



INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS
Campus Bambuí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
MINAS GERAIS - IFMG *CAMPUS BAMBUI***

Eva Julieta de Melo

**COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS DA UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO NO IFMG
*CAMPUS BAMBUI***

BambuÍ-MG
2021

EVA JULIETA DE MELO

**COMPOSTAGEM E BIODIGESTÃO PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS DA UNIDADE DE ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO NO IFMG
CAMPUS BAMBUÍ**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, do Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, *Campus* Bambuí.

Linha de Pesquisa: Tecnologia Ambiental

Orientadora: Prof.^a Dra. Simone Magela Moreira
Coorientador: Prof. Dr. Luiz A. P. Fernandes Júnior



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
 Campus Bambuí
 Diretoria Geral
 Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação
 Seção de Pós-Graduação
 Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Burtis - CEP 30575-180 - Belo Horizonte - MG
 37 3431 4900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 18

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “**Compostagem e biodigestão como alternativas de tratamento para resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição no IFMG campus Bambuí**”, de autoria da mestranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, **Eva Julieta de Melo**, sob a orientação dos professores **Dra. Simone Magela Moreira** e **Dr. Luiz Antônio Pires Fernandes Júnior**, foi aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 13/12/2021, com a média de **81,25 pontos**.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pela professora orientadora Dra. Simone Magela Moreira e pelo coorientador prof. Dr. Luiz Antônio Pires Fernandes Júnior.

Houve alteração no título da Dissertação, passando a ser: “**Compostagem e biodigestão para tratamento de resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição no IFMG, campus Bambuí**”.

A Defesa Pública contou com a presença da professora do MPSTA Ludimilla Portela Zambaldi Lima Suzuki, que após a divulgação da defesa pela Secretaria do MPSTA manifestou interesse em assisti-la, dessa forma houve o cadastro e liberação do link de acesso a sala virtual.

Bambuí (MG), 13 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Simone Magela Moreira, Professora**, em 13/12/2021, às 13:20, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Fernanda Carla Wasner Vasconcelos, Usuário Externo**, em 13/12/2021, às 15:52, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Antonio Pires Fernandes Junior, Professor**, em 13/12/2021, às 16:13, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Monteiro Correa, Professor**, em 14/12/2021, às 07:34, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.

A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoes> informando o código verificador **1037269** e o código CRC **2B5853BD**.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

M528c Melo, Eva Julieta de.

Compostagem e biodigestão para tratamento de resíduos orgânicos da unidade de alimentação e nutrição no IFMG Campus Bambuí. / Eva Julieta de Melo. – Bambuí, 2021.

106 f.: il.; color.

Orientadora: Prof.^a Dra. Simone Magela Moreira.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

Resíduos. 2. Compostagem. 3. Biodigestão. I. Moreira, Simone Magela. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 631.8

Aos meus pais José Trindade e Vitória Julieta, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por sua infinita Misericórdia que me sustenta.

Aos meus pais, José e Vitória, mestres por excelência.

À professora e orientadora Dra. Simone Magela Moreira, por conduzir com precisão às ações desse trabalho.

Ao coorientador professor Dr. Luiz Antônio Fernandes, pela parceria.

Ao meu amigo Antônio Roberto pela torcida e orações diárias mesmo que distante.

Ao meu amigo Cássio Roberto pela amizade e por compartilhar conhecimentos.

A Unidade de Alimentação e Nutrição (UAN) do IFMG *Campus* Bambuí pela atenção.

A todos que de forma direta ou indireta participaram dessa etapa, muito obrigada.

“Oh sangue e água que jorraste do
Coração de Jesus como fonte
de misericórdia para nós,
eu confio em Vós.”

Santa Faustina

BIOGRAFIA

Discente: Eva Julieta de Melo

Filiação: Vitória Julieta de Melo e José Trindade de Melo

Naturalidade: Bambuí Estado: Minas Gerais

Data de nascimento: 30/05/1984

Informações escolares:

- Ensino Médio concluído em 2003, Escola Est. João Batista de Carvalho, Bambuí - MG.
- Ensino Superior:

Tecnologia em Processamento de Alimentos pelo Centro Federal de Educação e Ciência e Tecnologia de Minas Gerais CEFET-BÍ - Bambuí MG.

Período: 2004 à 2006;

Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Bambuí – Bambuí-MG

Período: 2012 à 2018.

Experiência Profissional

Mobilização de cursos e eventos pelo SENAR – Serviço Nacional de Aprendizagem Rural em Bambuí – MG. Período: 2007 à 2014;

Padeira e confeitadeira pela Panificadora Alvorada em Bambuí-MG. Período: 2015 à 2016;

Supervisor Administrativo pela empresa ADCON, na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG, *Campus* Bambuí-MG. Período: 2016 à 2021;

Padeira e confeitadeira pela Panificadora Sion em Bambuí-MG. Período: 2021 à atual.

RESUMO

O desperdício de alimentos resulta em impactos sociais, econômicos e ambientais cujas distinções, especialmente nos países em desenvolvimento, permanecem mal compreendidas. O setor alimentício contribui por meio do desperdício em suas diferentes etapas de produção que somadas ao mau planejamento, resultam em sérios impactos ao meio ambiente. As Unidades de Alimentação e Nutrição (UANs) são espaços oportunos para a transformação educativa, sobre a forma de como os comensais abordam os alimentos. Desse modo, a presente pesquisa teve como objetivo implantar, em modelo experimental, processos de compostagem e biodigestão dos resíduos alimentares produzidos pela UAN do IFMG, *campus* Bambuí. Na etapa inicial de caracterização do desperdício e dos resíduos produzidos, foi possível avaliar a qualidade da alimentação oferecida no período. Posteriormente, com os processos de tratamento dos resíduos orgânicos foram obtidos o composto orgânico, o biofertilizante e o biogás. Tais produtos foram submetidos a análises físico-químicas, para fins de fertilidade pelo laboratório de Solos da Instituição, e o biogás foi avaliado quanto à sua composição por meio de kit biogás, desenvolvido pela Alfakit e EMBRAPA Suínos e Aves. E ainda foi elaborado um programa para gestores de UANs, (Apêndice A), o qual tem por objetivo obter um feedback imediato sobre a qualidade das refeições servidas, através dos dados obtidos diariamente com a produção e distribuição dos alimentos.

Palavras-chave: Resíduos. Compostagem. Biodigestão. Unidade de Alimentação. Desperdício.

ABSTRACT

Food waste results in social, economic and environmental impacts whose distinctions, especially in developing countries, remain misunderstood. The food sector contributes through waste in its different stages of production that, added to poor planning, result in serious impacts on the environment. The Food and Nutrition Units (UANs) are opportune spaces for educational transformation, on how diners approach food. Thus, the present research aimed to implement, in an experimental model, composting processes and biodigestion of food residues produced by ifmg UAN, Bambuí campus. In the initial stage of characterization of waste and waste produced, it was possible to evaluate the quality of the food offered in the period. Subsequently, organic compound, biofertilizer and biogas were obtained with the organic waste treatment processes. These products were submitted to physicochemical analyses for fertility purposes by the Soil Laboratory of the Institution, and biogas was evaluated for their composition by biogas kit, developed by Alfakit and EMBRAPA Pigs and Birds. A program was also developed for managers of UANs (Appendix A), which aims to obtain immediate feedback on the quality of meals served, through data obtained daily with the production and distribution of food.

Keywords: Waste. Composting. Biodigestion. Power Unit. Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação da temperatura na composteira e em função do tempo de compostagem	19
Figura 2 - Demonstração geométrica (pilha e leira) de compostagem	20
Figura 3 - Modelo de biodigestores tipo indiano (A), canadense (B) e chinês (C) para tratamento de resíduos orgânicos.....	31
Figura 4 - Modelo do funcionamento de um Biodigestor	32
Figura 5 - Etapas do processo de formação do biogás.....	35
Figura 6 - Composteira com baldes para tratamento dos resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	42
Figura 7 - Aferição da temperatura na composteira (A) fase inicial 25 °C e (B) fase termófila 66 °C no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021.....	44
Figura 8 - Protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	46
Figura 9 - Parte (fermentador) do protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	47
Figura 10 - Parte (Filtro com lã de aço) do protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	48
Figura 11 - Parte (Filtro borbulhador) do protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	48
Figura 12 - Parte (compressor) no protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	49
Figura 13 - Tabela colorimétrica para análises de Amônia (NH ₃) e Gás sulfídrico (H ₂ S) de biogás	52
Figura 14 - Composto orgânico, subproduto da compostagem com resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	56
Figura 15 - Composto orgânico maturado do tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	61
Figura 16 - Mangueira em forma de U usada para observar o deslocamento de líquido na coluna	69
Figura 17 - Biofertilizante proveniente da biodigestão dos resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí.....	74

Gráfico 1 - Volume de biogás produzido de 07/03 a 19/04/2021.....	72
Gráfico 2 - Produção de metano (CH ₄) em relação ao volume de biogás produzido no período de 07/03 a 18/04/2021.....	73
Quadro 1 - Relação C/N na compostagem (consequências e problemas).....	23
Quadro 2 - Volume de resíduos orgânicos destinados para compostagem na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	43
Quadro 3 - Macro e micronutrientes analisados no composto orgânico e a metodologia usada no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Temperaturas de ação das bactérias na composteira	25
Tabela 2 - Composição típica do biogás em porcentagem.....	33
Tabela 3 - Volume de resíduos orgânicos usados no tratamento (biodigestão) na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	46
Tabela 4 - Ficha técnica do fabricante (kit) para análises do biogás quanto aos principais gases, metano (CH ₄), gás carbônico (CO ₂), amônia (NH ₃) e gás sulfídrico (H ₂ S).....	51
Tabela 5 - Taxa de conversão do composto orgânico (inicial/final).....	57
Tabela 6 - Variação da temperatura ao longo do processo de compostagem no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	58
Tabela 7 - Resultados das análises físico-químicas para fins de fertilidade do composto orgânico da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	62
Tabela 8 - Análises realizadas no biogás (metano, gás carbônico, amônia e gás sulfídrico) do tratamento de resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021.....	63
Tabela 9 - Volume de biogás produzido na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí.....	70
Tabela 10 - Comparativo entre análises de biofertilizante e composto orgânico da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS.....	16
	Objetivo geral	16
	Objetivos específicos	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
	O processo de compostagem.....	17
	<i>Fatores que interferem no processo de compostagem.....</i>	<i>20</i>
	<i>Microrganismos na compostagem</i>	<i>24</i>
	<i>Materiais que devem ser evitados na composteira.....</i>	<i>25</i>
	<i>Local ideal para realizar a compostagem.....</i>	<i>25</i>
	<i>Subprodutos da compostagem.....</i>	<i>26</i>
	Biodigestão	27
	<i>Fatores que interferem no processo de biodigestão</i>	<i>27</i>
	<i>Materiais que devem ser evitados na biodigestão.....</i>	<i>29</i>
	<i>Tempo de decomposição da matéria orgânica.....</i>	<i>30</i>
	Biodigestores	30
	<i>Subprodutos da biodigestão</i>	<i>33</i>
4	MATERIAIS E MÉTODOS	42
	Montagem das composteiras	42
	<i>Taxa de conversão</i>	<i>43</i>
	<i>Variação de temperatura (°C) durante o processo de compostagem.....</i>	<i>44</i>
	<i>Características físico-químicas (Macro e Micronutrientes).....</i>	<i>44</i>
	Biodigestão utilizando os resíduos orgânicos da UAN do IFMG/Bambuí.....	46
	<i>Montagem do biodigestor.....</i>	<i>46</i>
	<i>Caracterização do biogás produzido</i>	<i>49</i>
	<i>Volume de biogás produzido</i>	<i>54</i>

<i>Caracterização do biofertilizante</i>	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
Produção e caracterização do composto orgânico, resultado da compostagem dos resíduos gerados na UAN do <i>campus</i> para fins de fertilidade	56
<i>Taxa de conversão</i>	56
<i>Variação de temperatura (°C) durante o processo compostagem</i>	57
<i>Caracterização físico-química do composto orgânico</i>	61
Produção e caracterização do biogás a partir da biodigestão dos resíduos gerados na UAN do IFMG/BambuÍ	63
<i>Capacidade de purificação dos filtros instalados</i>	63
Volume de biogás produzido	69
Taxa de conversão do biofertilizante produzido por meio da biodigestão dos resíduos alimentares da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021...	73
Comparativo entre os constituintes físico-químicos do composto orgânico e do biofertilizante produzidos a partir dos resíduos alimentares da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG <i>Campus</i> Bambuí, 2021	74
6 CONCLUSÃO	82
REFERÊNCIAS	83
APÊNDICE - Produto técnico	91

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o aumento populacional é acompanhado de um consumo desorganizado e de um desperdício em escala ascendente, com graves efeitos sobre o meio ambiente. Resíduos descartados sem o devido tratamento, de forma inconsciente, contribuem para a problemática ambiental.

Na legislação brasileira, por meio da Lei Nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), são considerados resíduos sólidos todos os materiais ou substâncias, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços, de varrição que, não possuindo mais utilização viável, são descartados nos estados sólido, semissólido ou líquido, sem possibilidade de lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos da água (BRASIL, 2017). O gerenciamento dos resíduos exige a identificação do processo que lhe deu origem, seus constituintes e suas características (INÁCIO; MILLER, 2009), pois se relaciona diretamente aos impactos à saúde e ao meio ambiente, que apresentam em sua potencialidade.

São classificados conforme suas características e propriedades, em resíduos sólidos orgânicos, inorgânicos e rejeitos (BRASIL, 2017), cuja segregação facilita a disposição adequada:

- Orgânico é todo material de origem biológica que possui em sua estrutura Carbono (C), Hidrogênio (H₂) e Oxigênio (O₂), suscetível a degradação, como os resíduos vegetais, animais, sobras de alimentos, legumes, verduras, frutas, aparas de gramas, restos de culturas, dentre outros (PEREIRA NETO, 2010).
- Inorgânico compreende todo material de origem não biológica, que naturalmente leva mais tempo para ser degradado, abrangendo os plásticos, metais, vidro, papel, dentre outros (BRASIL, 2017).
- O rejeito, é representado por todo aquele resíduo, como o lixo dos sanitários, papel carbono, fitas adesivos e resíduos de produtos de limpeza, que não apresentam possibilidades de tratamentos e recuperação por processos tecnológicos disponíveis (BRASIL, 2017).

De acordo com Silva (2017), uma boa opção para o tratamento dos resíduos orgânicos (RO), economicamente viável, simples e eficaz é a compostagem e biodigestão que possibilitam reciclar os (RO) por meio da decomposição aeróbica e anaeróbica, em que as populações de microrganismos presentes no próprio material irão degradar toda a matéria disponível,

transformando-a em subproduto de qualidade com diversos benefícios, de baixo custo, que possibilitam melhorias e redução na poluição ambiental.

Para os resíduos inorgânicos, são recomendadas técnicas de reciclagem, que geram diversas oportunidades de emprego para boa parte dos envolvidos nas atividades. A falta de planejamento associada à produção em grande escala, preparo, distribuição e consumo levam ao desperdício de uma infinidade de materiais, naturais ou industrializados, causando sérios impactos à sociedade e ao ambiente (CAMPELLO, 2007).

Setores como as Unidades de Alimentação e Nutrição (UANs), são considerados essenciais, assumindo importância primordial na rotina diária das pessoas, sendo sinônimo de geradores de resíduos nas três categorias (orgânico, inorgânico e rejeito), com destaque para os resíduos orgânicos que garantem maior volume de produção. Nessas, os resíduos são gerados em todas as etapas do procedimento, desde a recepção da matéria-prima até a mesa do comensal, necessitando de planejamento adequado para que sejam reduzidos e recebam o tratamento adequado (ALVES, 2017).

O gerenciamento dos resíduos sólidos (GRS) nas UANs é importante para que a sustentabilidade seja parte da estrutura organizacional, devendo ser propostas estratégias que são mais rotineiramente eficientes para outros ambientes organizacionais, mas que podem contribuir, sobremaneira, para que os resíduos tenham um destino adequado e ainda deem origem à subprodutos úteis para outros setores, como, por exemplo, sendo transformados em adubo e energia (FERRAZ, 2016).

Na busca por estratégias de sustentabilidade, identifica-se a compostagem e biodigestão, como sistemas ideais para a degradação dos resíduos orgânicos alimentares, permitindo ainda gerar subprodutos que maximizam a reciclagem. Sendo assim, essas técnicas foram desenvolvidas em modelo experimental utilizando-se dos resíduos orgânicos da UAN do IFMG *Campus* Bambuí com objetivo de tratar de forma completa e eficaz os resíduos ali gerados.

2 OBJETIVOS

Objetivo geral

Avaliar os processos de compostagem e de biodigestão em modelo experimental utilizando os resíduos orgânicos produzidos pela Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí.

Objetivos específicos

- Avaliar o biogás produzido com relação aos principais constituintes Metano (CH_4), Gás carbônico (CO_2), Amônia (NH_3) e Gás Sulfídrico (H_2S);
- Analisar a eficiência dos filtros utilizados no biodigestor de bancada construído com material de baixo custo;
- Mensurar a taxa de conversão do biofertilizante e composto orgânico;
- Realizar análises físico-químicas do composto orgânico e biofertilizante, resultantes da compostagem e biodigestão, dos resíduos gerados na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, para fins de fertilidade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O processo de compostagem

Compostagem vem da palavra “*compost*” de origem inglesa, dando sentido a composto que significa fertilizante obtido por meio da decomposição da matéria orgânica, dos resíduos vegetais e animais (PEIXE; HACK, 2014). É uma técnica milenar, inicialmente executada pelos chineses, há mais de cinco mil anos. Na natureza, ocorre de modo autônomo, sem intervenção humana em que resíduos de origem vegetal e animal, dispostos no solo, se decompõem naturalmente, sendo aproveitados pelo ecossistema como fonte de nutrientes para as plantas, enriquecendo o solo e melhorando a carga microbológica do mesmo. Possui a capacidade de transformar diferentes tipos de resíduos orgânicos em composto/adubo que ao serem adicionados no solo, modificam suas características físico-químicas e biológicas, tornando-o mais fértil (BRASIL, 2017).

O objetivo da compostagem é transformar a matéria orgânica putrescível, por meio da decomposição em substâncias estáveis que podem ser incorporadas ao solo, melhorando a fertilidade e as características físicas do mesmo, apresentando-se como uma alternativa economicamente viável, se comparado à adubação convencional (INÁCIO; MILLER, 2009).

A compostagem envolve diversas transformações químicas e biológicas, realizadas por microrganismos que retiram o carbono necessário para o seu desenvolvimento, a partir da degradação da matéria orgânica disponível (RODRIGUES *et al.*, 2015).

O processo leva a oxidação biológica por meio de microrganismos que decompõem os compostos orgânicos liberando dióxido de carbono e água. A compostagem depende do teor de oxigênio, gerando calor, cujas temperaturas podem variar de 50°C a 70°C (PASCOAL *et al.*, 2018). Ao final do processo o composto orgânico/húmus estará maturado e pronto para uso (ARAÚJO; ALMEIDA, BASSO, 2015; CAMATTI-SARTORI *et al.*, 2012; PEREIRA NETO, 2010).

O processo pode ser dividido em etapas e o número delas varia, conforme os diferentes autores. Segundo Caetano (2014) e Oliveira (2019), em apenas duas fases, observam-se reações bioquímicas intensas. Na primeira fase a de bioestabilização ocorre a degradação rápida, com ação abundante dos microrganismos e rápida transformação da

matéria orgânica. Nessa fase, os microrganismos consomem oxigênio e há elevação da temperatura e do número de indivíduos no meio. Na segunda etapa (maturação), a atividade biológica é realizada em menor escala e a necessidade de aeração também diminui. Ocorre um arrefecimento, com polimerização das moléculas orgânicas e o material estabilizado apresenta-se de cor escura, com características de húmus e odor de terra.

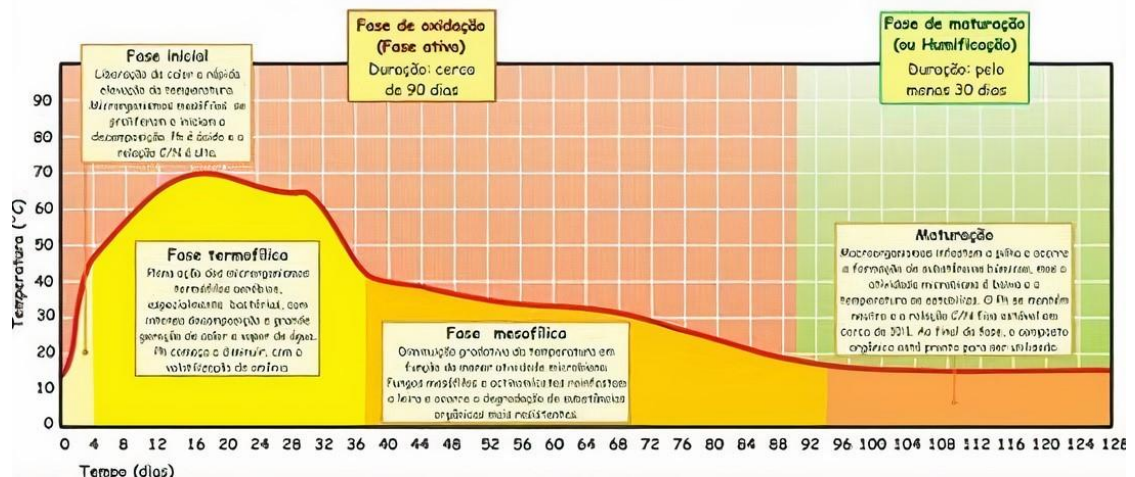
Conforme Brietzke (2016), três fases de tratamento do material merecem destaque, sendo a primeira, o momento em que ocorre desprendimento de calor, vapor d'água e gás carbônico; na segunda ocorre a bioestabilização e na terceira fase acontece a humificação e mineralização da matéria orgânica. Estas fases são também diferenciadas por Oliveira (2019), que classificou a primeira fase como sendo termofílica, em que o composto se apresenta cru ou imaturo. Na segunda, chamada de mesofílica, acontece a bioestabilização do material seguida pela humificação e mineralização da matéria orgânica, tornando-se composto maturado, na terceira fase.

Ainda considerando-se as variações de temperatura, de acordo com Brasil (2017), o processo de compostagem ocorre em quatro fases: a primeira, chamada de fase inicial, dura de 15 a 72 horas, havendo aumento da temperatura e liberação de calor, devido ao aumento das colônias de microrganismos mesofílicos e intensificação da decomposição; a segunda fase, também chamada de termofílica, começa quando a temperatura ultrapassa os 45°C, permanecendo entre 50 e 65 °C, quando se observa intensa ação dos microrganismos com decomposição do material, liberando calor e vapor d'água. O ar quente presente na composteira sobe, sendo expulso do meio favorecendo a entrada de ar frio na parte inferior da leira, denominado processo de convecção; na terceira fase, conhecida por mesofílica, os microrganismos diminuem suas atividades e conseqüentemente a temperatura do meio se reduz. Ocorre a quebra das substâncias orgânicas com maior resistência e a perda de umidade; a quarta fase, chamada de maturação, favorece a formação de húmus. A ação dos microrganismos se reduz e o composto perde a capacidade de auto aquecimento, permanecendo em temperatura ambiente, apresentando coloração escura, odor característico de terra e é quando pode ser considerado pronto para o uso como fertilizante.

As quatro fases da compostagem descritas por Brasil (2017), podem ainda ser denominadas fases ativas e de maturação (FIGURA 1). A fase ativa compreende as etapas inicial, termofílica, até a metade da fase mesofílica, e se caracteriza pela degradação dos resíduos disponíveis. Esse é o momento em que ocorre a maior redução do volume e do peso, devido a liberação de calor, gás carbônico (CO₂) e água. A fase de maturação se inicia ao final da fase

mesofílica, onde acontece a humificação da matéria orgânica, ou seja, a formação do húmus e a degradação dos ácidos orgânicos e partículas maiores e resistentes, como celulose e lignina. Nessa fase ocorre a neutralização do pH, redução da relação carbono/nitrogênio e aumento da capacidade de troca catiônica (CTC).

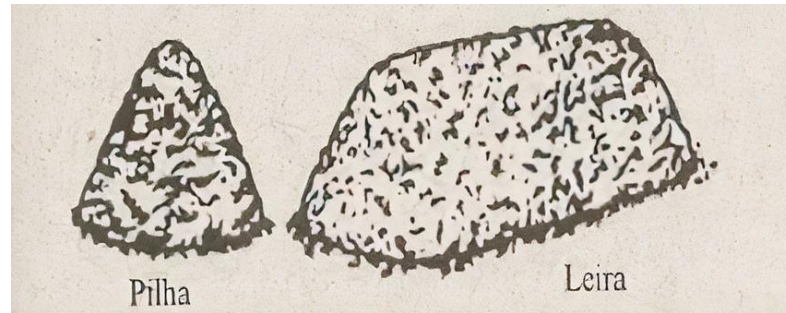
Figura 1 - Variação da temperatura na composteira e em função do tempo de compostagem



Fonte: Brasil (2017).

Pode ser conduzida em diferentes escalas, ocupando grandes espaços ou em pequenas unidades. Monitorando o sistema, é possível obter um composto de qualidade usando técnicas simples (VILELA, 2019). Em maior escala pode ser realizada em pátios, onde os resíduos orgânicos são disponibilizados em montes de forma cônicos, também chamados de pilhas de compostagem, ou em montes prismáticos, conhecidos por leiras de compostagem (FIGURA 2). Ou ainda, em caráter familiar, de forma doméstica, pode ser realizada em vasilhames/baldes devidamente preparados (PEREIRA NETO, 2010). A quantidade de material a ser compostado é que definirá se o modelo ideal é a leira, a pilha ou o balde.

Figura 2 - Demonstração geométrica (pilha e leira) de compostagem



Fonte: Pereira Neto, 2010.

A compostagem é uma técnica simples, economicamente viável, apresenta como vantagens a reutilização dos resíduos orgânicos gerados, contribuindo para aumentar a vida útil dos aterros, sendo autossuficiente e econômica na geração do adubo próprio.

Fatores que interferem no processo de compostagem

Durante o processo de compostagem é necessário oferecer condições favoráveis para que os microrganismos possam atuar se alimentando do resíduo e produzir o composto orgânico final. Para tanto, o teor de umidade, a temperatura, o pH, a aeração, a relação Carbono/Nitrogênio e a granulometria das partículas influenciam de forma direta no processo (PEREIRA NETO, 2010).

a) Umidade

A umidade é indispensável para as atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos. Na prática procura-se manter o teor de umidade no sistema, em torno de 40 a 65%, mas estes podem variar de acordo com a aplicabilidade, como por exemplo, compostagem de substratos para produção de cogumelos se trabalha com umidade de 68 a 74%. Contudo, o excesso ou a falta traz sérios transtornos a compostagem, se o meio apresentar excesso de água, essa pode ocupar os espaços vazios no interior da composteira dificultando a passagem de oxigênio tendendo a anaerobiose. Nesses casos, poderão ser acrescentadas aparas de grama, palhas, dentre outros resíduos desde que estejam secos, para que reduzam o excedente de umidade. Por outro lado, teores de umidade inferiores a 40% podem ser insuficientes para manter a atividade termofílica. Como alternativa pode-se realizar a irrigação do material, de forma a resfriar o meio e melhorar as condições para atuação dos microrganismos. Em ambos os casos há necessidade de revolvimento do material que irá

auxiliar na velocidade de oxidação, estimulando a ação dos microrganismos presentes e reduzindo a liberação de odores (INÁCIO; MILLER, 2009).

b) Temperatura

A temperatura é um indicador de eficiência no sistema de compostagem, e está diretamente ligada a ação dos microrganismos, apontando o nível de decomposição do material (VALENTE *et al.*, 2009).

Em condições ideais até o quinto dia, ocorrerá elevação da temperatura, indicando que os microrganismos estão interagindo. No segundo/terceiro dia, é ideal que a temperatura esteja em torno de 40 a 60°C. Inferior a 25 °C há necessidade de se revirar o material para aumentar a aeração e assim melhorar as condições para atividade dos microrganismos que consequentemente aumentarão a temperatura. Superior a 65 °C a ação dos microrganismos diminui, gastando maior tempo para atingir a fase de maturação. Por isso, se a temperatura for superior a 66 °C, o meio deve ser irrigado de forma a resfriar a massa, reduzindo a temperatura. Temperaturas termófilas (50 a 70 ° C) são desejáveis, uma vez que destroem muitos patógenos, larvas de moscas, patógenos de plantas e aos 63 °C são capazes de inviabilizar sementes de ervas daninhas (INÁCIO; MILLER, 2009).

c) pH

O pH do meio influi nas atividades dos grupos de microrganismos, principalmente na fase inicial do processo. Misturas com pH entre 5,0 e 7,0 são ideais para ação microbiana (BRASIL, 2017).

No início do processo, há uma redução do pH devido à produção dos ácidos orgânicos (fórmico, acético e pirúvico) que vão sendo decompostos até a completa oxidação, resultando em um aumento do pH que se concentra próximo a neutralidade. O pH, é usado para determinar acidez e alcalinidade do meio através de uma escala que varia de 0 a 14, onde inferior a 7 considera-se como meio ácido, superior a esse valor de 7 a 14, o meio se classifica como básico e o neutro quando o pH está em 7 (ARAÚJO; ALMEIDA; BASSO, 2015).

d) Granulometria

A granulometria, ou tamanho das partículas, é uma característica importante, pois interfere no processo de compostagem. Como a decomposição da matéria orgânica é um fenômeno microbiológico sua intensidade está relacionada à superfície específica de

contato da matéria a ser degradada, de forma que, quanto menor a granulometria dessas partículas, maior será a superfície de contato para ação dos microrganismos, assim acelerando o processo de decomposição (INÁCIO; MILLER, 2009; PEREIRA; GONÇALVES, 2011). Conforme Araújo, Almeida e Basso (2015), considera-se partículas com boas dimensões entre um e cinco centímetros, partículas com granulometria inferior a um centímetro levam a compactação e consequente anaerobiose prejudicando o desenvolvimento e quando superior a cinco centímetros, os microrganismos apresentam certa dificuldade/demora em degradar o material, o qual poderá ser triturado para realizar a correção quanto a sua dimensão.

e) Relação Carbono (C) / Nitrogênio (N)

Os microrganismos responsáveis pela compostagem utilizam o carbono como alimento e o nitrogênio para a síntese proteica. A proporção de C e N regula a ação microbiana e a mistura de resíduos orgânicos ideal deve ter uma relação C/N inicial em torno de 30, ou seja, os microrganismos precisam de 30 partes de Carbono para cada uma parte de Nitrogênio. O carbono é fonte de energia, favorecendo o crescimento e desenvolvimento microbiano, o nitrogênio é essencial para o crescimento e funcionamento das células como proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas (BRIETZKE, 2016).

Essa relação pode variar de 20 a 70 em função da maior ou menor biodegradabilidade do substrato. Os resíduos utilizados na compostagem possuem quantidades diferentes de carbono e nitrogênio em sua composição. Geralmente, esterco e restos de comida são ricos em nitrogênio. Folhas, palhas e serragens são ricas em carbono (LIMA; CARDOSO; OLIVEIRA, 2020).

O desequilíbrio na relação C/N pode limitar a ação dos microrganismos. Se essa relação C/N for muito baixa (10:1), poderá ocorrer perda de Nitrogênio por volatilização na forma de Amônia e se, ao contrário, estiver muito alta (50:1), os microrganismos não terão Nitrogênio suficiente para realizar a síntese de proteínas e seu desenvolvimento será comprometido, retardando a obtenção do composto orgânico. Relação C/N entre (25:1 e 30:1), é considerada ótima permitindo boa decomposição (PEIXOTO, 2012).

Algumas consequências das diferentes relações C/N podem ser demonstradas (QUADRO 1), de modo a confirmar a importância de se manter a relação correta durante o processo de compostagem.

Quadro 1 - Relação C/N na compostagem (consequências e problemas)

Relação C/N	Problema	Consequência
Acima de 50/1	Deficiência de Oxigênio	Tempo de maturação mais longo
De 25/1 e 35/1	Não há	Tempo de maturação ideal, caso outros fatores também sejam atendidos
Menor que 10/1	Perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia	Tempo de maturação mais reduzido

Fonte: Araújo, Almeida e Basso (2015).

Após a maturação, o composto que será adicionado ao solo, também não deve apresentar uma relação C/N desequilibrada, podendo resultar em danos à cultura. Uma baixa relação C/N (10:1), poderá levar ao desprendimento de NH₃, sendo prejudicial à planta, do mesmo modo que, se estiver alta, o consumo do N pelos microrganismos pode resultar em deficiência desse nutriente para a planta (BRIETZKE, 2016).

Conforme Moraes (2014), os microrganismos absorvem elementos Carbono e Nitrogênio na proporção de 30:1. O carbono é utilizado como fonte de energia, o nitrogênio é assimilado na estrutura. Quando essa proporção for maior, como por exemplo, 60:1 os microrganismos utilizam o nitrogênio mineral presente no solo ou de organismos que já morreram transformando-o em nitrogênio orgânico.

f) Aeração

A oxigenação do material pode ser realizada de forma artificial (mecânica) ou natural (revolvimento), utilizando-se de ferramentas como enxadas e pás, atuando no controle da temperatura, de acordo com as características do material a ser compostado (PEREIRA NETO, 2010).

O oxigênio presente na composteira é essencial, uma vez que permite a aeração do material e controle do pH do meio. A oxigenação natural, por meio do revolvimento dos resíduos, ou de forma mecânica por meio da injeção de ar com equipamentos específicos, ainda dissipa o mau cheiro proveniente dos gases que são liberados e elimina a possibilidade de vetores e pragas (DAZZI; BRINGHENTI; TEIXEIRA, 2018). Nos sistemas de compostagem, é fundamental suprir a necessidade em oxigênio dos microrganismos e o controle da temperatura. Para operacionalizar o sistema de compostagem se faz necessária a presença de oxigênio, uma vez que o processo fermentativo favorece a elevação da temperatura, permitindo a liberação de diversos gases, CO, CO₂, vapor de água, dentre outros (NORUEGA, 2011). A aeração é necessária em maior intensidade na fase inicial do processo

quando a degradação do material é rápida (INÁCIO; MILLER, 2009). Influência no tempo de oxidação do material em compostagem e a deficiência pode promover um ambiente anaeróbico (ARAÚJO; ALMEIDA; BASSO, 2015) cujo processo se torna fétido, com odores desagradáveis devido à presença de gases provenientes do material em processo fermentativo (INÁCIO; MILLER, 2009). Através do revolvimento é possível a incorporação de oxigênio essencial para os microrganismos, garantindo assim, reações de oxidação e oxigenação no processo de compostagem.

Microrganismos na compostagem

Durante a compostagem, transformações complexas de origem microbiológica, acontecem por meio dos fungos e bactérias presentes no solo e nos resíduos utilizados na composteira (CAMATTI - SARTORI *et al.*, 2012). Os microrganismos se utilizam do resíduo orgânico para o crescimento de seus tecidos, com consequente transformação e produção de composto orgânico, também chamado de húmus.

A ação dos microrganismos depende da relação ecológica entre os grupos presentes, de fatores do ambiente e das ações de controle como o revolvimento, a temperatura, o pH, a umidade, o oxigênio disponível, dentre outros (BRASIL, 2017).

De acordo com Pereira Neto (2010), quanto maior a diversidade de resíduos orgânicos estiverem na composteira, mais variados serão os nutrientes e consequentemente a população microbiana.

Observa-se uma organização entre os microrganismos presentes na composteira, onde esses se especializam em funções específicas do processo. Existem comunidades de microrganismos presentes na compostagem e esses apresentam diferentes graus de complexidade e riqueza de espécies, exibindo interações variadas entre si. Diversos são os grupos de microrganismos presentes e disponíveis para atuarem na decomposição do meio, com destaque para os principais grupos (CAETANO, 2014):

- Bactérias – são microrganismos encontrados em maior quantidade no processo de compostagem, estando presentes na fase mesofílica e termofílica, responsáveis por cerca de 90% dos processos de degradação (BRIETZKE, 2016). O grupo de mesófilas são responsáveis pela decomposição de compostos com estrutura simples. Os actinomicetes

(bactérias gram positivas), degradam os compostos mais complexos, de difícil decomposição, e auxiliam na eliminação dos patógenos presentes na composteira (PEREIRA NETO, 2010).

Os microrganismos são classificados de acordo com a temperatura considerada ótima para sua sobrevivência (TABELA 1).

Tabela 1 - Temperaturas de ação das bactérias na composteira

Bactérias	Temperaturas (°C)		
	Mínima	Ótima	Máxima
Mesófilos	15 a 25	25 a 40	43
Termófilos	25 a 45	50 a 55	85

Fonte: Adaptado de Pereira Neto (2010).

- Fungos – São microrganismos filamentosos, heterotróficos, sobrevivem e se desenvolvem em ambientes ácidos a levemente alcalinos, com pH variando de 2,0 a 9,0. Sintetizam enzimas específicas que quebram os compostos ricos em carbono (CARLI, 2010). São seres eucarióticos, possui apenas um núcleo, obrigatoriamente aeróbicos, como forma de energia utilizam da matéria orgânica sintetizada por outros microrganismos. Como exemplo mais comum, têm-se os bolores, que formam micélio, ou seja, uma massa visível formada por longos filamentos que se ramificam e expandem. São especialistas na degradação de lignina e celulose (PEREIRA NETO, 2010).

Materiais que devem ser evitados na composteira

Madeiras com restos de tintas ou tratadas com pesticidas, vidros, metal, óleo, plásticos, não devem ser usados no processo de compostagem, pois retardam o processo e prejudicam a ação dos microrganismos. Restos de carne, ovos, gorduras, devem ser evitados uma vez que seu processo de decomposição é mais lento, traz mau cheiro e atrai moscas, e larvas que se alimentam dos resíduos. Fezes de animais domésticos, filtros de cigarros e outros elementos não biodegradáveis, também devem ser evitados (MEDEIROS, 2016).

Local ideal para realizar a compostagem

O local para a compostagem deve oferecer condições de acesso, espaço suficiente para movimentação, disponibilidade de água, possibilidade para drenagem do chorume se

necessário, presença de sol e sombra, proteção contra ventos e chuvas fortes (WANGEN; FREITAS, 2010).

O local deve ser plano com declividade máxima de 5 %, de forma que não prejudique o escoamento e a drenagem da água. As leiras/pilhas podem ser realizadas em campo aberto, não sendo necessário local coberto e cimentado (COOPER *et al.*, 2010).

As composteiras domésticas devidamente preparadas, com furos favorecendo aeração e drenagem do chorume podem ser realizadas em pequenas áreas, apartamentos e casas, desde que bem ventilados, com misto de sol e sombra favorecendo a temperatura para desenvolvimento do processo, facilidade de acesso aos resíduos e água, se necessário para irrigar.

Subprodutos da compostagem

O Composto orgânico é o produto final, resultante da compostagem, formado por húmus e sais minerais, sendo fonte de matéria orgânica e nutrientes, pode ser usado diretamente no solo, propiciando melhoria em suas condições físico-químicas e microbiológicas, auxiliando no crescimento das plantas, aumentando a disponibilidade de nutrientes presentes no solo, auxiliando na redução de perdas por lixiviação e aeração (PEREIRA NETO, 2010).

O húmus é um adubo orgânico, sem qualquer tipo de produto químico em sua composição, pois se trata de um produto natural, que não degrada o meio ambiente. Pode ser usado em todo tipo de cultura, capaz de promover maior retenção da umidade, impedindo que as chuvas carreguem os nutrientes do solo, melhora a porosidade e aumenta a capacidade das plantas em absorver os nutrientes disponíveis. O composto orgânico é fundamental para enriquecer a microbiota do solo (PASCOAL *et al.*, 2018), e possui como principal característica, a capacidade de liberar seus nutrientes de forma lenta, gradativa, não ocasionando saturações no solo (LIMA; CARDOSO; OLIVEIRA, 2020).

Ao longo do período de degradação o volume do material destinado à compostagem sofre reduções, chegando ao final do processo com metade do peso inicial. O rendimento do composto orgânico final é de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ se comparado com o volume inicial (INÁCIO; MILLER, 2009). Com a prática da compostagem ocorre a redução dos resíduos destinados aos aterros sanitários (Brasil, 2017), além de promover a transformação de materiais instáveis, reduzir o

gasto com transporte e armazenamento de resíduos, sendo um fertilizante natural sem potencial tóxico.

A compostagem, contudo, não é o único meio pelo qual se torna possível a degradação controlada da matéria orgânica. Outros sistemas vêm sendo indicados pelos ambientalistas, apresentando-se com características distintas e usos particularmente favoráveis, os biodigestores, por exemplo são recursos bastante utilizados para tratamento da fração orgânica, trazendo excelentes resultados.

Para os resíduos alimentares, segundo Rocha (2016), a biodigestão anaeróbica representa uma alternativa promissora que permite o tratamento e estabilização da fração orgânica dos resíduos sólidos, sendo um processo biológico que acontece na ausência de oxigênio, e, pela ação dos microrganismos, ocorre a produção de biogás que pode ser utilizado como fonte de energia, e o biofertilizante para a agricultura.

Biodigestão

A biodigestão é um processo de conversão energética, em que a matéria orgânica é convertida em gás combustível e biofertilizante. É um método de degradação que transforma compostos orgânicos complexos em substâncias simples como metano e dióxido de carbono (BARBOSA *et al.*, 2019).

Essa ação se utiliza de microrganismos especializados que podem ser encontrados de forma natural em sedimentos, lodos, aterros sanitários, dejetos de animais, como os ruminantes, dentre outros e, quando inseridos no meio anaeróbico atuam com eficiência (RIZZONI *et al.*, 2012). É uma tecnologia que possibilita um melhor aproveitamento energético da biomassa conduzindo o monitoramento sustentável dos resíduos orgânicos e ainda gerando biogás, (ARAÚJO, 2017; ROCHA, 2016), sendo uma fonte alternativa de energia com ampla utilização na indústria e o biofertilizante um resíduo líquido rico em minerais, que poderá ser utilizado em culturas diversas.

Fatores que interferem no processo de biodigestão

Conforme Linz *et al.*, (2017), a eficiência e a estabilidade da digestão anaeróbia estão relacionadas às características do afluente e as condições do material no interior do

biodigestor. Para que a biodigestão ocorra de forma eficaz, e haja produção de seus subprodutos, alguns fatores devem ser observados e monitorados.

a) Umidade

Conforme Rizzoni *et al.*, (2012), o excesso ou a falta de água no interior do biodigestor é inconveniente ao processo de fermentação, sendo ideal o teor de água próximo à 90%, em relação ao peso total do material. Para Castro e Mateus (2016), a umidade se refere a quantidade de água presente no biodigestor e o teor ideal está entre 60 e 80 %.

b) Temperatura

As reações bioquímicas que ocorrem durante o processo de biodigestão podem ser influenciadas pela temperatura, que causa desbalanceamento nas atividades das bactérias envolvidas no processo. As bactérias presentes na biodigestão são muito sensíveis à temperatura, dessa forma variações de 3°C podem levar a morte das mesmas (METZ, 2013). Para Rizonni *et al.*, (2012), a maior produção de biogás ocorre quando a temperatura está em torno de 37 °C. Cada grupo de bactérias possui uma temperatura ideal de trabalho, de acordo com o ponto mais alto de eficiência térmica dos microrganismos, esses podem ser classificados em três principais grupos:

- Psicrófilas, que atuam em temperaturas < 20 °C;
- Mesófilas, atuam em temperaturas de 30 a 40 °C;
- Termófilas atuam de 50 a 65 °C.

c) pH

Para que as bactérias e microrganismos possam atuar de forma eficaz o pH precisa estar na faixa entre o neutro ou levemente ácido de 6,5 a 7,2 (RIZZONI *et al.*, 2012). Conforme Castro e Mateus (2016), no intervalo de 6,6 a 7,6 se observa maior atividade das bactérias metanogênicas (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

d) Granulometria

O tamanho das partículas dos resíduos sólidos orgânicos pode influenciar na bioestabilização da biomassa usada no biodigestor e, quanto maior a superfície de contato, melhor será a interação entre o resíduo e os microrganismos (SEABRA JÚNIOR, 2017). Partículas menores possuem maior superfície de contato, facilitando a atuação das bactérias

que degradam o material, enquanto partículas maiores dificultam a quebra pelas bactérias (CASTRO; MATEUS, 2016).

e) Relação Carbono/Nitrogênio

A relação Carbono e Nitrogênio ideal, se encontra entre 20 a 30 partes de carbono para cada parte de nitrogênio (ARRUDA; AMARAL; PIRES, 2002), variando conforme o tipo de substrato e as condições do processo, sendo necessário de 20 a 30:1 no início do tratamento e 10 a 13:1 no final (KARLSSON *et al.*, 2014). Conforme Metz (2013), a relação C/N é importante para a formação dos ácidos orgânicos que são utilizados pelas bactérias na produção do biogás, onde o carbono é utilizado pelas bactérias na forma de energia e o nitrogênio para construção das estruturas celulares.

f) Concentração de nutrientes

As bactérias presentes no biodigestor necessitam de nutrientes para realizar seu metabolismo (CASTRO; MATEUS, 2016). Conforme Paixão (2018), são indispensáveis para o crescimento, desenvolvimento e a reprodução dos microrganismos os macronutrientes, como Carbono, Nitrogênio, Fósforo, Enxofre e alguns micronutrientes, como Ferro e Níquel. O alimento das bactérias no biodigestor é constituído pela matéria orgânica presente e tais nutrientes precisam estar balanceados para que reações adversas não venham ocorrer (RIZZONI *et al.*, 2012).

Materiais que devem ser evitados na biodigestão

Bactérias que atuam no processo de biodigestão podem sofrer intoxicações com elevadas taxas de componentes, como o cloreto de sódio (NaCl), cobre (Cu), cromo (Cr), amônia (NH₃) e outros (ARRUDA; AMARAL; PIRES 2002). Resíduos dos desinfetantes, bactericidas, antibióticos e até a água quando tratada com excesso de cloro (Cl), se presentes no biodigestor, podem levar a morte ou reduzir a ação das bactérias (CALDEREIRO, 2015). De modo geral os antibióticos não são completamente metabolizados no organismo dos animais, sendo eliminados nas fezes e urina, de forma a comprometer o processo de biodigestão, se estiverem presentes (GAVIOLI, 2012).

Tempo de decomposição da matéria orgânica

O tempo de decomposição da matéria orgânica, também chamado de tempo de retenção hídrica, se refere ao tempo necessário para degradação completa da matéria orgânica dentro do biodigestor, (RIZZONI *et al.*, 2012). Em média de 35 a 45 dias (ARRUDA; AMARAL; PIRES, 2019).

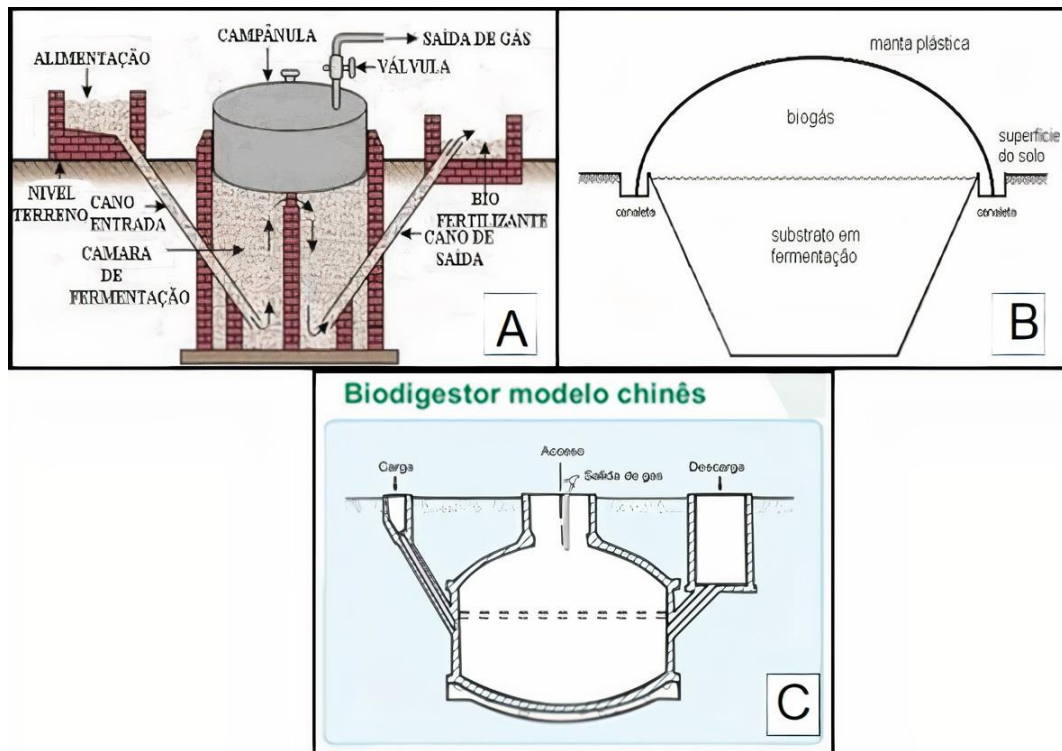
Biodigestores

Relatos na literatura mostram o uso de biodigestores desde o século passado, onde o biogás também já era conhecido. Na segunda metade do século XIX foi executada a primeira instalação de biodigestores com intuito de produzir gás combustível e no ano de 1857, a Índia instalou o primeiro biodigestor para fins de experimento sobre o sistema anaeróbico (ARAÚJO, 2017).

A Índia foi o país pioneiro em difundir a tecnologia dos biodigestores. As questões sociais e disponibilidade de recursos favoreceram a evolução dessa tecnologia no país. Enquanto que os chineses tinham certa preferência no uso de biofertilizantes para a agricultura regional e assim fornecer alimentos de qualidade para a população e o biogás era utilizado na forma de energia. Assim, atualmente, estes dois modelos são referências mundiais, sofrendo pequenas variações, de acordo com a situação, mas mantidos os princípios fundamentais que foram essenciais para o desenvolvimento das tecnologias dos modelos de biodigestores indiano e chinês (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Existe também o modelo Canadense, do tipo horizontal, que possui uma caixa em alvenaria, com a largura maior que a profundidade, dessa forma possui maior área de exposição ao sol, o que contribui para a produção de biogás. A cúpula é formada por um material plástico maleável (PVC), que é inflada com a presença do gás. Um fator que compromete esse modelo é o custo com o material da cúpula. Os principais modelos de biodigestores são o indiano, canadense e o chinês (Figura 3) usados para tratamento dos resíduos orgânicos:

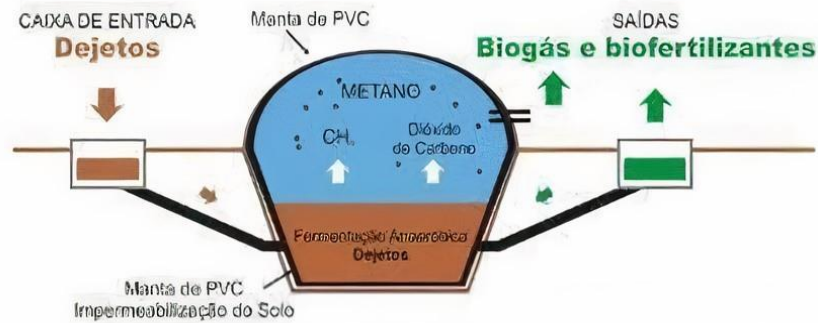
Figura 3 - Modelo de biodigestores tipo indiano (A), canadense (B) e chinês (C) para tratamento de resíduos orgânicos



Fonte: Bing imagens. Acesso em: 30/05/2021.

Biodigestores são equipamentos herméticos onde se depositam os resíduos orgânicos para a fermentação anaeróbica. É composto por um reservatório onde se armazena a matéria orgânica que será fermentada e um recipiente ou câmara (gasômetro) para conservar o biogás produzido. Geralmente o biogás permanece armazenado na parte livre do reservatório (biodigestor), mas deve ser canalizado e retirado de forma regular, com objetivo de aliviar a pressão interna do sistema (ARAÚJO, 2017). Com um sistema fechado que pode ser construído de alvenaria, concreto, recipientes de polietileno ou outros materiais (FIGURA 4), em que a matéria orgânica é depositada e por meio da decomposição, ocorre a produção de biogás e biofertilizante (OLIVEIRA JÚNIOR, 2013).

Figura 4 - Modelo do funcionamento de um Biodigestor



Fonte: Biodigestor. Acesso em: 30/05/2021.

Segundo Barbosa *et al.*, (2019), biodigestor é um recipiente fechado onde o gás metano e o biofertilizante são produzidos em consequência da fermentação anaeróbica da matéria orgânica. A fundamentação biológica é a decomposição da matéria orgânica por meio de bactérias através da hidrólise, acidificação, acetanogênese e metanogênese.

O biodigestor pode ser uma alternativa acessível e auto-sustentável, por se utilizar de resíduos orgânicos, contribuindo para a melhoria da qualidade do meio (METZ, 2013). Conforme Andrade *et al.*, (2012), o biodigestor favorece a sanidade nas áreas rurais, evitando a contaminação e mantendo a qualidade dos recursos hídricos. E como subproduto há produção de biofertilizante, que pode ser usado como adubo orgânico, em substituição total ou parcial aos adubos químicos. O tratamento correto dos resíduos orgânicos pode ser viabilizado através de biodigestores, onde esses resíduos sofrem um processo de biodigestão anaeróbia dentro do fermentador, a matéria orgânica é degradada e estabilizada modificando a estrutura bioquímica do resíduo, diminuindo os microrganismos patogênicos, com consequente produção de gases (biogás) e biofertilizantes (matéria orgânica estabilizada) (KRETZER *et al.*, 2016).

Conforme Amaral, Steinmetz e Kunz (2019), os biodigestores se classificam conforme:

- O tipo de abastecimento: em batelada ou contínuo;
- A forma de alimentação: ascendente ou laminar;
- A concentração de sólidos no reator: digestão sólida > 20 %, semissólida 10 a 15 % e umidade < 10 %;
- O modo de agitação: mistura completa, parcial ou sem mistura.

Subprodutos da biodigestão

De acordo com Possa (2013), durante o processo de biodigestão ocorre a formação do biogás e biofertilizante, os quais possuem diversas formas de aproveitamento.

a) Biogás

O biogás é o produto resultante da biodigestão anaeróbia da matéria orgânica em biodigestores, que ocorre através da ação de determinadas espécies de bactérias, constituído principalmente pela mistura de gases, metano (CH_4) de 65 a 70 %, gás carbônico (CO_2) de 30 a 35 %, vapor de água e conta ainda com traços de hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) gás sulfídrico (H_2S), vapor de água, dentre outros (RIZZONI *et al.*, 2012).

O biogás é um combustível gasoso, que pode ser usado para produção de energia elétrica, térmica, e até mesmo mecânica (ROCHA, 2016).

Segundo Possa (2013), no biogás, o metano é o elemento de maior potencial, mas, para que possa ser usado com segurança se faz necessário sua purificação, que remove as impurezas e aumenta a capacidade energética do mesmo. Os demais componentes se fazem presentes em concentrações inferiores a 1% (TABELA 2).

Tabela 2 - Composição típica do biogás em porcentagem

Componente gasoso	Porcentagem aproximada
Metano (CH_4)	50% a 75%
Dióxido de carbono (CO_2)	25% a 40%
Hidrogênio (H_2)	1% a 3%
Nitrogênio (N_2)	0,5% a 2,5%
Oxigênio (O_2)	0,1% a 1%
Gás Sulfídrico (H_2S)	0,1% a 0,5%
Amônia (NH_3)	0,1% a 0,5%
Monóxido de Carbono (CO)	0% a 0,1%
Água (H_2O)	Variável

Fonte: Lima e Passamani (2012).

Formação do biogás

A formação do biogás ocorre pela transformação de materiais orgânicos em substâncias químicas, através da digestão anaeróbia por grupos de microrganismos.

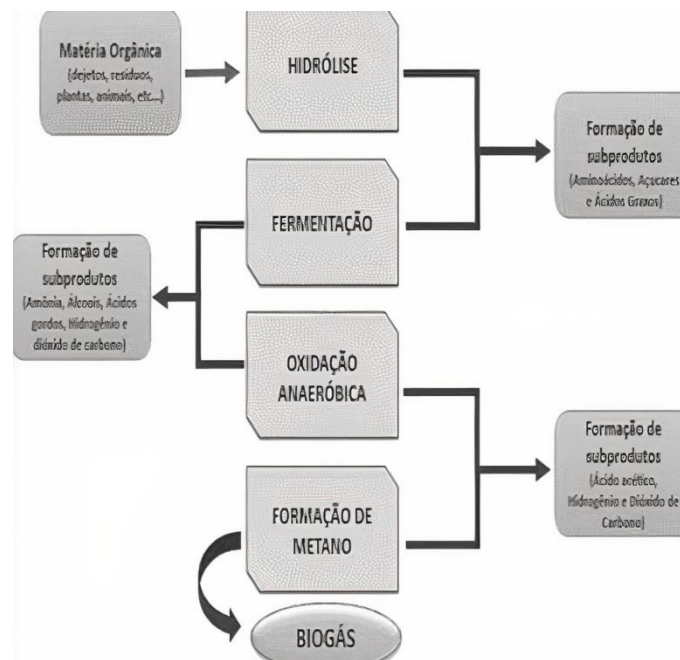
Segundo Lima e Passamani (2012), o processo se dá em três etapas: fermentação, acetogênese e metanogênese. Na primeira fase, bactérias fermentativas (anaeróbicas facultativas), quebram a matéria orgânica para a disponibilização dos ácidos graxos, álcool,

dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e sulfetos que serão utilizados na etapa seguinte, quando bactérias do grupo acetogênicas irão consumir hidrogênio, dióxido de carbono e ácido acético. Já na terceira fase, bactérias metanogênicas, primordialmente, reduzem o dióxido de carbono a metano enquanto outros grupos promovem a descarboxilação do ácido acético resultando na produção final de metano e dióxido de carbono (POSSA, 2013).

Para Rizonni *et al.*, (2012) e Rocha (2016), a fermentação anaeróbica pode ser estudada em quatro fases: A primeira, denominada fase hidrolítica, onde as enzimas hidrolíticas extracelulares das moléculas complexas dos substratos solúveis degradam-se (hidrolização) em pequenas moléculas que são transportadas para dentro das células dos microorganismos e metabolizadas. Nessa fase ocorre a transformação de proteínas em aminoácidos, de carboidratos em açúcares solúveis e de lipídeos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina.

Na segunda fase, também conhecida como fase da fermentação ácida (acidogênese), os produtos da primeira fase serão transformados em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico, hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂) para que em uma terceira fase, ou fase de acetogênese, as bactérias acetogênicas, chamadas de produtoras de hidrogênio possam converter os produtos gerados em dióxido de carbono (CO₂), hidrogênio (H₂), acetato e ácidos orgânicos de cadeia curta. Na quarta fase, bactérias metanogênicas transformam os ácidos orgânicos de cadeia curta, o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos, mais uma vez, em metano e gás carbônico (FIGURA 5).

Figura 5 - Etapas do processo de formação do biogás



Fonte: Rocha (2016).

O metano presente no biogás é o elemento principal e responsável pela concentração energética do produto. A seguir, alguns aspectos importantes sobre este e os demais constituintes do biogás.

- Metano (CH_4) – É um gás incolor que não apresenta cheiro, cor e sabor, possui baixa leveza e pequena toxicidade, sendo prejudicial em concentrações acima de 50.000 ppm (POSSA, 2013). Segundo Rocha (2016), a formação do metano ocorre de forma natural em ambientes onde não há presença de oxigênio por meio de bactérias anaeróbicas. Possui chama pouco visível, é inflamável, em casos de vazamentos geralmente escapa para cima devido a densidade ser menor que do ar. Pode ser detectado em pântanos, resultando do apodrecimento das raízes dos vegetais (ARRUDA; AMARAL; PIRES, 2002). Esse, é o elemento principal que determina o poder calorífico do biogás (ARAÚJO, 2017).
- Dióxido de carbono (CO_2) - É um gás levemente tóxico, não apresentando cheiro e cor, com sabor ácido, sendo 1,4 vezes mais pesado que o O_2 . Possui capacidade de interação com bases fortes, principalmente em altas

temperaturas, sendo um dos grandes vilões do efeito estufa. Os veículos alimentados por combustíveis derivados de petróleo são fornecedores de CO₂ (POSSA, 2013) e segundo Magalhães *et al.*, (2004), reduz o conteúdo energético do biogás, exigindo sua remoção, para uma melhor eficiência.

- Gás sulfídrico (H₂S) – Não apresenta cor, sendo mais pesado que o ar possui odor desagradável lembrando ovo podre, altamente tóxico e irritante aos olhos e sistema respiratório. Possui alto poder corrosivo e quando usado como combustível pode levar a formação de dióxido de enxofre, componente tóxico que pode levar à morte (FRARE; GIMENES; PEREIRA, 2006; POSSA, 2013).
- Amônia (NH₃) – Em temperatura ambiente se apresenta como gás tóxico, sem cor, inflamável, com odor irritante. É um gás corrosivo na presença de umidade e possui alta solubilidade em água (POSSA, 2013). Apresenta grande risco para a saúde, necessitando de cuidados ao ser manuseado. Conforme Pereira *et al.*, (2018), o gás amônia, geralmente é encontrado em baixas concentrações no biogás, se torna corrosivo na presença de água, principalmente sobre o cobre, no processo de queima pode emitir óxidos de nitrogênio, nocivos à saúde e ao meio ambiente.

Purificação do biogás

O biogás é uma fonte de energia de múltipla utilização e economicamente viável. Devido ao grande percentual de metano, é uma boa opção para ser utilizado em formas diversas. Porém, devido a presença de outros gases é necessária a purificação, por meio de técnicas específicas (ARRUDA; AMARAL; PIRES, 2002).

Para o uso do biogás nas condições de combustível ou na rede de gás natural, deve-se remover o dióxido de carbono, água, gás sulfídrico, dentre outras impurezas presentes, que prejudicam sua eficiência. Existem muitas tecnologias disponíveis para sua purificação, sempre pensando em atender as especificações tanto de combustível veicular como de gás natural. A purificação do biogás, tem como objetivo principal atender as especificações necessárias para sua utilização no mercado, melhor capacidade energética e maior

padronização do gás produzido. Conforme Lima e Passamani (2012), pode-se usar os seguintes métodos de purificação:

Absorção

No processo de absorção química, observa-se uma reação química entre o gás absorvido e o líquido solvente, que pode ou não ser regenerado. Na absorção física, o gás é dissolvido em solvente líquido, não sofrendo reação química. O método de absorção mais conhecido se usa água como solvente, onde o biogás bruto é injetado no fundo de uma coluna e o solvente em contracorrente elimina parte das impurezas (LIMA; PASSAMANI, 2012).

Para Barbosa *et al.*, (2019), é um processo que consome grande quantidade de água e depende da temperatura e pressão. Se a temperatura e pressão estiverem altas, quantidades consideráveis de gás carbônico serão removidas pela água, mas como consequência, a água se tornará ácida e corrosiva, sendo preocupante o seu descarte após o uso.

Adsorção em uma superfície sólida

Geralmente moléculas das substâncias indesejáveis (H_2S , CO_2 e H_2O), são fixadas sobre um apoio de adsorventes que possuem uma superfície porosa. A seletividade da adsorção pode ser obtida com diferentes tamanhos e poros, ou podem ainda se utilizar de materiais como o carvão ativado ou peneiras moleculares para separar o CO_2 do biogás (LIMA; PASSAMANI, 2012).

Separação em membranas

Essa técnica de separação por membranas é utilizada há quase três décadas para a remoção de dióxido de carbono e outros contaminantes como vapor de água e hidrogênio. Possui alta eficiência energética, baixo custo, facilidade de operação e manutenção (MOURA, 2018).

É realizada por diferença de permeabilidade dos gases através de uma membrana. Algumas técnicas permitem eliminar o gás carbônico, o ácido sulfídrico e a água, mas geralmente outros tipos de tratamentos complementares são necessários (LIMA; PASSAMANI, 2012).

Separação criogênica

O resfriamento do biogás, à uma pressão elevada, permite que impurezas como H₂O e CO₂, se tornem líquidos, permitindo separá-los do biogás (LIMA; PASSAMANI, 2012).

De acordo com Cerveira (2016), com uso dessa técnica, o biogás é comprimido, em múltiplos estágios, por vários compressores e trocadores de calor. O biogás é resfriado até - 45 °C e o dióxido de carbono, então condensado, é retirado em um separador. Em seguida, o gás é resfriado a - 55 °C em trocadores de calor e depois expandido até atingir o equilíbrio de fases gás-sólido, consistindo a fase gasosa em mais de 97% em metano e a fase sólida em dióxido de carbono congelado.

Depuração do gás sulfídrico pelo óxido de ferro

Nesse caso, o biogás circula por meio de uma massa depuradora de óxido de ferro que retém parte do gás sulfídrico, sendo muito utilizado por ser um método simples e de baixo custo (FRARE; GIMENES; PEREIRA, 2009; LIMA; PASSAMANI, 2012). Segundo os autores, 1m³ de óxido de ferro tem capacidade para remover cerca de 100 kg de enxofre.

Outra opção de retirada do gás sulfídrico é substituir o óxido de ferro por óxido de zinco, porém, esse possui valor comercial mais elevado, tornando o processo mais caro. O H₂S reage com óxido de ferro, hidróxido de ferro e óxido de zinco, formando sulfeto de ferro ou sulfeto de zinco. Geralmente, uma base sólida (lã de aço), recoberta com limalha de ferro pode formar o leito de reação. Outra forma de purificação poderá ocorrer quando o gás sulfídrico e o gás carbônico entram em contato com algum desses hidróxidos de sódio, potássio ou cálcio e, havendo tempo para a reação, ocorrerá a formação de bicarbonato de modo irreversível. O uso do hidróxido de cálcio pode ser uma alternativa barata, mas, pode levar a precipitação do carbonato de cálcio, causando entupimento das tubulações (FRARE; GIMENES; PEREIRA, 2009).

Formas de uso do biogás

O biogás pode ser usado diretamente, mas também pode ser purificado para uso imediato ou armazenado para uso posterior. Existem muitas tecnologias para se realizar a conversão energética do biogás. De acordo com Possa (2013), as principais formas de uso do biogás são:

Energia elétrica - A conversão energética é o método em que se transforma um tipo de energia em outra, e para que o biogás seja transformado em energia elétrica, a energia química presente em suas moléculas são transformadas em energia mecânica por meio de um processo de combustão controlada, onde a energia mecânica ativa um gerador, que a converte em energia elétrica (LIMA; PASSAMANI, 2012).

Combustível - Conforme Passa (2013), em países como a Suécia, França, Suíça, Islândia e Itália, é comum o uso de biogás como combustível desde a década de 1990. Na Suécia existem em média 1500 veículos e 22 estações de abastecimento com biogás. Para que o biogás seja um combustível de alta qualidade o teor de metano deverá ser superior ao dióxido de carbono (ARRUDA; AMARAL; PIRES, 2002) e assim o gás sulfídrico, deve ser removido, uma vez que é corrosivo (FRARE; GIMENES; PEREIRA, 2009).

Crédito de carbono - Esse processo iniciou-se através do Protocolo de Quioto em 2007, que determina redução na emissão de gás carbônico no efeito estufa para países desenvolvidos. O biogás é um importante meio que contribui nesse propósito, pois reduz a emissão do metano e dióxido de carbono (POSSA, 2013). Os países podem negociar os créditos de carbono, em conformidade com os requisitos estabelecidos pelo Protocolo de Quioto, cujas negociações acontecem entre representantes de governos, empresas e bolsas. No Brasil em 2007 foi realizado o primeiro leilão de crédito de carbono da Prefeitura de São Paulo, uma realização da Bolsa de Mercadorias & Futuro BOVESPA. Nesse evento a Prefeitura vendeu um lote de 808.450 créditos de carbono, no período de 12/2003 a 12/2006, gerados a partir do controle do gás metano que deixou de ser lançado na atmosfera pelo Aterro Sanitário Bandeirantes (SANTOS, 2011).

O mercado de crédito de carbono no Brasil representa uma tonelada de emissão ou seja, a redução do gás de carbono, responsável por causar o efeito estufa. Essa, negociação dos créditos de carbono é uma forma de comercializar e também reduzir os efeitos negativos da produção de carbono pelas empresas. Atualmente o mercado do crédito de carbono no Brasil funciona como a Bolsa de valores, podendo ser negociado diretamente com empresas responsáveis por venderem o selo ambiental e qualquer empresa que detenha créditos, seja por trocas ou projetos ambientais, pode vender para empresas que não fazem o mesmo ou investidores (ARANTES-PEREIRA; CHAGAS, 2016).

Poder calorífico do biogás - Conforme Soares, Feiden e Tavares (2017), o poder calorífico do biogás é o poder de queima, calor de combustão ou potência calorífica. Para Silva, Navarro e Almeida (2016), é a quantidade de calor que geralmente é passada da câmara durante a combustão ou ainda a reação de temperatura constante, esse poder calorífico do biogás vai depender da quantidade de metano e gás carbônico presentes no mesmo, sendo mais energético a medida que a concentração de metano estiver mais alta.

b) Biofertilizante

Biofertilizantes são produtos naturais que se apresentam na forma líquida, provenientes da fermentação da matéria orgânica, com acréscimo de água, podendo ser formado na presença ou na ausência de oxigênio. Sua composição é bastante complexa e variável, possuindo os macros e micronutrientes essenciais às plantas (FRANÇA, 2006). Melhoram a saúde das plantas, tornando-as mais resistentes às doenças e possíveis ataques por pragas. Através do uso de biofertilizantes é possível obter alimentos mais saudáveis com aumento significativo na produtividade das culturas, apresenta menor custo se comparado aos fertilizantes químicos existentes no mercado, possui quantidades consideráveis de nitrogênio e outros nutrientes como fósforo, potássio e cálcio (STUCHI, 2015).

O uso de biofertilizantes iniciou-se por volta dos anos 1980, sendo testados em culturas, trazendo como resposta positiva, aumento na produtividade, indução à floração, redução quanto a queda dos frutos, melhoramento na qualidade produtiva, dentre outras. Pode ser aplicado em diluição na região foliar ou mesmo no caule das plantas podendo ser usado em jardins, horticultura e lavouras de modo geral (ARAÚJO, 2012).

De acordo com Alcântara (2016), o biofertilizante pode ser aplicado via foliar, diluído em água via gotejamento e ainda diretamente no solo, possui efeito fitohormonal, fungicida, bactericida, nematicida, acaricida e de repelência contra insetos, esses efeitos se dão em função do processo fermentativo realizado pelas bactérias ao longo do período de incubação dos materiais. Quando aplicado diretamente nas folhas, possui efeito protetor agindo como inseticida, fungicida e acaricida, quando usado diretamente nas raízes da cultura funciona como fonte de nutrientes e condicionador (STUCHI, 2015).

Antes de ser usado, o biofertilizante deve ser filtrado para retirada do material sobrenadante que poderá ser incorporado ao solo, e o líquido usado via foliar por meio de bombas costais quando se tratar de pequenas escalas ou por pulverizadores mecanizados para maiores quantidades (STUCHI, 2015). As concentrações de aplicação podem variar de 0,1% a

5%, sendo recomendados ainda, 20% até 50%, dependendo do tipo de cultura, do ciclo de vida e a forma de aplicação se foliar ou raiz (PEREIRA *et al.*, 2010).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Conforme a metodologia de Brasil (2017), foi realizada a caracterização dos resíduos gerados na UAN do IFMG *Campus* Bambuí, sendo a maior parcela encontrada de resíduos orgânicos, os quais foram objeto de estudo no atual trabalho.

Em escala laboratorial, utilizando-se dos resíduos orgânicos, referente ao resto ingesta da UAN do IFMG *Campus* Bambuí, foi possível realizar os experimentos de compostagem e biodigestão, sendo:

Montagem das composteiras

Conforme metodologia proposta por Medeiros (2016), foi realizada a montagem das composteiras, utilizando-se de três baldes plásticos com capacidade para 15,0 kg que depois de preparados, foram dispostos um sobre o outro, enumerados de cima para baixo, como nº 1, nº 2 e nº 3 (FIGURA 6). Foram realizados pequenos furos próximos à tampa e no fundo dos baldes nº 1 e nº 2, permitindo que o ambiente se mantivesse em aerobiose.

Figura 6 - Composteira com baldes para tratamento dos resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os resíduos utilizados foram constituídos por resto ingesta (cozidos: arroz, feijão, beterraba, cenoura e couve flor e tomate in natura) e cascas de frutas (melancia, maçã e banana), também esterco bovino, nas proporções de 1:1 (QUADRO 2).

Quadro 2 - Volume de resíduos orgânicos destinados para compostagem na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021

Resíduos orgânicos	Quantidades	Porcentagem
Resto ingesta	5,0 kg	50 %
Esterco bovino	5,0 kg	50 %
Total	10,00 kg	100 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Seguindo a metodologia de Medeiros (2016), os resíduos constituintes foram colocados em camadas alternadas de resíduos alimentares e de esterco, nos baldes nº 1 e nº 2, enquanto o balde nº 3 foi usado para coletar o chorume. A última camada foi de esterco bovino seco (500 gramas), com objetivo de cobrir e proteger os demais resíduos evitando a proliferação de moscas e insetos que poderiam ser atraídos para o sistema. O esterco usado na composteira foi similar ao processo de biodigestão, sendo utilizado na condição verde. Após a disposição do material nas composteiras, iniciou-se no dia seguinte o revolvimento do material e aferição de temperatura três vezes ao dia.

O processo de compostagem iniciou-se em 28 de fevereiro de 2021, encerrando em 13 de abril do mesmo ano, quando pôde ser considerado maturado por apresentar odor característico de terra, coloração marrom escuro e a temperatura do material se manteve à mesma do ambiente, perdendo a capacidade de auto aquecimento, conforme citado por Brasil, (2017).

Taxa de conversão

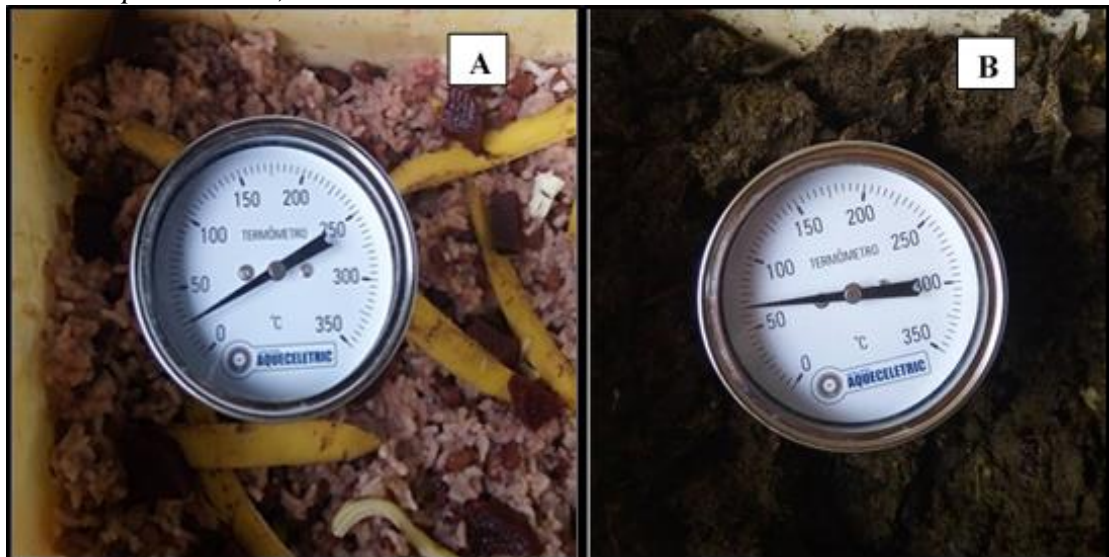
A aferição da taxa de conversão que representa a capacidade de redução do volume inicial de resíduo, foi realizada segundo Inácio e Miller (2009), que indica a média de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ referente ao volume inicial.

Os resíduos foram pesados em balança da marca Balmak®, com capacidade para 100 Kg sendo a mesma utilizada antes e após o processo de decomposição.

Variação de temperatura (°C) durante o processo de compostagem

O revolvimento do material e a mensuração da temperatura ocorreram diariamente em três horários padronizados: às 07h00 h (temperatura amena), às (12h00 h alta temperatura) e às 17h00 (temperatura em declínio), utilizando-se de um termômetro analógico da marca Aquecelectric®, com ampla escala de temperatura (FIGURA 7). Aferição da temperatura pode apontar as fases da compostagem ao longo de todo o período, em função da ação dos microrganismos presentes no material.

Figura 7 - Aferição da temperatura na composteira (A) fase inicial 25 °C e (B) fase termófila 66 °C no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG Campus Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Características físico-químicas (Macro e Micronutrientes)

Após a temperatura do composto orgânico se estabilizar atingindo a temperatura ambiente, momento esse que o composto atingiu a maturação, foram retiradas amostras para análise físico-química, que segundo (Valente *et al.*, 2009), pode ser um indicador de qualidade do produto final.

O composto orgânico produzido foi peneirado para uniformizar a granulometria, e desse, foram retiradas duas amostras, sendo uma amostra de cada balde, identificados no início do estudo (balde nº 1 e 2). Cada amostra pesando 1 kg, foi retirada manualmente, sendo dispostas individualmente em sacos plásticos, pesadas e em seguida encaminhadas ao laboratório para realização das análises.

No Laboratório de Solos a metodologia utilizada para realizar as análises foi de parâmetros aproximados para análise de solos do PROFERT (Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solos do Estado de Minas Gerais), por diferentes metodologias (QUADRO 3).

Quadro 3 - Macro e micronutrientes analisados no composto orgânico e a metodologia usada no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG Campus Bambuí, 2021

Metodologia	Elementos analisados	Unidade de representação dos resultados
KCl 1 mol/L	Cálcio trocável (Ca^{2+})	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3 = \text{meq}/100\text{cm}^3$
	Magnésio trocável (Mg^{2+})	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3 = \text{meq}/100\text{cm}^3$
	Acidez trocável (Al^{3+})	$\text{cmol}_c/\text{m}^3 = \text{meq}/100\text{cm}^3$
	Soma de bases ($\text{SB} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$)	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3 = \text{meq}/100\text{cm}^3$
	Capacidade de troca de cátions a pH 7 (CTC pH 7 = $\text{T} = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$),	$\text{cmol}_c/100\text{dm}^3 = \text{meq}/100\text{cm}^3$
	Saturação por alumínio ($m = 100 \text{ Al}^{3+}/\text{t}$, em %)	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$
	Saturação por bases ($\text{V} = 100 \text{ SB}/\text{T}$, em %)	$\text{cmol}_c/\text{dm}^3$
Método Mehlich – 1	Fósforo disponível (P)	$\text{mg}/\text{dm}^3 = \text{ppm} (\text{m}/\text{v})$
	Potássio disponível (K)	$\text{mg}/\text{dm}^3 = \text{ppm} (\text{m}/\text{v})$
	Manganês disponível (Mn)	$\text{mg}/\text{dm}^3 = \text{ppm} (\text{m}/\text{v})$
	Ferro disponível (Fe)	$\text{mg}/\text{dm}^3 = \text{ppm} (\text{m}/\text{v})$
	Cobre disponível (Cu)	$\text{mg}/\text{dm}^3 = \text{ppm} (\text{m}/\text{v})$
	Zinco disponível (Zn)	$\text{mg}/\text{dm}^3 = \text{ppm} (\text{m}/\text{v})$
Método Ca (OAc) ₂ 0,5 mol/L, pH 7	Acidez potencial (H + Al)	$\text{cmol}_c/100\text{dm}^3 = \text{meq}/100\text{cm}^3$
Para determinação do pH em água, se usa 10 cm ³ TFSA mais 25 mL de H ₂ O.	Ph	-
Método Walkley e Black	Carbono orgânico (C.O.)	$\text{dag}/\text{kg} = \% (\text{m}/\text{m})$

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Biodigestão utilizando os resíduos orgânicos da UAN do IFMG/BambuÍ

A operação do biodigestor foi realizada conforme metodologia proposta por Bueno (2010), com abastecimento do tipo “batelada”, abastecido uma única vez, no início do processo.

Tabela 3 - Volume de resíduos orgânicos usados no tratamento (biodigestão) na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021

Resíduos orgânicos	Quantidades	Proporcionalidades
Resto ingesta	5,0 kg	25 %
Esterco bovino verde	5,0 kg	25 %
Água	20,0 l	50 %

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Montagem do biodigestor

A construção do protótipo do biodigestor foi baseada na metodologia de Silva e Moreira (2017), com adaptação de uma mangueira possuindo 3 m de comprimento, adaptada em forma de U com objetivo de conferir o volume de biogás produzido (FIGURA 8).

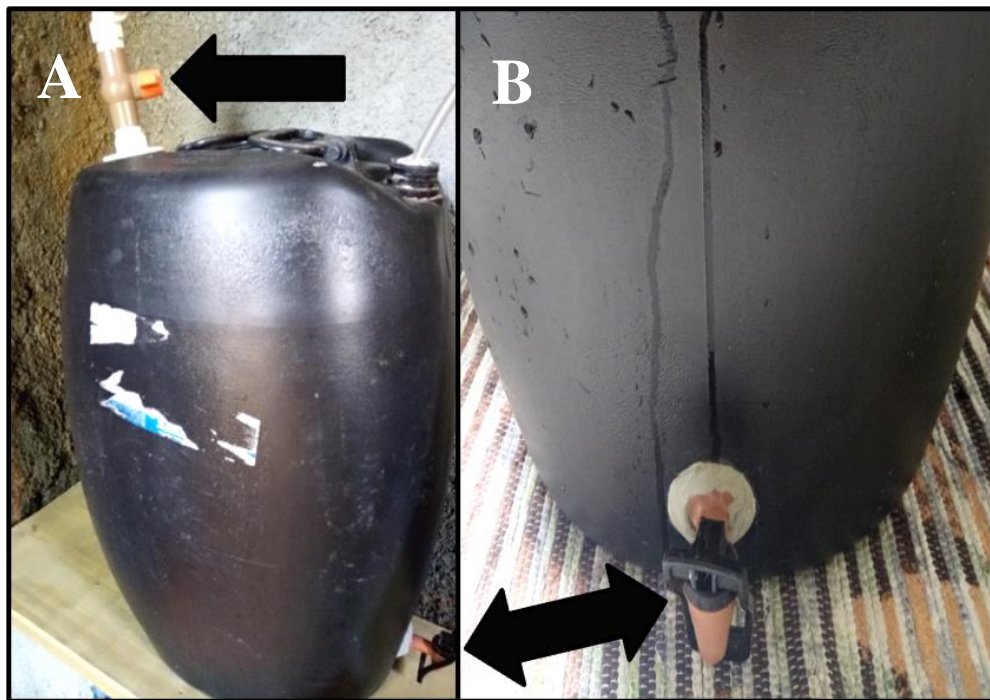
Figura 8 - Protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para a fase de fermentação, utilizou-se de um recipiente de polietileno (bombona reutilizável), com capacidade para 50 litros, na qual foi instalada uma torneira na parte inferior, para a coleta do biofertilizante que foi retirado ao fim do processo. Na tampa, foi acoplado uma flange com registro, que permitiu a condução do biogás ao restante do sistema, e retiradas amostras para a avaliação qualitativa (FIGURAS 9A e 9B).

Figura 9 - Parte (fermentador) do protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus Bambuí*, 2021



Imagens com destaque (setas pretas) para flange com registro (A) e a torneira para coleta do biofertilizante (B).
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após o registro que permite abertura para saída do gás, várias conexões foram instaladas para o transporte e purificação do biogás até o botijão de armazenamento, com capacidade para 13 kg, sendo utilizado para isso, um recipiente de gás comercial, do tipo doméstico. As mangueiras usadas no experimento foram próprias para gás em conformidade com a legislação vigente.

O biodigestor contou ainda com duas etapas para a purificação do biogás que além de filtrar, permitiu separar os componentes indesejáveis de odores fétidos e ainda melhorar a concentração de metano ao produto. Para um primeiro filtro (FILTRO 1) do protótipo, utilizou-se de um tubo de Policloreto de Vinila (PVC), com diâmetro de 8 cm e 60 cm de comprimento (FIGURA 10), que foi preenchido por um conjunto de fibras em aço, finas e entrelaçadas (lã de aço), correspondendo a 270 g, visando reagir quimicamente com o gás

sulfídrico presente no biogás. As esponjas foram substituídas a cada dez dias, quando já se encontravam oxidadas.

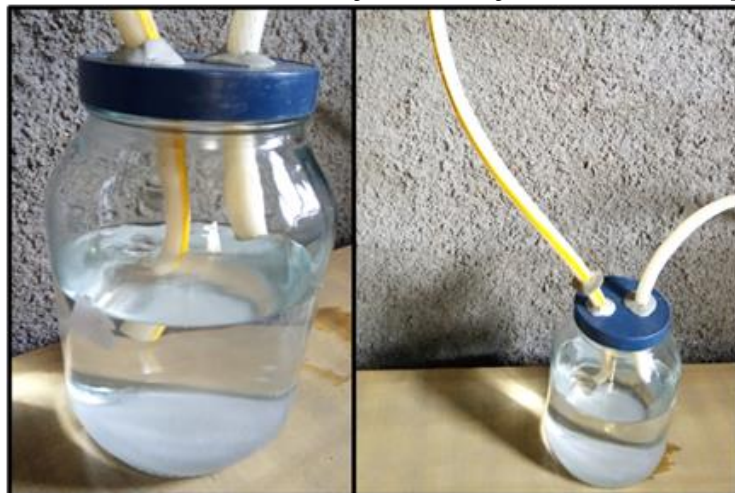
Figura 10 - Parte (Filtro com lã de aço) do protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Um segundo filtro (FILTRO 2) correspondente à uma coluna líquida (borbulhador) foi construído por meio de um recipiente de vidro com capacidade para 3,5 L, no qual a mangueira para a entrada do gás, obriga-o a percorrer a mistura de água e soda caustica na proporção de 100 g de hidróxido de sódio para cada 1 L de água (FIGURA 11). Com esta etapa, pretende-se que parte do gás carbônico seja retido pela mistura.

Figura 11 - Parte (Filtro borbulhador) do protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ainda no borbulhador, outra mangueira sai da parte superior do recipiente, permitindo capturar o gás e conduzindo-o até o compressor de ar (FIGURA 12), da marca Embraco EMU 40 CLP, 127 V / 60 HZ, que ao ser ligado na energia elétrica possui a capacidade de sugar o gás e comprimi-lo, armazenando-o em botijão de gás comercial com capacidade para 13 kg. Ao longo do experimento observou-se um borbulhamento imediato à passagem do gás e ao final da etapa fermentativa um baixo borbulhamento, momento esse em que se observou a redução no deslocamento da coluna de água que mede o volume de gás produzido. Para Furman (2018), essa redução no deslocamento da coluna de água nessa etapa do experimento indica que a produção de gás no interior do biodigestor está diminuindo em função do esgotamento de alimento para as bactérias, apontando para o encerramento do experimento. Após a drástica redução na produção do biogás, o biodigestor foi aberto e o material biodegradado retirado para análises.

Figura 12 - Parte (compressor) no protótipo do biodigestor utilizado no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O processo de biodigestão foi ainda avaliado quanto aos aspectos particulares de cada um dos seus subprodutos gerados, sendo:

Caracterização do biogás produzido

O biogás produzido, conforme Bueno (2010) que, por sua vez, foi avaliado quanto:

a) Capacidade de purificação dos filtros instalados

No protótipo do biodigestor foram instalados dois filtros, sendo o filtro 1 instalado após a saída do biodigestor na mangueira de passagem do gás e o filtro 2 próximo ao compressor. Com a finalidade de purificar os gases quanto aos teores de gás sulfídrico (H_2S) e gás carbônico (CO_2) sendo esses gases indesejáveis ao biogás.

b) Aos seus principais constituintes

Os constituintes do biogás, como gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3), metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) precisam ser mensurados para se conhecer a qualidade do biogás. Através do kit desenvolvido pela Alfakit em parceria com a empresa Embrapa Suínos e Aves, é possível analisar de forma simples e rápida a composição dos gases do biogás.

Para a análise de amônia e gás sulfídrico, utiliza-se de uma técnica que consiste em borbulhar o biogás em uma solução (pré-tratamento um), analisando comparativamente com uma tabela colorimétrica. Para análise de metano e gás carbônico, o biogás é borbulhado em uma solução (pré-tratamento dois), porém a concentração é dada por diferença entre o volume de gás. Essas análises, são recomendadas para mensurar a eficiência dos biodigestores quanto a produção de gás metano, responsável por gerar calor, energia e créditos de carbono, quanto ao gás sulfídrico, este gás, possui poder corrosivo em materiais metálicos capaz de danificar equipamentos, reduzindo sua vida útil. Apresenta odor característico de ovo podre, é tóxico e em concentrações (2 a 5 ppm) pode causar dores de cabeça, náuseas, tonturas, sonolência, vertigem, dentre outros sintomas, em maiores concentrações (1000 a 2000 ppm) causa morte instantânea. Sua presença no biogás, torna seu uso limitado (ARAÚJO, 2013).

A amônia presente no biogás é capaz de inibir a ação enzimática das bactérias responsáveis pela produção do gás, é corrosiva para a pele, causa irritabilidade aos olhos e no ambiente causa poluição do ar (FERNANDES; SILVA; MELO, 2018).

Os resultados das análises realizadas são imediatos, aproximadamente 30 minutos. Para garantir que o material gasoso que foi produzido tratou-se de um biogás, foram realizadas análises qualitativas por meio do Kit de Análise de Biogás com Biofoto Microprocessado® desenvolvido pela Alfakit (Empresa que desenvolve kits para análises biogás) em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que permitiu a realização dos testes in loco evitando-se as interferências do deslocamento até o laboratório específico.

O kit possui sacos amostradores que são usados para coleta do gás, sendo impermeáveis, com conexão única que garante segurança para amostra que será destinada às análises quali quantitativas das concentrações de gás sulfídrico (H_2S), amônia (NH_3), metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

De acordo com o fabricante, o kit possui as seguintes características e faixa de operação (TABELA 4).

Tabela 4 - Ficha técnica do fabricante (kit) para análises do biogás quanto aos principais gases, metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), amônia (NH_3) e gás sulfídrico (H_2S)

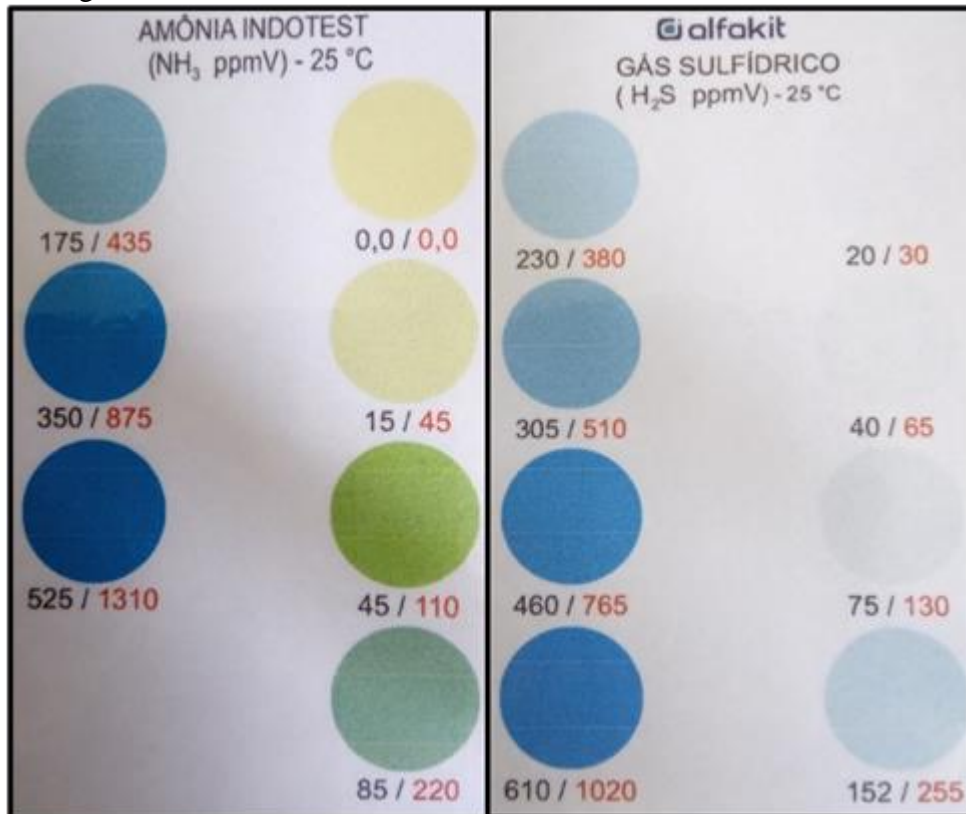
Parâmetros	Método	Informação
Amônia (NH_3)	Azul de Indofenol	Curva de calibração de 15 a 875 ppmv em 2 faixas: Faixa 1: de 15 a 350 ppmv NH_3 Faixa 2: de 45 a 875 ppmv NH_3
Gás sulfídrico (H_2S)	Azul de Metileno	Curva de calibração de 20 a 380 ppmv em 2 faixas: Faixa 1: de 20 a 230 ppmv H_2S Faixa 2: de 30 a 380 ppmv H_2S
Gás Carbônico (CO_2)	Orsat	0 – 100 % de resolução 2,5 %
Metano (CH_4)	Orsat	0 – 100 % de resolução 2,5 %

Fonte: Alfakit, acesso em 05 nov. 2021.

No kit, as análises de amônia e gás sulfídrico são por colorimetria e a determinação de gás carbônico e metano por diferença de volume (KUNZ; OLIVEIRA; PICCININ, 2008).

As técnicas colorimétricas de análises foram observadas em cartelas de cores (FIGURA 13) para comparação visual ou fotocolorimétrica. A determinação de amônia é realizada pelo método de “Azul de Indofenol” e o gás sulfídrico pelo método do “Azul de Metileno”. Os resultados em (ppmv) partes por milhão por volume indicados nas cartelas, foram calculados em base úmida, a 25 °C e um atm de pressão.

Figura 13 - Tabela colorimétrica para análises de Amônia (NH_3) e Gás sulfídrico (H_2S) de biogás



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para a realização das análises, amostras representativas de biogás foram coletadas utilizando-se do saco amostrador que faz parte do kit com essa finalidade. A coleta realizada de forma correta é importante quanto a análise em si, pois uma amostragem mal feita influenciará nos resultados obtidos. Com o saco completamente vazio, realizou-se o enchimento do mesmo com abertura das braçadeiras que auxiliam vedando o sistema de mangueiras. Essa coleta foi realizada em três pontos do sistema (saída do biodigestor, após o primeiro filtro e após o segundo filtro), foram seguidos os passos descritos no manual, a saber:

- Determinação da concentração de gás sulfídrico (H_2S)

Deve ser adicionada água deionizada na cubeta até o nível marcado (10 mL) com adição de duas gotas de solução pré-tratamento um, transferir cinco mL do líquido para a seringa. Em seguida retirado o ar dentro da mangueira de gás do saco amostrador, transferir 5 mL de gás para a seringa, fechando bem a saída do saco e desconectar a seringa do mesmo saco. Agitar a seringa por dois minutos e transferir o líquido para a cubeta de vidro,

adicionando cinco gotas das soluções reagentes específicas, agitando para a completa mistura. Aguardado dez minutos, para desenvolvimento da cor correspondente que foi comparada ao padrão de cores do kit.

Caso a amostra apresentasse coloração mais forte que as das cores da cartela, indicando uma concentração de gás sulfídrico muito alta, o procedimento precisa ser repetido, coletando-se apenas 3 mL de biogás do saco amostrador, realizando a leitura na mesma cartela utilizando-se dos valores de concentração na cor vermelha.

- Determinação da concentração de amônia (NH_3)

Realizada a coleta do gás no saco amostrador, em seguida adicionou-se água deionizada na cubeta até o nível de indicado (dez mL) e adicionado duas gotas de solução pré-tratamento um, transferiu-se 50 mL de biogás para dentro da seringa e agitou-se por dois minutos e transferiu-se todo esse volume para a cubeta de vidro, adicionando três gotas da solução amônia indotest um, três gotas de amônia indotest dois e três gotas de amônia indotest três, agitando o frasco no intervalo de cada adição. Aguardado dez minutos para o desenvolvimento da cor, que indicará a presença de amônia na amostra de biogás. A concentração de amônia será observada de acordo com a coloração na tabela colorimétrica. Se a coloração do líquido na cubeta de amônia estiver muito alta o procedimento da análise deverá ser repetido, exceto o volume de biogás coletado no saco amostrador que agora deverá ser de 20 mL e a leitura realizada na cubeta deverão ser de acordo com os números vermelhos.

- Determinação nas concentrações de metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2)

A determinação da concentração de gás carbônico (CO_2) e do metano (CH_4), por diferença de volume se deu conforme se segue:

- foram adicionados 10 mL da solução pré-tratamento dois em uma cubeta, em seguida transferido cinco mL dessa solução para uma seringa de plástico, que será conectada ao suporte, abrindo a válvula para injetar a solução nessa mesma seringa plástica. Conectar o saco amostrador e capturar 20 mL de biogás para a outra seringa (de vidro), em seguida na posição vertical transferir o volume de biogás para a seringa plástica, evitar que a solução penetre na seringa de vidro, caso isso aconteça toda análise deverá ser repetida. Completada a transferência, com a válvula fechada e o material na seringa plástica, agitado, em seguida abrindo a válvula transfere-se o gás para a seringa de vidro (somente o gás). Na etapa

seguinte, a concentração de gás carbônico foi obtida pela leitura lateral na seringa de vidro, enquanto o metano é determinado por diferença dessa concentração, como por exemplo, $\text{CO}_2 = 25\%$ e $\text{CH}_4 = 75\%$.

Volume de biogás produzido

Conforme metodologia seguida por Furman *et al.*, (2016), onde foi possível calcular o volume de biogás produzido, este, pode ser observado através do deslocamento de líquido na coluna que se deu por meio de uma mangueira instalada na saída do biodigestor, em forma de U.

Para verificar o volume de biogás produzido ao longo do experimento, foi instalado uma mangueira transparente com três metros comprimento e diâmetro de 3/8 na saída do biodigestor. De forma que a pressão interna gerada pela produção de gases no interior do biodigestor empurra a coluna de líquidos, sendo possível acompanhar o nível de deslocamento através de uma fita métrica fixada ao lado da mangueira. Esse deslocamento do líquido presente na coluna, foi observado e anotado em intervalos de 24 horas, momento antes da passagem do gás. Após a retirada do gás, a coluna de líquido volta a fase estacionária, onde foi feita aferição inicial.

O cálculo realizado para o volume de biogás produzido se utilizou da equação de Gases Perfeitos de Clapeyron vista na Equação 1, descrito por Metz, 2013.

$$pV = nRT \quad \text{Equação 1}$$

Onde: p = pressão; V = volume; n = número de mols do biogás; R = a constante universal dos gases; T = temperatura

Caracterização do biofertilizante

Do biofertilizante foram retiradas amostras e deixadas à sombra, em local coberto e ventilado, até desidratação parcial, tornando-se de consistência pastosa, para posterior encaminhamento, ao laboratório de solos do IFMG, onde se realizaram análises dos macro e micronutrientes, similar ao composto orgânico permitindo a comparação entre as técnicas, para efeito de fertilização. Os constituintes analisados foram os mesmos do composto orgânico.

O biofertilizante foi analisado quanto aos parâmetros:

a. Taxa de conversão (capacidade de redução do volume inicial de resíduo), segundo Stuchi (2015), ao final do processo o biofertilizante pronto (parte líquida) rende a mesma quantidade de água que foi colocada no biodigestor.

b. Caracterização físico-química do biofertilizante seguindo-se a metodologia de parâmetros aproximados para análise de solos do Programa Interlaboratorial de Controle de Qualidade de Análise de Solos do Estado de Minas Gerais (PROFERT). Os constituintes analisados foram os mesmos do composto orgânico.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produção e caracterização do composto orgânico, resultado da compostagem dos resíduos gerados na UAN do *campus* para fins de fertilidade

Ao longo do processo de compostagem, dados foram tabulados para melhorar a interpretação e discussão dos resultados atingidos.

Taxa de conversão

Foi observada a taxa de conversão de 50 %, a compostagem foi capaz de reduzir o volume inicial de resíduo à metade (FIGURA 14), representando excelente eficácia na transformação, além dos aspectos relativos à qualidade do material produzido, como será demonstrado nas seções seguintes.

Figura 14 - Composto orgânico, subproduto da compostagem com resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os valores referentes ao volume inicial, volume final e a taxa de conversão podem ser vistos na tabela 5, observando-se o rendimento do composto orgânico maturado. Onde B1 representa o balde nº 1 e B2 o balde nº 2.

Tabela 5 - Taxa de conversão do composto orgânico (inicial/final)

Resíduos	Volume inicial	Volume final	Taxa de conversão
	Kg	Kg	(%)
B1	5,00	2,505	25,05
B2	5,00	2,510	25,10
Total = B1+B2	10,00	5,015	50,15

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O volume inicial do material disponibilizado para compostar difere do volume gerado ao final do processo. De acordo com Inácio e Miller (2009) e Oliveira, Sartori e Garcez (2008), o volume final da compostagem chega a reduzir de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ do volume inicial, dependendo do material e do teor de umidade utilizados.

Conforme Ishimura *et al.*, (2009), depois de pronto e seco, o composto orgânico pode ser armazenado durante seis meses, em local protegido do sol e da umidade.

Variação de temperatura (°C) durante o processo compostagem

A temperatura possui influência direta no processo de compostagem, sendo um fator que deve ser monitorado para que não comprometa o trabalho das bactérias (BRASIL, 2017).

A aferição da temperatura se iniciou no primeiro dia do experimento e foi até o 45º dia, momento esse, em que a temperatura se estabilizou à temperatura ambiente, tendo sido conferida em três momentos do dia. Observou-se que a transformação passou pelas fases classicamente descritas - inicial, termofílica, mesofílica e final (TABELA 6).

Tabela 6 - Variação da temperatura ao longo do processo de compostagem no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021

Fases da Compostagem				
Data	Temperatura °C			Fases
	07h00	12h00	17h00	
28/fev	20	23	28/02 a 02/03/21 3 dias Fase Inicial
01/mar	25	26	29	
02/mar	30	38	45	
03/mar	45	49	50	03/03 a 19/03 17 dias Fase Termofílica
04/mar	49	53	50	
05/mar	48	54	56	
06/mar	57	65	67	
07/mar	66	71	65	
08/mar	66	69	71	
09/mar	63	65	66	
10/mar	67	69	70	
11/mar	61	64	66	
12/mar	65	70	61	
13/mar	59	62	65	
14/mar	66	70	63	
15/mar	58	60	57	
16/mar	59	60	57	
17/mar	55	57	55	
18/mar	53	53	50	
19/mar	47	49	48	

(Continuação) Tabela 6 - Variação da temperatura ao longo do processo de compostagem no tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus Bambuí*, 2021

Fases da Compostagem				
Data	Temperatura °C			Fases
	07h00	12h00	17h00	
20/mar	44	44	43	20/03 a 08/04/2021 20 dias Fase Mesofílica
21/mar	40	41	40	
22/mar	40	40	38	
23/mar	37	38	36	
24/mar	35	35	34	
25/mar	33	33	31	
26/mar	30	32	31	
27/mar	30	30	27	
28/mar	27	27	25	
29/mar	24	26	24	
30/mar	23	25	24	
31/mar	23	24	22	
01/abr	22	23	22	
02/abr	23	24	21	
03/abr	21	23	20	
04/abr	20	22	22	
05/abr	21	21	20	
06/abr	20	21	20	
07/abr	20	21	21	
08/abr	20	21	20	
09/abr	20	20	20	09/04 a 13/04/2021 5 dias Fase de maturação
10/abr	19	19	19	
11/abr	19	21	20	
12/abr	20	20	19	
13/abr	19	19	19	
45 dias				

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A fase inicial teve duração de três dias, e segundo Brasil (2017), nessa etapa os microrganismos mesófilos se proliferam, iniciando a decomposição do material, com liberação de calor e consequente aumento da temperatura.

De acordo com a tabela 5, observa-se que, ao iniciar o experimento, a temperatura aferida foi de 20 °C chegando a 45 °C no final dessa primeira fase. Conforme Pereira Neto (2010), as fases variam de acordo com a temperatura resultante da atividade biológica, sendo a fase inicial, até os termômetros registrarem 45° C. Inácio e Miller (2009), confirmam que

nas primeiras 24 horas, ocorre a expansão das colônias de microrganismos, intensificando a ação da decomposição e aumento da temperatura chegando a 45 °C no interior da leira.

No experimento, a segunda fase, chamada de termofílica permaneceu por 17 dias, com temperatura média de 69 °C. Para Brasil (2017), nesse período os microrganismos termófilos que realizam a decomposição da matéria orgânica, liberam calor e vapor d'água. O ar quente por ser mais leve possui a capacidade de subir para a superfície da composteira, tendendo a saída e ao mesmo tempo propicia a entrada de ar frio na parte inferior, processo conhecido por convecção. De acordo com Pereira Neto (2010), a manutenção da temperatura na segunda fase, é requisito básico para que se consiga maior eficiência, aumento na velocidade de degradação e eliminação dos patógenos.

No dia 07/03/2021, ainda na fase termofílica, o termômetro registrou 71 °C, sendo necessário irrigar o meio, a fim de resfriar o material e beneficiar a atividade das bactérias. Também em outros dias, em horários diferentes, foram registrados 70 e 71 °C, sendo essencial a irrigação no interior da composteira. Conforme Inácio e Miller (2009), temperaturas elevadas são extremamente desejáveis para as bactérias termófilas, mas ao atingir 70° C, o material deve ser resfriado para não comprometer a vida dos microrganismos presentes na biomassa. Para Silva (2007), os microrganismos mesófilos apresentam atividade ideal em temperaturas entre 45°C e 65°C.

A terceira etapa, também chamada de mesófila, se caracteriza pela redução da temperatura e perda de umidade. No experimento, essa fase se iniciou no dia 20 de março de 2021 quando atingiu temperatura de 44 °C, permanecendo nessa fase até o dia 08 de abril de 2021, totalizando 20 dias. Ao final, a temperatura atingiu 20 °C, tendendo a se aproximar da temperatura ambiente, quando se considerou o composto orgânico formado e estabilizado, segundo Inácio e Miller (2009), de acordo com suas experiências, a estabilização da temperatura já denota uma redução na atividade dos microrganismos no interior da composteira.

Assim, ao final de 45 dias do processo, foi considerada como sendo a quarta fase, também chamada de maturação, quando a redução das atividades dos microrganismos foi observada e o húmus com odor característico de terra, coloração escura, não sendo possível a identificação dos resíduos inicialmente utilizados, foi considerado pronto para consumo. O revolvimento diário do material com incorporação de oxigênio pode ter favorecido a ação das bactérias decompositoras, Pereira Neto (2010), e dessa forma, a estabilização ocorreu em um

período de tempo menor que citado por Brasil (2017), que fala de um tempo média de 120 dias, gasto no processo total de compostagem.

De acordo com Ishimura (2009), fatores como temperatura, umidade, oxigênio, são elementos fundamentais para a qualidade do composto orgânico final, esses fatores quando bem administrados favorecem a obtenção de um composto de boa qualidade, com menor tempo possível e sem poluir o meio ambiente. Assim que a temperatura da compostagem se estabilizou e os materiais em decomposição já não foram visualizados e nem identificados de forma individual, considerou-se que a fase de maturação humificação foi alcançada (FIGURA 15).

Figura 15 - Composto orgânico maturado do tratamento dos resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Caracterização físico-química do composto orgânico

Análises físico-químicas das amostras de composto orgânico foram realizadas no laboratório do solos do IFMG *campus* Bambuí, os resultados estão descritas na Tabela 7.

Tabela 7 - Resultados das análises físico-químicas para fins de fertilidade do composto orgânico da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus Bambuí*, 2021

Constituintes Analisados	Composto Orgânico
pH da amostra	7,7
P (fósforo)	654,6 mg/dm ³
K (potássio)	6400,00 mg/dm ³
Ca (cálcio)	6,50 cmolc/dm ³
Mg (magnésio)	4,84 cmolc/dm ³
Al (alumínio)	0,00 cmolc/dm ³
H + Al (hidrogênio+alumínio)	0,80 cmolc/dm ³
SB (soma de bases)	27,50 cmolc/dm ³
t (capacidade efetiva de troca de cátions)	25,40 cmolc/dm ³
T (capacidade de troca de cátions a pH 7)	26,1 cmolc/dm ³
V (índice de saturação por bases)	97,7 %
m (índice de saturação do alumínio)	0,0 %
M.O. (matéria orgânica)	11,06 dag/Kg
C.O. (carbono orgânico)	6,42 dag/Kg
Ca/T (relação de Ca com pH 7)	23 %
Mg/T (relação de Mg com pH 7)	17 %
K/T (relação de K com pH 7)	57 %
H + Al/T (relação de H+Al com pH 7)	3 %
Ca+Mg/T (relação de Ca+Mg com pH 7)	40 %
Ca/Mg (relação de Ca com Mg)	1
Ca/K (relação de Ca com K)	1
Mg/K (relação de Mg com K)	0
Ca+Mg/k (relação de Ca+Mg com K)	0,7
Cu (cobre)	0,5mg/dm ³
Fe (ferro)	26,20 mg/dm ³
Zn (zinco)	26,20 mg/dm ³

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O composto orgânico foi avaliado quanto aos macro e micronutrientes que são importantes para as plantas em termos de fertilidade e manutenção de suas funções

fisiológicas, de modo geral os resultados foram satisfatórios. Ressaltando a importância do conhecimento específico da necessidade de cada cultivar em termos nutricionais.

Produção e caracterização do biogás a partir da biodigestão dos resíduos gerados na UAN do IFMG/BambuÍ

Capacidade de purificação dos filtros instalados

As análises da purificação dos gases foram realizadas ao longo de seis semanas (TABELA 8).

Tabela 8 - Análises realizadas no biogás (metano, gás carbônico, amônia e gás sulfídrico) do tratamento de resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021

Análises realizadas			
Data	Análise na saída do biodigestor		Análise na saída do 2º filtro
	NH₃	CO₂ e CH₄	CO₂ e CH₄
28/fev	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
01/mar	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
02/mar	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
03/mar	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
04/mar	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
05/mar	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
06/mar	Gás Liberado	Gás Liberado	Gás Liberado
07/mar	45 ppmv	CH ₄ 20 %	CH ₄ 22,5 %
		CO ₂ 80 %	CO ₂ 77,5 %
08/mar	45 ppmv	CH ₄ 22,5 %	CH ₄ 25%
		CO ₂ 77,5 %	CO ₂ 75 %
09/mar	45 ppmv	CH ₄ 25 %	CH ₄ 30 %
		CO ₂ 75 %	CO ₂ 70 %
10/mar	45 ppmv	CH ₄ 32,5 %	CH ₄ 40 %
		CO ₂ 67,5 %	CO ₂ 60 %
11/mar	15 ppmv	CH ₄ 40 %	CH ₄ 47,5 %
		CO ₂ 60 %	CO ₂ 52,5 %
12/mar	15 ppmv	CH ₄ 47,5 %	CH ₄ 50 %
		CO ₂ 52,5 %	CO ₂ 50 %
13/mar	15 ppmv	CH ₄ 50 %	CH ₄ 52,5 %
		CO ₂ 50 %	CO ₂ 47,5 %

(continuação) Tabela 8 - Análises realizadas no biogás (metano, gás carbônico, amônia e gás sulfídrico) do tratamento de resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus Bambuí*, 2021

Análises realizadas			
Data	Análise na saída do biodigestor		Análise na saída do 2º filtro
	NH₃	CO₂ e CH₄	CO₂ e CH₄
14/mar	15 ppmv	CH ₄ 55 %	CH ₄ 60 %
		CO ₂ 45 %	CO ₂ 40 %
15/mar	15 ppmv	CH ₄ 57,5 %	CH ₄ 60 %
		CO ₂ 42,5 %	CO ₂ 40 %
16/mar	15 ppmv	CH ₄ 60 %	CH ₄ 65 %
		CO ₂ 40 %	CO ₂ 25 %
17/mar	00 ppmv	CH ₄ 62,5 %	CH ₄ 70 %
		CO ₂ 37,5 %	CO ₂ 30 %
18/mar	00 ppmv	CH ₄ 65 %	CH ₄ 70 %
		CO ₂ 35 %	CO ₂ 30 %
19/mar	15 ppmv	CH ₄ 70 %	CH ₄ 77,5 %
		CO ₂ 30 %	CO ₂ 22,5 %
20/mar	00 ppmv	CH ₄ 75 %	CH ₄ 80 %
		CO ₂ 25 %	CO ₂ 20 %
21/mar	00 ppmv	CH ₄ 82,5 %	CH ₄ 85 %
		CO ₂ 17,5 %	CO ₂ 15 %
22/mar	00 ppmv	CH ₄ 85 %	CH ₄ 87,5 %
		CO ₂ 15 %	CO ₂ 17,5 %
23/mar	00 ppmv	CH ₄ 90 %	CH ₄ 95 %
		CO ₂ 10 %	CO ₂ 5 %
24/mar	00 ppmv	CH ₄ 87,5 %	CH ₄ 95 %
		CO ₂ 17,5 %	CO ₂ 5 %
25/mar	00 ppmv	CH ₄ 90 %	CH ₄ 95 %
		CO ₂ 10 %	CO ₂ 5 %
26/mar	00 ppmv	CH ₄ 95 %	CH ₄ 100 %
		CO ₂ 5 %	CO ₂ 0 %
27/mar	00 ppmv	CH ₄ 90 %	CH ₄ 95 %
		CO ₂ 10 %	CO ₂ 5 %
28/mar	00 ppmv	CH ₄ 95 %	CH ₄ 100 %
		CO ₂ 5 %	CO ₂ 0 %

Legenda: ppmv concentração de gases em partes por milhão em volume.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

(Continuação) Tabela 8- Análises realizadas no biogás (metano, gás carbônico, amônia e gás sulfídrico) do tratamento de resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus Bambuí*, 2021

Análises realizadas			
Data	Análise na saída do biodigestor		Análise na saída do 2º filtro
	NH₃	CO₂ e CH₄	CO₂ e CH₄
29/mar	00 ppmv	CH ₄ 90 %	CH ₄ 95 %
		CO ₂ 10 %	CO ₂ 5 %
30/mar	00 ppmv	CH ₄ 90 %	CH ₄ 95 %
		CO ₂ 10 %	CO ₂ 5 %
31/mar	00 ppmv	CH ₄ 87,5 %	CH ₄ 90 %
		CO ₂ 17,5%	CO ₂ 10 %
01/abr	00 ppmv	CH ₄ 85 %	CH ₄ 87,5 %
		CO ₂ 15 %	CO ₂ 12,5 %
02/abr	00 ppmv	CH ₄ 85 %	CH ₄ 85 %
		CO ₂ 15 %	CO ₂ 15 %
03/abr	00 ppmv	CH ₄ 80 %	CH ₄ 82,5 %
		CO ₂ 20 %	CO ₂ 17,5 %
04/abr	00 ppmv	CH ₄ 77,5 %	CH ₄ 80 %
		CO ₂ 22,5 %	CO ₂ 20 %
05/abr	00 ppmv	CH ₄ 75 %	CH ₄ 80 %
		CO ₂ 25 %	CO ₂ 20 %
06/abr	00 ppmv	CH ₄ 75 %	CH ₄ 77,5 %
		CO ₂ 25 %	CO ₂ 22,5 %
07/abr	00 ppmv	CH ₄ 70 %	CH ₄ 72,5 %
		CO ₂ 30%	CO ₂ 27,5 %
08/abr	00 ppmv	CH ₄ 70 %	CH ₄ 70 %
		CO ₂ 30 %	CO ₂ 30 %
09/abr	00 ppmv	CH ₄ 65 %	CH ₄ 67,5 %
		CO ₂ 35 %	CO ₂ 32,5 %
10/abr	00 ppmv	CH ₄ 60 %	CH ₄ 62,5 %
		CO ₂ 40 %	CO ₂ 37,5 %
11/abr	00 ppmv	CH ₄ 62,5 %	CH ₄ 65 %
		CO ₂ 37,5 %	CO ₂ 35 %

Legenda: ppmv concentração de gases em partes por milhão em volume.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

(Continuação) Tabela 8 - Análises realizadas no biogás (metano, gás carbônico, amônia e gás sulfídrico) do tratamento de resíduos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG Campus Bambuí, 2021

Análises realizadas			
Data	Análise na saída do biodigestor		Análise na saída do 2º filtro
	NH₃	CO₂ e CH₄	CO₂ e CH₄
12/abr	00 ppmv	CH ₄ 60 %	CH ₄ 62,5 %
		CO ₂ 40 %	CO ₂ 37,5 %
13/abr	00 ppmv	CH ₄ 60 %	CH ₄ 60 %
		CO ₂ 40 %	CO ₂ 40 %
14/abr	00 ppmv	CH ₄ 57,5 %	CH ₄ 60 %
		CO ₂ 42,5 %	CO ₂ 40 %
15/abr	00 ppmv	CH ₄ 55 %	CH ₄ 57,5 %
		CO ₂ 45 %	CO ₂ 42,5 %
16/abr	00 ppmv	CH ₄ 50 %	CH ₄ 52,5 %
		CO ₂ 50 %	CO ₂ 48,5 %
17/abr	00 ppmv	CH ₄ 50 %	CH ₄ 50 %
		CO ₂ 50 %	CO ₂ 50 %
18/abr	00 ppmv	CH ₄ 50 %	CH ₄ 55 %
		CO ₂ 50 %	CO ₂ 45 %
19/abr	00 ppmv	CH ₄ 50 %	CH ₄ 50 %
		CO ₂ 50 %	CO ₂ 50 %

Legenda: ppmv concentração de gases em partes por milhão em volume.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na primeira semana de análises, logo no primeiro ponto de coleta (na saída do biodigestor), o gás amônia (NH₃), se apresentou com índices de 45 ppmv durante quatro dias consecutivos, caindo para 15 ppmv nos próximos seis dias e atingindo 0 ppmv até o final do experimento que ocorreu em 51 dias. A presença desse gás, é preocupante, sendo corrosivo na presença de água e em contato com o cobre no processo de combustão poderá emitir outros gases prejudiciais à saúde e ao meio. Concentrações elevadas desse gás, podem estar associadas ao tipo de dieta dos animais, obtendo maiores produções quando submetidos à biodigestão, dejetos de animais que receberam a suplementação de cloreto de sódio, farelo de soja e algodão, fubá, melão, milho e capim. A variedade na dieta dos animais influenciam na qualidade dos dejetos e esses, nos constituintes do biogás (PEREIRA *et al.*, 2018). Marin *et al.* (2018), em trabalho realizado, faz análises através do kit portátil, analisando concentrações de amônia presentes no biogás, apontando resultados para 175 ppmv, 15 e zero ppmv.

Segundo Kunz, Steinmetz e Amaral (2019), a redução nas concentrações de amônia ao longo das análises realizadas se dá em função da eficiência no trabalho das bactérias presentes no meio.

O filtro um (lã de aço) foi usado para purificação do gás sulfídrico (H_2S); conforme Marin *et al.*, (2018) ao passar pelo aço carbono, este, sofre corrosão, reduzindo assim seus teores. Oliveira Júnior (2013), recomenda que a palha de aço do filtro seja substituída a cada duas semanas. Essa troca foi realizada regularmente conforme o autor durante as trocas observou-se que a palha de aço estava oxidada, escurecida. Foi usado 270 gramas de palha de aço, quantidade suficiente para preencher todo o filtro em PVC. Durante as seis semanas de análises realizadas, todos os resultados se apresentaram ≤ 20 ppmv tanto na saída do biodigestor, quanto na saída do filtro um, essa observação foi possível, uma vez que a solução analisada não atingiu coloração indicada para a presença desse gás. Todas as amostras analisadas se apresentaram incolor, foi possível perceber que houve alguma reação no procedimento das análises, uma vez que, durante as trocas da lã de aço, esse material se apresentou com coloração escurecida e volume reduzido.

Conforme Rocha (2016), a presença do gás sulfídrico pode ocorrer em concentrações mínimas, apresentando apenas traços que variam de 0 a 1 %. De acordo com Marin *et al.* (2018), a presença desse gás traz danos à conversão de energia, corrosão dos componentes do sistema, dentre outros. Quanto à capacidade de purificação do gás sulfídrico, os resultados não permitem avaliar a eficiência do filtro um, pois desde o primeiro dia, no ponto de coleta anterior ao filtro (saída do biodigestor), as concentrações não ultrapassaram 20 ppmv. De acordo com Schirmer *et al.* (2015), a concentração de gás sulfídrico no biogás depende da composição da matéria orgânica usada no biodigestor, podendo variar em função da natureza do resíduo e das condições de degradação oferecidas.

Conforme Sakuma (2013), a presença do H_2S leva a redução da capacidade de combustão do biogás e dessa forma, há necessidade de que sejam utilizadas técnicas específicas com capacidade de reduzir esses níveis. Araújo (2013), em seu trabalho sugere técnicas de remoção biológica desse gás. As concentrações de gás sulfídrico parecem estar relacionadas à presença de enxofre nos resíduos orgânicos utilizados. Em geral, o gás sulfídrico deve ser controlado pela alta toxicidade (PEREIRA *et al.*, 2018).

As concentrações de metano foram avaliadas na saída do biodigestor e filtro dois, os resultados iniciaram com 20 % de metano na saída do biodigestor e 22,5 % para o filtro 2, sendo possível observar a eficiência do filtro desde o início do experimento e ao longo do

período analisado. Os níveis de metano foram aumentando com o passar dos dias, atingindo picos de 95 e máximo de 100 %, sendo possível perceber a eficiência no trabalho das bactérias envolvidas e a disponibilidade de substrato no meio. Assim que o material foi sendo degradado e consumido pelas bactérias, houve redução nas concentrações de metano e volume na produção de biogás. Ao completar 51 dias de fermentação as concentrações de metano haviam se reduzido a 50 % conforme Konrad (2009), indicando o final no experimento, uma vez que o volume de biogás produzido diariamente também reduziu a 10,84 %.

As concentrações de gás carbônico e metano demonstradas apontam para a eficiência do sistema produtivo, no qual se observou ao longo das semanas um aumento na produção de metano e uma menor liberação consequente de gás carbônico, já que estava sendo utilizado pelas bactérias anaeróbicas. Conforme Cerveira (2016), o processo de remoção dos componentes indesejáveis do biogás, ajudam no enriquecimento do metano e ao mesmo tempo a redução do gás carbônico. Desse modo, os resultados foram favoráveis, já que o metano é o gás desejado nesse sistema de produção e assim oferecendo resultados satisfatórios para a biodigestão energética (MARIN *et al.*, 2018).

Conforme Possa (2013), o biogás é formado por diversos gases, sendo os mais importantes, o metano (CH₄) que, de modo geral, varia em torno de 70%, e o dióxido de carbono (CO₂), que é obtido por diferença de volume (processo de medição usado é o método Orsat), sendo frequentemente encontrado em torno de 30% do total. Os demais gases são encontrados em menores concentrações, como por exemplo, gás hidrogênio (H₂) em média de 0 a 1%; o nitrogênio (0 a 7%); o oxigênio (0 a 2%); o gás sulfídrico (0 a 3%) e amônia (0 a 1%). A variedade dos resíduos alimentares também está associada aos níveis de gases produzidos no biogás.

Na pesquisa realizada, os níveis de metano foram aumentando gradativamente e provavelmente representam as boas condições oferecidas para as bactérias anaeróbicas (ROCHA, 2016). Correspondente a mais da metade dos constituintes do biogás, é normalmente produzido, em ambiente natural, proveniente de dejetos da suinocultura, cama de frango, esterco e lixo de forma geral. Assim, a proposta de uma produção com destinação controlada, como é o caso de uma biodigestão, representa um ganho socioambiental, devido à redução de agentes poluidores e uma alternativa para a geração de elemento tecnológico que contribui para a especialização da mão de obra (SILVA; NAVARRO; ALMEIDA, 2008).

Volume de biogás produzido

Conforme metodologia seguida por Furman *et al.*, (2016), foi possível observar o volume de biogás produzido, através do deslocamento de líquido na coluna por meio de uma mangueira instalada na saída do biodigestor, em forma de U. Ainda segundo o autor, o volume de biogás produzido ao longo do experimento, pode ser influenciado por variáveis como, composição dos resíduos, as condições oferecidas às bactérias envolvidas no processo, o clima, a eficiência do biodigestor, dentre outras. A Figura 16 mostra a mangueira em forma de U e o do líquido na coluna.

Figura 16 - Mangueira em forma de U usada para observar o deslocamento de líquido na coluna



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os valores referentes ao deslocamento da coluna de líquidos foi anotado a cada 24 horas e o cálculo realizado através da equação dos Gases Perfeitos de Clapeyron, descrito por Metz (2013). A Tabela 9 apresenta o volume de biogás produzido durante o experimento realizado na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí.

Tabela 9 - Volume de biogás produzido na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG
Campus Bambuí

Data	Deslocamento (cm) (ha-hb)	Deslocamento (m) (ha-hb)	Volume
28/02	0	0	0
01/03	0,3	0,003	0,0014L ou 1,48 ml
02/03	0,5	0,005	0,0024L ou 2,46 ml
03/03	0,5	0,005	0,0024L ou 2,46 ml
04/03	0,7	0,007	0,0034L ou 3,45 ml
05/03	1	0,01	0,0049L ou 4,93 ml
06/03	1	0,01	0,0049L ou 4,93 ml
07/03	1,3	0,013	0,0064 L ou 6,41 ml
08/03	1,5	0,015	0,0074 L ou 7,40 ml
09/03	1,8	0,018	0,0088 L ou 8,88 ml
10/03	1,9	0,019	0,0093 L ou 9,37 ml
11/03	2,3	0,023	0,0113 L ou 11,34 ml
12/03	2,5	0,025	0,0123 L ou 12,33 ml
13/03	2,5	0,025	0,0123 L ou 12,33 ml
14/03	2,8	0,028	0,0138 L ou 13,81 ml
15/03	3	0,03	0,0148 L ou 14,80 ml
16/03	3,1	0,031	0,0152 L ou 15,29 ml
17/03	3,5	0,035	0,0172 L ou 17,27 ml
18/03	3,6	0,036	0,0177 L ou 17,76 ml
19/03	3,8	0,038	0,0187 L ou 18,75 ml
20/03	4	0,04	0,0197 L ou 19,73 ml
21/03	4	0,04	0,0197 L ou 19,73 ml
22/03	4,1	0,041	0,0202 L ou 20,23 ml
23/03	4,3	0,043	0,0212 L ou 21,21 ml
24/03	4,3	0,043	0,0212 L ou 21,21 ml
25/03	4,5	0,045	0,0220 L ou 22,20 ml
26/03	4,5	0,045	0,0220 L ou 22,20 ml
27/03	4,5	0,045	0,0220 L ou 22,20 ml

(Continuação) Tabela 9 - Volume de biogás produzido na Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG Campus Bambuí

Data	Deslocamento (cm) (ha-hb)	Deslocamento (m) (ha-hb)	Volume
28/03	4,6	0,046	0,0226 L ou 22,69 ml
29/03	4,4	0,044	0,0217 L ou 21,71 ml
30/03	4,5	0,045	0,0220 L ou 22,20 ml
31/03	4,1	0,041	0,0202 L ou 20,23 ml
01/04	4	0,04	0,0197 L ou 19,73 ml
02/04	3,9	0,039	0,0148 L ou 14,80 ml
03/04	4	0,04	0,0197 L ou 19,73 ml
04/04	3,7	0,037	0,0182 L ou 18,25 ml
05/04	3,5	0,035	0,0172 L ou 17,27 ml
06/04	3,4	0,034	0,0167 L ou 16,77 ml
07/04	3	0,03	0,0148 L ou 14,80 ml
08/04	3	0,03	0,0148 L ou 14,80 ml
09/04	2,7	0,027	0,0133 L ou 13,32 ml
10/04	2,5	0,025	0,0123 L ou 12,33 ml
11/04	2,3	0,023	0,0113 L ou 11,34 ml
12/04	2	0,02	0,0098 L ou 9,86 ml
13/04	1,8	0,018	0,0088 L ou 8,88 ml
14/04	1,5	0,015	0,0074 L ou 7,40 ml
15/04	1	0,01	0,0049L ou 4,93 ml
16/04	0,7	0,007	0,0034L ou 3,45 ml
17/04	0,5	0,005	0,0024L ou 2,46 ml
18/04	0,5	0,005	0,0024L ou 2,46 ml
19/04	0,5	0,005	0,0024L ou 2,46 ml

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

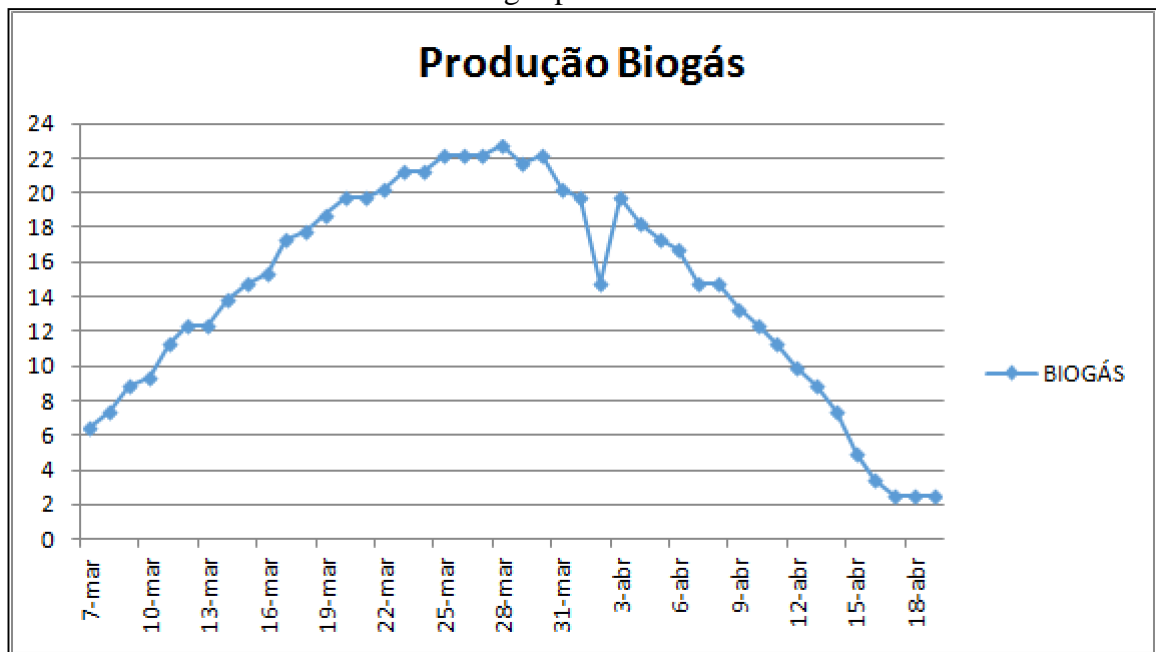
Conforme foi apresentado na tabela 9, o gráfico 1 também mostra o volume de biogás produzido (07/03 a 18/04/2021) durante o experimento realizado, conforme descrito na Tabela 8.

Analisando o Gráfico 1, da produção de biogás, é possível observar uma queda de produção entre os dias 1, 2 e 3 de abril. Essa queda pode estar relacionada à variação de

temperatura nestes dias. Considerando a temperatura em Bambuí no início de abril, verificou-se um declínio desde o dia 28/03, sendo o menor registro no dia 2/04, quando atingiu 14°C.

Conforme Corrêa *et al.*, (2020), em seu estudo sobre a influência da temperatura na produção de biogás, foi observado que os melhores resultados para produção do mesmo ocorreram em temperaturas próximas de 35 °C, podendo destacar que a temperatura nessa faixa favorece a eficiência do processo, influenciando no crescimento, desenvolvimento e ação das bactérias, levando a produção do biogás. Ocorrendo variações de temperatura durante a digestão anaeróbia, pode resultar em picos na produção.

Gráfico 1 - Volume de biogás produzido de 07/03 a 19/04/2021

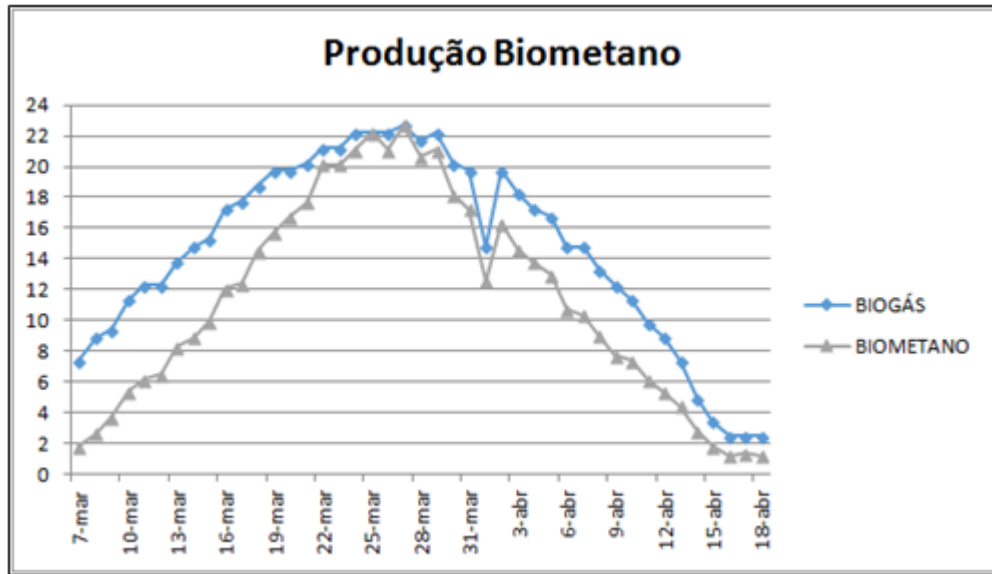


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O Gráfico 2 mostra a produção de metano (CH₄) em relação ao volume de biogás produzido no período de 07/03 a 18/04/2021.

Dentre os componentes presentes no biogás, o metano é o elemento principal, conferindo o poder calorífico, quanto maiores os teores deste, melhor sua qualidade inflamável. Observando o Gráfico 2, do experimento realizado, foi possível encontrar concentrações que atingiram até 95 e 100 % de metano, apontado para a boa qualidade do gás produzido. Conforme Konrad (2009), a qualidade do biogás, para uso energético, irá depender das concentrações de metano. A presença de outros elementos como água, dióxido de carbono e gases diferentes do metano, prejudicam a queima, tornando-o de baixa eficiência.

Gráfico 2 - Produção de metano (CH₄) em relação ao volume de biogás produzido no período de 07/03 a 18/04/2021



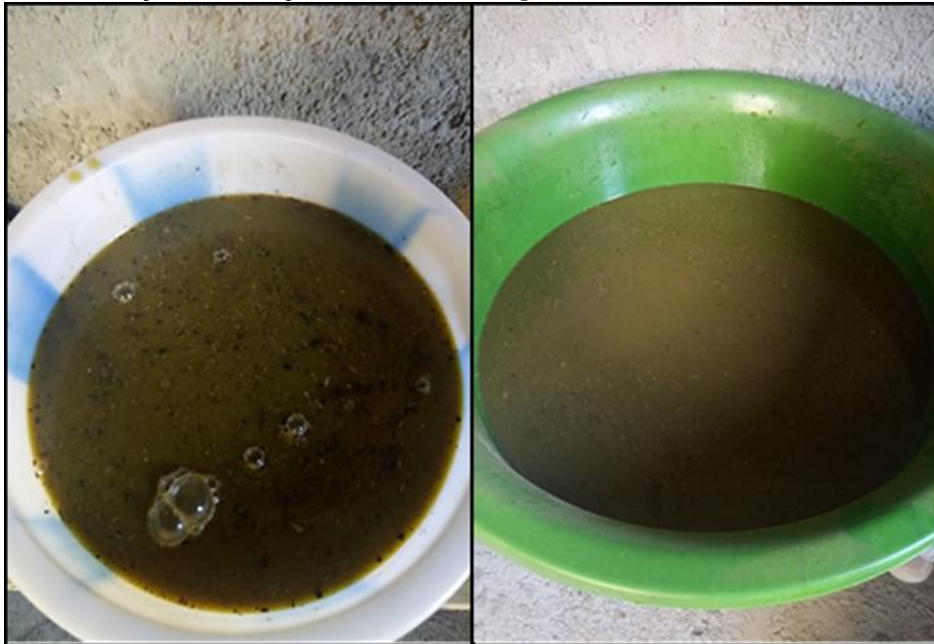
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Taxa de conversão do biofertilizante produzido por meio da biodigestão dos resíduos alimentares da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG Campus Bambuí, 2021

Considerando-se o volume final do produto pronto, disponível para o uso, a biodigestão ofereceu um pequeno ganho (1,7 L), referente a taxa de conversão. Foram utilizados aproximadamente 30 litros de mistura orgânica, considerando 10 kg de resíduos orgânicos e 20 litros de água, no início da etapa de fermentação e o volume final de biofertilizante produzido foi de 31,7 litros (FIGURA 17).

Este aumento pode, segundo Medeiros, Wanderley e Wanderley (2003), ser devido ao aumento da população de bactérias que se multiplicaram na massa, durante o processo. Além disso, acredita-se que o gás produzido (antes da eliminação), promove certa expansão da mistura contribuindo para essa diferença.

Figura 17 - Biofertilizante proveniente da biodigestão dos resíduos orgânicos da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Comparativo entre os constituintes físico-químicos do composto orgânico e do biofertilizante produzidos a partir dos resíduos alimentares da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021

O composto orgânico e o biofertilizante são fertilizantes naturais que podem ser usados em cultivares diversas, para que possam trazer resultados benéficos às plantas, precisam ser usados na proporção correta conforme a necessidade da cultivar, para isso se torna importante conhecer seus constituintes por meio de análise físico-química. Praticamente os mesmos constituintes encontrados no composto orgânico proveniente da compostagem são encontrados no biofertilizante, um adubo líquido resultante da biodigestão. A Tabela 10 traz os resultados encontrados.

Tabela 10 - Comparativo entre análises de biofertilizante e composto orgânico da Unidade de Alimentação e Nutrição do IFMG *Campus* Bambuí, 2021

Constituintes Analisados	Biofertilizante	Composto Orgânico
pH da amostra	7,6	7,7
P (fósforo)	664,2 mg/dm ³	654,6 mg/dm ³
K (potássio)	4400,00 mg/dm ³	6400,00 mg/dm ³
Ca (cálcio)	9,87 cmolc/dm ³	6,50 cmolc/dm ³
Mg (magnésio)	4,29 cmolc/dm ³	4,84 cmolc/dm ³
Al (alumínio)	0,00 cmolc/dm ³	0,00 cmolc/dm ³
H + Al (hidrogênio+alumínio)	0,82 cmolc/dm ³	0,80 cmolc/dm ³
SB (soma de bases)	25,4 cmolc/dm ³	27,50 cmolc/dm ³
t (capacidade efetiva de troca de cátions)	27,7 cmolc/dm ³	25,40 cmolc/dm ³
T (capacidade de troca de cátions a pH 7)	28,5 cmolc/dm ³	26,1 cmolc/dm ³
V (índice de saturação por bases)	97,7 %	97,7 %
m (índice de saturação do alumínio)	0,0 %	0,0 %
M.O. (matéria orgânica)	18,71 dag/Kg	11,06 dag/Kg
C.O. (carbono orgânico)	6,79 dag/Kg	6,42 dag/Kg
Ca/T (relação de Ca com pH 7)	38 %	23 %
Mg/T (relação de Mg com pH 7)	16 %	17 %
K/T (relação de K com pH 7)	43 %	57 %
H + Al/T (relação de H+Al com pH 7)	3 %	3 %
Ca+Mg/T (relação de Ca+Mg com pH 7)	54 %	40 %
Ca/Mg (relação de Ca com Mg)	2	1
Ca/K (relação de Ca com K)	0	1
Mg/K (relação de Mg com K)	0	0
Ca+Mg/k (relação de Ca+Mg com K)	1,3	0,7
Cu (cobre)	0,7 mg/dm ³	0,5mg/dm ³
Fe (ferro)	28,0 mg/dm ³	26,20 mg/dm ³
Zn (zinco)	18,00 mg/dm ³	26,20 mg/dm ³

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De acordo com Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para que o composto orgânico possa ser utilizado no solo como adubo, é necessário fornecer algum benefício de forma a melhorar a qualidade do solo e da cultivar, sendo necessário análises químicas do material, antes de ser utilizado (PREIRA NETO, 2010). Todas as análises realizadas foram interpretadas e comparadas com os resultados apresentados pela 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999). Conforme as descrições da 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), para avaliar a acidez do solo, são consideradas a acidez ativa e a trocável, a saturação por alumínio e por bases, a capacidade tampão, estimada por meio da acidez potencial, e o teor de matéria orgânica. A acidez do material também se relaciona com a disponibilidade de cálcio, de magnésio de micronutrientes. Todos esses elementos influenciam no pH do solo.

De acordo com os dados presentes na Tabela 9 o valor para pH encontrado no biofertilizante foi de 7,6 e para o composto orgânico foi encontrado 7,7 sendo classificados como neutro tendendo ao básico (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999). Isso pode ser observado por Antunes (2016), que fala de forma geral que o pH da compostagem varia de 5,0 a 7,9, sendo valores mais ácidos na fase inicial do processo e mais alcalino ao final do procedimento (composto maturado). A elevação do pH para valores mais alcalinos no final do processo está associada a redução de fontes de carboidratos simples e o aumento no consumo de outras fontes mais complexas, como proteínas e compostos nitrogenados, liberam amônia em consequência de sua degradação.

O pH ideal do solo, para plantio de culturas diversas deverá ser entre 5,5 e 6,7; vale ressaltar que cada cultivar tem suas necessidades específicas (NICOLODI; ANGHINONI; GIANELLO, 2008).

De acordo com Pascoal *et al.*, (2018), no processo de compostagem os valores de pH iniciam na faixa ácida, podendo estar relacionado a intensa degradação da matéria orgânica, a produção de ácidos orgânicos e altas temperaturas, durante o processo as bactérias responsáveis pela degradação se utilizam desses ácidos como substrato de forma que os valores aumentem alcançando índices alcalinos. Na legislação vigente, é preciso que o valor do pH final esteja dentro do limite estipulado pela Instrução Normativa n°. 25/2009 da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Na qual em seu Anexo III, discorre os limites de tolerância, sendo determinado que o pH para a comercialização do composto orgânico originário de resíduos

domiciliares e resíduos orgânicos dos serviços de alimentação seja de no mínimo 6,5. O atual trabalho apresentou valores de pH finais dentro dos padrões estipulado pela legislação.

O fósforo (P) disponível, foi analisado pelo (Método Mehlich), está disponível no biofertilizante na concentração de 664,6 mg/dm³ e no composto orgânico 654,6,0 mg/dm³. A presença desse elemento é um fator importante, uma vez que apresenta interação direta com o solo, podendo ser fixado de forma imediata, sendo liberado gradativamente de acordo com a necessidade da cultivar. A diferença em relação aos valores encontrados está associada ao tempo e a forma de decomposição do material. De acordo com Teixeira, Sousa e Korndorfer (2014), a maior parte dos solos brasileiros é deficiente em P. Portanto a utilização do biofertilizante e composto orgânico, como fontes de fósforo (P) podem melhorar a fertilidade do solo. Com relação a esse elemento o composto orgânico apresentou resultado inferior ao biofertilizante, mas, o valor encontrado não o impede de ser usado para cultivo, vale lembrar que cada cultivar tem uma exigência nutricional específica. Esse elemento é importante para organismos, não podendo ser substituído por outro, sendo essencial para a produção de alimentos (ANTUNES, 2016).

Com relação ao potássio (K), os valores encontrados nas análises realizadas para biofertilizante foi de 4400,00 mg/dm³ e composto orgânico 6400,00 mg/dm³ são apontados como altos índices e classificadas como muito bom, a 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), traz que valores acima de 120 mg/dm³ são considerados como muito bom. Os valores encontrados foram altos, diante dos índices, pode ser interessante para a questão da salinidade, mas, deve-se levar em conta a quantidade desse material para ser aplicado ao solo, pequena quantidade é suficiente para enriquecer grandes áreas, seguir sempre a recomendação do técnico responsável. Os índices encontrados são excelentes, propiciando boas condições de fertilidade para a cultivar. Outro fator que deve ser observado é a cultivar que será beneficiada com esse material, cada planta possui sua exigência nutricional. Schlindwein *et al.*, (2013), diz que o potássio (K), é um macronutriente mineral que atua desde o crescimento dos frutos, melhorando a espessura da casca, no nível de acidez da polpa, no desempenho da raiz, no controle da turgidez dos tecidos, no abrir e fechar dos estômatos, até no transporte de carboidratos e garantindo maior resistência contra doenças.

Conforme Souza (2014), a salinidade em excesso no solo é um fator que pode afetar o crescimento e o metabolismo das plantas, dificultando a absorção de água, interferindo nos

processos fisiológicos, causando a limitação dos nutrientes essenciais e assim levando a deficiência no crescimento radicular.

Como possível solução para o problema da salinidade pode-se indicar a aplicação de técnicas de manejo, o uso de espécies adaptadas à salinidade e a correção do solo com uso de compostos orgânicos capazes de minimizar os efeitos da salinidade para a cultura. Sendo necessário atenção às dosagens administradas de forma a não causar prejuízos a cultura.

Os valores de cálcio (Ca) encontrados no biofertilizante foi de 9,87 cmolc/dm³ sendo considerado muito bom, onde na 5^a Aproximação aponta valores acima de 4,00 cmolc/dm³ como muito bom. Já o composto orgânico apresentou 6,50 cmolc/dm³ sendo considerado como bom. Essa diferença se dá em relação ao tempo de degradação do material. O biofertilizante apresentou maior concentração de cálcio, sabe-se que esse elemento, auxilia na redução de perdas da qualidade pós-colheita de frutos, sendo utilizado em pulverizações de pré e pós-colheita na área foliar, cobrindo os frutos, muito usado em macieira, frutos em videira, pêssegos dentre outros, com objetivo de aumentar a conservação pós-colheita dos frutos (DANNER *et al.*, 2015). Ainda segundo o mesmo autor, o cálcio atua neutralizando o alumínio presente no solo, corrige a acidez, e ainda consegue ser capturado pelas raízes da planta.

Os teores de magnésio (Mg) encontrados no biofertilizante foi de 4,29 cmolc/dm³ e para o composto orgânico de 4,84 cmolc/dm³ sendo considerados como muito bom, uma vez que a 5^a Aproximação aponta valores acima de 1,5 cmolc/dm³ como muito bom. Conforme Rodrigues *et al.*, (2015), os teores de Mg encontrados foram altos, sendo interessante para o cultivo de culturas diversas.

As concentrações de alumínio (Al) nas duas amostras biofertilizante e composto orgânico foram representadas por 0,00 (zero), conforme a 5^a Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), resultados abaixo de 0,20 são considerados muito baixo. O material analisado não apresentou esse elemento, sendo considerado resultado satisfatório. Esse elemento está ligado a acidez do solo, em determinadas concentrações, precisa ser corrigido, pois é tóxico para as plantas, considerado como problema para culturas diversas. Não foi encontrado nas amostras analisadas.

As concentrações de H+Al que representa a acidez potencial, uma vez os dois elementos juntos, influenciam na acidez do material. Os valores encontrados para biofertilizante foi de 0,72 cmolc/dm³ e para composto orgânico foi de 0,80 cmolc/dm³, considerado como muito baixo. A 5^a Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ,

1999) aponta que índices menores que 1,00 cmolc/dm³, são muito baixos. Tanto o Al como H+Al estão ligados ao pH.

A Soma de bases (SB) representa a soma de todos os elementos básicos que foram analisados ($SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$), sendo apresentado 25,4 cmolc/dm³ para biofertilizante e 27,7 cmolc/dm³ para composto orgânico podendo ser considerados como muito bom, onde na 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), aponta que resultados acima de 6,00 cmolc/dm³ são considerados muito bom. Como os produtos analisados são concentrados, ricos em nutrientes, a SB irá apresentar valores elevados, sendo muito bom para o solo onde será aplicado, o que deve ser levado em conta é a quantidade a ser aplicado e a cultivar, uma vez que cada planta possui sua exigência em termos de nutrientes.

O t significa a capacidade de troca catiônica do material analisado, da forma que ele está, sendo representado por CTC Efetiva = $Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + (Na^{+}) + Al^{3+}$. Os valores encontrados foi de 25,4 cmolc/dm³, para biofertilizante e 27,7 cmolc/dm³, para composto orgânico, sendo muito bom para valores acima de 15,00 cmolc/dm³ (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999). Os resultados encontrados são muito bons (PEREIRA NETO, 2010).

O T é a CTC em pH 7, os valores encontrados para biofertilizante foi de 26,1 cmolc/dm³, e para composto orgânico foi de 28,5 cmolc/dm³, sendo considerados como muito bom de acordo com a 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), que indica valores acima de 15,00 cmolc/dm³, como sendo muito bom.

Os resultados encontrados para V indicam a saturação de bases, apontando para a quantidade de bases presentes na amostra que foi de 97,2 % para ambos biofertilizante e composto orgânico sendo indicados como muito bom pela 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), que mostra índices acima de 80,00% sendo classificado como muito bom.

Foram encontrados valores 0,00 para o m que representa o índice de saturação por alumínio, sendo considerados muito baixo em conformidade com a 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), que indica valores menores que 15,00 % como sendo muito baixo.

Os resultados encontrados para Matéria Orgânica (M.O.) foram 11,06 dag/kg para o composto orgânico e 11,71 dag/kg para biofertilizante sendo valores considerados como muito bom, onde a 5ª Aproximação aponta para valores acima de 7,00 dag/kg. A diferença entre os valores encontrados é devido ao tempo de decomposição do material, enquanto que

para a compostagem foram necessários 45 dias para que todo o material fosse degradado, para o biofertilizante foram gastos 51 dias. Conforme a 5ª Aproximação quanto maior o tempo de degradação da material maior a concentração de matéria orgânica no final do processo, sendo o fator tempo influenciador de forma direta na concentração de alguns elementos. A matéria orgânica presente no biofertilizante atua na ciclagem dos nutrientes, auxiliando na reposição de nutrientes para as plantas e aumentando a fertilidade do solo; ajuda na fixação biológica de nitrogênio, proporciona maior produção e produtividade das culturas, aumenta a resistência das plantas quanto às pragas e doenças (SEBRAE, 2016). De acordo com Pereira Neto (2010), a matéria orgânica presente no composto orgânico possui influência direta na capacidade de troca catiônica e pH do solo e assim atua disponibilizando nutrientes às plantas.

Os níveis de Carbono Orgânico (C.O) para biofertilizante foi 6,79 dag/kg e para composto orgânico foi 6,42 dag/kg sendo considerados como muito bom de acordo com a 5ª Aproximação valores acima de 4,06 são interpretados como sendo muito bom. Esse valor é obtido através da Matéria Orgânica dividida pelo valor 1,724, sendo esse um coeficiente padrão para análises laboratoriais e indicado pela 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999).

A relação (Ca/Mg), (Ca/K), (Mg/K), (Ca+Mg/k), (Ca/Mg), (Ca+Mg/k), Também foi analisada no presente trabalho.

As relações entre (Ca/T), (Mg/T), (K/T), (H + Al/T), (Ca+Mg/T) representam a relação em % de cada elemento em pH 7.

O elemento Cobre (Cu) ao ser analisado apresentou como resultado para biofertilizante 0,70 mg/dm³ e para composto orgânico 0,50 mg/dm³ sendo classificado como índice médio, uma vez que a 5ª Aproximação aponta valores acima de 1,8 mg/dm³ como alto. Os índices encontrados foram bons, podendo ser usado em benefício da cultivar (CAMARGO, 2006).

Os níveis de Ferro (Fe) encontrados nos resultados das análises foi de 28,00 mg/dm³ para biofertilizante e 26,20 mg/dm³ para composto orgânico, a 5ª Aproximação indica como alto os resultados acima de 45 mg/dm³. Os valores encontrados no atual trabalho são bons, podendo ser usado no solo para melhorar as características de fertilidade do mesmo (SENA *et al.*, 2015). O ferro (Fe) é um micronutriente importante para as plantas, está presente em vários processos fundamentais como fotossíntese, respiração, fixação de nitrogênio e síntese de DNA e de hormônios. Geralmente os solos apresentam altas concentrações de Fe, porém isso não traz danos às plantas, porque sua maior parte se encontra de forma pouco disponível.

Plantas que são submetidas a altas concentrações desse elemento o absorvem e acumula grandes quantidades em seus tecidos, apresentando sintomas de toxicidade, como amarelecimento e, ou bronzeamento das folhas e escurecimento das raízes. Níveis críticos de toxicidade de Fe em plantas variam de acordo com a espécie, idade da planta e de seu estado nutricional (JUCOSKI *et al.*, 2016).

Os teores de Zinco (Zn) encontrados para biofertilizante foi de 18,00 mg/dm³ e para o composto orgânico foi de 26,10 mg/dm³ sendo altos índices, uma vez que a 5ª Aproximação (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999), classifica como alto os valores acima de 2,2 mg/dm³. Para fins de fertilidade, o composto em estudo precisa ser dosado de forma correta, uma vez que o elemento Zinco foi encontrado em índices elevados, devendo ser considerado a exigência específica da cultivar, para então se calcular o volume a ser direcionado, de forma a não comprometer a vida da espécie em questão. O excesso de Zinco pode causar a toxicidade das plantas, cujas folhas apresentam pigmentação vermelha no pecíolo e nas nervuras, as principais plantas que sofrem toxidez por esse elemento são, arroz, milho, cacau, banana, café, cana-de-açúcar, citrus, eucalipto, maçã, maracujá, soja, uva, cereais, amêndoas e oleaginosas, etc (RIBEIRO; GUIMARAES; ALVAREZ, 1999).

Conforme apontam os resultados obtidos pelas análises realizadas, tanto o composto orgânico como o biofertilizantes apresentaram, bons resultados tanto para macro como para micronutrientes.

O solo que irá receber esse material deverá passar por análises para se conhecer os níveis de seus nutrientes, a partir do resultado da análise deve-se fazer a recomendação de composto orgânico e biofertilizante de acordo com as necessidades desse solo.

Conforme Pereira Neto (2010), as faixas de aplicação do composto orgânico variam e acordo com as características do mesmo, do solo, clima, tipo de cultura e forma de adubação, sendo importante a correta manipulação e dosagem.

6 CONCLUSÃO

O tratamento usado para os resíduos orgânicos da UAN do IFMG *Campus* Bambuí, compostagem e biodigestão se mostrou eficiente.

A compostagem conseguiu reduzir os volume de resíduos em 50 %, transformando-os em composto orgânico, subproduto de qualidade e com boas características físico químicas para fins de fertilidade, que pode ser usado em cultivares diversas.

Com a biodigestão foi possível tratar os resíduos, transformando-os em dois subprodutos, biogás e biofertilizante, onde o biogás foi avaliado quanto aos principais gases, destacando a presença de metano em boas proporções, favorecendo a flamabilidade. O volume de produção desse gás foi satisfatório garantindo a viabilidade na produção.

O biofertilizante gerado apresentou bons resultados para fins fertilização e com ganho no volume de produção.

As ferramentas usadas, foram capazes de proporcionar o aproveitamento dos resíduos, minimizando os volumes de descarte, gerando menos impacto ao meio ambiente e ainda, o uso de seus produtos finais são capazes de recuperar a vida no solo, disponibilizando nutrientes a longo prazo e garantindo a sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, Flávia Aparecida. **Aspectos básicos sobre a produção local de fertilizantes alternativos para sistemas Agroecológicos**. 1ª ed. Goiás: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Arroz e Feijão, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Santo Antônio de Goiás, 2016.
- ALVES, Camila Souza. **Avaliação da geração de resíduos orgânicos em uma Unidade de Alimentação e Nutrição no município de Cuiabá – MT**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, Mato Grosso, 2017.
- AMARAL, André Cestonaro; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; KUNZ, Airton. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia:Sbera:Embrapa Suínos e Avez. Os biodigestores. Capítulo III. 2019.
- ANDRADE, Márcio Antônio Nogueira *et al.*, **Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da Sustentabilidade Ambiental**. 2012. 12 f. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- ANTUNES, Luciana Principal. **Metagenômica metatranscritômica da microbiota da compostagem do parque zoológico de São Paulo**. 2016. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Universidade de São Paulo, 2016.
- ARANTES-PEREIRA, Lucas; CHAGAS, Bruno Rangel. **Créditos de carbono: natureza jurídica no Brasil**. Revista científica Semana Acadêmica.ISSN 2236-6717. Fortaleza, 2016.
- ARAÚJO, Alexandre Augusto Pinheiro Souza; ALMEIDA, Filipe Lobão de; BASSO, Leonardo de Arantes. **Compostagem dos resíduos dos restaurantes universitários e dos resíduos de poda na cidade universitária Armando Salles de Oliveira**. 2015. 92 f. Projeto de Formatura apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, no âmbito do Curso de Engenharia Ambiental. São Paulo, 2015.
- ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. Universidade Federal de Uberlândia, 2017.
- ARAÚJO, Gabriele Mônico. **Remoção biológica de gás sulfídrico concentrado para tratamento do biogás**. 2013. 100 f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil - 2013.
- ARAÚJO, Juliara dos Santos Silva. **Eficiência de biofertilizantes no crescimento, produção e qualidade da produção da bananeira nanica em neossolo flúvico**. 2012. 79 f. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual da Paraíba Campina Grande, Paraíba. Agosto de 2012.
- ARRUDA, Mariliz H.; AMARAL, Lúcio de P.; PIRES, Odair, P. J. **Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa**. 2002. Ano 1. Número 2. Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça, São Paulo, 2002.

BARBOSA, P. T. *et al.* **Avaliação da produção de metano em biodigestores anaeróbios e microaeróbios tratando resíduos orgânicos alimentares.** 30 ° Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação.** Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília, DF: MMA, 2017.

BRIETZKE, Débora Tairini. **Avaliação do processo de compostagem considerando a relação carbono/nitrogênio.** 2016. 60 f. Trabalho de conclusão de curso. Centro Universitário Univates. Lajeado, Rio Grande do Sul, 2016.

BUENO, Rodrigo Freitas. **Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino.** 2010. 15 f. Faculdade de Saúde Pública (FSP/USP) São Paulo, 2010.

CAETANO, Michel Iuri. **Micro-organismos eficientes (EM's) na compostagem de palha de cana-de-açúcar e esterco bovino.** 2014. 81 f. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Tecnológica do Paraná, *Campus* Londrina, Paraná, Brasil. 2014.

CALDEREIRO, Gisele Maria Brod. **Caracterização da digestão de resíduos agroindustriais em biodigestor de fluxo contínuo operado em escala real.** 2015. 90 f. Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, Paraná 2015.

CAMATTI - SARTORI, Valdirene; *et al.* **Cartilha para Agricultores - Compostagem - Produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos.** Universidade de Caxias do Sul, 2012.

CAMARGO, Otávio Antônio. **Reações e interações de micronutrientes no solo.** 2006

CAMPELLO, George Carneiro. **Avaliação vida residual de risers de perfuração corroídos.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.

CARLI, Salete Terezinha. **Uso de degradadores biológicos na aceleração do processo de compostagem dos resíduos orgânicos Vegetais e palhas de embalagem – estudo de caso na Ceasa-curitiba.** Trabalho de conclusão de curso. 2010. 159 f. Universidade do Paraná, Curitiba, 2010.

CASTRO, Diego dos Santos; MATEUS, Viviana Oliveira. **Produção de biogás a partir de restos de alimentos coletados em um restaurante: uma experiência a ser disseminada.** XV SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica. Universidade de Salvador, Bahia, Brasil, 2016.

CERVEIRA, Graziela Salvan. **Remoção de CO₂ do biogás por permeação em membranas.** Dissertação de mestrado. 2016. 154 f. Instituto Alberto Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

COOPER, Miguel *et al.*, **Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático**. Piracicaba: ESALQ. São Paulo, 2010.

CORRÊA, Anderson Gabriel; SANTOS, Renan de Freitas; SILVEIRA, Bruno Piedras, Vieira, Bruno Müller; NADALETI, Willian César. **Influência da temperatura na produção de biogás através da codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos alimentares e industriais**. Gramado, Rio Grande do Sul, 2020.

DANNER, Moeses Andriago; *et al.*. Fontes de cálcio aplicadas via solo podem substituir aplicação foliar em macieira ‘Fuji. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S. l.], v. 45, n. 3, p. 266–273, 2015.

DAZZI, Juliana Glicerio; BRINGHENTI, Jacqueline Rogéria; TEIXEIRA, Roberta Arlêu. **Compostagem: fatores que a influenciam e a importância do processo em pequena escala para gestão de resíduos orgânicos nos centros urbanos**. Instituto Federal do Espírito Santo, Dezembro, 2018.

FERRAZ, Thanísia Valim. **Práticas sustentáveis em restaurantes universitários de universidades federais brasileiras**. 2016. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santos, 2016.

FERNANDES, A. P. N.; SILVA, L. T.; MELO, J. D. **Estimativa e metodologia para síntese de amônia a partir de biogás gerado em Uberaba-MG**. III Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais, Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química. 2018.

FERREIRA, Aline Guterres; BORBA, Sílvia Naiara de Souza; WIZNIEWSKY, José Geraldo. A prática da compostagem para a adubação orgânica pelos agricultores familiares de Santa Rosa/RS. **Revista Eletrônica do Curso de Direito - Universidade Federal de Santa Maria**, Rio Grande do Sul, v. 8, p. 307-317, 2013.

FILHO, Edmar Teixeira Diniz; *et al.*, A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. **Revista verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 2, p. 27-36, 2007.

FRANÇA, Carla Regine Reges Silva *et al.*, **Teores de nutrientes em biofertilizantes líquidos determinados por diferentes métodos de análise**. Embrapa Semi-Árido, Petrolina, Pernambuco, 2006.

FRARE, Laércio Mantovani; GIMENES, Marcelino Luiz; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Correlações para estimativas de custos na remoção de ácido sulfídrico de biogás. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 28, n. 1, 2006.

FRARE, Laercio Montovani; GIMENES, Marcelino Luiz; PEREIRA, Nehemias Curvelo. Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, vol. 14, n. 2, p. 167-172, 2009. Medianeira, Paraná, 2009.

FURMAN, Leonardo Paraná; *et al.* **Produção de biogás a partir de um biodigestor caseiro**. Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA, Faculdade de Engenharia Química. XXI Congresso brasileiro de Engenharia Química, Fortaleza, Ceará. 2018.

GAVIOLI, Davi Fernandes. **Efeito de promotores de crescimento para suínos sobre o desempenho zootécnico, a qualidade intestinal e a eficiência da biodigestão dos dejetos.** 2013. 65f. Dissertação (Pós Graduação em Ciência Animal). Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Londrina, Paraná, 2013.

INÁCIO, Caio de Teves; MILLER, Paul Richard Momsen. **Compostagem ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos.** Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2009.

ISHIMURA, Issao; *et al.* **Olericultura Orgânica: Compostagem.** Serviço Nacional de Aprendizagem Rural Administração Regional do Estado de São Paulo, 2009.

JUCOSKI, Gládis de Oliveira; *et al.*, Excesso de ferro sobre o crescimento e a composição mineral em *Eugenia uniflora* L. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 720-728, outubro, 2016.

KARLSSON, Tommy *et al.*, **Manual básico de biogás.** 1ª ed. Lajeado: Ed da Univates, 2014.

KRETZER, Stéfano Gomes *et al.*. Produção de biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante universitário. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, n.4, 2016.

KONRAD, Odorico; BASTIANI, Fernanda; SCHMITZ, Michele; KÜNZEL, Gustavo. Quantificação da produção de biogás e determinação do percentual de metano a partir de dejetos suínos e lodo de estação de tratamento de efluentes (ETE). **Revista Destaques Acadêmicos**, ano 1, n. 4, - CETEC/Univates. Lajeado, Rio Grande do Sul. 2009.

KUNZ, Airton; OLIVEIRA, L; PICCININ, L. S. Kit desenvolvido em parceria com a Embrapa – suínos e aves e Alfakit Ltda. **Manual de análise do biogás.** Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. 2008.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luís Radis; AMARAL, André Cestonaro do. **Fundamentos da digestão anaeróbica, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato.** Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

LIMA, Ana Carolina Guedes; PASSAMANI Fernanda Caliman. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator Uasb da ETE-UFES.** Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, Espírito Santo, 2012.

LIMA, Regina Farias; CARDOSO, Itamara Pereira; OLIVEIRA, Ginarajadaça Ferreira Santos. A compostagem de resíduos sólidos e de poda. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento.** Ano 05, Ed. 12, Vol. 19, pp. 128-142. Dezembro de 2020.

LINS, M. A.; STEINMETZ, Ricardo Luís Radis; PEREIRA NETO, S.; DIAS, Júnior. R. ; GASPARETO, T. C. ; KUNZ, Airton. **Efeito da carga orgânica volumétrica sobre a produção de biogás a partir de dejetos de suínos em reator UASB.** V Simpósio Internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários agroindustriais. Foz do Iguaçu, Paraná, 2017.

MAGALHÃES, Edney Alves *et al.*. Confeção e avaliação de um sistema de remoção do CO₂ contido no biogás. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 26, p. 11-19, 2004.

MARIN, Diego Bedin *et al.*, Avaliação sustentável de biogás em unidade de produção de suínos e seu reaproveitamento energético. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, V. 10, N.4, 2018.

MEDEIROS, Rachel Araújo. **Sistema de compostagem escalável a partir de resíduos orgânicos oriundos de uma instituição de longa permanência para idosos**. Trabalho e conclusão de curso. 2016. 67 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia, Natal, Rio Grande do Norte. 2016.

MEDEIROS, Marcos Barros; WANDERLEY, Paulo Alves; WANDERLEY, Maria José Araújo. Biofertilizantes líquidos: processo Trofobiótico para proteção de plantas em cultivos orgânicos. **Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**. Ed. 31. P. 38 – 44, 2003.

METZ, Hugo Leonardo. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. 2013. 39f. Monografia (Pós Graduação *Latu Sensu* em Formas Alternativas de Energia). Universidade Federal de Lavras, MG 2013.

MORAES, Taciane Pupo. **Estudo dos aspectos físico-químicos da compostagem à base da casca de mandioca**. Trabalho de conclusão de curso. 2014. 42 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2014.

MOURA, Mariana Baptista Taves. **Processo combinado para a purificação do biogás por contactores com membranas e regeneração do líquido absorvente por eletrodialise**. 2018. 114f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018.

NICOLODI, Margarete; ANGHINONI, Ibanor; GIANELLO, Clésio. Indicadores de acidez do solo para liming em sistemas de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 237-247, 2008.

NOGUERA, Jorge Orlando Cuéllar. **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. Universidade Federal de Santa Maria Rio Grande do Sul, Brasil. 2011.

OLIVEIRA, Emídio Cantídio Almeida de; SARTORI, Raul Henrique; GARCEZ Tiago B. **Compostagem**. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição das Plantas. Piracicaba, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, Frederico Alvarenga de. **Manual de construção do biodigestor rural**. Universidade Pontifícia Católica de Minas Gerais, (2013).

OLIVEIRA, Liliane Tavares. **Compostagem doméstica, uma solução para os resíduos sólidos urbanos**. Trabalho de conclusão de curso. 2019. 47 f. Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2019.

PAIXÃO, Simone Karine Silva da. **Produção de biogás a partir de resíduos de alimentos: uma proposta para restaurante em Recife-PE**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Recife, Pernambuco, 2018.

PASCOAL, Clayton Rosa; *et al.* **Compostagem e Educação ambiental: implantação de projeto em uma Escola Estadual de Marzagão (GO).** Espaço em Revista, Goiás. 2018.

PEREIRA, Adolfo Plínio; GONÇALVES, Mônica Maria. Compostagem doméstica de resíduos alimentares. **Revista Científica São João da Boa Vista**, v.5, n.2, 2011.

PEREIRA, Lucimar Costa *et al.* Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.7, n.4. Departamento de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis na Universidade do Estado do Pará, Brasil, 2018.

PEREIRA, Miréia Aparecida Bezerra *et al.*, **Uso de biofertilizante foliar em adubação de cobertura da alface cv. Verônica.** Universidade Federal do Tocantins, *Campus* de Gurupi, Tocantins, Brasil. 2010.

PEREIRA NETO, João Tinoco. **Manual de Compostagem processo de baixo custo.** 1ª ed. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2010.

PEIXE, Marilo; HACK Mara Brognoli. **Compostagem como método adequado ao tratamento dos resíduos sólidos orgânicos urbanos: Experiência do Município de Florianópolis/Santa Catarina.** 2014.

PEIXOTO, Ricardo Trippia dos Guimarães. **Compostagem.** Embrapa Clima Temperado, 2012.

POSSA, Rosangela Dala. **Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos.** Dissertação de mestrado. 2013. 91 f. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil. 2013.

RIBEIRO, Antônio Carlos; GUIMARAES, Paulo Tácito Gontijo; ALVAREZ, Victor V. Hugo. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação.** Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, Viçosa. 1999.

RIZZONI, Leandro Becalet; *et al.*. Biodigestão anaeróbica no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, n. 18, 2012.

ROCHA, Camila Marçal. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares.** Trabalho de conclusão de curso. 2016. 61 f. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

RODRIGUES, Alexandre; *et al.*. Compostagem de resíduos orgânicos: eficiência do processo e qualidade do composto. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

SAKUMA, Anderson Cardoso. **Desenvolvimento e análise experimental de biodigestores modulares de baixo tempo de residência.** 2013. 119f. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2013.

SCHIRMER, Waldir Nagel; *et al.*. Avaliação da geração de gás sulfídrico no biogás gerado a partir de resíduos sólidos urbanos. **Ciência & Tecnologia**, v. 7, 2015.

SANTOS, Vanessa Cristina. Os créditos de carbono da empresa alto Tietê Biogás. **Science in Health**, v. 2, n. 3, p. 131-44, 2011.

SCHLINDWEIN, J. A. *et al.*, Adubação de fósforo e potássio em solos do sul do Brasil. **Revista Ciências Agrícolas**, v. 4, n. 12. 2013.

SEABRA JÚNIOR Edward. **Análise da produção de biogás proveniente da mistura de biomassa da suinocultura com bagaço de cana de açúcar em diferentes granulometrias**. Dissertação de mestrado. 2017. 108 f. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Paraná, Brasil, 2017.

SEBRAE. **Sustentabilidade, Boletim de tendências**. Florianópolis, Santa Catarina.2016.

SENA, J. A. *et al.*, **Análises qualitativas e quantitativas de Fe 3+ em solo para plantio**. Congresso Brasileiro de Química. Goiânia, GO. 2015.

SILVA, Edison Renato; NAVARRO, Leonardo Luiz Lima; ALMEIDA, Sílvio Carlos Anibal **Dimensionamento da Produção de Biogás a partir de resíduos residenciais, industriais e de matrizes suínas na Comunidade de Vila Paciência (RJ)**. Apresentado XII CBE - Congresso Brasileiro de Energia. Rio de Janeiro, Brasil, 2008.

SILVA, Fernanda Cristina de Andrade; MOREIRA, Fernando Augusto. **Análise da produção de biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos domésticos**. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. 2017.

SILVA, Lucimar Novaes. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. Dissertação de mestrado. 2007. 73 f. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel, Paraná, Brasil. 2007.

SOARES, Caroline Monique Tietz; FEIDEN, Armin; TAVARES, Sidnei Gregorio. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Revista Nativa**, Sinop, v.5, esp., p.509-514, dez. 2017. Pesquisas Agrárias e Ambientais.

SOUZA, Maria Cristina Martins Ribeiro. **Efeitos da salinidade sobre o desenvolvimento vegetativo do Noni sob duas condições ambientais, na ausência e presença de composto orgânico**. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2014.

STUCHI, Júlia Franco. **Biofertilizante: um adubo líquido de qualidade que você pode fazer**. Embrapa Amapá. Brasil, 2015.

TEIXEIRA, Welldy Gonçalves; SOUSA, Robson Thiago Xavier; KONDORFER, Gaspar Henrique. **Resposta da cana de açúcar a doses de fósforo por fertilidade organomineral**. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2014.

VALENTE, B. S. *et al.*, Fatores que afetam o desenvolvimento da Compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 59-85, 2009.

VILELA, Nathane Manuelle Silva. **Comparação dos métodos de compostagem por leiras estáticas aeradas e por reviramento no tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação. 2019. 111 f. Universidade Federal de Viçosa, 2019.

WANGEN, Dalcimar Regina Batista; FREITAS, Isabel Cristina Vinhal. **Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos.** Revista Brasileira de Agroecologia. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, 2010.

APÊNDICE



INSTITUTO FEDERAL
MINAS GERAIS
Campus Bambuí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - IFMG *CAMPUS* BAMBUÍ**

Eva Julieta de Melo

**PRODUTO TÉCNICO: PROGRAMA PARA GESTORES DE UNIDADES DE
ALIMENTAÇÃO E NUTRIÇÃO**

**Bambuí - MG
2021**

1. APRESENTAÇÃO

O Produto técnico elaborado faz parte do trabalho da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) *Campus Bambuí*, sendo parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, se trata de um programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição (UAN). É uma ferramenta imprescindível para aprimorar o atendimento e a gestão em si, favorecendo a automatização de muitas tarefas. Este, permite o preenchimento de dados referentes a rotina diária da UAN, assim tornando possível um feedback sobre a qualidade das refeições servidas por meio de indicadores que podem ser visualizados de imediato. O primeiro indicador avaliado neste trabalho é a qualidade das refeições, sendo obtido por meio do índice de resto ingesta. Conforme Machado *et al.*, (2012), o resto ingesta é quantidade de alimentos devolvido no prato ou bandeja do comensal, podendo ser expresso em percentual. Quantidades elevadas desse volume traz reflexos negativos para a UAN, uma vez que reflete eticamente, econômica e socialmente, causando impactos ambientais referentes ao descarte de forma incorreta. Elevados índices de resto ingesta indicam que a oferta das refeições não está sendo bem aceita pelos comensais, informando ao gestor a necessidade de ajustes no planejamento e execução do cardápio oferecido. Esse índice pode ser calculado pela fórmula:

$$\mathbf{R.I = \text{Peso total do resto ingesta/Peso das refeições que foram servidas} \times 100.}$$

De acordo com Anjos *et al.*, (2017), a qualidade das refeições expressas pelo percentual de resto ingesta pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Indicadores de qualidade, onde o resto ingesta indica a qualidade das refeições, através do grau de aceitação dos comensais com o prato servido.

Qualidade das refeições através do resto ingesta	
Ótima	Até 3 %
Boa	De 3,1 a 7,5 %
Regular	De 7,6 a 10 %
Péssima	Maior que 10 %

Fonte: Anjos *et al.*, (2017)

O segundo indicador avaliado foi a qualidade na prestação de serviços por parte dos colaboradores do setor produtivo, esse pode ser avaliado através da porcentagem de sobras, que serve como parâmetro para avaliar o grau de eficiência no planejamento e execução das atividades de produção (VAZ, 2011). Esse percentual é aceitável até 3 %, valores acima apontam a necessidade de medidas corretivas. Esse cálculo pode ser obtido pela fórmula:

$$\% \text{ sobras} = \frac{\text{total de refeições produzidos} - \text{quantidade de refeições servidas}}{\text{total produzido}} \times 100$$

O terceiro indicador avaliado foi o número de comensais que poderiam se alimentar com o volume de resto ingesta. Para esse cálculo se usa a seguinte equação:

Peso do resto ingesta/per capita.

O per capita é a quantidade de alimentos suficiente para um indivíduo se alimentar, esse valor é obtido através da média de consumo dos comensais e varia de região para região, sendo influenciado diretamente pelo público, sexo, idade, hábito alimentar, dentre outros (ANJOS, *et al.*, 2017). No atual trabalho se usou o per capita da UAN do IFMG *campus* Bambuí, sendo considerado 743 gramas.

A esse indicador foi associado o valor financeiro destinado para o índice de resto ingesta, sendo considerado como desperdício.

2. OBJETIVO

Auxiliar na gestão das Unidades de Alimentação e Nutrição, utilizando-se de um programa que trabalha com indicadores de qualidade.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Observar a qualidade das refeições servidas;

Analisar a qualidade na eficiência dos serviços prestados pelos colaboradores do serviço de alimentação;

Conhecer o número de pessoas que podem se alimentar com o volume de resto ingesta produzido.

3. CARACTERÍSTICAS DO PRODUTO TÉCNICO/TECNOLÓGICO (PTT)

Este programa foi desenvolvido na linguagem JS (JavaScript) sobre a plataforma Node.js. Sendo JavaScript uma linguagem de programação interpretada estruturada, de script em alto nível com tipagem dinâmica fraca e multiparadigma. Juntamente com HTML e CSS, o JavaScript é uma das três principais tecnologias da World Wide Web. E Node.js software de código aberto, multiplataforma, baseado no interpretador V8 do Google e que permite a execução de códigos JavaScript fora de um navegador web.

Para a criação das janelas foi utilizado diversas bibliotecas JavaScript, entre elas Express.js, cookie-parser, pug, sequelize, sqlite3 etc. Para o armazenamento dos dados foi usado o SQLite. Que é um banco físico hospedado localmente (na máquina do cliente). Não sendo necessário o acesso à internet para utilização da aplicação. A aplicação roda como um serviço na máquina local e o acesso é feito pelo navegador com um link de acesso local (<https://sourceforge.net/projects//ordemdeproducao/>).

COMPLEXIDADE, VANTAGENS E LIMITAÇÕES

Dentre as vantagens de uso, se destaca sua facilidade de acesso, feedback imediato sobre os indicadores de qualidade em estudo, melhor visão na gestão operacional, facilidade para otimizar o cardápio oferecido, melhorar a eficiência operacional, ganhando mais dinamismo, reduzindo custos e impactos ambientais.

A QUAL LINHA DE PESQUISA DO MPSTA O PRODUTO ATENDE? QUAL A APLICABILIDADE? QUAL A área impactada pela produção (econômico, saúde, ensino, social, cultural, ambiental, científico, aprendizagem) (DÊ SUGESTÕES)]

O programa atende a linha de pesquisa em estudo (Tecnologias ambientais), podendo ser adaptado para atender as demais linhas do programa. A área impactada pela produção deste, é econômica, podendo trazer melhorias financeiras para o setor (Unidade de Alimentação e Nutrição) e ambiental, onde os resultados de sua aplicação pode reduzir o desperdício e o descarte dos resíduos de forma incorreta.

QUAL É O CARÁTER INOVADOR?

Possui caráter inovador, a tecnologia que permite o cálculo do valor financeiro referente ao volume de descarte do resto ingesta e ainda o número de comensais que podem se saciar com essas sobras. Trazendo assim um feedback imediato sobre a temática.

PARA QUAL PÚBLICO-ALVO (SITUAÇÃO), ELE É INDICADO? O QUE ELE VISA OFERECER A ESTE PÚBLICO?

O programa é destinado a gestores das Unidades de Alimentação e Nutrição, oferecendo a oportunidade de ampla execução, favorecendo uma melhor administração do setor, possibilitando o cadastro das unidades, dos pratos e grupo de pratos, a edição das ordens de produção e a visualização dos indicadores de qualidade.

QUANDO/ONDE ELE PODERÁ/DEVERÁ SER UTILIZADO? Caracterize seu uso será potencial ou imediato/real.

Poderá ser usado diariamente através da alimentação do mesmo com dados referentes a rotina de produção na UAN. Com o uso dessa ferramenta é possível que os gestores ganhem tempo para participação/execução de outras atividades como as práticas do setor.

IMPACTO

Nível – alto, médio, baixo

De impacto médio.

Demanda – espontânea, por concorrência, contratada

Possui demanda espontânea.

Qual o setor da sociedade beneficiado pelo impacto?

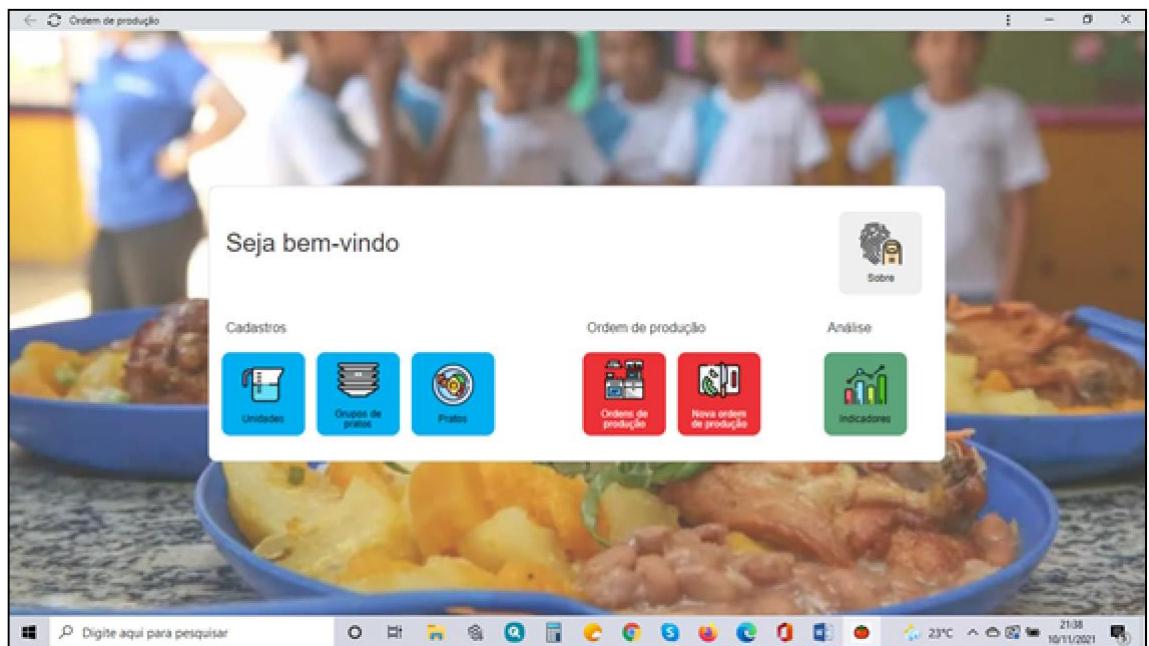
Os setores da gestão de alimentação e nutrição, setor administrativo e outros que estejam ligados a gestão podem se beneficiar com o uso deste.

Passo a passo para execução do aplicativo

Para conhecer a funcionalidade prática do programa, basta seguir a sequência de informações no passo a passo que segue:

A tela principal, permite o cadastro das unidades, pratos e grupos de pratos. Sendo possível editar as ordens de produção para café da manhã, almoço, café da tarde, jantar e lanche noturno. Após o preenchimento destes dados é possível visualizar os indicadores de qualidade. A Figura 1 apresenta a tela inicial do programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição.

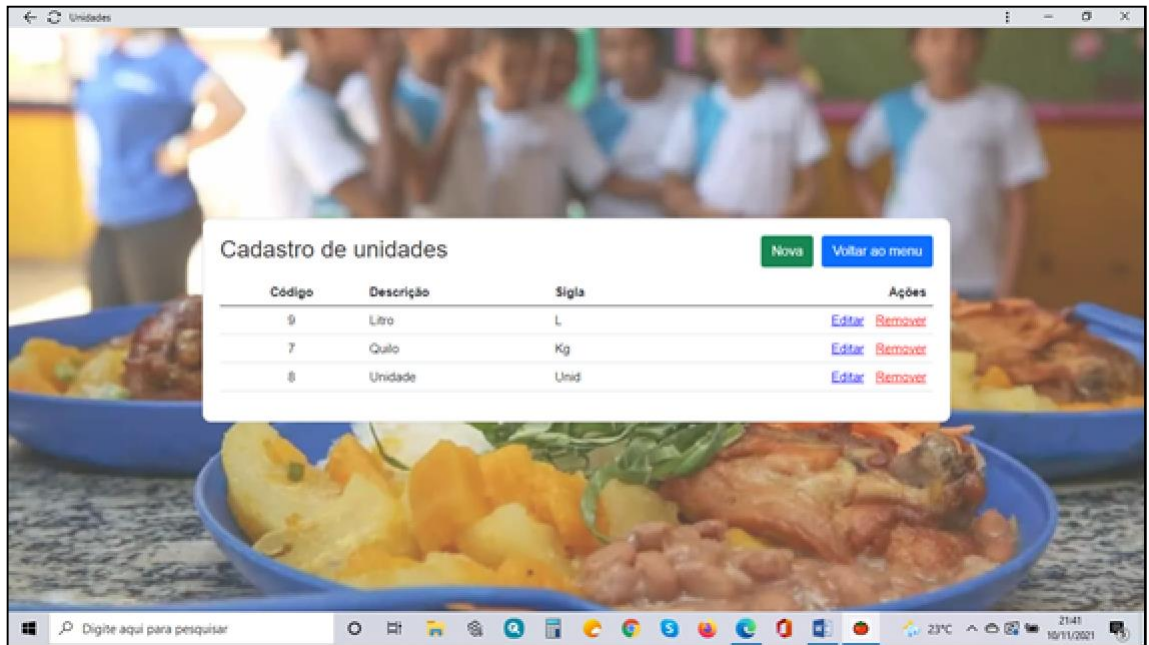
Figura 1 – Tela inicial do programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A segunda tela mostra o cadastro das unidades usuais na UAN, como por exemplo, quilo (kg), unidade (unid.) e litro (L), assim favorecendo a identificação da unidade em cada tipo de prato. A Figura 2 mostra essas unidades de medida na tela.

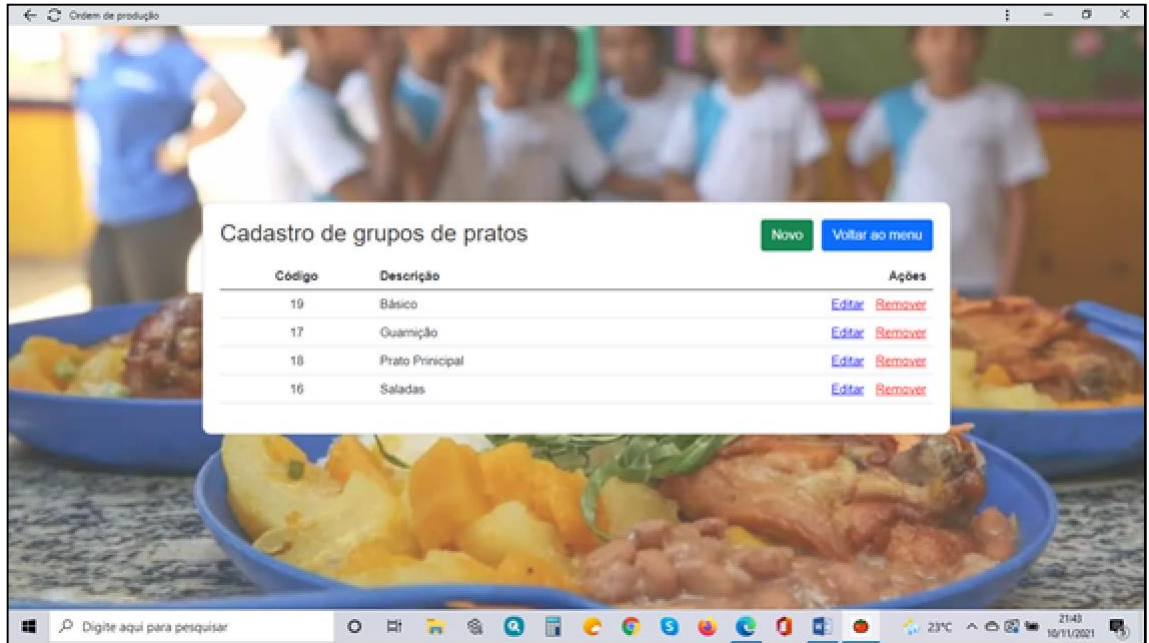
Figura 2 - Tela com cadastro das unidades de medida do programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A terceira tela se refere ao grupo de pratos, sendo composto basicamente por salada, guarnição, básico e prato principal. A Figura 3, mostra o grupo de pratos.

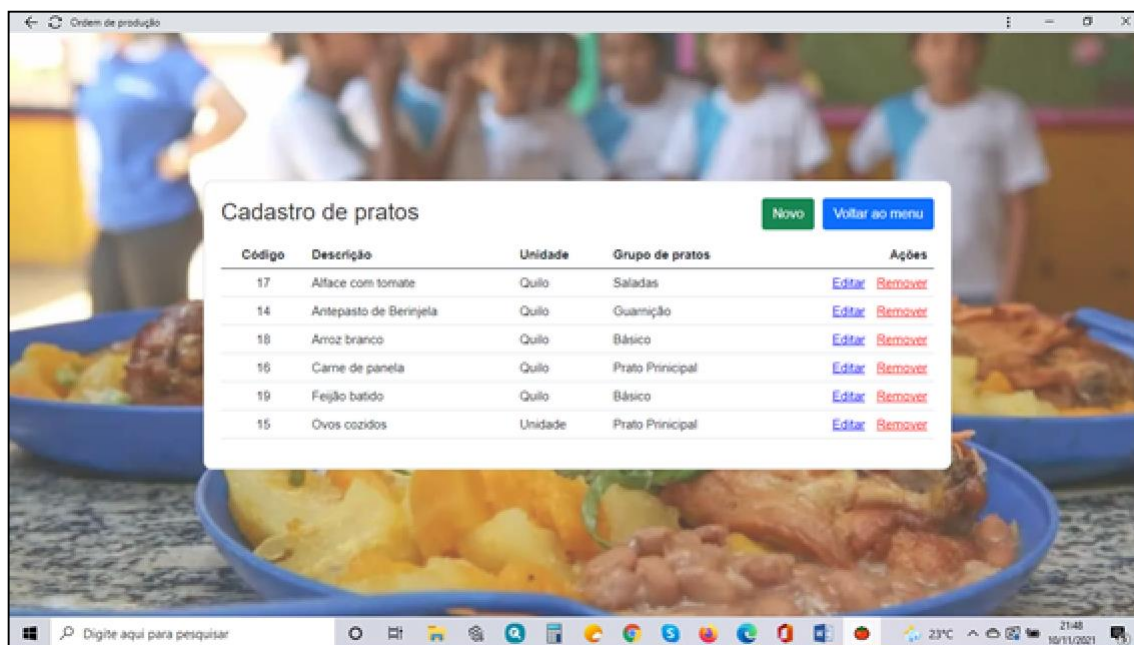
Figura 3 - Tela com a descrição dos grupos de pratos usados na Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A quarta tela permite o cadastro dos pratos que compõem o cardápio diário da UAN. A Figura 4 mostra o cadastro de alguns dos pratos, com suas respectivas unidades, sendo possível editar ou remover cada um.

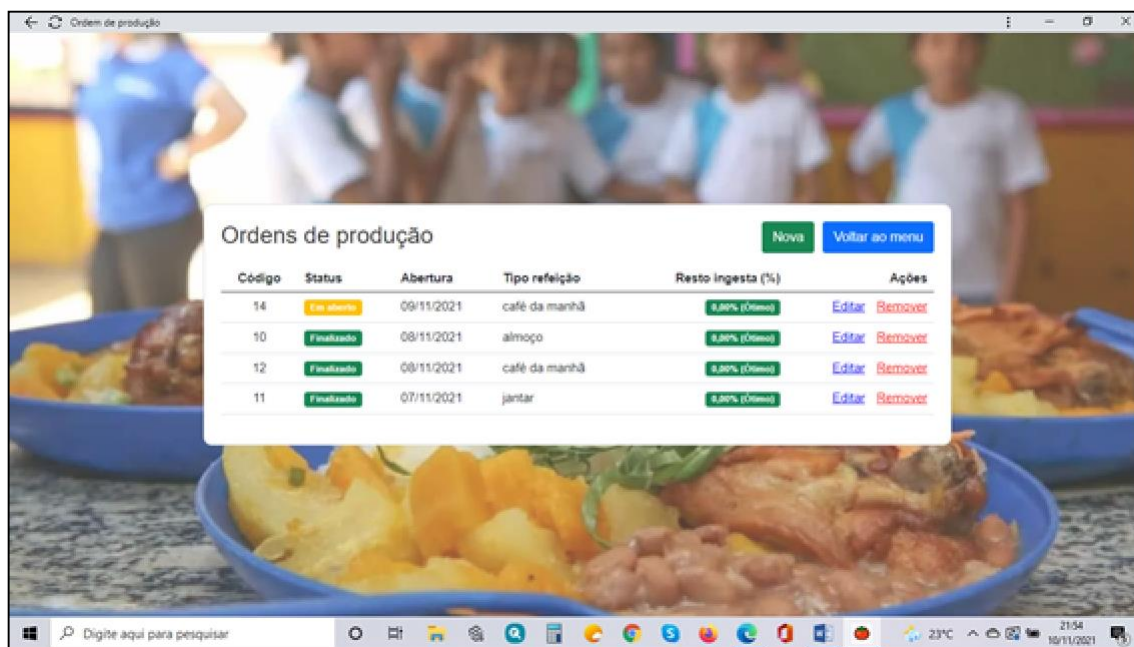
Figura 4 - Tela com o cadastro de pratos usados na Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A quinta tela permite a edição da ordem de produção, onde será possível observar o código gerado, o status (finalizado ou em aberto), inserir a data da refeição, o tipo de refeição (café da manhã, almoço, café da tarde, jantar e lanche noturno), a porcentagem de resto ingesta referente àquela refeição. E ainda a opção de continuar a edição ou remover as informações. A Figura 5 mostra a tela com as informações.

Figura 5 - Tela com a edição da ordem de produção referente ao programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

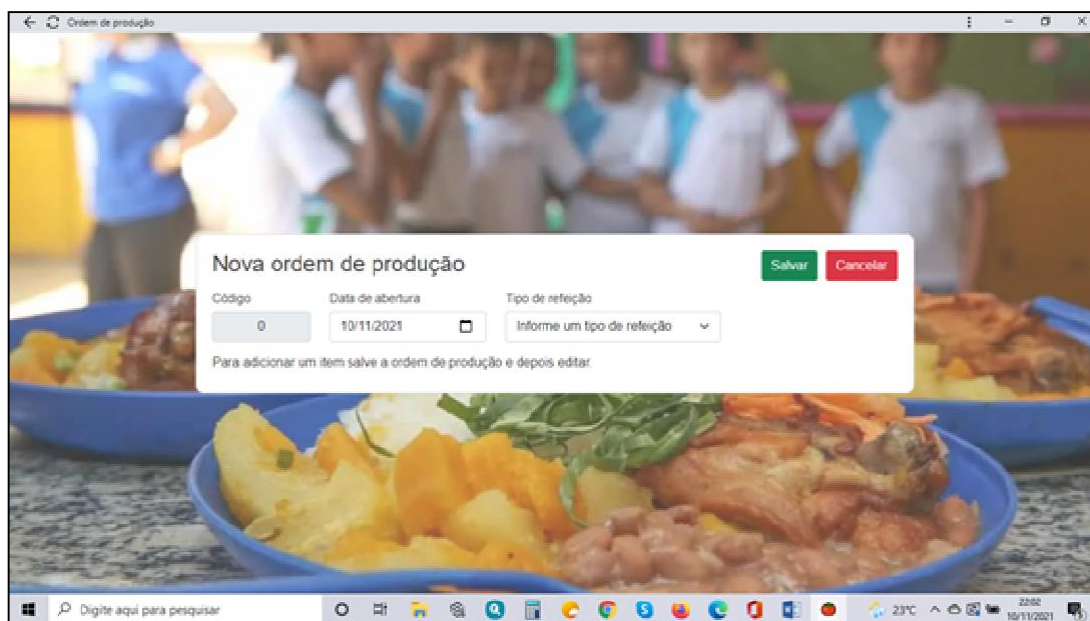


Código	Status	Abertura	Tipo refeição	Resto ingerido (%)	Ações
14	Em aberto	09/11/2021	café da manhã	0,00% (Ótimo)	Editar Remover
10	Finalizado	08/11/2021	almoço	0,00% (Ótimo)	Editar Remover
12	Finalizado	08/11/2021	café da manhã	0,00% (Ótimo)	Editar Remover
11	Finalizado	07/11/2021	jantar	0,00% (Ótimo)	Editar Remover

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A tela 6 permite editar uma nova ordem de produção, a Figura 6 mostra a tela para as novas edições.

Figura 6 - Tela para edição da nova ordem de produção referente ao programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A tela 7 mostra a continuidade da edição da ordem de produção, com data de abertura e fechamento, a quantidade produzida, o volume de resto ingesta em quilo e porcentagem, o volume de sobras e porcentagem de sobras, sendo possível continuar a edição ou remoção do prato (FIGURA 7).

Figura 7 - Tela mostra edição da nova ordem de produção referente ao programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Edita ordem de produção Salvar Cancelar

Código: 4 Data de abertura: 19/04/2021 Tipo de refeição: café da manhã Data de fechamento: 30/05/2021

Quantidade (em kg): 30,00 Resto ingesta (em kg): 0,90 Resto ingesta (em %): 3,00% (Bom)

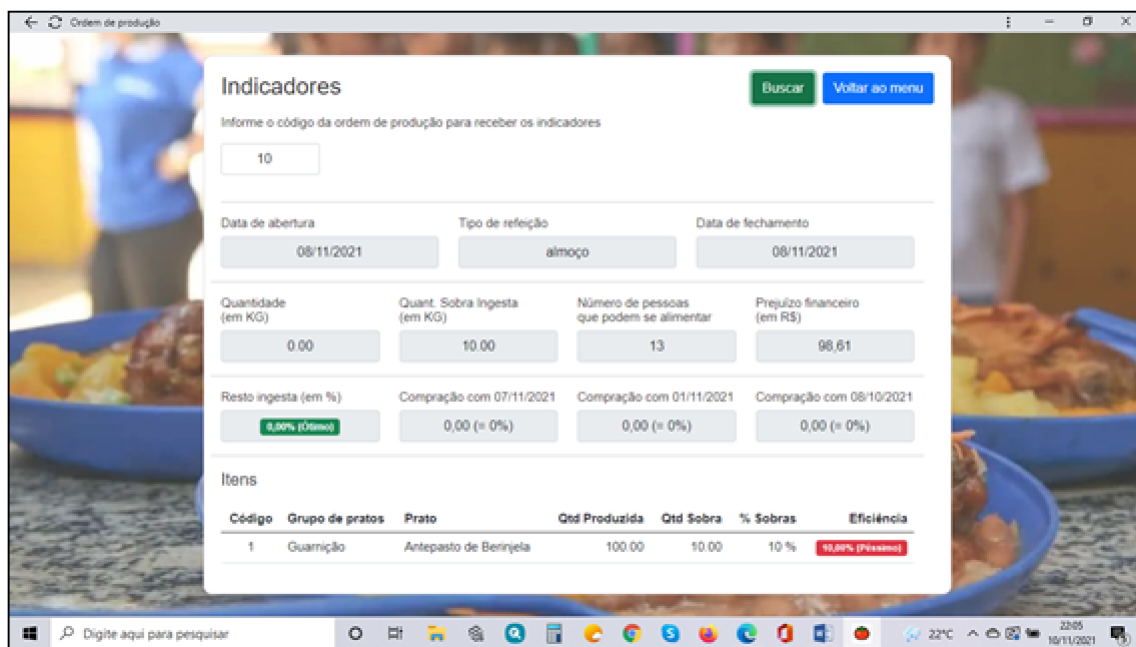
Itens Novo item

Código	Grupo de pratos	Prato	Qtd Produzida	Qtd Sobra	% Sobras	Ações
1	Grupo 7	Prato 2	10,00	8,00	80 %	Editar Remover
3	Grupo 7	Prato alterado	10,00	8,00	80 %	Editar Remover
2	Grupo 7	Prato alterado	10,00	5,00	50 %	Editar Remover
9	Grupo 7	Prato alterado	10,00	0,00	0 %	Editar Remover
8	Grupo 7	Prato alterado	10,00	0,00	0 %	Editar Remover
7	Grupo 7	Prato alterado	10,00	0,00	0 %	Editar Remover
5	Grupo 7	Prato alterado	10,00	0,00	0 %	Editar Remover
4	Grupo 7	Prato alterado	10,00	0,00	0 %	Editar Remover

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A última tela apresenta os indicadores de qualidade, em estudo, onde o resto ingesta mostra a qualidade da refeição, através do grau de aceitação dos comensais com o prato servido. A porcentagem de sobras permite avaliar a qualidade na prestação de serviços por parte dos comensais, sendo aceitável até 3 %, valores acima indicam que estratégias precisam ser realizadas, como treinamento da equipe de colaboradores, planejamento do cardápio com maior precisão com relação ao número de comensais. O programa traz também o número de pessoas que poderiam se alimentar do volume de resto ingesta e o valor financeiro gasto com o volume diário de resto ingesta, contabilizando como prejuízo para a UAN. Oferece ainda a possibilidade de comparar os dias de produção. A Figura 8 mostra os indicadores analisados com o programa, qualidade das refeições, qualidade na prestação dos serviços pelos colaboradores e número de comensais que poderiam se alimentar do volume de resto ingesta.

Figura 8 - Indicadores avaliados pelo programa para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A última tela traz a descrição do produto técnico e a logo do Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia ambiental ao lado da logo do IFMG campus Bambuí. A Figura 9 mostra a tela final.

Figura 9 - Tela final com descrição do produto técnico e a logo do mestrado e IFMG *Campus* Bambuí, referente ao aplicativo para gestores de Unidades de Alimentação e Nutrição, referente ao produto técnico do programa de mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

REFERÊNCIAS

ANJOS, Ana Carolina Santos, *et al.* Avaliação do índice de resto-ingestão em uma Unidade de Alimentação e Nutrição. **Rev e-Cien**, v. 5, n. 2, p. 116-120, 2017.

MACHADO, Maria Olimpia Ribeiro do Vale, *et al.* Avaliação do índice de resto ingesta de uma Unidade de Alimentação e Nutrição institucional de Anápolis-Goiás. **Rev Ens e Ciên.**, v. 16, n. 6, p. 151-162, 2012.

VAZ C. S. **Restaurantes – Controlando custos e aumentando lucros**. Brasília: Ed. LGE; 2011.