

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**  
**ENGENHARIA QUÍMICA**

**VANESSA ELISANGELA DE SOUZA CORSINI**

**USO DE DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE – ABORDAGEM  
TEÓRICA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**VANESSA ELISANGELA DE SOUZA CORSINI**

**USO DE DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE – ABORDAGEM  
TEÓRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Química, do Departamento de  
Engenharia Química, da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Alessandra  
Cristine Novak Sydney

Coorientadora: M.<sup>a</sup> Sabrina Vieira

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**VANESSA ELISANGELA DE SOUZA CORSINI**

**USO DE DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE – ABORDAGEM TEÓRICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Data de aprovação: 02/dezembro/2021

---

Luis Alberto Chavez Ayala  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Bárbara Ruivo Valio Barretti  
Mestre  
Universidade Federal do Paraná

---

Sabrina Vieira  
Mestre  
Universidade Federal do Paraná

**PONTA GROSSA**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu saúde e força para alcançar meus objetivos.

À UTFPR pela formação profissional e ética, fazendo de nós alunos profissionais de qualidade e excelência.

À minha orientadora Alessandra, pela sabedoria e paciência com que me guiou nessa trajetória.

À minha coorientadora Sabrina, que além de me orientar, foi minha amiga e parte imprescindível pra que eu chegasse até aqui.

A todos aqueles que contribuíram, de alguma forma, para a realização deste trabalho.

## RESUMO

CORSINI, Vanessa. Revisão bibliográfica sobre o uso de digestato como biofertilizante. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Um dos principais desafios enfrentados pela sociedade atual é a gestão adequada dos resíduos gerados nos processos produtivos, que são em sua maioria compostos por matéria orgânica, grande fonte de poluição ambiental. A biomassa obtida através de matéria orgânica vegetal ou animal pode ser usada para geração de biogás, utilizado para geração de energia elétrica; e de digestato, resíduo da digestão anaeróbia, que possui elevado teor de nutrientes, podendo ser usado como biofertilizante. Esta pesquisa teve como objetivo discutir sobre o uso desse resíduo como biofertilizante. Após uma análise dos estudos mais recentes sobre o tema, conclui-se que a reciclagem do digestato como biofertilizante é a sua utilização mais sustentável, com destaque para sua capacidade de aumentar o teor de carbono e fósforo do solo. O digestato líquido se mostrou ser mais eficiente aplicado em hortaliças, e sua forma sólida, se destacou como melhorador de solo. Entretanto, sua composição é fortemente dependente de vários fatores do processo, sendo necessário uma caracterização química previamente à sua aplicação no solo. Mais estudos são necessários para confirmar o efeito do digestato e desenvolver uma base de dados experimentais ampla.

**Palavras-chave:** Biogás. Digestato. Digestão anaeróbia. Biofertilizante.

## ABSTRACT

CORSINI, Vanessa. Literature review about the use of digestate as biofertilizer. 2021. 34 f. Work of Conclusion Course (Graduation in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

One of the main challenges faced by society today is the proper management of waste generated in production processes, which are mostly composed of organic matter, a major source of environmental pollution. Biomass obtained from vegetable or animal organic matter can be used to generate biogas, used to generate electricity; and digestate, a residue of anaerobic digestion, which has a high content of nutrients and can be used as a biofertilizer. This research aimed to discuss the use of this residue as a biofertilizer. After an analysis of the most recent studies on the subject, it is concluded that the recycling of digestate as a biofertilizer is its most sustainable use, with emphasis on its capacity to increase the carbon and phosphorus content of the soil. Liquid digestate proved to be more efficient applied to vegetables, and its solid form stood out as a soil improver. However, its composition is strongly dependent on several process factors, requiring a chemical characterization prior to its application to the soil. More studies are needed to confirm the digestate effect and develop a large experimental database.

**Keywords:** Biogas. Digestate. Anaerobic digestion. Biofertilizer.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>8</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
1.3 METODOLOGIA .....	9
<b>2 DESENVOLVIMENTO.....</b>	<b>10</b>
2.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	10
2.2 BIODIGESTORES .....	13
2.3 BIOGÁS .....	14
2.4 DIGESTATO .....	15
2.4.1 Qualidade do Digestato .....	18
2.4.2 Digestato Sólido e Líquido .....	20
2.5 ESTUDOS DA APLICAÇÃO DO DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE .....	21
2.5.1 Trabalhos Futuros.....	29
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>30</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>31</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade apresenta atualmente um crescimento acelerado. O aumento da população mundial atinge números alarmantes, pois alia o consumo exagerado de recursos naturais à demanda por alimentos, produtos industrializados e energia. De acordo com um novo relatório das Nações Unidas, a população global em 2019 era de 7,7 bilhões de habitantes, deve crescer em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, chegando a 9,7 bilhões de indivíduos em 2050 (ONU, 2019).

Um dos principais desafios enfrentados pela sociedade atual é promover a gestão adequada dos resíduos e efluentes gerados nos processos produtivos. Quando não são tratados de forma adequada, esses resíduos compostos por materiais orgânicos têm se destacado como uma significativa fonte de poluição ambiental, contaminação do solo e corpos hídricos, proliferação de vetores e doenças, geração de maus odores e emissão de gases causadores do efeito estufa (FEAM, 2015). Uma maneira de melhorar o manejo dos resíduos e produzir energia de forma sustentável é retirar o produto residual de um processo e utilizá-lo como insumo ou combustível para outro processo, tornando inteligente o uso de recursos e diminuindo a poluição (IYOVO; DU; CHEN, 2010).

Uma importante fonte de geração de energia limpa é a biomassa, que é a matéria orgânica de origem vegetal ou animal, e pode ser usada para geração do biogás, um subproduto da decomposição aeróbia de resíduos orgânicos, sejam eles de aterros, estações de tratamento de esgoto, biodigestão de culturas, e resíduos orgânicos domésticos e industriais (MAFACIOLLI, 2012).

O biogás pode ser considerado um biocombustível estratégico para o país, se transformando em uma importante ferramenta para vencer os desafios econômicos, ao mesmo tempo em que reduz os problemas ambientais no gerenciamento de resíduos e efluentes. Além dos benefícios decorrentes do tratamento adequado dos resíduos e geração de energia renovável, o material orgânico resultante desse processo (digestato) possui um elevado teor de nutrientes, tais como, nitrogênio e fósforo, podendo ser utilizado como condicionante de solo, biofertilizante ou mesmo como combustível sólido para a geração de calor (FEAM, 2015).

O uso do digestato pode melhorar a sustentabilidade da agricultura, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa associadas à produção de fertilizantes e reconectando os ciclos de nutriente. Digestato como biofertilizante tem o potencial de



fornecer nitrogênio prontamente disponível às culturas e é uma ótima alternativa aos fertilizantes comerciais (SLEPETIENE et al., 2020).

### 1.1 OBJETIVO GERAL

Realizar um levantamento bibliográfico sobre a utilização de digestato como biofertilizante, contribuindo para a disseminação e reforço do seu uso.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar conceitos necessários para o entendimento da pesquisa;
- Reunir trabalhos recentes sobre digestato;
- Analisar os estudos existentes da aplicação do digestato como biofertilizante.

### 1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho se trata de uma revisão de literatura narrativa, e a metodologia adotada foi de pesquisa bibliográfica, baseada na literatura já publicada em forma de teses, dissertações, artigos e livros.

Inicialmente, foram definidos os objetivos gerais e específicos. A partir deles, foram coletadas de bases online e analisadas as principais publicações sobre o tema em inglês e português, usando as seguintes palavras-chave no Google Acadêmico: biofertilizante, digestato, biodigestores.

Posteriormente, foram selecionados em torno de 20 trabalhos que apresentavam informações e estudos relevantes para a pesquisa. A partir da leitura desses trabalhos, outras fontes foram retiradas das referências dos mesmos para contribuir na escrita dessa revisão.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A degradação ou digestão anaeróbia é um processo mediado por microrganismos no qual a matéria orgânica é convertida, por oxidações e reduções subsequentes, no seu estado mais oxidado dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e na sua forma mais reduzida metano ( $\text{CH}_4$ ). Essa rota biológica é catalisada por uma ampla gama de microrganismos agindo sinergicamente na ausência de oxigênio. A digestão anaeróbia é responsável pela reciclagem de carbono em diferentes ambientes, incluindo zonas úmidas, arrozais, intestinos de animais, sedimentos aquáticos e adubos. Este processo também é extensivamente aplicado em escala industrial para valorização de resíduos orgânicos (KOUGIAS e ANGELIDAKI, 2018).

A formação biológica do metano é comum na natureza, entretanto é restrita a um grupo de bactérias denominadas metanogênicas, que são facilmente encontradas em ambiente anaeróbio. Entre os vários fatores que influenciam na atividade das bactérias metanogênicas destacam-se a quantidade de matéria seca, a concentração de nutrientes, o pH, a temperatura interna do digestor, o tempo de retenção, a concentração de sólidos voláteis, a relação carbono/nitrogênio e a presença de substâncias tóxicas no interior do biodigestor (KONRAD et al., 2010).

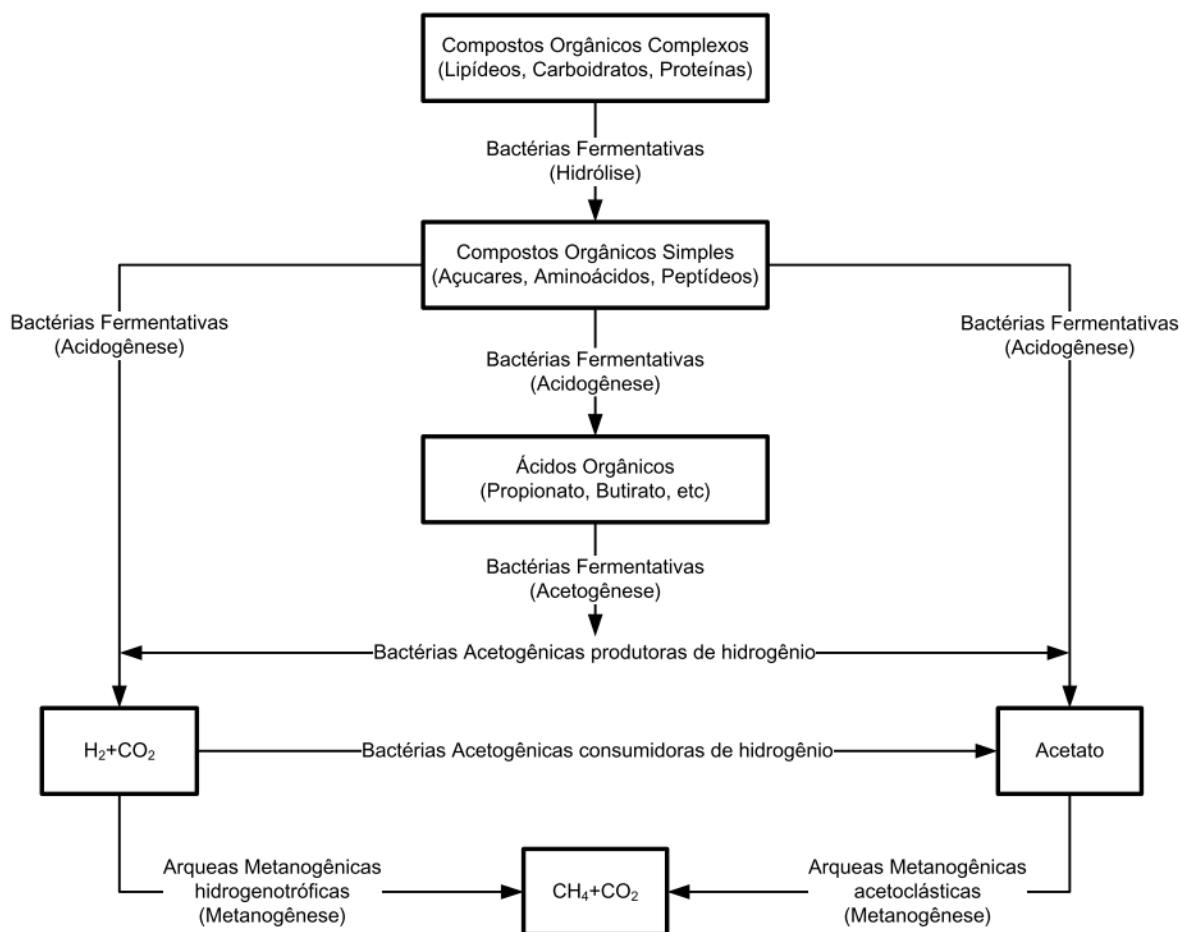
Em temperaturas mais altas, a digestão microbiana ocorre com maior velocidade, resultando em maior eficiência do processo. O processo anaeróbio é realizado geralmente em temperaturas mesófilas ( $30^\circ\text{C}$  a  $45^\circ\text{C}$ ) ou termófilas ( $45^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ ). Em relação à carga orgânica, a digestão anaeróbia suporta variações, principalmente se os reatores encontram-se operando em estado de equilíbrio (CASSINI, 2003). Para otimizar o processo de digestão anaeróbia e orientar na direção desejada, é importante ter conhecimento e compreensão aprofundados do microbioma anaeróbio, incluindo as capacidades metabólicas dos microrganismos, o grau de redundância funcional na comunidade e os mecanismos para interações entre espécies (PLUGGE, 2017).

O modelo geral para a degradação anaeróbia da matéria orgânica, que pode ser visualizado na Figura 1, inclui quatro etapas consecutivas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Inicialmente, as bactérias fermentativas hidrolisam os

polímeros orgânicos em oligômeros e monômeros solúveis pela ação de enzimas extracelulares. Posteriormente, os produtos dissolvidos são ainda utilizados por espécies bacterianas para formar ácidos graxos de cadeia curta (ou seja, menores que 6 carbonos), acetato, álcoois, hidrogênio e dióxido de carbono. Ácidos graxos de cadeia curta com mais carbonos que acetato e álcoois são oxidados por bactérias acetogênicas, resultando na produção de acetato, formato, hidrogênio e dióxido de carbono. Finalmente, os últimos compostos são utilizados por arqueias para produzir metano (KOUGIAS e ANGELIDAKI, 2018).

As bactérias que participam do processo de digestão anaeróbia são de diferentes grupos, porém esses grupos seguem uma sequência, onde o produto gerado em uma etapa serve de substrato para outro, causando assim uma relação de interdependência (CLAUDINO, 2017).

**Figura 1 - Sequências metabólicas do processo de digestão anaeróbia**



Fonte: LINS (2017).

Steinmetz (2016) afirma que:

Para avaliar a cinética da digestão anaeróbia (atividade de microrganismos, características de degradabilidade de substratos, etc.) existem ensaios laboratoriais executados em pequena escala e sob condições controladas ou monitoradas. A caracterização da composição química e física dos resíduos é uma etapa imprescindível, assim como os ensaios biocinéticos para visualizar a real interação entre microrganismos e substratos. Estes ensaios cinéticos consistem em testes respirométricos anaeróbios e geralmente envolvem a avaliação da produção de biogás ou de metano a partir da massa conhecida de biomassa do inóculo ou do substrato (STEINMETZ, 2016).

De forma geral, todo resíduo ou efluente orgânico pode ser direcionado a um sistema de digestão anaeróbia, visando a sua valorização energética. As variações existentes entre os setores são, principalmente, em relação ao modelo de tecnologia mais apropriado à determinada tipologia de resíduo/efluente e também em termos de produtividade de biogás, que difere em função do conteúdo de material biodegradável presente nos substratos.

Existem distintas tecnologias de digestão anaeróbia disponíveis comercialmente para o processamento de resíduos e efluentes, visando ao tratamento e à produção de biogás. Segundo FEAM (2015):

A definição do sistema mais adequado a cada caso necessita de um estudo prévio que deve levar em consideração as características particulares do setor produtivo em questão: composição e características dos substratos orgânicos disponíveis (teor de sólidos totais, pH, viscosidade, relação carbono/nitrogênio); presença de inibidores ao processo de digestão anaeróbia (antibióticos, metais pesados, detergentes e outros); e disponibilidade de substrato (volume de geração, sazonalidade produtiva) (FEAM, 2015).

O digestato, gerado como principal resíduo no processo de digestão anaeróbia, deve ser viabilizado algum uso ou a destinação final ambientalmente adequada. A disposição inadequada desse material pode resultar em contaminação do solo e dos recursos hídricos, geração de emissões odoríferas e de gases de efeito estufa, entre outros impactos ambientais negativos. As formas mais viáveis de destinação final estão relacionadas a qualidade do digestato e a logística envolvida. As principais formas de destinação são o uso agrícola, uso energético ou disposição final em aterros (FEAM, 2015).

A biodigestão anaeróbia traz benefícios ambientais e econômicos ao capturar o metano e utilizá-lo como fonte energética, reduz a poluição atmosférica e reduz o potencial poluente orgânico do resíduo. Sua tecnologia é bastante amadurecida, mas ainda há diversas oportunidades para aperfeiçoar o processo e, conseqüentemente, melhorar sua importância econômica nos diversos setores (ALCANTARA, 2016).

## 2.2 BIODIGESTORES

O princípio de funcionamento de biodigestores consiste na biodigestão anaeróbia na ausência de oxigênio, onde matéria orgânica é transformada em biogás e biofertilizante agrícola. A matéria orgânica residual estabilizada via digestão anaeróbia resulta em benefícios, tais como a geração local de energia sob forma de biogás, diminuição dos patógenos contidos no material, biofertilizante pós digestão, estabilidade dos resíduos líquidos e sólidos, redução de odores e contaminação de águas superficiais (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2011).

Os biodigestores são caracterizados pelo regime de alimentação (batelada ou contínuo), forma de alimentação (ascendente ou laminar), concentração de sólidos no reator (digestão sólida >20%, semissólida 10 a 15% e úmida <10%) e sistema de agitação (mistura completa, parcial ou sem mistura). Os modelos mais usuais para o tratamento de resíduos e efluentes orgânicos agroindustriais são: biodigestores de lagoa coberta (BLC), reatores anaeróbicos de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), reatores contínuos de mistura completa (CSTR) e biodigestores em fase sólida (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

O ponto central de um sistema de tratamento anaeróbio é o modelo do biodigestor utilizado. Por isso, deve-se buscar projetos adaptados ao tipo de substrato a ser tratado, nível de investimento e condições ambientais (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). O Quadro 1 apresenta os pontos importantes para a escolha do processo:

**Quadro 1 - Pontos importantes para escolha do sistema de biodigestão**

<b>Tecnologia</b>	<b>Pontos-chave</b>	<b>Opções</b>
Sistema de alimentação	Tipo de biodigestor e de matéria-prima para alimentação	Alimentação descontínua para biodigestores de batelada Alimentação contínua ou semicontínua para fluxo em pistão/digestores CSTR Sistema de alimentação sólido ou líquido, dependendo do conteúdo da matéria seca do substrato
Temperatura do reator	Riscos para patógenos	Temperatura mesofílicas quando não há risco de patógenos Temperaturas termofílicas quando houver risco de patógenos (ex.: lixo orgânico doméstico)
Número de fases	Composição de substratos, risco de acidificação	Sistemas de uma fase quando não há risco de acidificação Sistema de duas fases para substratos com um elevado teor de açúcar, amido, proteínas ou de difícil degradação
Sistemas de agitação	Matéria-prima seca para alimentação	Agitadores mecânicos para alta concentração de sólidos no biodigestor Sistemas de agitação mecânica, hidráulica ou pneumática para baixa concentração de sólidos no biodigestor

Fonte: Adaptado de Kunz, Steinmetz e Amaral (2019).

A dimensão da área agrícola para destinação dos efluentes de um biodigestor agrega oferta de nutrientes pelo digestato e demanda de nutrientes na área agrícola. É possível também fazer o cálculo inverso e dimensionar o tamanho do biodigestor e a oferta de substrato em função da área agrícola disponível para a reciclagem do digestato. Esta análise é válida tanto para pequenos biodigestores operando em propriedades rurais ou para uma usina de biogás de grande escala (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

### 2.3 BIOGÁS

O biogás é considerado uma fonte de energia renovável, podendo ser usado como combustível em substituição do gás natural ou do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), ambos extraídos de reservas minerais. Além disso, pode ser utilizado na produção rural como, por exemplo, no aquecimento de instalações para animais muito sensíveis ao frio ou no aquecimento de estufas de produção vegetal. Pode ser usado

também na geração de energia elétrica, através de geradores elétricos acoplados a motores de explosão adaptados ao consumo de gás (SILVA e BORTOLI, 2018).

Este gás é composto principalmente por CH<sub>4</sub> (55-70%), CO<sub>2</sub> (30-45%) e traços de outros gases. Pode ser produzido a partir de uma grande variedade de matérias-primas orgânicas e utilizado para diferentes propósitos energéticos (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2011). O metano produzido nesse processo é classificado como biocombustível, que pode auxiliar o ser humano a se emancipar da dependência dos combustíveis fósseis (SILVA e BORTOLI, 2018).

Seu papel no cenário do futuro suprimento de energia sustentável é distinto e flexível, pois pode ser usado como fonte renovável de eletricidade e calor quando necessário, e pode ser armazenado. Isso ajudará a reduzir o uso de combustíveis fósseis e, assim, reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Embora os valores estimados variem significativamente entre os estudos, o potencial para produzir biogás a partir de resíduos é enorme (PLUGGE, 2017).

Anteriormente, o biogás era visto apenas como um subproduto da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos. Hoje, o biogás é visto como uma fonte de energia renovável, e em muitos países, já tem sido usado, principalmente em comunidades rurais, para abastecimento de residências (COSTA, 2006).

## 2.4 DIGESTATO

O digestato é o líquido da decomposição anaeróbia de resíduos animais e vegetais. Ele contém quantidades consideráveis de elementos minerais (nitrogênio, fósforo, potássio). Em termos de rapidez de ação (absorção de elementos pelas plantas), se assemelha os fertilizantes minerais, uma vez que os elementos N, P e K estão facilmente disponíveis para as plantas. O material pós-digestão também contém uma parte de matéria orgânica, que tem um efeito positivo nas propriedades físico-químicas dos solos fertilizados (KOSZEL e LORENCOWICZ, 2015).

Os macronutrientes primários necessários para o crescimento e produção dos vegetais são nitrogênio, fósforo e potássio. O nitrogênio é um elemento essencial para as plantas, sendo o mineral requerido em maiores quantidades, e serve como constituinte de muitos componentes celulares vegetais, incluindo clorofila, aminoácidos e ácidos nucleicos. O fósforo é um componente integral de compostos

importantes nas células vegetais, além de ser um componente de nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas, no DNA e no RNA. O potássio é um elemento abundante em rochas e solos e desempenha um papel importante na regulação do potencial osmótico das células vegetais, além de ativar muitas enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese. Os micronutrientes, com destaque para o cobre e o zinco, são também nutrientes essenciais para as plantas. De forma geral, nos digestatos de resíduos alimentares, a presença destes metais é baixa (SIMON, 2020).

A relação carbono/nitrogênio é um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, dando informação sobre o estado de humificação. Na decomposição da matéria orgânica dos solos, essa relação é muito importante para a determinação da competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos do solo (SIMON, 2020).

A reciclagem como fertilizante de plantações ou corretivo do solo é a utilização mais sustentável do digestato. O conceito de fechamento do ciclo de nutrientes e substituição de fertilizantes minerais são os principais motores. Por causa do conteúdo de macro e micronutrientes facilmente acessíveis, o digestato é um fertilizante valioso para a lavoura, adequado para ser usado da mesma forma que o esterco animal, sendo capaz de trazer benefícios para a sociedade em geral e para o meio ambiente em particular, além de auxiliar na preservação de recursos naturais limitados como os recursos fósseis de fósforo mineral (AL SEADI et al., 2013).

A composição do digestato é fortemente dependente do substrato, da fonte do inóculo, de condições operacionais do sistema de digestão anaeróbia, e da configuração dos reatores (SIMON, 2020). Além das diferenças na composição química e variabilidade entre os substratos, as diferentes proporções das misturas de substratos a serem utilizadas na alimentação do biodigestor também terão impacto preponderante na composição de nutrientes do digestato (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Por esta razão, o conteúdo e a disponibilidade de nutrientes para as plantas no digestato variam entre as unidades de biogás e irão variar ao longo do tempo na mesma unidade de biogás de acordo com a matéria-prima digerida (AL SEADI e LUKEHURST, 2012). Portanto, cada projeto deverá contar com uma análise específica para determinar a oferta e o teor de nutrientes do digestato disponível para reciclagem como fertilizante na agricultura (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).



Para a utilização agrícola do material digerido, devem ser observadas as regulamentações estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). De forma a complementar, o MAPA disponibiliza Instruções Normativas (IN) mais específicas que apresentam os procedimentos para registro do empreendimento e do produto, e que definem as concentrações máximas admitidas para determinados elementos nos fertilizantes orgânicos.

A caracterização química do digestato pode fornecer subsídios para verificar sua utilização na agricultura, de acordo com a legislação vigente do país. No Brasil, existem leis e instruções normativas que fixam valores limites que um fertilizante pode liberar de cada nutriente, de forma que não haja impacto negativo no solo. O Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, define que o biofertilizante é um “produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante” (SIMON, 2020).

Os materiais comumente fornecidos para usinas de biogás usando digestato como fertilizante pertencem principalmente às seguintes categorias: estrume animal; culturas; subprodutos vegetais e resíduos, bem como resíduos da agricultura, horticultura, silvicultura, etc.; resíduos orgânicos digestíveis e águas residuais das indústrias de ração humana e animal (de origem vegetal e animal); fração orgânica de resíduos domésticos e restos de alimentos (de origem vegetal e animal); subprodutos animais; outros resíduos industriais (taninos, argila branqueadora de papel e indústria têxtil, glicerol, etc.) (AL SEADI e LUKEHURST, 2012).

A aplicação do digestato na agricultura é uma prática comum em vários países e tem demonstrado melhorar as propriedades dos solos, com destaque para a parte química do solo, a exemplo do aumento do teor de carbono orgânico total e de fósforo total; o que irá refletir no crescimento e desenvolvimento das plantas avaliadas, além de também favorecer a atividade biológica do solo (SIMON, 2020). O digestato tem se mostrado uma ótima alternativa para a suplementação de nutrientes em hortaliças, podendo ser aplicados no solo ou diretamente nas plantas, sendo o biofertilizante líquido mais eficiente através de pulverização nas folhas, por promover um efeito mais rápido (CLAUDINO, 2017)

### 2.4.1 Qualidade do Digestato

Para uso como fertilizante, o digestato precisa ser da mais alta qualidade e livre de patógenos, impurezas físicas e químicas e poluentes; isso pode ser alcançado usando-se matéria-prima de qualidade controlada para o processo de digestão (AL SEADI et al., 2013). O anexo V da Instrução Normativa (IN) da Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA) do MAPA nº27/2006 apresenta os limites máximos de contaminantes como sementes, metais pesados e agentes patogênicos admitidos em condicionadores do solo e fertilizantes orgânicos, os quais devem ser considerados para o uso agrícola do material digerido (FEAM, 2015).

Matérias-primas contendo poluentes perigosos ou outros compostos indesejados em concentrações consideradas perigosas para os organismos vivos ou para o meio ambiente devem ser excluídos dos processos de digestão anaeróbia em que o digestato ou as frações do digestato sejam usadas para fins agrícolas. Esses materiais podem ser usados como matérias-primas para outros processos de biogás, onde o digestato produzido não é usado como fertilizante (AL SEADI et al., 2013).

Segundo Al Seadi e Lukehurst (2012), uma descrição detalhada da matéria-prima fornecida a uma planta de biogás é uma parte muito importante do controle de qualidade da matéria-prima. A descrição deve estar de acordo com os regulamentos nacionais apropriados para permitir que o operador da planta avalie a adequação como matéria-prima, em conformidade com os protocolos existentes e padrões de qualidade para digestatos destinados ao uso agrícola e hortícola.

Por esse motivo, medidas para a gestão da qualidade do digestato são implementadas em vários países como parte das legislações nacionais ambientais, de resíduos ou agrícolas. Mais recentemente, sistemas de garantia de qualidade de digestatos também são cada vez mais usados. O objetivo geral é garantir a produção de digestato de alta qualidade e melhorar seu uso subsequente para fins agrícolas (AL SEADI et al., 2013). Na Europa, digestores operando em temperaturas mesófilas são o tipo mais comum em fazendas de biogás e se mostraram os mais efetivos em diminuir a carga de patógenos (SIMON, 2020).

Em particular, são os resíduos de origem animal ou humana que podem conter várias bactérias patogênicas, parasitas, vírus e fungos. Digestatos provenientes de usinas que utilizam como substrato resíduos da agricultura, alimentares ou de

processamento de alimento geralmente se encontram dentro dos limites para serem utilizados como fertilizantes em relação ao teor de metais pesados (SIMON, 2020).

Quando a utilização do digestato para fins agrícolas não for viável devido à qualidade inadequada ou outras condições locais, todo o resíduo ou as frações resultantes do seu processamento podem ser usados para outros fins, como cobertura de aterros, no caso de digestato de resíduos sólidos urbanos, como energia quando desidratada ou como matéria-prima para processos industriais (AL SEADI et al., 2013).

Al Seadi e Lukehurst (2012) afirmam que a garantia da qualidade do digestato significa não apenas que o digestato é seguro para uso, mas também é percebido como um produto seguro pelos agricultores, atacadistas e varejistas de alimentos e o público em geral. Espera-se que o aumento da confiança na qualidade e segurança do digestato leve ao seu uso mais difundido como biofertilizante. Isso deve contribuir para o desenvolvimento de um mercado para o produto certificado em qualidade e apoiar a futura implantação de tecnologias de biogás que proporcionam importantes benefícios associados à sociedade, são eles:

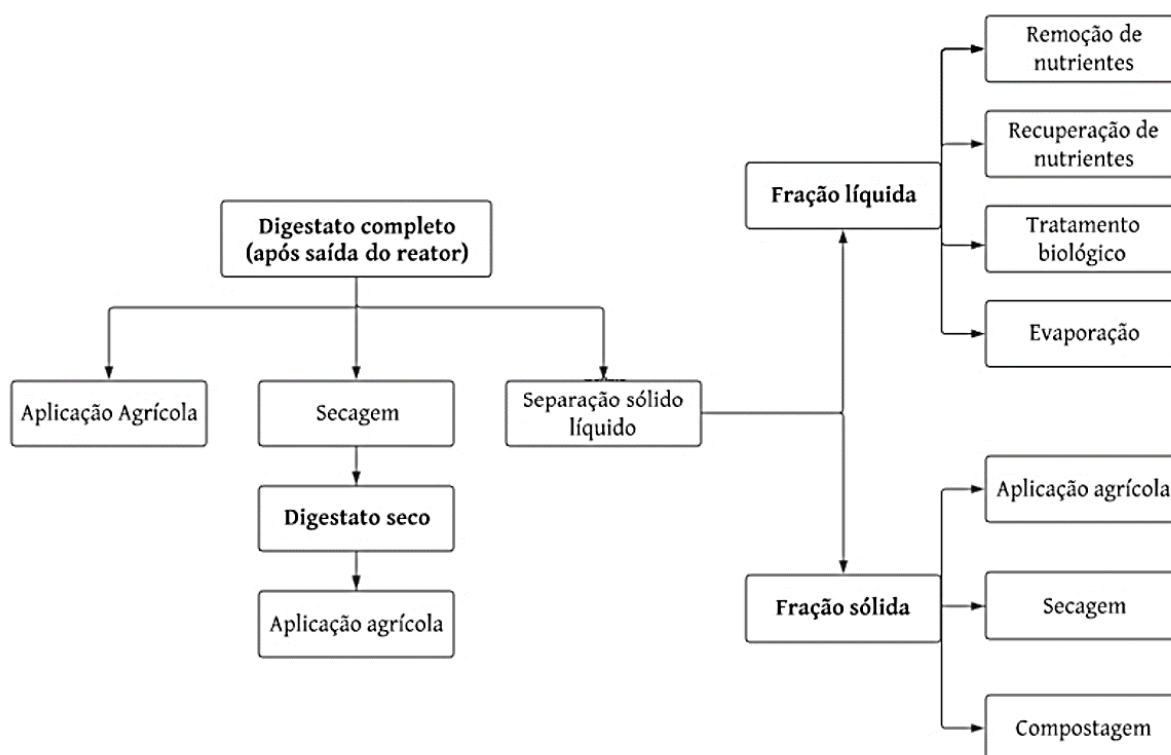
- produção de metano renovável, para substituir o uso de fósil combustíveis;
- deslocamento de fertilizantes minerais, reduzindo seu impacto negativo no meio ambiente;
- aumento da reciclagem de matéria orgânica e nutrientes e conservação de recursos naturais;
- saneamento de resíduos orgânicos e esterco animal, quebrando a cadeia de transmissão de patógenos;
- economia de custos para os agricultores através do uso aprimorado de recursos próprios, redução das compras de fertilizantes minerais e maior eficiência de nutrientes;
- potencial para redução da poluição do ar por emissões de metano e amônia por meio da aplicação de “boas práticas”;
- contribuição para a segurança alimentar.

## 2.4.2 Digestato Sólido e Líquido

O digestato pode ser utilizado conforme é produzido ou pode ser posteriormente processado por meio de vários tratamentos e tecnologias. Por meio de processamento, biofertilizantes comercializáveis podem ser produzidos ou a carga de nutrientes do efluente remanescente pode ser reduzida de forma decisiva, até a qualidade do descarte (AL SEADI et al., 2013). De forma geral, a aplicação destas tecnologias é limitada pela composição do digestato, especialmente seu teor de sólidos totais. É sugerida a combinação da desidratação do digestato, o reuso das frações sólida e líquida e a aplicação na agricultura para melhorar o manejo das grandes quantidades produzidas.

(SIMON, 2020).

**Figura 2 – Formas de tratamento e aproveitamento do digestato**



Fonte: Simon (2020).

A primeira etapa em qualquer sistema de processamento de digestato é a separação sólido-líquido: a partição do digestato líquido em material sólido com alto teor de matéria seca (fibra, lodo) e líquido com baixo teor de matéria seca, usando

separadores de prensa de parafuso e centrífugas decantadoras. Ambas as frações podem ser usadas sem tratamento adicional como fertilizante. A partição sólido-líquido separa a maior parte do fósforo com a fração sólida e a maior parte do nitrogênio com a fração líquida, o que ajuda no manejo dos nutrientes das plantas na digestão, permitindo a dosagem separada de fósforo e nitrogênio e o transporte e aplicação do fósforo a outras áreas (AL SEADI et al., 2013).

A fração de fibra rica em fósforo pode ser aplicada ou vendida como um fertilizante rico em fósforo, pode ser seco e peletizado, compostado e utilizado como corretivo de solo, utilizado para fins industriais como materiais compósitos ou até mesmo incinerado para recuperação de energia. A fração líquida contém a parte principal de nitrogênio e potássio e pode ser aplicada como fertilizante líquido ou misturada com uma matéria-prima com alto teor de sólidos e realimentada ao digestor (AL SEADI et al., 2013).

## 2.5 ESTUDOS DA APLICAÇÃO DO DIGESTATO COMO BIOFERTILIZANTE

O digestato usado como fertilizante melhora a fertilidade do solo, a qualidade das plantas e sua imunidade aos agentes bióticos e abióticos, além de aumentar o conteúdo de macro e microelementos no solo e nas plantas (KOSZEL e LORENCOWICZ, 2015).

Claudino (2017) estudou o uso de digestato para a produção de hortaliças usando mudas de Agrião do Seco (*Lepidium sativum*). Utilizou-se 8 digestatos de concentrações incomuns, provenientes da digestão de resíduos vegetais, sendo testados em 4 diluições distintas, 100%, 50%, 10% e 1%. Para as diluições de 100% e 50% a germinação das sementes não foi satisfatória, pois as soluções continham excesso dos nutrientes essenciais para o desenvolvimento das sementes. Foi indicado que de uma maneira geral o tratamento para os fatores 1% e 10% foi o melhor resultado obtido na fixação dos nutrientes, tendo o digestato o potencial de ser utilizado como biofertilizante, desde que seja feita a caracterização deste, principalmente com relação a quantidade de macronutrientes.

Abdullahi et al. (2008) avaliaram os digestatos da fração orgânica de resíduos sólidos municipais por meio de ensaio de germinação, com sementes de rabanete (*Raphanus sativus L.*). Foi verificado que a germinação de sementes aumentou com

a diluição e o tempo de incubação, sugerindo que menores taxas de aplicação no solo e períodos de retardamento maiores entre a aplicação do digestato e o plantio podem reduzir a quantidade de orgânicos biodegradáveis no composto, aumentando sua qualidade.

Outros autores buscaram avaliar diferentes culturas, como Simon (2020), que avaliou o uso do digestato como biofertilizante utilizando sementes de alface (*Lactuca sativa*). As concentrações de digestato testadas, em que foi feita diluição com água destilada, foram de 5%, 10%, 25%, 50% e 100% (puro). Nos ensaios de germinação com o digestato líquido, de forma geral, o digestato menos diluído (diluições de 50% e 100%) causou toxicidade para as sementes de alface, mas para as maiores diluições (5%, 10% e 25%), o resultado foi positivo com crescimento das sementes. Nos ensaios de germinação com digestato líquido e sólido, o digestato líquido, de pH mais neutro, obteve resultados muito mais positivos de germinação de sementes do que o digestato sólido, que possui elevado pH e alto teor de nutrientes.

Em relação ao experimento em vasos, os tratamentos com digestato líquido e fertilizante mineral apresentaram os melhores resultados entre todos os testados no plantio. Simon (2020) afirma que o digestato sofre variações na sua composição química conforme a mudança da carga orgânica volumétrica do sistema de digestão anaeróbia e diferentes tratamentos aplicados ao mesmo, e apresenta um bom resultado quando utilizado junto com um fertilizante mineral, tanto na sua forma líquida quanto na sua forma sólida.

Koszel e Lorencowicz (2015) testaram a substituição de fertilizantes pelo digestato proveniente de uma planta agrícola de biogás no cultivo de alfafa. A investigação revelou que o líquido pós-digestão contém quantidades semelhantes de macroelementos ao líquido bovino (estrupe), e nenhum metal pesado foi encontrado no digestato. Um aumento no conteúdo de macroelementos foi observado nas folhas de alfafa fertilizadas com digestato em comparação com a alfafa fertilizada com fertilizantes minerais. Foi verificado que os resíduos da pós-fermentação das usinas de biogás podem ser usados como fertilizante, porém mais estudos são necessários para confirmar que o digestato tem um efeito sobre as plantas.

Autores como Slepitiene et al. (2020) estudaram o uso de digestato sólido e líquido, como biofertilizante e corretivo de solo, e para resolver problemas adversos de erosão de solo infértil após análise de áreas de uso potencial. Foi encontrado uma alta concentração de carbono orgânico em uma fração sólida do digestato, que indica

um potencial significativo de retorno de carbono ao solo. A influência da fertilização digestiva sobre a fertilidade do solo em função da quantidade de fósforo e potássio disponível foi considerada muito importante. A categoria de fertilidade do solo após a aplicação do digestato foi alterada de "alta" para "muito alta". A fertilização com todas as fases e taxas de digestão tende a aumentar a quantidade de potássio no solo e apresentou um aumento significativo (5 vezes) de conteúdo de nitrogênio mineral na camada de solo.

Slepetiene et al. (2020) destacam a vantagem da digestão sólida como melhorador de solo pois tem um efeito positivo na fertilidade, qualidade, sustentabilidade e durabilidade do solo. Tendências semelhantes, mas em menor quantidade, foram identificadas quando líquido digerido foi aplicado. O autor conclui que o aumento da proporção de ácidos húmicos e fúlvicos do solo em tratamentos fertilizados com digestato mostram um impacto positivo no processo de humificação e, portanto, resolve problemas de erosão do solo, aumentando o conteúdo e a qualidade da matéria orgânica do solo.

Outro estudo deste tipo foi o de Matos et al. (2020), em que foi avaliado o efeito da utilização de digestato bovino nos solos de baixa fertilidade de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro. O digestato utilizado como fertilizante foi proveniente do processo de digestão anaeróbia de dejetos bovinos do sistema orgânico de produção. Foram aplicadas quatro doses de digestato, em experimento de vasos utilizando a cultura do milho. Os resultados demonstraram que o conteúdo de cálcio, magnésio e fósforo diminuíram com a aplicação do digestato no solo, indicando a absorção desses nutrientes pela cultura do milho ao longo do experimento. Adicionalmente, a aplicação do digestato aumentou os valores de pH do solo, sendo importante fator para os solos ácidos de clima tropical. Os autores concluíram que o uso do digestato se apresentou seguro a curto prazo, não apresentando risco de toxicidade por alumínio, chumbo e cádmio, uma vez que se encontravam dentro do limite estabelecido pela legislação.

Owamah et al. (2014) avaliaram a qualidade do biofertilizante e as implicações para a saúde pública do uso do digestato proveniente da digestão anaeróbia de resíduos alimentares e excrementos humanos. Doze quilos de resíduos alimentares e três quilos de excrementos humanos foram misturados com água em 1:1 para fazer 30 litros de pasta que foi alimentado no digestor anaeróbico para fermentar por 60 dias em temperatura mesofílica. A análise microbiana do biofertilizante digerido revelou a presença de *Pseudomonas*, *Klebsiella*, *Clostridium*, *Bacillus*, *Bacteroides*,

*Penicillium*, *Salmollena* e *Aspergillus*. Entretanto, *Klebsiella*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Penicillium* e *Aspergillus* podem aumentar a eficiência do biofertilizante por meio de fixação de nitrogênio e solubilidade de nutrientes nos solos, mas *Klebsiella* e *Salmonella* são potenciais riscos à saúde para os usuários finais.

Os resultados deste estudo mostram reduções significativas na demanda química e bioquímica de oxigênio e conteúdo de carbono orgânico no digestato quando comparado com a matéria-prima. A presença de organismos fixadores de nitrogênio e solubilizadores de fosfato no digestato mostra que pode ser utilizado como um biofertilizante eficiente para a colheita. A contagem microbiana média revelou tendência decrescente para coliformes totais, placa aeróbia total e fungos no digestato em comparação com seus valores mais elevados na matéria-prima. No entanto, a presença de *Salmonella*, *Klebsiella* e coliformes totais no digestato sugere que pode não ser seguro aplicar o digestato como fertilizante sem tratamento adicional (OWAMAH et al., 2014).

Owamah et al. (2014) concluíram que o digestato proveniente da digestão anaeróbia de resíduos alimentares e excrementos humanos podem ser usados para melhorar a fertilidade do solo, mas aconselha o tratamento posterior do digestato para uma destruição mais eficiente dos patógenos. Este estudo recomenda um período de retenção mais longo de 90 dias (mesofílico) e um período de retenção mais curto de 30 dias (termofílico) para um biofertilizante de melhor qualidade do que o obtido em termos de destruição de patógenos.

Panuccio et al. (2018) analisaram os efeitos de dois digestatos na qualidade do pepino. O pepino foi escolhido por ser uma importante cultura antiga, utilizada mundialmente como alimento in natura e nas indústrias cosmética e farmacêutica. Resultados mostraram que os digestatos aumentaram seu teor de fenóis e flavonóides com atividade antioxidante. Neohesperidina e hesperitina com conhecidos propriedades antioxidantes, antiinflamatórias e anticancerígenas também como naringina e narirutina com o poder de reduzir o risco de esclerose atero e complicações cardiovasculares, foram manifestadas apenas em pepinos tratados com digestato.

Panuccio et al. (2018) afirmam que esses resultados destacaram a potencialidade de digestatos não só como promotor do crescimento da cultura, mas também como indutores fitoquímicos, representando uma boa opção para a produção



de alimentos de alta qualidade com a entrada de fertilizantes minerais químicos reduzidos.

Walsh et al. (2012) aplicaram o digestato gerado a partir da digestão anaeróbia de lodo bovino, em vasos de grama e uma mistura de grama-trevo cultivado em dois solos. Este estudo baseado em estufa foi realizado com um tipo de solo agrícola de ampla distribuição, dois fertilizantes comumente usados, e com duas composições de grama que são geralmente utilizadas para pastoreio de gado. Os rendimentos das colheitas foram iguais ou aumentados com o digestato e a análise da água do solo mostrou que havia menos potencial de perda de nutrientes por lixiviação.

Segundo Walsh et al. (2012), substituir o fertilizante inorgânico por digestato pode, portanto, manter ou melhorar a produtividade da pastagem, mas com menos impacto sobre o ambiente. Isso pode, em última análise, reduzir a dependência agrícola sobre fertilizantes inorgânicos e os custos de energia e econômicos associados ao seu uso. Portanto, a digestão anaeróbia não deve ser apenas considerada uma fonte de energia renovável e sistema de gestão de resíduos, mas também uma tecnologia de redução da poluição.

Iyovo, Du e Chen (2010) desenvolveram e testaram um sistema sustentável que produz resultados de alto rendimento de biometano, biofertilizante e biodiesel. Estes foram alcançados através da mistura de esterco de aves, polpa de papel e lodo residual de algas na co-digestão produzindo biometano, digestato filtrado no estado semissólido e aquoso, o primeiro como biofertilizante e o último foi usado no cultivo de algas para aumentar a biomassa de algas para a produção de biodiesel.

Com base neste estudo, Iyovo, Du e Chen (2010) concluíram que é concebível que um sistema circular usando os biorresíduos em questão ou aqueles de natureza semelhante podem se desenvolver e constituir um sistema autossustentável a partir do tratamento de resíduos, e uma oportunidade para biocombustíveis de algas. Como esperado, frações de carbono/nitrogênio 26-30 emitiram positivamente biometano de alto rendimento dos substratos listados e, por sua vez, produziu um digestato nutriente rico viável para uso como biofertilizante e para otimizar o biodiesel produzido da microalga *Chlorella vulgaris*.

Rodrigues (2019) analisou os atributos químicos do solo na cultura do milho, após utilização do digestato, proveniente da digestão anaeróbia de dejetos de suínos e incrementos. O solo foi amostrado na profundidade de 0-20 cm, em dois tempos: um dia antes da aplicação do digestato e quatro meses após, logo após a colheita. Os

resultados indicaram que, após aplicação do digestato, ocorreu um aumento nos teores de matéria orgânica, alumínio e uma diminuição nos teores de cálcio, fósforo, potássio e magnésio do solo.

Rodrigues (2019) cita que existem dificuldades operacionais que dificultam o total controle sobre a qualidade do digestato, que apresenta composição variável entre locais e épocas, sendo que, a resposta do digestato também é variável de acordo com as condições de solo, clima e manejo. O autor concluiu que é necessário o desenvolvimento de uma base de dados experimentais ampla, abrangendo diferentes condições de solo, ambiente, culturas e manejos, além da condução de estudos por períodos longos, para possibilitar a formulação de recomendações adequadas para o aproveitamento do digestato na adubação.

Bongiovanni, Marzari e Silvana (2018) avaliaram o efeito do digestato como biofertilizante na cultura do milho, estudaram seus possíveis efeitos ao nível físico-químico e químico do solo e a resposta produtiva da cultura. Os autores propuseram cinco tratamentos com aplicação de biofertilizante em doses e tempos de aplicação variáveis, um tratamento com fertilizante químico comercial na dose normalmente utilizada pelo produtor e uma amostra sem aplicação de fertilizante.

Bongiovanni, Marzari e Silvana (2018) descobriram que o uso do digestato como biofertilizante não modificou significativamente as propriedades físico-químicas do solo, mantendo os níveis dentro dos parâmetros ideais para o crescimento do milho. A aplicação do biofertilizante teve efeitos positivos nos níveis de potássio disponíveis no solo e na resposta da produtividade da cultura do milho, com diferenças significativas em relação ao tratamento sem aplicação de biofertilizante. A presença importante dos nutrientes no biogás-digestato levou a um efeito fertilizante positivo para as plantas.

**Quadro 2 – Estudos que avaliaram o efeito do digestato em culturas vegetais**

(continua)

<b>Autores</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Digestato</b>	<b>Cultura vegetal estudada</b>	<b>Método</b>
Abdullahi et al. (2008)	Investigar o efeito na germinação de sementes de plantas e correção do solo usando digestato.	Resíduos sólidos municipais	Rabanete	Ensaio de germinação em placas de Petri a 25°C por 72h no escuro.
Walsh et al. (2012)	Comparar a aplicação do digestato com dois tipos de fertilizantes minerais em termos de nutrientes e crescimento de culturas.	Dejetos bovinos	Azevém perene e trevo branco	Experimentos em vasos em estufa a 23 ± 3°C com umidade do solo mantida a 70% da capacidade de campo.
Barbosa, Nabel e Jablonowski. (2014)	Avaliar a produção de biomassa de culturas vegetais na presença de digestato como biofertilizante.	Silagem de milho e excrementos de aves	Malva da Virgínia, milho e alfafa	Experimentos em vasos em estufa com temperatura variável entre 17 a 22°C com umidade do solo mantida a 60%.
Grigatti et al. (2014)	Testar a liberação de fósforo do digestato no solo e sua capacidade de fornecer fósforo para as plantas.	Resíduos sólidos urbanos	Azevém	Experimentos em potes com temperatura variável entre 13 a 23°C com umidade do solo mantida a 60%.
Bhatnagar e Mutnur (2015)	Testar o digestato no crescimento de culturas vegetais visando resolver seu problema de disposição.	Resíduos alimentares de restaurantes	Tomate, berinjela e pimenta	Experimentos em travessas durante um mês, com monitoramento a cada 3-4 dias e posterior transferência para o campo.
Koszel e Lorencowicz (2015)	Investigar a possibilidade de utilização agrícola de digestato como fertilizante.	Resíduos agrícolas	Alfafa	Experimentos com plantio em campo, analisando o teor de macroelementos após a colheita.
Claudino (2017)	Avaliar a influência da aplicação do digestato na produção de mudas de hortaliças por meio de parâmetros fitométricos.	Resíduos sólidos urbanos	Agrião do Seco	Experimentos em vasos em incubadora a 23°C por 9 dias, e posteriormente a 21°C por 3 semanas.
Bongiovanni, Marzari e Silvana (2018)	Avaliar o efeito do digestato como biofertilizante, estudar seus possíveis efeitos ao nível físico-químico e químico do solo e a resposta produtiva da cultura.	Resíduos sólidos urbanos	Milho	Experimentos com amostragem solo em duas profundidades: 0-20 e 20-40 cm; e em três momentos: na semana da sementeira, aos 80 dias após a sementeira e na colheita.

**Quadro 2 – Estudos que avaliaram o efeito do digestato em culturas vegetais**

(conclusão)

<b>Autores</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Digestato</b>	<b>Cultura vegetal estudada</b>	<b>Método</b>
Panuccio et al. (2018)	Analisar os efeitos de dois digestatos na cultura de pepino.	Resíduos agrícolas	Pepino	Experimentos conduzidos em ambiente controlado a $23 \pm 2^\circ\text{C}$ por 3 meses e replicado por 3 anos consecutivos.
Rodrigues (2019)	Analisar os atributos químicos do solo, antes e após utilização do digestato.	Dejetos de suínos e incrementos	Milho	Experimentos com amostragem do solo na profundidade de 0-20 cm, em dois tempos: um dia antes da aplicação do digestato e quatro meses após, logo após a colheita.
Mórtola et al. (2019)	Avaliar a composição físico-química e o conteúdo de patógenos do digestato e o efeito de sua aplicação no solo nas propriedades químicas e biológicas.	Dejetos avícolas	Alface	Experimentos em potes em estufa testando 3 doses de digestato diferente mantendo o ambiente aberto durante o dia para regulação da temperatura e umidade.
Matos et al. (2020)	Avaliar o efeito da utilização de digestato nos solos de baixa fertilidade de Seropédica, no estado do Rio de Janeiro.	Dejetos bovinos	Milho	Experimentos em vasos com teor de umidade do solo entre 50 e 70% da capacidade de campo por 40 dias.
Slepetiene et al. (2020)	Determinar o potencial do uso de digestato sólido e líquido, como biofertilizante e corretivo de solo.	Resíduos agrícolas	Pastagem	Experimentos realizados no campo testando 5 tratamentos de fertilização diferentes.
Simon (2020)	Verificar a toxicidade do digestato por meio de ensaios de germinação e avaliar sua aplicação como biofertilizante.	Resíduos alimentares	Alface	Experimentos em vasos usando misturas de fertilizante mineral e digestato líquido 1:1, e fertilizante mineral e digestato sólido 1:1 por 60 dias.

Fonte: Elaborado pela autora.

### 2.5.1 Trabalhos Futuros

- Caracterizar quimicamente o digestato proveniente do tratamento de diferentes tipos de resíduos em diversas condições, de forma a construir um banco de dados amplo;
- Analisar economicamente a substituição dos fertilizantes minerais pelo digestato;
- Estudar a influência do uso de diferentes tipos de biorreatores na composição do digestato;
- Estudar a aplicação do digestato em culturas mais variadas, diretamente no campo e por longos períodos de tempo;
- Estudar tratamentos posteriores do digestato proveniente de resíduos sólidos urbanos para completa destruição de patógenos;
- Estudar tecnologias que permitam o armazenamento e distribuição do digestato como biofertilizante;
- Estudar a aplicação do digestato em plantações como prevenção contra pragas;
- Analisar a aceitação dos agricultores sobre a aplicação do digestato como biofertilizante em suas lavouras.

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os diversos estudos apresentados neste trabalho mostraram os efeitos positivos do digestato no solo e em diversas culturas, mostrando que este material considerado biofertilizante, pode ser um aliado para melhorar o solo e consequentemente a nutrição mineral de diversas culturas. Para utilização do digestato, é necessário levar em consideração: o solo onde será aplicado (presença de materiais orgânicos e nutrientes químicos); e o tipo de cultura (anuais, perenes, ou mesmo hortaliças e legumes).

Alguns trabalhos concluíram que o digestato líquido, de pH mais neutro, se mostrou ser mais eficiente para a suplementação de nutrientes em hortaliças, por promover um efeito mais rápido, podendo ser aplicado no solo ou diretamente nas plantas. Já o digestato sólido possui vantagens como melhorador de solo, pois tem um efeito positivo na fertilidade, qualidade, sustentabilidade e durabilidade da terra.

Mais estudos são necessários para confirmar que o digestato tem um efeito sobre as plantas, sendo importante o desenvolvimento de uma base de dados experimentais ampla, abrangendo diferentes caracterizações químicas de digestato, condições de solo, ambiente, culturas e manejos, além da condução de estudos por períodos longos, para possibilitar a formulação de recomendações adequadas para o aproveitamento do digestato na adubação.

## REFERÊNCIAS

ABDULLAHI, Y.A. et al. Investigating the effects of anaerobic and aerobic post-treatment on quality and stability of organic fraction of municipal solid waste as soil amendment. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 18, p. 8631-8636, dez. 2008.

ALCANTARA, M. S. **Biodigestão anaeróbica de cama de aviário com recirculação de digestato**. 2016. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação "Stricto Sensu" em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2016.

AL SEADI, T. et al. Biogas digestate quality and utilization. **The Biogas Handbook: Science, Production and Applications**. Woodhead Publishing Series in Energy, p. 267-301, 2013.

AL SEADI, T; LUKEHURST, C. Quality management of digestate from biogas plants used as fertilizer. **IEA Bioenergy**, may. 2012.

BARBOSA, D. B. P.; NABEL, M.; JABLONOWSKI, N. D. Biogas-digestate as nutrient source for biomass production of *Sida hermaphrodita*, *Zea mays* L. and *Medicago sativa* L. **Energy Procedia**, v. 59, p. 120–126, 2014.

BHATNAGAR, N.; MUTNURI, S. Digestate from anaerobic reactor as a potential fertilizer. **Carbon – Science and Technology**, v. 7, n. 2, p. 17-24, 2015.

BONGIOVANNI M. D.; MARZARI R.; SILVANA A. **Uso de digestato como biofertilizante derivado de la generación de biogás**. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto. Córdoba, 2018.

CLAUDINO, E. S. **Uso do efluente gerado pela digestão anaeróbia de resíduos vegetais na produção de hortaliças**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. Dissertação (Mestrado) - Programa de Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. Wiley-VCH, 2011.

GRIGATTI, M. et al. Recycling of Dry-Batch Digestate as Amendment: Soil C and N Dynamics and Ryegrass Nitrogen Utilization Efficiency. **Waste Biomass Valorization**, v. 5, p. 823-833, 2014.

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

FEAM. **Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria**. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Federação das Indústrias do Estado de Minas Gerais, Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável (GIZ). Belo Horizonte, 2015.

IYOVO, G. D.; DU, G; CHEN, J. Sustainable Bioenergy Bioprocessing: Biomethane Production, Digestate as Biofertilizer and as Supplemental Feed in Algae Cultivation to Promote Algae Biofuel Commercialization. **Journal of Microbial & Biochemical Technology**, v. 2, n. 4, p. 100-106, aug. 2010.

KONRAD, O. et al. Avaliação da produção de biogás e geração de metano a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes e glicerina residual. **Revista Destaques Acadêmicos**, ano 2, n. 4, p. 49–56, 2010.

KOSZEL, M.; LORENCOWICZ, E. Agricultural use of biogas digestate as a replacement fertilizer. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**. Poland, v. 7, p. 119 – 124, 2015.

KOUGIAS, P. G.; ANGELIDAKI, I. Biogas and its opportunities - A review. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 12, n. 14, apr. 2018.

LINS, L. P. **Produção de biogás a partir de resíduos de bovinocultura leiteira por meio da codigestão com macrófitas da espécie *Salvinia***. 2017. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2017.

MAFACIOLLI, D. **Produção de biogás através do processo de digestão anaeróbia utilizando dejetos de aves de postura com suplementação de**



**glicerina bruta**. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Ambiental, Centro universitário UNIVATES. Lajeado, 2012.

MATOS, C. F. et al. Efeitos da aplicação de digestato bovino nas características do solo Planossolo Háptico no município de Seropédica – RJ. **RedBioLAC**, n. 4, p. 17-21, 2020.

MÓRTOLA N. et al. Potential use of a poultry manure digestate as a biofertilizer: Evaluation of soil properties and *Lactuca sativa* growth. **Pedosphere**, v. 29, n. 1, p. 60–69, 2019.

ONU (2019). **Organização das Nações Unidas**. 17 jun. 2019. Disponível em: <<https://www.mundocoop.com.br/destaque/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu.html>>. Acesso em: 04 out. 2021.

OWAMAH, H. I. et al. Fertilizer and sanitary quality of digestate biofertilizer from the co-digestion of food waste and human excreta. **Waste Management**, v. 34, n. 4, p. 747-752, apr. 2014.

PANUCCIO, M. R. et al. Use of digestate as an alternative to mineral fertilizer: effects on growth and crop quality. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 65, n. 5, p. 700-711, set. 2018.

PLUGGE, C. M. Biogas. **Microbial Biotechnology**, v. 10, p. 1128–1130, 2017.

RODRIGUES, T. M. **Análise das propriedades do solo após aplicação do digestato – estudo de caso**. 2019. Monografia - Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

SLEPETIENE, A. et al. The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. **Waste Management**, Lithuania, v. 102, p. 441-451, feb. 2020.

STEINMETZ, R. L. R. **Avaliação do Efeito de Drogas Veterinárias na Produção Específica de Biogás de Substratos Agropecuários**. 2016. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Florianópolis, 2016.

SILVA, M. I.; BORTOLI, A. L. Modelagem e simulação do processo de formação do biogás. XXXVII CNMAC, 2017. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Applied and Computational Mathematics**, São José. dos Campos, v. 6, n. 1, 2018.

SIMON, F. W. **Valorização do digestato proveniente da digestão anaeróbia de resíduos alimentares**. 2020. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2020.

WALSH, J. J. et al. Replacing inorganic fertilizer with anaerobic digestate may maintain agricultural productivity at less environmental cost. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, United Kingdom, v. 175, n. 6, p. 840–845, dec. 2012.