



Análise da geração média diária de resíduos orgânicos para utilização em um biodigestor em unidades de grande porte de uma rede de hortifrutigranjeiros

Emanuele Portella Mendonça¹
Marco Antônio Pereira Araújo²

Tecnologia Ambiental

Resumo

Este estudo tem o objetivo de analisar a quantidade média diária de resíduos orgânicos gerados em cinco unidades de hortifrutigranjeiros de grande porte, visando sua utilização futura como insumo para produção de biogás, a partir de um biodigestor, para utilização interna nas cozinhas dos estabelecimentos. Como discussões iniciais aborda-se fatores importantes para definição da composição do substrato, conforme disponibilidade de resíduos nessas unidades, além de ressaltar a criticidade do cenário do varejo, sendo um dos pontos finais da cadeia de alimentos, concentrando alta geração de resíduos orgânicos. Estes resíduos oferecem muitos riscos quando não destinados corretamente e a discussão inclui as diretrizes da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, uma vez que esta define a responsabilidade dos estabelecimentos comerciais com relação a destinação correta do que foi internamente gerado. Sendo assim, a metodologia para esta abordagem foi baseada em uma revisão sistemática da literatura e para obtenção dos resultados foi feita uma comparação da geração de resíduos com potencial aplicação no processo mencionado através de métodos estatísticos apropriados a natureza dos dados em estudo. Através dessa análise confirma-se que as cinco unidades possuem um potencial médio de geração diária compatível, o que possibilita um dimensionamento único para projetos de instalação de biodigestores nessa região de uma mesma rede.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos, varejo, biogás.

¹Aluna do Mestrado Profissional em Ciências Ambientais: Emanuele Portella Mendonça, Universidade de Vassouras, emanuele.portella@gmail.com.

²Prof. Dr. Marco Antônio Pereira Araújo, Universidade de Vassouras – Mestrado Profissional em Ciências Ambientais, marcoaparaujo@gmail.com.



INTRODUÇÃO

No Brasil, a geração de resíduos sólidos vem se agravando, acompanhando o crescimento populacional e outros fatores relacionados à vida no mundo moderno. Mais da metade dos resíduos sólidos urbanos coletados são provenientes de matéria orgânica. Sendo um dos maiores produtores na agricultura em escala mundial, com a crescente demanda, a geração de resíduos também seguirá aumentando (WASTE AND POST-CONSUMER WASTE, 2013). O desperdício desses produtos se distribui em cerca de 10% na produção, 50% no manuseio e transporte, 30% na comercialização e abastecimento e 10% no varejo e consumo (PAIXÃO, 2018). Dentro do varejo, principalmente, há um grande desperdício de resíduos orgânicos que são gerados conforme as estimativas mencionadas e parte do desperdício proporcionado nas etapas anteriores de produção, manuseio e transporte são, em muitos casos, mensuradas somente após estarem nas etapas finais da cadeia.

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) define que os estabelecimentos comerciais possuem responsabilidade própria sob essa geração e devem separar e destinar adequadamente seus resíduos (ARAÚJO, 2020). Nesse contexto, as empresas vêm enfrentando uma cobrança da sociedade e do governo para adoção de medidas voltadas para um desenvolvimento sustentável, o que engloba significativamente a redução de resíduos. Uma reestruturação comportamental e estratégica se faz necessária para a sustentação no mercado no longo prazo. (SANTOS, 2015; PEREIRA, 2018).

Esses fatores mostram a necessidade de uma melhor gestão para os resíduos orgânicos nas etapas finais da cadeia de consumo. Logo, este artigo traz uma análise estatística do potencial de geração de resíduos orgânicos em cinco unidades de uma mesma rede, localizadas na mesma região. Essas quantidades visam analisar a disponibilidade para implementar futuramente um processo de produção de biogás, através de um biodigestor, uma vez que dessa forma teríamos uma destinação ideal do resíduo, transformando o passivo em ativo para as unidades.

Na estrutura deste trabalho, além desta introdução, foram desenvolvidas mais cinco

seções cujos objetivos são divididos conforme a ordem: o tópico 2 traz o referencial teórico do trabalho, o tópico 3 mostra a metodologia da pesquisa, o tópico 4 direciona as discussões do tema para abordagem dos resultados no tópico 5 e considerações finais no tópico 6.

REFERENCIAL TEÓRICO

Com objetivo de embasar a discussão, faz-se necessário referenciar neste trabalho a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, cujas diretrizes são de suma importância no contexto analisado, além do próprio processo de produção de biogás trazendo características específicas que vão guiar as definições posteriores.

1) Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)

Os resíduos sólidos são, por definição, todas substâncias descartadas cuja origem é a atividade humana e disposição final acontece na forma sólida ou semissólida como gases e líquidos em recipientes sólidos os quais possuem particularidades que tornam inviável seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos hídricos. Considerando a definição, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) dispõe, de maneira geral, sobre como deve ser a gestão desses resíduos, quais as responsabilidades compartilhadas do poder público, além dos geradores de todos os portes, e traz outras definições importantes para o tema de geração de resíduos que se faz cada vez mais necessário (SANTANA, 2020). Entre suas definições a PNRS estabelece a uma ordem de prioridade com relação aos resíduos, sendo ela: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. (HAYASHI, 2020). Ou seja, de acordo com Vitali (2014), a PNRS também tem como objetivo a redução dos resíduos gerados, e a implementação de outras práticas sustentáveis, como a elaboração de produtos com consciência ecológica e incentivo a programas de aproveitamento.

Embora a PNRS seja um grande avanço e traga incentivos consideráveis, a gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos (RSU) ainda é uma das principais causas de poluição ambiental e, de acordo com a estimativa da composição gravimétrica dos RSU coletados no país, a matéria orgânica contribui com 51,4% do total. Apesar disso, suas



composições são amplamente requeridas em diferentes processos que podem transformá-los em produtos de alto valor agregado. No entanto, sem tratamento correto esses materiais têm seus nutrientes transportados para águas superficiais e subterrâneas promovendo a eutrofização e conseqüentemente a degradação de ambientes aquáticos (HAYASHI, 2020).

2) Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos

É válido analisar qual a estratégia mais viável e adequada à situação em qualquer escala que se considere o aproveitamento dos resíduos orgânicos (JESUS, 2015; ALMEIDA, 2020). Dada sua composição elevada concentração de carboidratos, há um atrativo para produção de energia. No geral, o potencial de geração de biogás que um determinado substrato possui varia conforme sua qualidade e biodegradabilidade, principalmente do conteúdo de macromoléculas. Mas é importante mencionar que conhecer as características e composição dos resíduos é um fator básico para estimativa de geração de biogás através de processos anaeróbios. Nesta discussão, vale mencionar o exemplo da biodigestão de resíduos de frutas, principalmente como único substrato, pois o alto conteúdo de açúcares simples torna-se um problema ao promover a rápida acidificação do meio, impedindo desta maneira que a etapa final do processo de degradação da matéria orgânica, com a produção de metano e dióxido de carbono. Além disso, digestão de dois ou mais resíduos, chamada co-digestão anaeróbia se coloca na intenção de obter um melhor desempenho do processo de forma que agrega ao biodigestor diferentes propriedades que tornam o substrato mais rico e equilibrado nas suas características definitivas para a produção de biogás. Há também maior possibilidade de haver efeitos sinérgicos entre os microrganismos, promovendo estabilidade de forma mais natural e maior rendimento. Logo, a inclusão de resíduos de naturezas diferentes, potencializa a estabilidade do processo, otimizando a produção de biogás (BLASIUS, 2019).

METODOLOGIA

Este trabalho baseia-se na revisão sistemática como modalidade de pesquisa. Essa modalidade segue protocolos específicos que buscam conectar todo o desenvolvimento

através de uma lógica, encaixando materiais compatíveis no contexto analisado. Desta forma busca-se alto nível de evidência e representatividade deste documento para tomada de decisão acerca do tema (GALVÃO; RICARTE, 2019). Ademais, o estudo se classifica como descritivo de abordagem quantitativa, considerando seu desenvolvimento com base na pergunta de pesquisa: qual o potencial de geração de resíduos orgânicos em unidades de hortifrutigranjeiros de grande porte que podem servir de insumo para produção de biogás?

Os protocolos desta pesquisa foram apoiados na ferramenta Parsifal (2018), e a Tabela 1 traz a estratégia adotada para auxílio nas buscas através das palavras-chave.

Tabela 1: PICOC

PICOC	Palavras-chave
<i>Population</i> – População	varejo, hortifrutigranjeiros
<i>Intervention</i> - Intervenção	resíduos orgânicos, frutas, legumes, verduras
<i>Comparison</i> - Comparação	não definido
<i>Outcome</i> - Resultado/fim	biomassa, biogás, biofertilizante
<i>Context</i> – Contexto	supermercados, desenvolvimento sustentável

Fonte: Elaborado pelos autores.

Vale observar que a comparação não foi relacionada a nenhum termo por não ser relevante no contexto observado. Além disso, as palavras-chave mostradas apoiaram a definição de uma *string* de busca que viabilizou a seleção de referências para o desenvolvimento do trabalho, utilizando o Google Acadêmico como fonte. Adicionalmente, para definição da *string* de busca relacionada na Tabela 2, houve a seleção das palavras-chave que não traziam limitações para o estudo, além da inclusão da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) por tratar-se da legislação que organiza a forma com que se deve lidar com resíduos, estar presente em materiais referenciais encontrados e dar embasamento à proposta final, justificando a conclusão junto à pergunta de pesquisa.

Tabela 2: *String* de busca.

<i>String</i>	"geração" AND "resíduo" AND "orgânico" AND "varejo" AND "PNRS" AND "biogás"
---------------	---

Fonte: Elaborado pelos autores.

A pesquisa retornou oitenta e cinco resultados, os quais foram analisados conforme



os critérios de seleção incluídos na Tabela 3.

Tabela 3: Critérios de seleção de referências.

Tipo	Descrição
Critérios de Inclusão	Materiais em português ou inglês
	Materiais que contêm abordagens em contexto similares ao varejo
	Materiais que trazem reflexões sobre a utilização dos resíduos orgânicos para geração de biogás
Critérios de Exclusão	Materiais pagos ou indisponíveis
	Alternativas não similares à geração de biogás a partir de resíduos orgânicos
	Geração de biogás a partir de resíduos que não sejam provenientes de alimentos

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base na seleção definida, quatorze materiais atenderam aos critérios de inclusão e a seleção descrita previamente pode ser resumida no fluxo exposta na Figura 1:

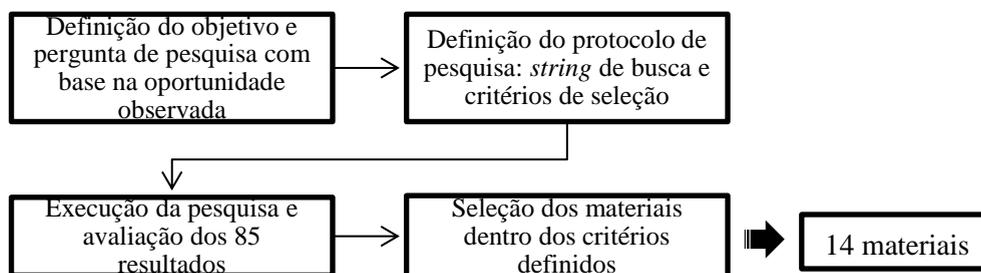
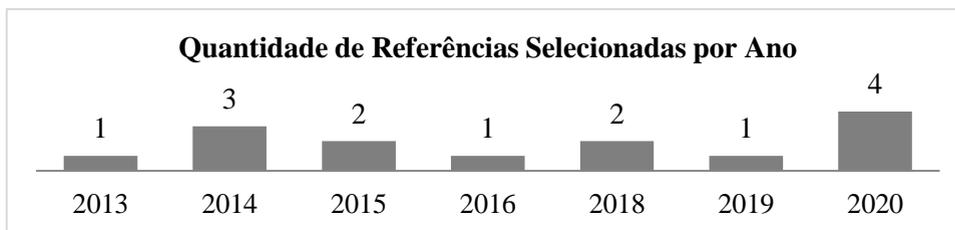


Figura 1: Fluxo da pesquisa (fonte: elaborado pelos autores).

O Gráfico 1 mostra a quantidade de referências resultantes por ano.

Gráfico 1: Quantidade de referências selecionadas por ano.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir disso, foi feita uma revisão bibliográfica para sustentar a análise dos dados de geração de resíduos e as contribuições de cada material selecionado estão disponíveis na tabela do link abaixo:

<https://drive.google.com/drive/folders/1Jqw9y2UBQWXQ3K0AcmAObHRv0h-l8yj?usp=sharing>

A técnica do *snowballing* foi incluída para examinar e selecionar referências de relevância para o trabalho, cuja seleção não foi dada a partir da *string* de busca na fonte citada. Logo, houve adição de quatro referências, sendo elas: o software de análise estatística de dados, uma calculadora para estimativa do potencial energético dos resíduos e a ferramenta para a revisão sistemática e a referência da revisão sistemática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1) Discussão

A alta geração de resíduos orgânicos proveniente da atividade comercial é o ponto de criticidade no cenário observado, unidades de hortifrutigranjeiros. Atualmente, todo resíduo orgânico gerado é coletado por uma empresa terceirizada se serviço de coleta de lixo, cujo valor é cobrado por volume e a destinação são aterros. Dias (2014) ressalta que existem poucas iniciativas de destinação correta dos resíduos sólidos urbanos, englobando os resíduos orgânicos, e o tratamento e a disposição final deles se dão, majoritariamente, em aterros e, inclusive, em lixões, visto que ainda existem locais que não possuem as condições técnicas ideais para qualificação de aterro no nosso país. Cunha (2014) afirma que o envolvimento de todos os atores da sociedade é essencial para que a responsabilidade da destinação adequada dos resíduos seja também assumida pelos geradores. No contexto empresarial, vale enfatizar que há um destaque na geração de resíduos contrastando com a existência de ações que de fato haja uma definição estratégica para a melhor gestão dos resíduos gerados. Nesta discussão, é importante destacar também o passivo financeiro existente, pois se investe em uma destinação que não ideal do resíduo, pagando pela coleta. Sendo assim, fica evidente a necessidade de repensar esse fluxo com alternativas de



aproveitamento, considerando as quantidades diárias de resíduos orgânicos descartados.

Considerando estes pontos e olhando para as possibilidades de reaproveitamento dos resíduos, encontra-se no processo de geração de biogás uma alternativa que se encaixa não somente na necessidade de reaproveitamento dos materiais, mas também no baixo investimento, simplicidade e capacidade de reversão de despesas. Ampliando mais este último benefício, existem dois principais ganhos, sendo eles a anulação da despesa do gás de cozinha que chega a ultrapassar R\$ 2.000,00 por mês em cada unidade e a redução da despesa de coleta de lixo que chega a ter uma média mensal de R\$ 7.000,00 em cada unidade. Vale acrescentar que as estruturas dessas cinco unidades permitem a instalação de um biodigestor da grande escala e, do ponto de vista operacional no processo, não existe nenhum limitador dado que a separação do lixo orgânico já é feita atualmente.

Conforme abordado anteriormente, a composição do substrato, quantidade de matéria orgânica e outros fatores também influenciam na estabilidade para um processo de produção de biogás. Em uma mistura de frutas, legumes e verduras, cada item possui um valor de pH que interfere no processo de biodigestão visado. É importante que o pH esteja equilibrado na fase inicial do processo e não seja reduzido posteriormente, porém, as frutas, principalmente cítricas apresentam um grande risco nesta etapa. Por isso, para certificar-se que a análise compreende somente materiais que resultarão em um resíduo com potencial real para utilização em um biodigestor, considera-se somente o que é proveniente de legumes, verduras e ovos, estando alinhado ao conceito ideal da co-digestão (PAVI, 2016).

2) Resultados

São analisados os dados de geração de resíduos orgânicos provenientes de legumes, verduras e ovos no período de um bimestre em cinco unidades de uma rede de hortifrutigranjeiros. As unidades localizam-se na Barra da Tijuca, no Rio de Janeiro. Os dados são provenientes dos lançamentos diários de perda e doação de cada material caracterizado nas três categorias citadas dentro período definido. A tabela de dados brutos está disponível para a consulta no link a seguir:

https://drive.google.com/drive/folders/1cys_MJTmfFqjxhnNOJbzP-2GSPZFml7a?usp=sharing

Considerando os dados de quantidades diárias, em quilos, do segundo bimestre deste ano, temos na Tabela 4 as estatísticas básicas obtidas através do Minitab.

Tabela 4: Estatísticas básicas.

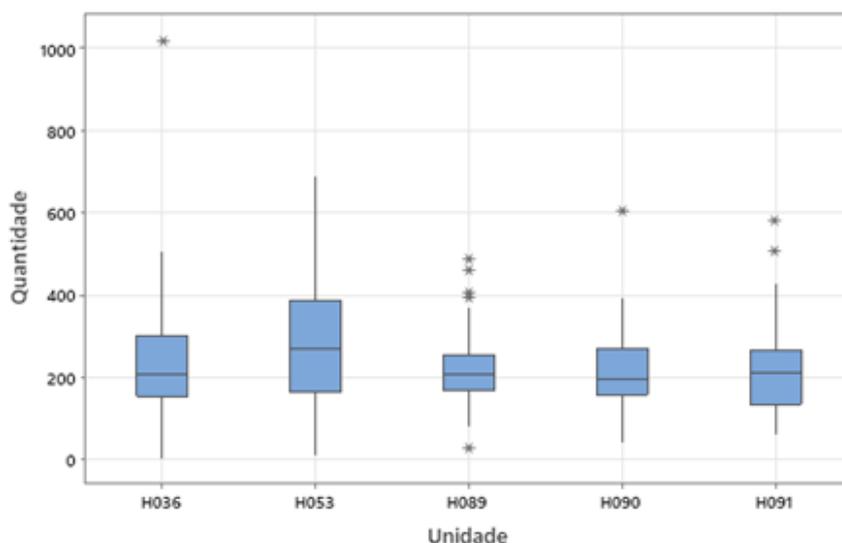
Estatísticas

Variável	Unidade	N	N°	Média	EP	Média	DesvPad	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Quantidade	H036	52	0	237,2	22,0	158,7	2,0	153,6	209,5	301,7	1021,1	
	H053	52	0	276,4	21,1	152,2	10,2	163,3	270,1	388,9	689,2	
	H089	49	0	223,7	13,8	96,6	26,3	167,5	207,8	253,1	488,6	
	H090	60	0	211,0	11,4	88,4	42,8	159,0	197,4	270,7	605,7	
	H091	50	0	216,5	14,9	105,3	61,4	134,9	211,1	267,5	582,1	

Fonte: Elaborado pelos autores.

Esta etapa inicial resume os dados de forma que possamos compreender melhor a média de produção de resíduo gerada diariamente em cada uma das unidades. Avançando nessa compreensão, o Gráfico 2 mostra o boxplot com o objetivo de verificar a distribuição dos dados, além da medida central. Ou seja, pode-se observar, além do centro dos dados, suas dispersões (amplitudes) e a presença de *outliers*.

Gráfico 2: Boxplot de quantidade.



Fonte: Elaborado pelos autores.

No Gráfico 2 é possível observar que a unidade com a menor diferença de geração diária é a H089, em contraste com a H053 que possui maior dispersão dos seus dados,



apontando uma variação da quantidade gerada diariamente. Porém, de forma geral, o centro dos dados não sugere diferenciação para esta primeira análise superficial.

Com intuito de aprofundar as análises dos dados, é feito um teste de normalidade para entender a distribuição dos dados. Ressaltando o fato de que os testes de normalidade são influenciados pelo tamanho amostral quanto à sua eficiência, foi selecionado o teste de Kolmogorov-Smirnov, indicado para espaços amostrais com amostras que têm acima de 30 dados. O resultado do valor-p neste teste foi inferior ao nível de significância de 5% (valor-p=0,010). Considerando a hipótese nula de que os dados possuem distribuição normal e a hipótese alternativa de que não possuem, aceita-se a alternativa.

Sendo assim, não é necessário fazer o teste de homoscedasticidade, logo, é feita a comparação das médias utilizando um teste não paramétrico. Como trata-se de um grupo de cinco unidades com mais de 30 dados cada, o teste utilizado para comparação das médias foi o de Kruskal-Wallis. O resultado alcançado para o valor-p foi de 0,138 e, também considerando um nível de significância de 5% e com a hipótese nula de que os dados possuem distribuição normal e a hipótese alternativa de que não possuem, aceita-se a nula.

Sendo assim, considerando a similaridade da geração média do resíduo orgânico, foi feita uma estimativa para compreensão da geração de biogás por dia. É importante mencionar que a demanda média de gás de cozinha nestas unidades varia entre 8 m³ e 10 m³ por dia. BITECO (2019) disponibiliza uma calculadora para que o potencial de geração de biogás do composto possa ser previamente alcançado e, como resultado, temos uma variação entre 12 e 16 m³ que atende as necessidades das cozinhas dos estabelecimentos. Ou seja, dada a similaridade na geração, da composição do substrato e a confirmação prévia do suprimento da necessidade energética dos estabelecimentos, é possível concluir da análise que esse resíduo pode ser destinado a biodigestores e, inclusive, o dimensionamento em cada uma das unidades se dará de forma similar, principalmente apurado no fato de que as quantidades de substrato inseridas no sistema e a geração obtida é similar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados é possível dimensionar biodigestores similares para as cinco

unidades, considerando que a geração média de resíduo orgânico com potencial para geração de biogás é similar. Inclusive, vale ressaltar que ampliação dessa mesma proposta em escala otimiza o investimento inicial, e consequentemente o *payback*, permitindo a padronização das operações nesta região. Vale destacar que essa análise visa o embasamento para uma proposta cuja destinação de grande parte dos RSU gerados nas unidades se tornaria adequada. Os ganhos para a rede de forma geral são muito interessantes, pois ao finalizar as condições de comercialização de parte da mercadoria, haveria um insumo para outro processo que agrega valor para o negócio. Pontos de validação que podem ser explorados em oportunidades futuras incluem a variação da geração diária destes resíduos, tanto em quantidade, quanto nas suas composições, e possíveis impactos no processo. Adicionalmente, todo este levantamento pode ser complementado de duas maneiras: realizando um estudo de viabilidade detalhado e comparando o processo de biodigestão para produção de biogás com outras possíveis oportunidades para destinação adequada dos resíduos orgânicos como a venda destes resíduos para outros tipos de produção, compostagem e incineração.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, E. et al. **Perdas pós-colheita de frutas e hortaliças no Maranhão: estimativas, causas, impactos e soluções**. Maranhão: EDUFMA, 2020.

ARAÚJO, C. et al. Resíduos sólidos orgânicos gerados nos estabelecimentos comerciais de Marabá-PA, do problema às soluções. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.6, n. 9, p.72827-72846, setembro 2020.

BIOGAS CALCULATOR. **BITECO**: Construction of modern biogas plants. Página inicial. Disponível em: <<https://biteco-energy.com/biogas-calculator/>>. Acesso em: 23 de julho de 2021.

BLASIUS, J. **Influência de diferentes composições de resíduos alimentares no processo de biometanização**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, São Paulo, 2019.

CUNHA, E. **Ações e Estratégias para o reaproveitamento do resíduo orgânico: o caso do supermercado C&S de Cruz das Almas-BA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Faculdade Maria Milza. Governador Mangabeira, Bahia, 2014.



DIAS, L. **Contribuição ao estado de Goiás na gestão dos resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás. Goiânia, Goiás, 2014.

GALVÃO, M.; RICARTE, I. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: CONCEITUAÇÃO, PRODUÇÃO E PUBLICAÇÃO. **Logeion: Filosofia da Informação**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019. Disponível em: <<http://revista.ibict.br/fiinf/article/view/4835>>. Acesso em: 21 de julho de 2021.

HAYASHI, Carmino et al (Coord). **Ciências Ambientais: Gestão e Educação Ambiental**. 1. ed. Minas Gerais, 2020.

JESUS, J. **Ações e Estratégias para o Manejo Sustentável dos Resíduos Orgânicos Gerados no Município de Sapeaçu-BA.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração) - Faculdade Maria Milza. Governador Mangabeira, Bahia, 2015.

MINITAB, LLC. 2021. Disponível em <<https://www.minitab.com/pt-br/products/minitab/free-trial/>>. Acesso em

MONZONI, M. (Coord.). **Waste and Post-Consumer Waste**. Rio de Janeiro: FGV, 2013.

PAIXÃO, S. **Produção de biogás a partir de resíduos de alimentos: uma proposta para um restaurante em Recife.** Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2018.

PARSIFAL, Ltd. 2018 (disponível em <https://parsif.al/>).

PAVI, S. **Produção de biogás a partir da co-digestão da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos e resíduos de hortifrutigranjeiros.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo, Rio Grande do Sul, 2016.

PEREIRA, D. **Implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos em um restaurante universitário da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2018.

SANTANA, R., ARAGÃO JÚNIOR, W., EL-DEIR, S. **Resíduos Sólidos: Desenvolvimento e Sustentabilidade**. 1 ed. Recife: EDUFRPE e Gampe/UFRPE, 2020.

SANTOS, B. **A gestão de resíduos sólidos: um estudo no setor supermercadista do município de Cacoal/RO.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Rondônia, Cacoal, Rondônia, 2015.

VITALI, M. **Estudo de Alternativas de Processos de Coleta e Separação de Resíduos Sólidos Domiciliares para o Município do Rio de Janeiro.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.