acesso em: 17 dez. 2020.

EUROPEAN COMMISSION. **A sustainable bioeconomy for Europe: Strengthening the connection between economy, society and the environment: updated bioeconomy strategy**. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2018. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/edace3e3-e189-11e8-b690-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-search>. Acesso em: 22 dez. 2020.

FERNANDES, F. **Manual prático de compostagem de bio sólidos**. Londrina: PROSAB, 1999.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652615012287>. Acesso em: 15 dez. 2020.

GIAMPIETRO, M. On the circular bioeconomy and decoupling: implications for sustainable growth. **Ecological economics**, v. 162, p. 143-156, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800918317178>. Acesso em: 17 dez 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de recuperação automática: Tabela 6475: População residente estimada, [S.l.], 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579#resultado>. Acesso em: 01 ago. 2020.

SZIGETHY, L. ANTENOR, S. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 24 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. [S.l.], 1990 Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv2269_1. Acesso: 05 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades - Pedras de Fogo. [S.l.], 2021?. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pedras-de-fogo/panorama>. Acesso em: 14 ago. 2021.

KAZA, S. et al. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington, DC: World Bank, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso em: 07 jan. 2021.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835>. Acesso em? 15 dez. 2020.

LIMA, A. C. G. PASSAMANI, F. C. **Avaliação do potencial energ[etico do biog[as produzido no reator UASB da ETE-UFES]**. 2012. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Departamento de Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012. Disponível em: https://ambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/avaliacao_do_potencial_energetico_do_biogas_produzido_no_reator_uasb_da_ete-ufes_reduzido. Acesso em: 05 ago. 2021.

LIMA, R. F. de.; CARDOSO, I. P.; OLIVEIRA, G. F. dos S. A compostagem de resíduos sólidos e de poda. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 19, n. 5, p. 128-142, 2020. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-ambiental/compostagem-de-residuos>. Acesso em: 01 nov. 2021.

LIMA, T. C. Q. de O. **Estimativa de emissão de metano a partir da degradação de resíduos sólidos urbanos dispostos no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/Paraíba-Brasil em 2015**. 2018. Especialização (Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/57465>. Acesso em 07 dez. 2021.

MARCINEK, P.; SMOL, M. Bioeconomy as One of the Key Areas of Implementing a Circular Economy (CE) in Poland. **Journal of Environmental Research, Engineering and Management**, v. 76, n. 4, p. 20-31, 2020. Disponível em: <https://www.arem.ktu.lt/index.php/arem/article/view/27536>. Acesso em: 22 dez. 2020.

MARCO, C. M. de. Evolução constitucional do município brasileiro. Jus **Navigandi**, Teresina, v. 9, 2005.

MOHAN, S. V. et al. Can circular bioeconomy be fueled by waste biorefineries - A closer look. **Bioresource Technology Reports**, v. 7, p. 100277, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2589014X19301677>. Acesso em: 15 jan. 2021.

NICHOLSON, F. et al. **Field experiments for quality digestate and compost in agriculture: Work Package 2 Report-Digestate Nitrogen Supply and Environmental Emissions**. [S.l.], 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/305209296_Field_experiments_for_quality_digestat

e_and_compost_in_agriculture_Work_Package_2_Report_-_Digestate_Nitrogen_Supply_and_Environmental_Emissions. Acesso em: 07 jan. 2021.

OLIVEIRA, A. L. A. R. de. **Avaliação do ciclo de vida aplicada na gestão dos resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Distrito Federal**. 2019. 96 f., il. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/37969>. Acesso em: 10 out. 2021.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda**. [S.l.]: OECD, 2009. Disponível em: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/publication/sustainable-bioeconomy-europe-strengthening-connection-between-economy-society_en. Acesso em : 22 dez. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial**. Brasília, 2018. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/81186-humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial>. Acesso em: 01 ago. 2020.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. New York: United Nations, 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/>. Acesso em: 07 jan. 2021.

PEDRAS DE FOGO. Secretaria de Infraestrutura. **Zoneamento Urbano para 2021**. Pedras de Fogo: [s.n.], 2021.

PEDRAS DE FOGO. Secretaria de Infraestrutura. **Dados da limpeza urbana para 2021**. Pedras de Fogo: [s.n.], 2021.

PETROBRAS. **Preço de venda de combustíveis**. [S.l.], 2021. Disponível em: https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/precos-de-venda-de-combustiveis/index.htm?gclid=Cj0KCQjwjo2JBhCRARIsAFG667Vp4zp_Qd0y3j6tcgWVpdIQKsGKfMf40Ax-fANQrtDgp5NQinCrgyEaAr2LEALw_wcB#glp. Acesso em 1 nov 2021.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Porto Alegre: Agropecuária, 1983. 88 p.

SILVA, P. H. da; REIS, S. A. dos. **Usina de triagem e compostagem como alternativa viável à problemática dos resíduos sólidos do município de Santa Bárbara do Leste – MG**. 2012. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, Caratinga, 2012. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/1175>. Acesso em: 01 nov. 2021.

SISTEMA DE ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil**. [S.l.], 2018. Disponível em: <http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>. Acesso em: 01 ago. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO. Diagnóstico do manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244 p. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019. Acesso em: 05 ago. 2021.

TAVARES, F. A. S. **Premissas e fundamentos ecológicos da abordagem regenerativa para o Desenvolvimento Sustentável.** [S.l.], 2021. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/320902599_Premissas_e_fundamentos_ecologicos_da_abordagem_regenerativa_para_o_Developolvimento_Sustentavel/citations. Acesso em: 16 dez. 2020.

VEIGA, R. M. da. **Do lixo à economia circular: um salto possível?** 2019. 418 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26702>. Acesso em: 16 dez. 2020.