

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
Câmpus Inhumas

Coordenação de Licenciatura em Química



**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA
BIODEGRADAÇÃO AERÓBICA ACELERADA A
PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE
RESÍDUOS DE ALIMENTOS**

Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva

INHUMAS – GO
Março, 2022

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
Câmpus Inhumas

Coordenação de Licenciatura em Química

Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA
BIODEGRADAÇÃO AERÓBICA ACELERADA A
PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE
RESÍDUOS DE ALIMENTOS**

Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao IFG-GO/Campus Inhumas como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges
co-Orientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá

INHUMAS – GO
Março, 2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Silva, Marcos Aurélio Leandro Alves da

S586 Características químicas da biodegradação aeróbica acelerada a partir do reaproveitamento de resíduos de alimentos [Manuscrito]. / Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva – Inhumas: IFG, 2022.

38 f.

Bibliografia.

Orientadora: Prof. Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges.

Co-orientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá

Trabalho de conclusão de curso de Licenciatura em Química – IFG/Câmpus Inhumas, 2022.

1. Reaproveitamento 2. Resíduos de Alimentos 3. Biocompostagem Acelerada. 4. Borges, Elisangela Cardoso de Lima (orientadora). 5. Sá, Fernando Pereira de (co-orientador) I. Título.

CDD 664.07

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária
Larissa Stefane Rodrigues de Lima - CRB/1-3424
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Câmpus Inhumas – Biblioteca Atena



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese | <input type="checkbox"/> Artigo Científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC - Graduação | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva

Matrícula: 20181030020079

Título do Trabalho: Características Químicas da Biodegradação Aeróbica Acelerada a partir do Reaproveitamento de Resíduos de Alimentos

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: Não Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 31/03/2022

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inhumas, 31/03/2022.

Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS INHUMAS

Marcos Aurélio Leandro Alves da Silva

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA BIODEGRADAÇÃO AERÓBICA ACELERADA A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RE
DE ALIMENTOS**

Monografia apresentada à banca examinadora da Coordenação de Licenciatura em Química do Instituto Federal de Ed
Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Inhumas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciada
Química.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Elizângela Cardoso de Lima Borges
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/Câmpus Inhumas

Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/Câmpus Inhumas

Profa. Dra. Karla Ferreira Dias Cassiano
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/Câmpus Inhumas

Prof. Dr. Igor Saviozi Flaus
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/Câmpus Inhumas

Inhumas, 17 de março de 2022

Documento assinado eletronicamente por:

- Karle Ferreira Dias Casiano, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 25/03/2022 15:16:37.
- Igar Savioli Flores, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/03/2022 09:55:07.
- Fernando Pereira de Sa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/03/2022 14:51:01.
- Eliangeli Cardoso de Lima Borges, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/03/2022 10:28:24.

Este documento foi emitido pelo SIAPE em 05/03/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça o leitura do QRCode ao lado ou acesse https://suaq.ifg.edu.br/autenticar_documento/ e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 258004

Código de Autenticação: 8e04de28c7



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Av. Universitária, S/Nº, Vale dos Golbeiros, INHUMAS / GO, CEP 75402-556
(62) 3514-9543 (ramal: 9543)

AGRADECIMENTOS

À Deus por me dar forças para alcançar meus objetivos.

À minha mãe por estarem sempre ao meu lado me apoiando, incentivando, cuidando e se dedicando a mim com todo amor e carinho.

Aos meus familiares, que de uma forma ou de outra, colaboraram para a minha conquista. Em especial aos meus avós José Alves da Silva (in memoriam) e Terezinha de Jesus Junqueira Silva.

À professora Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges que muito se dedicou e contribuiu para meu desenvolvimento e aprendizagem durante os três anos que me orientou em Iniciação Científica. Também agradeço pela confiança depositada em mim para que pudéssemos realizar este trabalho.

À todos os professores que estiveram presentes em minha jornada compartilhando conhecimento e incentivando o meu crescimento enquanto discente do IFG.

Ao Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá, que sempre me auxiliou nas pesquisas.

Aos amigos pelos simples gestos de amizade, contribuindo com bons momentos, tornando essa jornada mais feliz e inesquecível.

À todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Tendo em vista a necessidade de redução da disposição de resíduos sólidos no meio ambiente e do potencial energético advindo do reuso destes como uma opção de grande potencial econômico e social, este projeto tem como objetivo apresentar os resultados das variáveis pH, oxigênio atmosférico, umidade e temperatura para a biodegradação aeróbica acelerada a partir do reaproveitamento de resíduos sólidos, tais como arroz, feijão, entre outros alimentos crus e cozidos. Foram realizados estudos da variação carbono (serragem):nitrogênio (alimentos) em 3 biodigestores com o monitoramento de pH, umidade, temperatura e O₂ atmosférico em equilíbrio para entender como funciona o processo de biodegradação aeróbica. Por meio de adaptação na tampa do biodigestor, foi possível introduzir os eletrodos para medição de temperatura e O₂ sem que houvesse a abertura e remoção do biocomposto, ao contrário para as medições de pH e umidade em que antecipadamente há a remoção do biocomposto. As medições realizadas aconteceram durante um período de 31 dias, sendo realizadas por meio de triplicata, para que desse modo, os resultados alcançados fossem mais precisos. Caso alguma variável apresentasse extrapolação com valores de referências acadêmicas para a manutenção do biocomposto este era controlado com água, serragem ou fluxo de oxigênio. Observou-se, por meio dos resultados que o biodigestor 3 com massa igual a 1250 g (cerca de 500 g de alimentos e 750 g de serragem) apresentou um melhor resultado quanto à biodegradação com característica de menor tempo para atingir a fase semicurada (22 dias).

Palavras-chave: Reaproveitamento; Resíduos de Alimentos; Biocompostagem Acelerada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
3 OBJETIVOS	17
3.1 Objetivo Geral	17
3.2 Objetivos Específicos	17
4 METODOLOGIA	18
4.1. Coleta, Separação e Armazenamento	18
4.2. Descrição do biodigestor aeróbico	18
4.3. Relação C/N no preparo das amostras	18
4.4. Determinação multiparamétrica de gases (O ₂) e temperatura	22
4.5. Determinação do pH	22
4.6. Determinação da umidade	22
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1. Fases da biodigestão	23
5.2. Relação C/N e a Temperatura	26
5.3. Análises gráficas	29
6 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

A produção de resíduos sólidos guarda relação não só com o nível de riqueza, refletido na capacidade econômica para consumir, mas também com os valores de cada pessoa, determinantes do grau de disposição para a realização do consumo (GODECKE *et al.*, 2012). Diante da necessidade de destinação correta dos resíduos sólidos, é necessário um reaproveitamento ainda maior. É ilustrativa a comparação da cultura americana e japonesa:

Enquanto os primeiros geram cerca de dois quilogramas de resíduos sólidos urbanos (RSU) por habitante ao dia, os japoneses, também de elevado poder aquisitivo, apresentam comportamentos que resultam numa geração significativamente menor, pouco superior a um quilograma. (GODECKE *et al.*, 2012).

Muitas discussões estão voltadas para a questão do reaproveitamento ou destinação correta de resíduos, diante dos processos de reciclagem, compostagem. A grande problemática deveria estar não apenas voltada para o reuso ou destinação inadequada, mas sim, em ações que visam a não geração de resíduos (GODECKE *et al.*, 2012).

Diante do cenário de aumento da produção de resíduos orgânicos, diversos artigos científicos têm sido escritos em universidades e em toda a comunidade científica sobre o tema dos resíduos sólidos, envolvendo tanto a questão qualitativa sócioambiental como aspectos quantitativos de análises ambientais visando a mitigação dos impactos.

Neste cenário do tratamento dos resíduos para uma destinação adequada e, conseqüente redução na quantidade de rejeitos em aterros, há muito utilizam-se os resíduos de alimentos como matéria-prima na compostagem e o uso da biomassa (produto final) como biofertilizante e/ou biocombustíveis.

Nesta pesquisa, serão estudadas as diferenças entre alguns parâmetros químicos na variação das quantidades de carbono (resíduos provenientes da serragem de madeira MDF) e nitrogênio (resíduos provenientes de sobras de alimentos residenciais) em um processo de biodigestão aeróbica (ou compostagem) acelerada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Resíduos Sólidos Urbanos

Atualmente, a demanda por energia limpa e sustentável tem sido um dos temas mais comentados em noticiários, jornais e pesquisas acadêmicas devido, principalmente, à questão da urbanização e agropecuária aceleradas, que contribuem para o aumento do consumo energético, hídrico (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020) e de novos materiais gerando a necessidade urgente do reaproveitamento adequado dos resíduos gerados e disposição, quiçá em pouca quantidade, do rejeito (SAATH *et al.*, 2018).

O Brasil é um país com muitos recursos naturais, todavia, utiliza os mesmos de maneira desordenada, o que necessita de uma intermediação da União, juntamente com os entes federativos e a sociedade em geral (PECCATIELLO, 2011).

Em outra ótica, diante da capacidade de reciclar os resíduos produzidos, o país perde uma oportunidade de ser destaque neste quesito. Anualmente, são produzidas cerca de 80 milhões de toneladas de lixo no Brasil, onde 90% pode ser reciclado, mas apenas 4% possui a adequada destinação e, olhando as questões sociais, o resíduo reciclável pode ser fonte de renda para uma economia circular e solidária, se fosse tratado de maneira correta em nossa sociedade (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2020).

2.2. Legislações para utilização

O Brasil é um dos países mais avançados no que diz respeito à legislação sobre resíduos sólidos por possui uma política própria para tal. A Política Nacional de Resíduos Sólidos, sob forma de Lei nº 12.305/10 (BRASIL, 2010a; 2010b), dispõe sobre uma destinação mais adequada para os resíduos sólidos urbanos, além de propor metas para o gerenciamento dos mesmos, sobretudo com os chamados Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2021).

Em 2020, o Governo Federal avançou no tratamento de resíduos sólidos eletrônicos, assinou o decreto nº 10.240, complementando a Lei nº 12.305/10 criando o sistema de logística reversa, onde serão destinados aproximadamente 67 milhões de reais aos estados, buscando auxiliar a implementação desta política (BRASIL, 2021).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída pela Lei n. 12.305/2010 (BRASIL, 2010a), regulamentada pelo Decreto n. 7.404/2010 (BRASIL, 2010b), é um marco na legislação ambiental brasileira, pois pela primeira vez na história legislativa do Brasil, foi produzida uma norma voltada à problemática dos resíduos sólidos. As principais inovações trazidas por esta

lei foram: a implementação da coleta seletiva, elaboração de planos de gestão de resíduos sólidos por todos os entes da federação, a responsabilidade compartilhada dos resíduos gerados, e a valorização e inclusão social dos catadores de materiais recicláveis (LINHARES *et al.*, 2014; MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018).

Mas, onze anos após a regulamentação desta lei a coleta seletiva ainda não é uma realidade em grande parte dos municípios brasileiros. Dos 3.712 municípios participantes da 18ª edição de Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos elaborada pelo Ministério do Desenvolvimento Regional (BRASIL, 2020) apura-se que “1.438 (38,7%) dispõem de alguma forma de coleta seletiva. Em contrapartida há também 2.274 municípios (61,3%) que declararam não dispor desse serviço”.

2.3. Gestão de Resíduos Alimentícios

O setor alimentício no Brasil é responsável por grande quantidade de geração de resíduos sólidos quando comparado a outros países além dos poucos avanços em termos de uma logística reversa, como a reciclagem ou o reaproveitamento (STRASBURG; JAHNO, 2017)

Conforme mostra a Tabela 1, a geração de resíduos orgânicos e inorgânicos ocorrida num período de 5 dias numa unidade de alimentação e nutrição, na cidade de Taubaté/SP em 2014, foi de aproximadamente 486,6 kg.

Tabela 1 – Produção de resíduos sólidos em um restaurante universitário

Local e resíduos sólidos gerados	Peso (kg)	(%)
Estoque		
Papel/papelão	18,2	3,7
Plástico	2,5	0,5
Descarte de gêneros alimentícios	16,0	3,3
Guarda de amostras	12,6	2,6
Processamento das refeições		
Papel/papelão	2,5	0,5
Plástico	16,6	3,4
Lata	3,5	0,7
Resíduos orgânicos não recicláveis (papel toalha)	10,0	2,1
Pré-preparo hortaliças e frutas	138,9	28,5
Pré-preparo carnes	9,0	1,8
Sobras de alimentos no balcão de distribuição	101,8	20,9
Devolução		
Copos descartáveis/garrafas plásticas	14,5	3,0
Resíduos orgânicos não recicláveis (guardanapo)	4,4	0,9
Latas	0,6	0,1
Resto ingestão	135,5	27,8
Total	486,6	100,0

Fonte: Gardim e Ueno, 2015

Os autores concluíram que:

Do total de resíduos 85% eram orgânicos e derivados de: remoção de partes indesejáveis de hortaliças e carnes, restos de alimentos, sobras dos comensais, alimentos vencidos e amostras de alimentos e 15% eram resíduos compostos de papel/papelão, plásticos e latas. A maior geração de resíduos se deu no descarte de partes não comestíveis dos alimentos, sobras de alimentos produzidos e restrição, resultados esses relacionados ao desperdício dos alimentos, 100% destinados à compostagem. Quanto aos demais resíduos 80% eram destinados à reciclagem e 20% para o aterro sanitário (GARDIM; UENO, 2015).

Na cidade de Inhumas, a Indústria São João produtora de alimentos processados, possui uma etapa de reaproveitamento com geração de valor, ou seja, os resíduos de alimentos gerados após a produção são vendidos para reutilização (BRASIL, 2020). Essa é uma medida que as empresas precisam tomar, para que a produção seja sustentável. A destinação final dos resíduos sólidos deve ser sustentável e a biodigestão pode ser um processo aplicável neste quesito.

2.4. Breve Histórico da Compostagem

A história dos biodigestores se inicia com Jan Batista Helmont, no século XVII, ao analisar e correlacionar o decaimento da matéria orgânica com a formação de gases inflamáveis, como o gás metano, em um processo sem a presença de ar (sem oxigênio – anaeróbio) (LIMA, 2020).

O gás metano, por sua vez, é um hidrocarboneto simples cuja fórmula química é o CH_4 . Esse gás possui um elevado poder calorífico (já citado na Tabela 1) o que o torna uma excelente biocombustível, porém se não aproveitado ele causa um enorme impacto no aquecimento global (comparação em relação a uma unidade equivalente de dióxido de carbono, CO_2) conforme o potencial de aquecimento global dos gases de efeito estufa (GEE) para alguns gases descritos na Tabela 2, além de permanecer na atmosfera por até 20 anos, em média. Atualmente, o metano contribui com cerca de 15% do efeito estufa do planeta (GIODA, 2018).

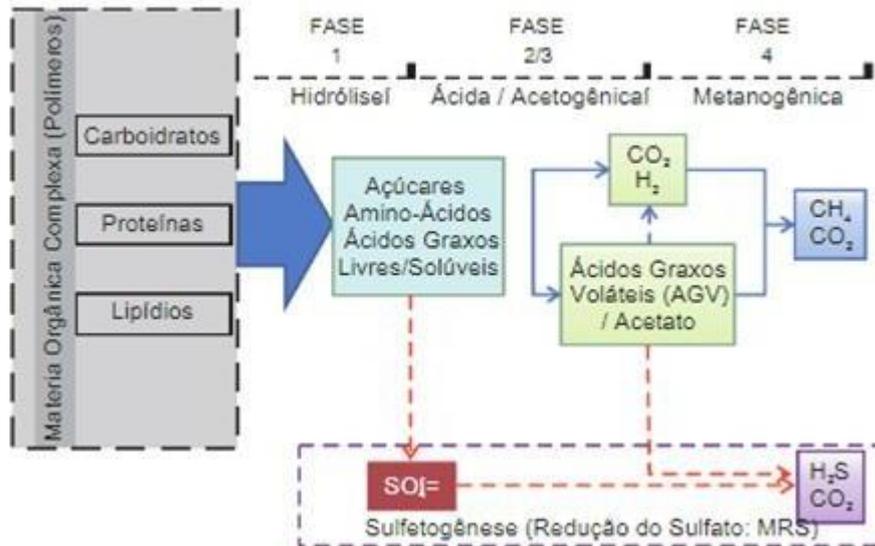
Tabela 2 – Potencial de aquecimento global dos GEE

Compostos	Fórmula Química	Potencial de Aquecimento Global (Horizonte de Tempo) 100 anos
Dióxido de carbono	CO_2	1
Metano	CH_4	25
Óxido nitroso	N_2O	298
Trifluoreto de nitrogênio	(NF_3)	17.200
Perfluorcarbonetos	(PFCs)	7.390 a 12.200
Hidrofluorcarbonetos	(HFCs)	124 a 14.800
Hexafluoreto de enxofre	SF_6	22.800

Fonte: Freitas Júnior, 2020.

O processo da biodigestão anaeróbica já é conhecido desde o século XIX, com o tratamento de esgotos na Inglaterra, desenvolvido na década de 1970. Os biodigestores são reatores biológicos utilizados como destino adequado e inteligente para aproveitar os resíduos orgânicos, onde a degradação é dividida em 4 etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese conforme esquema na Figura 2 (LIMA, 2020).

Figura 2 – Detalhamento das principais fases ou etapas do processo de biodigestão anaeróbica

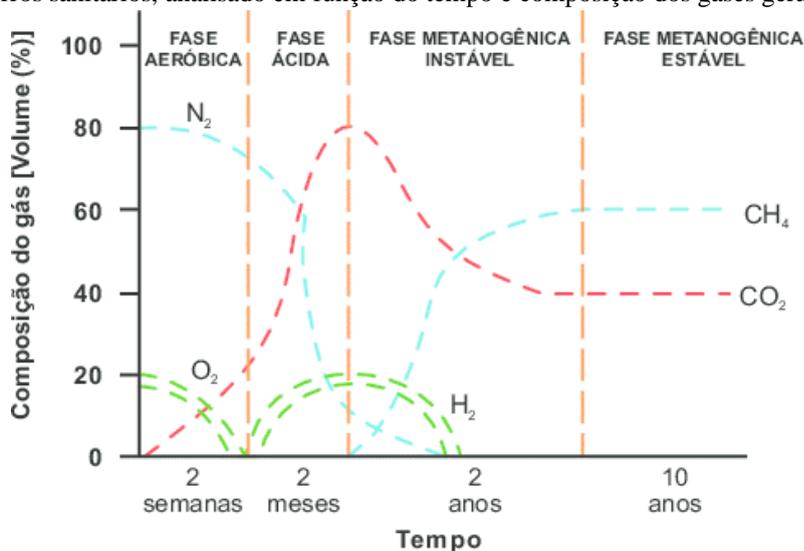


Fonte:-Cassini e Coelho (2014).

A biodigestão anaeróbica permite a redução significativa do potencial poluidor de dejetos orgânicos e representa um processo no qual não há grande geração de calor. As tecnologias de biodigestão anaeróbica de dejetos orgânicos, no Brasil, vem sendo bastante estudadas (CARON, 2009).

Lima (2020) demonstra na Figura 3 um modelo de acompanhamento da biodegradação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) por meio da evolução dos gases gerados na qual define as fases da biodegradação desde a etapa aeróbica até a etapa anaeróbica a partir dos substratos adicionados.

Figura 3 – Principais fases da biodegradação da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, analisado em função do tempo e composição dos gases gerados



Fonte: Lima, 2020.

A compostagem é um processo aeróbico na qual compreende as fases de produção do gás oxigênio, fase aeróbica, até o seu pico na fase ácida, ou seja, são etapas que antecedem a biodegradação anaeróbica de acordo com a Figura 3 apresentada acima e, ao contrário dos resíduos recicláveis, os resíduos orgânicos estão descritos em legislações sob a alçada do Ministério da Agricultura uma vez que a compostagem como solução gera o composto que é considerado insumo agrícola (SOUZERO, 2020).

A compostagem, como método de reciclagem do lixo doméstico para obtenção de fertilizante orgânico, é conhecida pelos agricultores desde longa data.

Segundo as definições de reciclagem e rejeitos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), processos que promovam a transformação de resíduos orgânicos em adubos e fertilizantes orgânicos devem ser entendidos como processos de reciclagem e devem ser estimulados como uma forma de promover a preservação dos solos, já que o adubo gerado substitui os fertilizantes minerais e contribui para a longevidade dos aterros sanitários. Além disso, a compostagem contribui com a mitigação às Mudanças Climáticas, ao auxiliar na incorporação de carbono no solo, redução de emissões de gases de efeito estufa do transporte e aterros sanitários (SOUZERO, 2020).

Segundo Almeida (2010) a compostagem como método de reciclagem de lixo doméstico para obter adubo orgânico já era bem conhecida ao longo dos anos com evidências há cerca de 2000 anos na China e, durante os séculos XVIII e XIX na Europa, no qual os agricultores se dirigiam até as cidades em crescimento com seus produtos e retornavam com adubo orgânico de resíduos sólidos.

Até meados do século XX, não existiram grandes problemas para o armazenamento desses resíduos. Logo, todos os resíduos sólidos urbanos que fossem combustíveis eram utilizados pela sociedade como meio para aquecimento, para uso em fogões de lenha. Até mesmo papéis como os jornais da época eram reutilizados, como por exemplo, para empacotamento em residências.

Hoje produzem-se, anualmente, grandes quantidades de resíduos de origem urbana, tais como lodo dos esgotos, produtos industrializados, embalagens e agropecuária como os dejetos orgânicos deste tipo de produção, bem como das indústrias de transformação de produtos florestais, entre outras. No entanto, por razões tecnológicas e econômicas poucos gestores públicos apoiam o seu reprocessamento, pelo que a maioria destes resíduos têm de ser depositados em aterros sanitários ou incinerados (ALMEIDA, 2010).

2.5. Fatores que Influenciam o processo de compostagem

Os principais parâmetros que influenciam no desempenho de usinas de compostagem são a aeração, umidade, relação carbono e nitrogênio (C/N), temperatura, pH e a qualidade da comunidade microbiana responsável pela biodegradação aeróbia da matéria orgânica (BIOGRID, 2021), podendo ser simplesmente monitorados ou até controlados.

2.5.1. Aeração

Para que a performance da compostagem seja satisfatória, é fundamental monitorar parâmetros como a aeração e garantir que seja eficiente (Biogrid, 2021).

O estudo de Stefanutti *et al.* (2019) analisou as diferentes variações da temperatura ao longo do tempo para leiras revolvidas e leiras estáticas com aeração passiva utilizando restos de alimentos e podas trituradas da zona urbana além de aferir a composição dos gases gerados O₂, CO₂ e CH₄. O grupo concluiu que a leira estática com altura de 1,00 m se destacou das demais por ser a única a manter a temperatura dentro dos padrão de higienização exigido pela CONAMA 481/2017.

Compostagem em leiras revolvidas, de forma manual ou com uso de máquinas, e com leiras estáticas com aeração forçada, são as metodologias mais comumente empregadas. O método em leiras estáticas com aeração passiva, em que oxigênio é fornecido de forma natural por convecção, é uma alternativa para redução de custos e maior simplicidade operacional. [...] compostagem em leiras estáticas com aeração passiva utiliza equipamentos simples, com redução da mão de obra e reduz a geração de maus odores (STEFANUTTI *et al.*, 2019).

2.5.2. Umidade

A temperatura é determinante no processo de degradação dos resíduos orgânicos pois influenciará diretamente no tipo de microorganismos para a realização desta transformação aeróbica. Além disso, a temperatura também impactará na manutenção da umidade do ambiente a ser degradado, que também possui uma correlação com o desenvolvimento microbiano.

Materiais orgânicos com baixa umidade necessitam de um acréscimo de água (de acordo com o tipo de matéria) para que se atinja uma relação propícia de temperatura (ECYCLE, 2022). Já a manutenção da umidade adequada é importante por dois motivos. Inicialmente a água é necessária no metabolismo microbiano, pois ela concorre com o oxigênio pelos mesmos espaços na matriz da leira. Por tanto, o excesso ou a escassez de água são capazes de estancar a atividade microbiológica (CARLESSO, 2012).

2.5.3. Temperatura e Microorganismos

As milhares de bactérias co-existentes durante a biodigestão trabalham em temperaturas diferentes umas das outras. Cada grupo de bactérias possui uma temperatura ideal de trabalho onde sua eficiência é maior estimulando seu crescimento, inibindo-o ou até mesmo matando-os (PORTAL DO BIOGÁS, 2022).

Para cada microorganismo existem temperaturas mínima, máxima e ótima e, de acordo com o seu ótimo, podemos classificar os microorganismos como (NITZKE; BIEDRZYCKI, 2021):

- **psicrófilos**, ótimo em 10 °C
- **psicrotróficos**, temperatura ótima entre 25 e 30 °C
- **mesófilas**, ótimo está entre 20 e 40 °C
- **termófilos**, cujo ótimo se localiza em torno de 60 °C.

2.5.4. pH

O processo de biodigestão é bastante sensível às condições do meio podendo-se citar a temperatura, o teor de nitrogênio, sólidos totais e principalmente ao potencial hidrogeniônico, pH (PAIVA *et al.*, 2010).

O pH tem influência em qualquer atividade microbiana. Variadas espécies de microorganismos se adaptam e têm atividade ótima em diferentes faixas de pH, e cada resíduo

utilizado na mistura para compostagem vai influenciar na dinâmica microbiana principalmente na fase inicial da compostagem (CARLESSO, 2012).

2.5.5. Tamanho da partícula

Com relação ao tamanho da partícula, o processo fica mais rápido e eficaz se os resíduos passarem por um moedor antes de irem para o biodigestor (quanto menor a partícula, mais rapidamente será deteriorada e gerará mais gás) (ORGANICS NEW BRASIL, 2022).

2.5.6. Odor

O odor é uma variável importante no sentido da caracterização do material em análise. Uma vez que o odor não está agradável, percebe-se que o material não está adequado, dando indícios de que a quantidade de umidade ou a temperatura possam estar acima do ótimo durante a determinada fase em que se encontra ou a falta de aeração.

No estudo do processo de compostagem como instrumento de preservação ambiental na Fundação Parque Zoológico de São Paulo feito por Cruz (2004), ao manter as condições ótimas de umidade e temperatura, ele observou que durante a etapa de biodegradação aeróbica não houve geração de odor desagradável, nem proliferação de moscas ou outra praga.

2.5.7. Relação C/N

A relação entre a quantidade de carbono e nitrogênio do substrato é fundamental para haja a formação dos ácidos orgânicos que serão transformados pelas bactérias metanogênicas em biogás. A proporção ideal está em torno de 1:30 ou 1:20. Muito mais ou menos do que isso, ocasionará perdas significativas ao processo de biodigestão (FARIA, 2021).

Se a relação C/N diminuir: isso significa carência de carbono e excesso de nitrogênio. O nitrogênio poderá ser perdido como amoníaco, causando odores desagradáveis e prejudicando a qualidade do composto. Deve-se adicionar quantidades do resíduo seco de serragem não envernizada (contém muito C, use proporção 1/1). (ECYCLE, 2021).

Se a relação C/N aumentar: significa que há pouco nitrogênio e excesso de carbono. (ECYCLE, 2021). A falta de nitrogênio irá limitar o crescimento microbiano e o carbono não será todo degradado, isso fará que a temperatura não aumente – o processo levará mais tempo e o produto final apresentará baixos teores de matéria orgânica. Materiais ricos em nitrogênio aceleram o trabalho dos organismos. Deve-se acrescentar materiais verdes, geralmente mais úmidos, como os resíduos de alimentos cozidos ou crus, ervas; borras de café; Folhas verdes e sacos de chá (ECYCLE, 2021).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar as condições químicas e físicas do processo de biodigestão aeróbica acelerada em resíduos de alimentos e madeira para aplicações da biomassa como biofertilizante ou biocombustível sólido.

3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar uma síntese de estudos bibliográficos a respeito do reaproveitamento de resíduos de alimentos para tratamento em um processo de biodigestão aeróbica;
- Analisar o comportamento das variáveis temperatura, pH e umidade no processo de biodigestão aeróbica acelerada;
- Discutir as diferenças físico-químicas no processo de biodigestão dada diferentes quantidades de Carbono e Nitrogênio da matéria-prima.

4 METODODOLOGIA

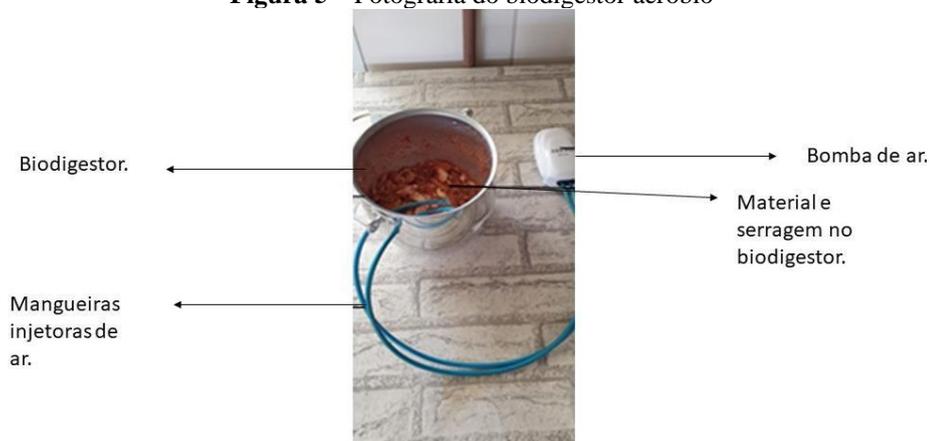
4.1. Coleta, Separação e Armazenamento

Os resíduos de alimentos foram coletados na própria residência dos autores e armazenados em sacolas plásticas rotulados com a data de coleta e tipo de resíduo. Devido a situação de pandemia e, no aguardo de um regulamento para acesso ao laboratório de pesquisa, o material foi colocado em freezer para que não ocorra a putrefação do mesmo.

4.2. Descrição do biodigestor aeróbico

Parte importante da biodigestão aeróbia, o biodigestor utilizado (FIGURA 5) foi uma montagem bastante simples e de tamanho reduzido com capacidade de armazenamento em cerca de 2 litros, feito em um recipiente de alumínio e com aberturas para entrada de duas mangueiras para bombeamento de ar das bombas de aquário com fluxo de 1,6 L/min, sendo uma mangueira posicionada na base do resíduo e outra acima.

Figura 5 – Fotografia do biodigestor aeróbio



Fonte: próprio autor, 2021

A tampa do biodigestor sofreu uma modificação com uma abertura para a colocação de um tubo que permitisse as medições do teor de oxigênio e da temperatura sem abrir a tampa, uma vez que não haveria interferências do meio exterior com o material em análise que ficou em repouso tampado durante 12 horas, ou seja, prazo entre cada medição até completar 30 dias.

4.3. Relação C/N no preparo das amostras

Para os valores da relação C/N utilizou-se ferramentas de cálculo de compostagem disponibilizadas na internet e que passa por algumas etapas de cálculo até atingir a resposta da

relação para 3 tipos de estudos: 20/1; 30/1 e 35/1 mantendo a massa de resíduos alimentícios constante e variando apenas a massa da serragem (pó fino de madeira MDF).

Etapa 1 – PMRC

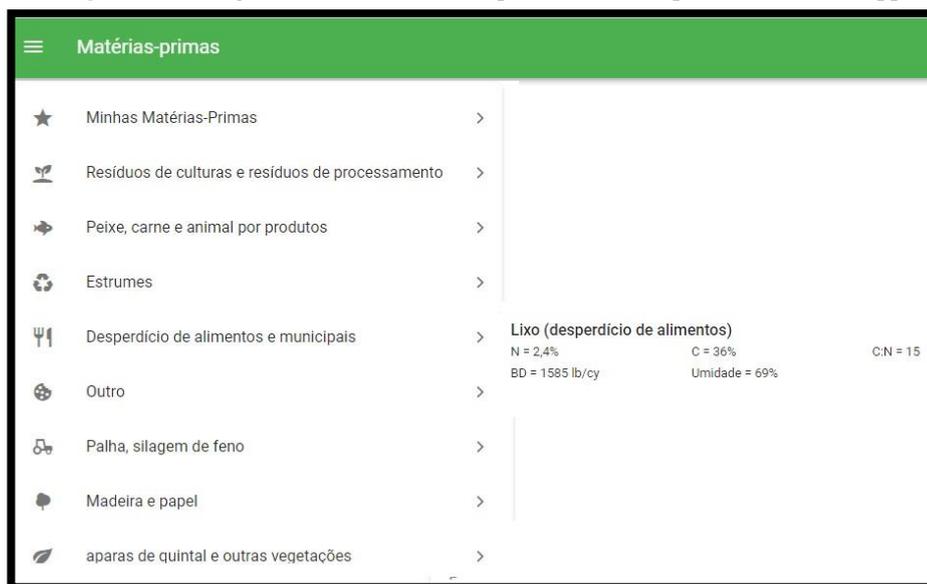
O primeiro cálculo a ser realizado é a determinação das porcentagens iniciais de cada tipo de resíduo no biodigestor de maneira que se possibilitasse obter uma relação C/N inicial da mistura. Utilizou-se a Equação 1 citada por Braga (2010), para determinar as partes de material rico em carbono (PMRC), necessárias à montagem dos resíduos no biodigestor, segundo a Wanu App (2021).

$$\text{PMRC} = \frac{(30 \times N_n) - C_n}{C_c - (30 \times N_c)} \quad (\text{EQUAÇÃO 1})$$

onde:

PMRC = partes de material rico em carbono
 N_n = teor de N do material rico em nitrogênio, %
 C_n = teor de carbono (C) do material rico em N, %
 C_c = teor de carbono do material rico em C, %
 N_c = teor de N do material rico em C, %

Os valores do percentual de Nitrogênio (predominante nos resíduos de alimentos) utilizados na fórmula acima foram extraídos dos dados disponibilizados numa calculadora eletrônica *online* para compostagem - Wanu App” (2021) - pelo acesso do item “Matérias-primas” até o “desperdício de alimentos WSU” (FIGURA 7), e para Carbono (predominante nos resíduos de madeira – neste trabalho utilizou-se resíduos finos da madeira MDF) como o link da “Madeira e Papel” não foi disponibilizado utilizou-se os resultados para os resíduos finos da madeira MDF disponibilizados por Andrade (2019) N (%) = 0,49 ± 0,2 e C (%) = 49,15 ± 2,2.

Figura 6 – Fotografia do link “Matérias-primas” da Compostcalc – Wanu App

Fonte: compostcalc, 2021

Etapa 2 – Proporção PMRC

Após obter este valor PMRC, encontrou-se a “proporção PMRC” considerando-se sempre como 1 para a parte de resíduo rico em nitrogênio (resíduos de alimentos) que deverá ser misturada com o resultado encontrado de PMRC para a parte de resíduo rico em carbono (resíduos de madeira MDF).

Para a “proporção PMRC” na serragem aplicou-se uma regra de três (EQUAÇÃO 2), generalizada:

em $1(N) + PMRC(C)$ temos PMRC de cada biodigestor (EQUAÇÃO 2)
em 100 partes..... $X..(%)$ serragem da madeira de MDF

Para encontrar “proporção PMRC” nos alimentos aplicou-se a diferença $(100 - X..(%)$ serragem madeira de MDF)

Etapa 3 – Relação C/N

Para achar a relação C/N realizou-se uma média ponderada dos nutrientes (C) e (N) em cada biodigestor conforme as Equações 3 e 4 abaixo:

$$C = [(\%C_n \times \text{“\%PMRC - alimentos”}) + (\%C_c \times \text{“\%PMRC - serragem”})] / 100 \quad (\text{EQ. 3})$$

$$N = [(\%N_n \times \text{“\%PMRC - alimentos”}) + (\%N_c \times \text{“\%PMRC - serragem”})] / 100 \quad (\text{EQ. 4})$$

A Relação C/N é obtida pela divisão dos resultados de C e N.

Para a obtenção de cada relação C/N escolhidas para estudo (20/1; 30/1 e 35/1) fixou-se a massa de resíduos de alimentos como 500 g e, aplicou-se essas fórmulas para encontrar a massa de serragem de madeira MDF a ser misturada com os resíduos de alimentos (QUADRO 1).

Quadro 1 – relação C/N do material em estudo

Relação C/N	Pó de serragem de MDF (g)	Resíduo de alimentos (g)
19:1	125 g	500 g
26:1	361 g	500 g
35:1	750 g	500 g

Fonte: Próprio autor

Cada biodigestor continha resíduos alimentícios - triturados em liquidificador no modo pulsar - provenientes da residência dos autores deste trabalho cuja composição em resíduos cozidos foi arroz, feijão, mandioca, macarrão, jiló e batata; mais os resíduos crus como casca de batata, casca de chuchu, tomate, maçã repolho e banana em diferentes quantidade de pó de serragem de madeira MDF (FIGURA 6) provenientes de marcenarias locais.

Figura 7 – serragem em MDF



Fonte: Mercado livre, 2021

O material em análise foi preparado para ser colocado no equipamento (biodigestor) de maneira homogênea, com o resíduo de alimento misturado juntamente com a serragem.

Todos os dias, durante as medições, o material foi homogeneizado com o auxílio de uma espátula, para que todo o material estivesse adequado às variáveis em análise.

4.4. Determinação multiparamétrica de gases (O₂) e temperatura

Através do tubo na tampa inseriu-se o medidor de gás oxigênio previamente calibrado (INSTRUTHERM, modelo PH-1500) em cada um dos três biodigestores. Após um tempo de estabilização da leitura em torno de 20 segundos anotou-se as medidas de oxigênio e de temperatura. Realizou-se a triplicata das medições para cada coleta seja para obtenção do desvio padrão da medida ou até mesmo para acompanhamento da estabilidade e robustez do equipamento.

4.5. Determinação do pH

Este procedimento requer a mistura prévia da biomassa, então abriu-se a tampa, homogeneizou-se com uma mistura e coletou-se cerca de 3 g do material e o suspendeu em 60 ml de água destilada. Com agitação realizou-se a medida do pH com um medidor de pH previamente calibrado (ATC, modelo pH de bolso). Realizou-se a triplicata das medições para cada coleta.

4.6. Determinação da umidade

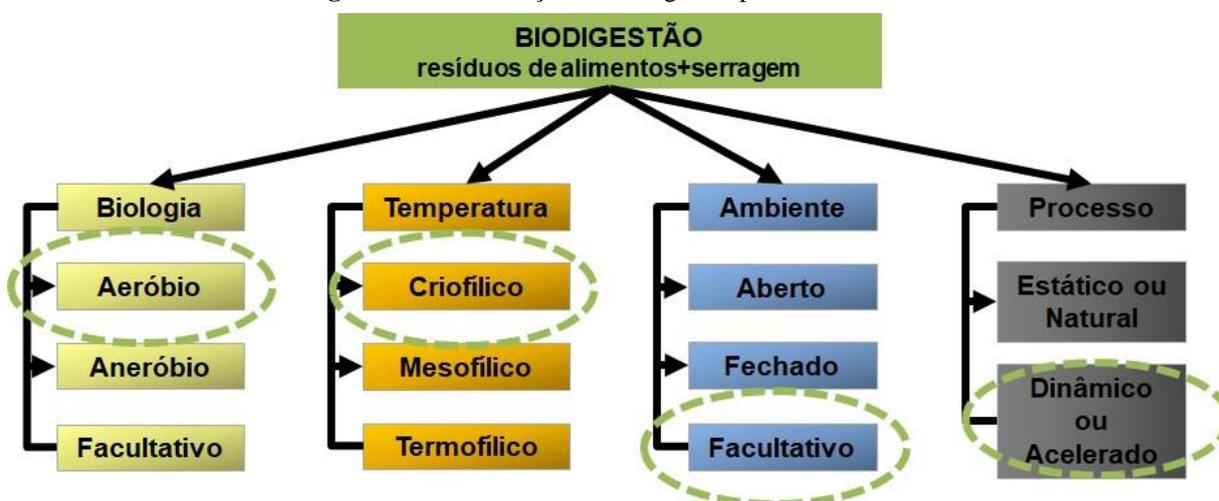
Para a realização da medição de umidade utilizou-se um medidor de umidade (SHIMADZU, modelo M0C63u). As medições consistiram em após a agitação da biomassa, retirar uma pequena parte da amostra e colocar sobre um prato de alumínio na balança do equipamento. Este, realizou a medição a cerca de 150 °C durante 15 minutos. Foram realizadas 3 medições com novas alíquotas para obter a certeza nos resultados encontrados. Posteriormente, fez-se a média entre os resultados encontrados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Fases da biodigestão

Com o objetivo de sintetizar a classificação da biodigestão realizada neste trabalho aplicou-se a proposta esquemática de Noguera (2011) feita para compostagem cuja adaptação está apresentada na Figura 8 com a delimitação pontilhada em verde para este trabalho.

Figura 8 – Classificação da biodigestão para este trabalho



Fonte: adaptação de Noguera, 2011.

Os resultados para este trabalho foram

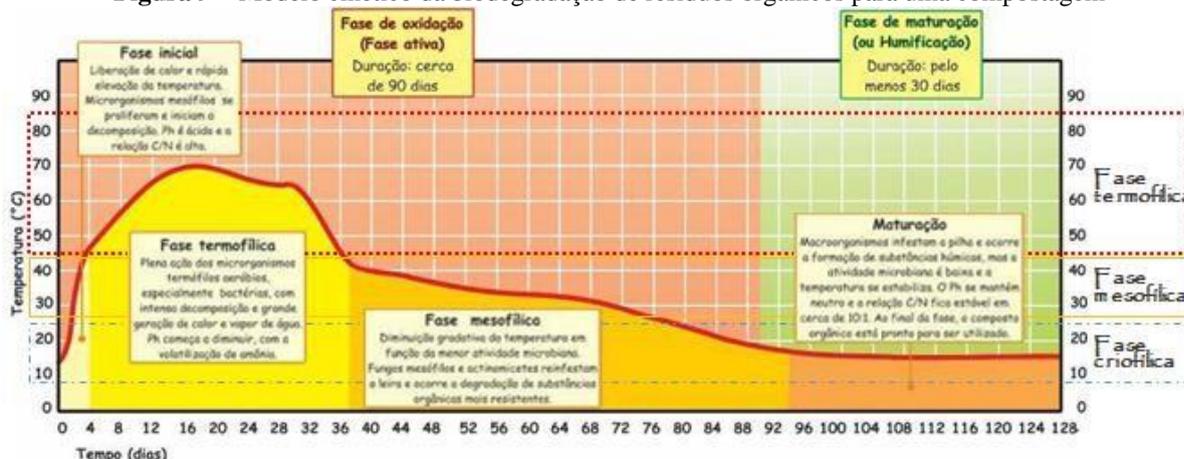
- Fluxo de ar total em cada biodigestor = 2 bombas de 1,6 L/min (ou 192 L/h)
- Tempo para finalizar a fase de bioestabilização no biodigestor com relação C:N = 35:1 gastou-se 22 dias e nos biodigestores 19:1 e 26:1 ambos gastou-se 28 dias.

Costa (2003) conseguiu melhores resultados com a injeção de ar em leiras de compostagem quando comparadas àquelas sem aeração. Comparando com este trabalho, o quesito tempo de realização do processo foi parecido, sobretudo com relação à temperatura, além de ter a relação C/N obtida na fase semicurado de 20:1.

Temperatura

O processo geral de compostagem pode ser dividido em três fases de produção de microorganismos altamente dependentes da temperatura: mesofílica, termofílica e de maturação, conforme descrito por Fetti (2013) e apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Modelo cinético da biodegradação de resíduos orgânicos para uma compostagem



Fonte: adaptação de Andrade, 2021.

As fases são caracterizadas numa relação da temperatura e a presença de microorganismos:

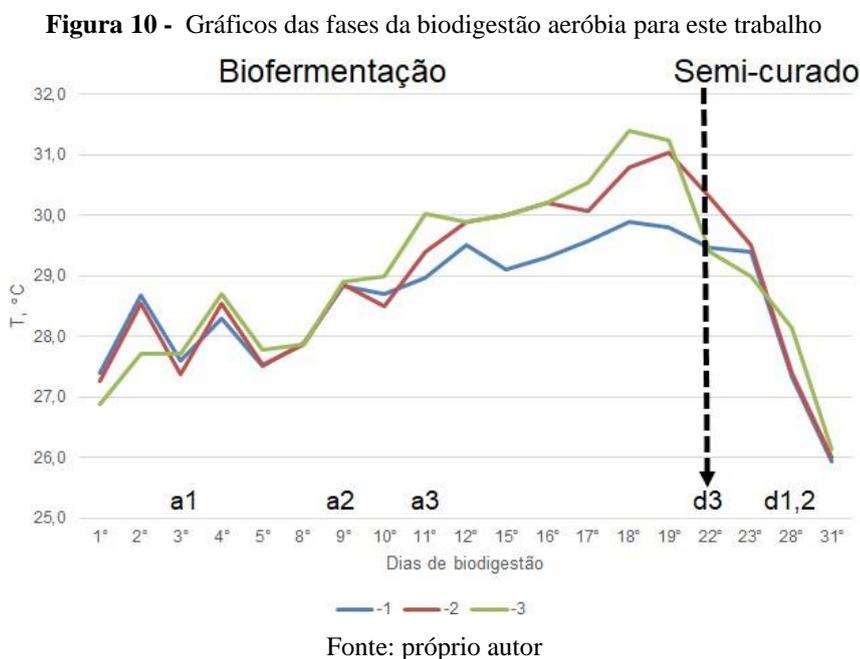
Criofílica: Os micro-organismos, principalmente bactérias psicotróficas que atuam nesta fase, sobrevivem em temperaturas mais amenas (abaixo de 25 °C). Essas bactérias vão metabolizar principalmente os lipídeos. Podem ocorrer no início e no final do processo de compostagem.

Mesofílica: ocorre após a fase inicial (fase criofílica) e a biofermentação (fase termofílica). Os micro-organismos (principalmente bactérias) que atuam nesta fase sobrevivem em temperaturas mais amenas de até 40 °C (25 – 40 °C). Essas bactérias vão metabolizar principalmente os nutrientes mais facilmente encontrados, ou seja, as moléculas mais simples.

Termofílica: caracterizada pela atuação de fungos e bactérias denominados termofílicos ou termófilos, que sobrevivem em ambientes com temperaturas mais elevadas que os mesofílicos e irão atuar sobre a matéria orgânica, degradando as moléculas mais complexas. Nesta fase, a temperatura das pilhas de compostagem pode atingir 65-70 °C, que possibilita também a higienização do composto, ocasionando a morte de eventuais microorganismos patogênicos presentes.

A Maturação ou Semicurado é última fase, pode durar de um a dois meses e é onde haverá uma diminuição da atividade microbiana, com a temperatura baixando gradativamente e se aproximando da temperatura ambiental, varia com a presença de micro-organismos mesófilos e criofílicos. Nesta fase ocorre também diminuição da acidez antes observada no composto, o que poderia ser prejudicial às culturas caso fosse aplicado diretamente na agricultura.

De acordo com a temperatura dos experimentos houve a predominância das fases criofílica e mesofílica, pois a temperatura variou entre 26 °C à 31 °C (FIGURA 10).



Através da relação entre os dias de monitoramento da biodigestão aeróbia com a temperatura e, por meio do cálculo da frequência, ou seja, a temperatura do dia seguinte subtraído da temperatura do dia anterior, pode-se determinar as fases transitórias do processo de biodigestão aeróbia, segundo estudos por Pereira e Gonçalves (2011) e concluir que:

- O início do processo ocorreu em 22 de novembro de 2021. Para o biodigestor 1 (a1 – durou até o 3° dia), biodigestor 2 (a2 – durou até o 9° dia) e biodigestor 3 (a3 – durou até o 11° dia)
- A fase da Biofermentação acelerada, ocorreu logo em seguida ao início do processo porque houve uma elevação mais acentuada da temperatura. Para o biodigestor 1 (a1 – durou do 3° dia até a desaceleração no 28° dia), biodigestor 2 (a2 – durou do 9° dia até a desaceleração no 29° dia) e biodigestor 3 (a3 – durou do 11° dia até a desaceleração no 22° dia)
- A desaceleração ocorreu partir do dia 13 de dezembro – denominado de fase semi-curado para os biodigestores 1 e 2 (d1 e d2) a partir do 28° dia e, para o biodigestor 3 (d3) no 22° dia.

Ambiente

Fechado: biodigestor tampado sem removimento da matéria orgânica.

Aberto: biodigestor destampado com o removimento através de pás.

- tipo de ambiente realizada neste trabalho: Facultativo, ou seja, durante o repouso de 24 horas o sistema ficava tampado e durante as [algumas] análises e o removimento ficava aberto, portanto, facultativo.

Segundo Costa (2015) a técnica da compostagem pode ser realizada em ambiente aberto ou fechado. São considerados abertos aqueles nos quais a massa a ser compostada é colocada em montes, ou leiras, em pátios de compostagem. Os processos em ambiente fechado são aqueles que ocorrem em digestores em forma de tambores rotativos, tanques, silos ou células, todos com revolvedores mecânicos para movimentação da massa orgânica. A compostagem em ambiente aberto exige maior área que em ambiente fechado, e o tempo de cura também é maior. Os dois tipos de processo podem ser associados entre si, com relação à movimentação e ao espaço utilizado.

5.2. Relação C/N e a Temperatura

Os resultados para a determinação da relação C/N concernentes à aplicação da fórmulas discutidas no tópico “4.3. Relação C/N no preparo das amostras” encontram-se na Tabela 3a, 3b, 3c.

Tabela 3 – Resultados da aplicação de fórmulas para obter a relação C/N por cada biodigestor
(a) Cálculos para relação C/N = 19:1

	%C	%N
serragem (artigo)	49,15	0,49
lixo residuos alimentos (Wanu App)	36	2,4
1- PMRC	0,25	
	serragem	resíduos de alimentos
2- proporção PMRC	0,25	1
3- %PMRC	20	80
4- (C ou N) com PMRC	38,63	2,018
5- relação C/N	19,14271556	
6- massa pesar (g)	125,00	500,00

(b) Cálculos para relação C/N = 26:1

	%C	%N
serragem (artigo)	49,15	0,49
lixo residuos alimentos (Wanu App)	36	2,4
1- PMRC	0,722	
	serragem	resíduos de alimentos
2- proporção PMRC	0,722	1
3- %PMRC	41,92799071	58,07200929
4- (C ou N) com PMRC	41,51353078	1,599175377
5- relação C/N	25,95933589	
6- massa pesar (g)	361,00	500,00

(c) Cálculos para relação C/N = 35:1

	%C	%N
serragem (artigo)	49,15	0,49
lixo residuos alimentos (Wanu App)	36	2,4
1- PMRC	1,5	
	serragem	resíduos de alimentos
2- proporção PMRC	1,5	1
3- %PMRC	60	40
4- (C ou N) com PMRC	43,89	1,254
5- relação C/N	35	
6- massa pesar (g)	750,00	500,00

Fonte: Próprio autor

Ao relacionar os gráficos da Figura 8 é possível associar a influência da magnitude das diferentes composições do biodigestor no processo de biodegradação da matéria orgânica, ou seja, a importância da relação C/N. Comparando-se os biodigestores, pode-se perceber que o biodigestor 3 apresentou maior elevação da temperatura, e, conseqüentemente, alcançou o estado semi-curado em menor tempo que os demais estudos realizados.

Segundo Leal *et al.* (2013), em seu artigo intitulado “Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N”, A compostagem de resíduos, subprodutos e outros materiais orgânicos, é um processo que pode atender plenamente a crescente demanda por fertilizantes orgânicos. Foi utilizado uma relação de 20, 30 e 40:1. Observou-se que para alcançar a bioestabilização em aproximadamente 66 dias.

Abaixo tem-se as fotografias das fases do processo de biodigestão aeróbia (FIGURA 9) obtidas neste trabalho.

Figura 11 - Fotografia dos biocompostos em diferentes fases de decomposição aeróbia

Biodigestor	Acelerada	Biofermentação Estabilizada	Semi-curado
(1) 35:1			
(2) 26:1			
(3) 19:1			

Fonte: Próprio autor

Durante a realização do processo de compostagem os 3 biodigestores apresentaram odor agradável com “cheiro de madeira e terra” e, sem a produção de chorume mas, era constante o ajuste da umidade nos biodigestores 2 e 3 para o valor ideal que é de aproximadamente 60%, segundo Cruz (2004), com adição de água ou de serragem.

Porém, mesmo com o controle da umidade e tampados com uma tampa de alumínio percebeu-se a presença de larvas de mosquitos-fungos ou “mosca-fungo” (FIGURA 10a -b)

Bradysia sp. e *Sciara sp.* ou seja, o material não estava devidamente coberto do contato com o meio externo.

Os mosquitos-fungos (*por exemplo, Bradysia sp., Sciara sp.*) são pequenos insetos alados, parecem ter uma aparência mais *delicada*, que são frequentemente encontrados em associação com solos úmidos e ricos de plantas domésticas ou de estufa. Os adultos depositam seus ovos nesses substratos e a larva resultante se alimenta de matéria orgânica (CHRISTIE, 2021; HUMI, 2021).

Figura 12 - (a) Fotografia do biodigestor com ovos do mosquito-fungo e em (b) imagem do mosquito

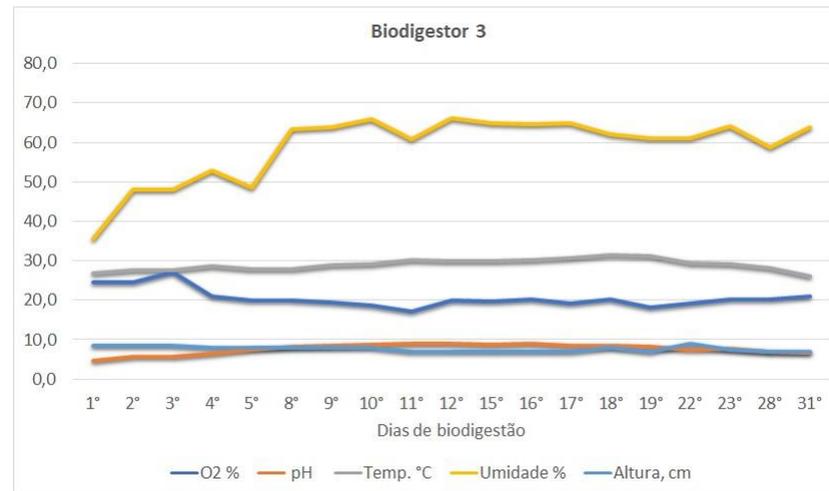
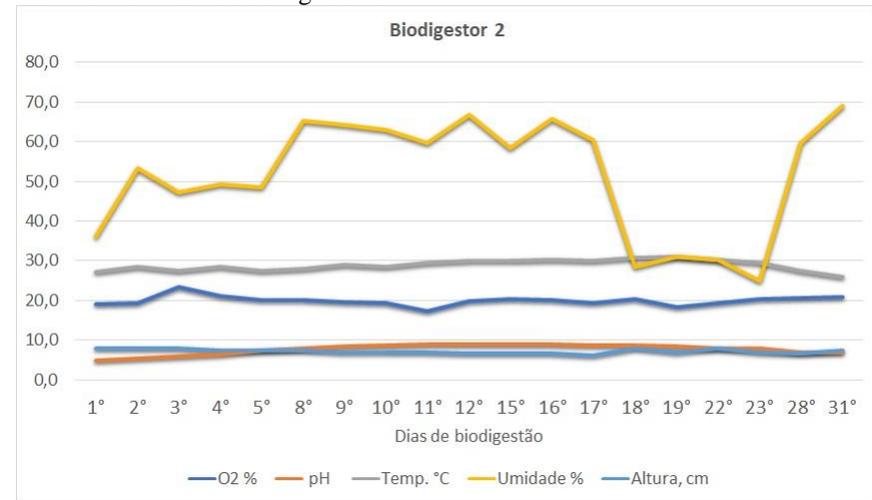
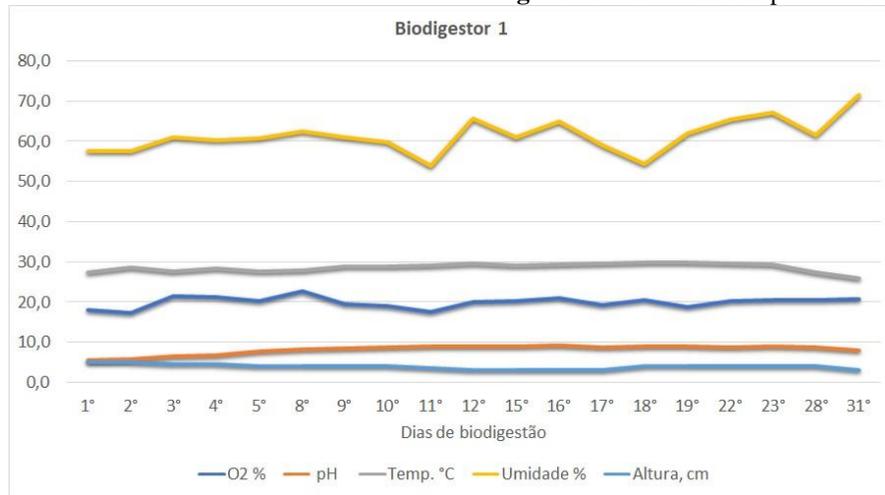


Fonte: (a) próprio autor; (b) Christie, 2021

5.3. Análises gráficas

Todos os parâmetros avaliados durante o monitoramento e controle da biodigestão aeróbia (FIGURA 11) obtiveram precisão elevada, cujo coeficiente de variação variou entre 0,0 % à 15,0 %.

Figura 13 – Gráficos dos parâmetros monitorados e controlados nos biodigestores



Fonte: próprio autor

Houve a necessidade de controlar a umidade por meio da adição de água no material, uma vez que os valores ideais para essa variável são de aproximadamente 60%, como o da compostagem em leiras, os valores da umidade variam entre 30% e 60%. (CRUZ, 2004).

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre os valores referenciados para a biodigestão aeróbica acelerada e os obtidos neste trabalho.

Tabela 3 – Parâmetros na fase de biofermentação para biodegradação aeróbica de resíduos

			Este trabalho		
	Dias, 2021	Bosco, Andrade e Brigano, 2017	Biodigestor 1	Biodigestor 2	Biodigestor 3
Resíduos usados	Resíduos de Avicultura	Resíduos Agrícolas	Resíduos de Alimentos	Resíduos de Alimentos	Resíduos de Alimentos
Relação C/N	30:1	30:1	19:1	26:1	35:1
Fluxo de aeração	0,6 L/min	Leira estática	3,2 L/min	3,2 L/min	3,2 L/min
Temperatura mínima-máxima (°C)	60 à 72	25 à 50	27,4 à 29,5	27,2 à 31	26,9 à 31,3
Umidade mínima-máxima (%)	64,79 à 75,76	40 à 70	58 à 71	35 à 69	35 à 65
Duração (dias)	70	64	22	22	22

Fonte: próprio autor.

Analisando o quadro 2, o biodigestor 3 apresentou melhores resultados quanto ao tempo e temperatura, uma vez que a bioestabilização foi mais acelerada até atingir a fase semicurada.

6 CONCLUSÕES

A aeração é um parâmetro importante de maneira a alcançar um bom produto final, além do acompanhamento do aspecto do material para que se possa alcançar resultados satisfatórios. Fatores como menor tempo para a obtenção de um bom produto final são determinantes para este processo. O que deve ser pensado para a implementação de biodigestores com reaproveitamento de resíduos.

O adequado acompanhamento do processo frente às variáveis umidade e oxigenação, propiciaram uma biodigestão com menor tempo de estabilização, atingida pelo biodigestor 3. Além disso, a maior relação C:N deste biodigestor apresentou valores mais adequados para o processo de biocompostagem quando comparado com outros trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, M. G.; UENO, M. Identificação de fontes de geração de resíduos sólidos em uma unidade de alimentação e nutrição. **Revista Ambiente & Água** [online]. 2015, v. 10, n. 4 [Acessado 20 Janeiro 2022], pp. 874-888. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1640>>. Epub Oct-Dec 2015. ISSN 1980-993X. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1640>. Acesso em: 20/01/2022.
- ALMEIDA, R. A. D.; **Gestão de Resíduos Sólidos para Produção de Adubo Orgânico**. 2010. 71 p. Dissertação – Curso de Gestão Ambiental, Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2010.
- ANDRADE, C. **Resíduos de indústria de painéis reconstituídos de madeira como fonte para produção de energia**. Orientador: Dr. Dimas Agostinho da Silva. 2019. 111 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- ANDRADE, M. R.; **Compostagem método UFSC – leira estática aeração passiva**. Instituto **Fernando Bonillo**. Pouso Alegre/MG. Data de publicação: 18/05/2021.
- BIOGRID. Compostagem ou biodigestão anaeróbia? Qual a melhor alternativa?. **BIOGRID**. Minas Gerais. Disponível em: <https://www.biogrid.com.br/compostagem-ou-biodigestao-anaerobia/#:~:text=Os%20principais%20par%C3%A2metros%20que%20influenciam,biodegrada%C3%A7%C3%A3o%20aer%C3%B3bia%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica>. Data da publicação: 17/01/2022.
- BOSCO, T. C. D.; ANDRADE, F. C.; BRIGANO, C. **Compostagem de resíduos agrícolas**. 1ª edição. Local de publicação: Minas Gerais. Editora: Blucher. 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Katia-Prates/publication/300418605_Crescimento_de_bacterias_heterotroficas_e_fungos_em_processos_de_compostagem_e_vermicompostagem_de_lodo_biologico_de_laticinio/links/5b14256d4585150a0a668617/Crescimento-de-bacterias-heterotroficas-e-fungos-em-processos-de-compostagem-e-vermicompostagem-de-lodo-biologico-de-laticinio.pdf#page=136. Acesso em: 04/02/2022.
- BRAGA, G. N. M. Encontrando a Relação C/N Ideal na Compostagem. 2010. **Na sala com Gismonti – Assuntos sobre agronomia**. Disponível em: <https://agronomiacomgismonti.blogspot.com/2010/12/encontrando-relacao-cn-ideal-na.html>. Acesso em: 16/09/2021.
- BRASIL. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. 2010a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 11 set. 2021.
- BRASIL. Decreto n. 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. 2010b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Decreto/D7404.htm. Acesso em: 11 set. 2021.

BRITO, M. **História da Compostagem**. 2020. **Manual da Compostagem**. Disponível em: http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm#:~:text=A%20comp%20ostagem%2C%20como%20m%C3%A9todo%20de,pr%C3%A1ticas%20de%20correc%C3%A7%C3%A3o%20do%20solo. Acesso em: 02/02/2022.

CARLESSO, W. M.; RIBEIRO, R.; HOEHNE, L. Tratamento de resíduos a partir de compostagem e vermicompostagem. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 3, n. 4, 2012. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/131>. Acesso em: 18/01/2022.

CARON, C. F.; MESSIAS, J. N.; FILHO, J. S. C.; RUSSI, J. C. V.; WEBER, M. I. Geração de energia no campus a partir da biodigestão anaeróbica. **Tuiuti: Ciência e Cultura**, v. 4, n. 42, 2009. Disponível em: <https://seer.utp.br/index.php/h/article/view/1130>. Acesso em: 20/01/2022.

CHRISTIE, B. “COMPOST GUY”. Mosquitos de fungo em caixas de compostagem de minhocas. Blog Red Worm Composting. 2021. Disponível em: <https://www.redwormcomposting.com/worm-composting/fungus-gnats-in-worm-compost-bins/>. Acesso em: 18 jan. 2021.

CRUZ, J. B. O processo de compostagem como instrumento de preservação ambiental na Fundação Parque Zoológico de São Paulo (FPZSP). *In: I Simpósio sobre compostagem, ciência e tecnologia, na UNESP, 6, 2004, São Paulo. Artigo*. São Paulo: UNESP, 2004. p. 01 - 06. Disponível em: http://bichosonline.vet.br/wp-content/uploads/2017/08/Compostagem_Descri%C3%A7%C3%A3o_Artigo_JBC_SET_2006.pdf. Acesso em: 18/01/2022.

COSTA, A. R. S.; XIMENES, T. C. F.; XIMENDES, A. F.; BELTRAME, L. T. C. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista Geama**, p. 246-260, 2015. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/503/1430>. Acesso em: 04/04/2022.

DIAS, A. M. D. F. **Compostagem dos resíduos de incubatório em leiras estativas, conduzidas no verão e inverno, com ou sem aeração forçada**. 2021. Orientadora: Dra. Ana Carolina Amorim Orrico. 29 f. Dissertação – Curso de Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/4696/1/AmandaMariaDomingosFerreiraDias.pdf>. Acesso em: 04/02/2022.

ECYCLE. **Saiba como equilibrar a relação carbono nitrogênio na compostagem**. 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/relacao-equilibrio-como-fazer-como-equilibrar-composteira-vermicompostagem-carbono-nitrogenio-minhocas-c-n-organico-micro-organismos-verdes-marrons-umidos-secos-folha-serragem-podas-restos-de-comida/#:~:text=em%20menos%20tempo,-,Rela%C3%A7%C3%A3o%20C%2FN%20baixa,prejudicando%20a%20qualidade%20do%20composto>. Acesso em: 20/01/2022.

ECYCLE. **Umidade na composteira**: fator muito importante na compostagem. 2022. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/umidade-compostagem-composteira/>. Acesso em 11 jan. 2022.

FARIA, C. **Fatores que influenciam na biodigestão anaeróbica para produção de biogás.** Disponível em: <https://www.infoescola.com/energia/fatores-que-influenciam-na-biodigestao-anaerobia-para-producao-de-biogas/>. Acesso em: 20/01/2022.

FETTI, G. L. R. Evolução da matéria orgânica durante o processo de compostagem. 2013. In. **O mundo das leveduras.** UNESP-SP. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/ib/ceis/mundoleveduras/2013/Compostagem-GeorgeFetti.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

FRAGUAS, T.; GONZALEZ, C. E. F.; **Lixo eletrônico no contexto da educação ambiental: um estudo de caso junto a professores do ensino médio.** 2019. Orientadora: Dra. Selma Baptista. 2019. 154 f. Dissertação - Curso de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/4630>. Acesso em: 10/09/2021.

GIODA, A. Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global. **Química Nova** [online]. 2018, v. 41, n. 8, pp. 839-848. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170260>>. Acessado 21 Jan. 2022.

GODECKE, M. V. O Consumismo e a Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil. **REGET**, v(8), nº 8, p. 1700-1712, SET-DEZ, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/6380>. Acesso em: 29/04/2021.

HUMI, 2021. **Infestações de mosquitos.** 2021. Disponível em: <https://composteirahumi.eco.br/dicas-para-resolver-infestacoes-de-drosofilas-e-mosquitos/>. Acesso em: 17/01/2022.

JOSÉ, A. F. JR.; Qualificação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) em obras de engenharia. 2017. Disponível em: <https://docplayer.com.br/18772431-Quantificacao-de-emissoes-de-gases-de-efeito-estufa-gee-em-obras-de-engenharia.html>. Acesso em: 20/01/2022

LEAL, M. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. S.; Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. 2013, v. 17, n. 11 [Acessado 9 Fevereiro 2022] , pp. 1195-1200. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100010>>. Epub 06 Nov 2013. ISSN 1807-1929. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100010>

LIMA, D. R. S. **Biodigestores.** 2020. OAK Energia. Disponível em: <https://oakenergia.com.br/blog/biodigestores/>. Acesso em: 20/01/2022.

LINHARES MAIA, H. J. L.; ALENCAR, L. D.; BARBOSA, E. M.; BARBOSA, M. F. N. A política nacional de resíduos sólidos: um marco na legislação ambiental brasileira. **POLÊMICA**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 1070-1080, fev. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.12957/polemica.2014.9636>. Acesso em: 11 set. 2021.

LOPES KUTAMOTO, L. **Reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos para a geração de energia elétrica a partir da biodigestão aeróbia: o processo de urbanização em consonância com a eficiência energética**. 10ª edição, 2019, João Pessoa/PB. **Anais**. In: Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.institutoventuri.org.br/ojs/index.php/firs/article/view/1532>. Acesso em: 16/09/2021.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. P.; VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública** [online]. 2018, v. 52, n. 1, pp. 24-51. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-7612155117>. Acesso em: 11 set.2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Uso de fontes renováveis no Brasil é três vezes maior que o mundial**. Brasília, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/07/uso-de-fontes-renovaveis-no-brasil-e-tres-vezes-maior-que-o-mundial>. Acesso em: 05 fev. 2021.

NOGUERA, J. O. C. Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 316-325, 2011.

OLIVEIRA, E, C, A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Orientador: Dr. Carlos Eduardo P. Cerri. 2008. 19 f. Dissertação (Pós-graduação) Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf. Acesso em: 17/01/2022.

ORGANICS NEW BRASIL. Biodigestor residencial transforma resíduos orgânicos em gás de cozinha e fertilizante. 2022. Disponível em: <https://organicsnewsbrasil.com.br/atitudes-sustentaveis/inovacao-tecnologia/biodigestor-residencial-transform-residuos-organicos-em-gas-de-cozinha-e-fertilizante/#:~:text=Como%20recomenda%C3%A7%C3%A3o%2C%20o%20ideal%20%C3%A9,deteriorada%20e%20gerar%C3%A1%20mais%20g%C3%A1s>). Acesso em 20 jan. 2022.

PECCATIELLO, A. F. O.; **Políticas públicas ambientais no Brasil: da administração dos recursos naturais (1930) à criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (2000)**. 2011. UFPR. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/21542/17081>. Acesso em: 29/03/2022.

PORTAL DO BIOGÁS. **Biodigestão anaeróbia**. 2022. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/#:~:text=Cada%20grupo%20de%20bact%C3%A9rias%20possui,onde%20sua%20efici%C3%A9ncia%20%C3%A9%20maior.&text=A%20maior%20parte%20das%20bact%C3%A9rias,de%20biog%C3%A1s%20de%20um%20sistema>. Acesso em: 20 jan. 2022.

PRADO, J. R. M. **População mundial atingirá 7 bilhões no dia 31 de outubro, diz ONU**. 2011. Teleiós. Disponível em: <http://www.teleios.com.br/populacao-mundial-atingira-7-bilhoes-no-dia-31-de-outubro-diz-onu/>. Acesso em: 10/09/2021.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. 2018. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. p. 1. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxby89xBDg3XCTgr/?lang=pt>. Acesso em: 10/09/2021.

SILVA GUILHERME, V; CASTRO, J. A.; **Utilização de gás de coqueira na sintetização de minério de ferro**. 2012. <https://www.scielo.br/j/rem/a/swRysdVbGPfdnYhc334BqRG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12/02/2022.

SOUZERO. Legislação. 2020. **Série Compostagem**. Disponível em: <https://souresiduozero.com.br/2020/05/serie-compostagem-legislacao/>. Acesso em 09 fev. 2022.

STRASBURG, V. J.; JAHNO, V. D. Paradigmas das práticas de gestão ambiental no segmento de produção de refeições no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental** [online]. 2017, v. 22, n. 01, pp. 03-12. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522017155538>>. Acessado em: 21 Jan.2022.

VERAS, R. S.;-Compostagem de resíduos de alimentos e podas de árvores trituradas em leiras estáticas com aeração passiva com redução de GEE. 2018. 110 p. Dissertação – Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

VILELLA, J. M. Validação de tecnologia de compostagem rápida. *In*: Salão de Iniciação Científica da UFRGS, XXIX, 2017, Campus do Vale/RS. **Anais**. Campus do Vale/RS, 2017. p.1 – p.2.

WANU APP. The Compost Recipe Calculator. 2021. Disponível em: <https://compostcalc.com/>. Acesso em: 16/09/2021.