ARTIGO 10.20396/td.v18i00.8668552

Terræ Didatica

Tendências e padrões do uso de biodigestores em estudos brasileiros

Trends and patterns of the use of biodigesters in Brazilian studies

Nicoly Muniz dos Santos[1], Pedro Miguel Marques da Costa[2], Marcelo Borges Rocha[3],

1 - Graduanda em Engenharia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet-RJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

2 - Pós-Graduando, Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet-RJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

3 - Docente, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet-RJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Email: nicolymuniz1215@gmail.com, pedro_mmco@hotmail.com rochamarcelo36@yahoo.com.br.

Abstract: It is evident the need to think about alternative strategies for managing organic waste and diversification of the energy matrix. Thus, the present study aimed to identify trends and patterns about biodigesters and organic waste management in Brazilian studies. A survey of thesis and dissertations was carried out in the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations, between 2016 and 2021, on the biodigester theme. Twenty-nine publications were obtained, which were analyzed in a quali-quantitative manner with the help of general and specific descriptors. The study allowed to observe that the most used biodigester models were batched and Canadian and that the remains of food and animal waste were the most notable residues. The results contribute to the perception that more investments in biodigesters should be stimulated, as they are excellent renewable and sustainable energy sources.

Resumo: É evidente a necessidade de se pensar estratégias alternativas para a gestão dos resíduos orgânicos e diversificação da matriz energética. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo identificar tendências e padrões sobre biodigestores e gestão de resíduos orgânicos em estudos brasileiros. Para tal, realizou-se um levantamento de teses e dissertações na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, entre os anos de 2016 e 2021, acerca do tema "biodigestor". Foram obtidas 29 publicações, que foram analisadas de forma quali-quantitativa com o auxílio de descritores gerais e específicos. O estudo permite observar que os modelos de biodigestor mais utilizados foram batelada e canadense e que os restos de alimentos e dejetos de animais foram os resíduos mais notáveis. Os resultados alcançados colaboram com a percepção de que deve haver mais investimentos em biodigestores, pois são ótimas fontes de energia renovável e sustentável.

Citation/Citação: Santos, N. M. dos, Costa, P. M. M. da, & Rocha, M. B. (2022). Tendências e padrões do uso de biodigestores em estudos brasileiros. *Terræ Didatica, 18*(Publ. Contínua), 1-8, e022019. doi: 10.20396/td.v18i00.8668552.

Keywords: Waste management. Biogas. Organic waste.

Palavras-chave: Gestão de resíduos. Biogás. Resíduos orgânicos.

Manuscript/Manuscrito:

Received/Recebido: 14/02/2022

Revised/Corrigido: 20/04/2022

Accepted/Aceito: 10/05/2022

Introdução

Desde o surgimento da indústria, a partir da Revolução Industrial, as empresas vêm investindo cada vez mais em novas tecnologias a fim de maximizar sua produção e, consequentemente, seus lucros. Com o decorrer do tempo, as mercadorias passam a apresentar vida útil cada vez menor, fazendo com que a população consuma muito mais do que seria realmente necessário.

Tal realidade torna-se prejudicial à saúde do meio ambiente, pois a consequência do consumo desenfreado é a geração cada vez maior de resíduos sólidos urbanos (RSU) com o passar dos anos. Os resíduos são produzidos, em sua maioria, a partir de materiais que necessitam de mais de 400 anos para sua decomposição completa (Mateus, Machado & Aguiar, 2019). Porém, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2017), a maior parte dos RSU é constituída por resíduos orgânicos. Tal informação expressa a importância de se pensar em estratégias para uma melhor gestão de resíduos.

Outra problemática que tem sido discutida na mídia é a necessidade de incentivo às fontes renováveis e sustentáveis de energia. Um dos recursos energéticos mais utilizados pelo mundo é o carvão mineral, que é muito prejudicial ao ambiente devido ao que é chamado como "Drenagem Ácida de Mina" (DAM). Ela ocorre quando são depositados pirita e outros minerais sulfetados, rejeitos advindos da mineração do carvão que, em contato com o oxigênio e a umidade, geram o ácido sulfúrico (Campos et al., 2010). Segundo Campaner & Luiz-Silva (2009, p. 146) a DAM pode causar "a degradação da qualidade de águas superficiais e subterrâneas, solos e sedimentos". É importante ressaltar, no ramo da mineralogia, as geociências, que são responsáveis por elaborar e pôr em prática as soluções aos problemas ambientais resultantes do uso exacerbado e do desperdício dos recursos naturais (Souza, 2016).

No Brasil, a maior parte da energia é proveniente das hidrelétricas. Isso se deve ao fato de a rede hídrica brasileira e o relevo do país serem propícios

ao uso deste tipo de matriz energética. Entretanto, apesar de se tratar de uma fonte renovável, também gera impactos negativos ao meio ambiente. A Usina Hidrelétrica (UHE) reduz a disponibilidade e qualidade dos corpos hídricos, eleva a acidez da água e promove o assoreamento dos cursos d'água, causando assim interferência na fauna marinha. A presença dessas usinas também pode prejudicar a saúde de habitantes locais, devido aos possíveis vazamentos de oleodutos (Guerra & Carvalho, 1995).

Os ecossistemas são responsáveis por proporcionar os serviços ecossistêmicos (SE), que oferecem recursos da natureza aos seres humanos, a fim de promover o bem-estar. Os recursos possuem duas classificações, os bióticos e os abióticos, sendo o primeiro referente aos seres vivos e o segundo aos fatores físicos. Devido à importância dos serviços, em função da geodiversidade local e de sua contribuição para a sociedade civil, as características abióticas têm sido consideradas para fins de conservação (Rabelo et al., 2018).

Levando em consideração os fatos supracitados, o presente trabalho destaca a implantação de biodigestores anaeróbicos como uma possível forma de gestão de resíduos orgânicos e fonte de energia limpa e sustentável. Este método vem ganhando cada vez mais destaque como uma alternativa promissora para a fração orgânica dos resíduos sólidos, pois possui como produto, além de biofertilizante, altas taxas de biogás.

Os biodigestores são compartimentos fechados onde pode ser feita a degradação de resíduos animais e vegetais a partir de microrganismos anaeróbios. Há dois tipos básicos de biodigestores: os contínuos (dentre eles se encontram o chinês e o indiano) e os chamados "bateladas" ou descontínuos, sendo diferenciados pela frequência com que os resíduos serão adicionados (Suçuarana, 2021). Os biodigestores contínuos permitem que o resíduo seja adicionado constantemente pois, conforme for abastecido, o material já digerido será retirado. Já os biodigestores descontínuos recebem dejetos periodicamente. Só será adicionada mais matéria orgânica quando todo o material anterior estiver processado (Turdera & Yura, 2006).

O biofertilizante gerado pela fermentação anaeróbica do biodigestor é uma substância no estado líquido que possui nutrientes fundamentais para as plantas, como o fósforo e o nitrogênio. Ele é utilizado como fertilizante e pesticida, mas também para corrigir o pH do solo. Pode servir também como fonte de renda e ser comercializado (Barros, 2021).

Já o biogás é o elemento de maior atenção ao se tratar dos produtos gerados pelo uso do biodigestor. De acordo com Souza et al. (2004), o biogás é caracterizado como um combustível que se encontra no estado gasoso e possui alto potencial energético, podendo ser usado na geração de energia elétrica, térmica ou mecânica. Além disso, ele colabora com a diminuição dos impactos atmosféricos, pois contribui com o controle das emissões de metano (Reis, 2012), gás extremamente tóxico que intensifica o aquecimento global. Dito isto, os investimentos governamentais em iniciativas sustentáveis como o uso do biodigestor são de extrema importância.

Tendo em vista o quanto são importantes os estudos que analisam a eficácia da utilização de biodigestores como uma alternativa para a gestão de resíduos e fonte de energia renovável, de acordo com os argumentos citados anteriormente, o presente trabalho teve como objetivo identificar tendências e padrões sobre biodigestor e gestão de resíduos orgânicos em estudos brasileiros. Para isto, foi feito um levantamento de dados no banco de dados do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) dos últimos seis anos.

Metodologia

O presente estudo é uma revisão sistemática, que consiste em:

> uma metodologia rigorosa proposta para: identificar os estudos sobre um tema em questão, aplicando métodos explícitos e sistematizados de busca; e avaliar a qualidade e validade desses estudos, assim como sua aplicabilidade no contexto em que as mudanças serão implementadas. (De-la-Torre-Ugarte-Guanilo et al. 2010, p. 2).

A revisão sistemática é classificada, de acordo com os autores Siddaway, Wood & Hedges (2019), como: revisões sistemáticas com meta-análise; revisões sistemáticas narrativas; e revisões sistemáticas com meta-síntese. A revisão que foi feita na presente pesquisa caracteriza-se como meta-análise, ou seja, como uma investigação com o objetivo de comparar e analisar os dados reunidos de forma qualitativa (Zimmer, 2006).

Além disso, a fim de melhor compreender os dados quantitativos, foi feita a escolha de trabalhar com a metodologia de caráter misto. Segundo Galvão & Ricarte (2019, p. 4), "a Revisão Sistemática de Caráter Misto é aquela que identifica, seleciona, ava-

Tabela 1. Descritores gerais utilizados no trabalho para análise. Fonte: adaptado de Rocha & Zanini (2020, p. 4)

Descritor geral	**Explicação**
Trabalhos	Número de cada trabalho, de acordo com a ordem do levantamento que foi feito.
Tipo	Indicação do tipo de trabalho: dissertação ou tese, de acordo com a informação contida na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.
Título do trabalho	Título do trabalho, de acordo com a informação encontrada na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.
Autores	Nome completo do autor ou autores da dissertação ou tese.
Instituição	Instituição no qual o autor ou autores produziu o trabalho.
Ano de defesa	Ano de defesa do trabalho, de acordo com a informação encontrada na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.
Programa de pesquisa	Nome do programa de pós-graduação no qual o trabalho foi defendido, de acordo com a informação contida na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações.
Palavras-chave	Se o trabalho possui "biodigestor" em suas palavras-chave.

lia e sintetiza simultaneamente estudos qualitativos, estudos quantitativos e estudos mistos.".

Para realizar a revisão sistemática, foi utilizada a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), que é um banco de dados desenvolvido e coordenado pelo Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Nela se encontram as teses e dissertações que existem em 127 instituições de ensino e pesquisa brasileiras. A BDTD hospeda cerca de 514.554 dissertações e 195.329 teses, somando ao todo 709.882 documentos disponibilizados gratuitamente e de forma digital. Foi utilizado o termo "biodigestor" como descritor para pesquisar na ferramenta de busca da plataforma. Recorrendo à busca avançada, foi definido que a palavra "biodigestor" aparecesse no título dos trabalhos. Com isso, foi obtido como resultado o quantitativo de 82 trabalhos, com todas as publicações em português. A partir da ferramenta de refinar os filtros que a plataforma disponibiliza, foi feito o recorte temporal de publicações dos últimos seis anos (2016 a 2021). Foi considerado esse período para incluir os documentos mais recentes e que, consequentemente, trazem dados mais próximos da realidade atual. Além disso, o ano de 2016 foi incluído pois há um bom quantitativo de defesas nesse intervalo de tempo. Dessa forma, foi encontrado um total de 33 documentos. Após isto, foram conferidos os *links* que a plataforma disponibiliza de todos os trabalhos, para identificar se todos poderiam ser acessados. Ao final, 29 produções foram selecionadas, pois as outras possuíam seus *links* corrompidos.

A partir disso, todas as publicações foram analisadas com o auxílio de descritores gerais e descritores específicos. Segundo Megid Neto (1999, apud Santos, Massi & Villani, 2015, p. 3) os descritores são usados em análises de textos para "indicar os aspectos a serem observados na classificação e descrição das teses e dissertações, bem como na análise de suas características e tendências". Para o início da análise dos trabalhos, foram utilizados os descritores gerais presentes na Tabela 1.

Após a análise inicial, examinaram-se os descritores específicos (Tab. 2), que dão subsídios para uma avaliação mais aprofundada do tema investigado (Teixeira, 2008, apud Zanini & Rocha, 2020, p. 4). Vale ressaltar, que os descritores específicos foram determinados levando em conta o objetivo do estudo.

Tabela 2. Descritores específicos utilizados na análise. Fonte: os autores (2021)

Descritor específico	**Caracterização**
Motivo do uso do biodigestor	Discorre sobre o motivo de ter sido escolhido, especificamente, o biodigestor como tema da pesquisa e não outro tipo de gestão de resíduos.
Tipos de biodigestor usados	Há diversos tipos de biodigestores, dentre eles os contínuos e os descontínuos, que serão especificados neste descritor.
Onde os biodigestores foram implantados	Dispõe acerca do lugar onde foi implantado o biodigestor.
Resíduos utilizados	Quais foram os materiais adicionados ao biodigestor para o processo de digestão anaeróbica.
Avaliação da qualidade do gás produzido	Diz se a qualidade do biogás está sendo avaliada ou apenas a quantidade.
Contribuição do trabalho para o cenário de pesquisa	Expõe se há e quais são as contribuições que o trabalho traz para o meio acadêmico.

Resultados e discussão

Análise dos descritores gerais

Dentre os 29 trabalhos analisados, 4 são teses e 25 são dissertações. A Tabela 3 mostra o levantamento feito a partir dos descritores gerais apresentados na Tabela 1.

A respeito dos anos de defesa: cinco foram defendidos em 2016; nove em 2017; sete em 2018; três em 2019; dois em 2020; e três em 2021. Desse modo, é possível perceber que no decorrer dos anos houve uma diminuição nos estudos voltados para a temática de biodigestor. Tal como pode ser visto na leitura dos títulos dos trabalhos, a maioria deles é voltada para o uso na agropecuária. Entretanto, ainda não há informações mais concretas que expliquem o porquê e se de fato está ocorrendo o declínio de pesquisas nessa área. Porém, os dados quantitativos mostram que seria relevante a elaboração de mais estudos que se prestem a avaliar o uso de biodigestores como gestão de resíduos sólidos e fonte de energia renovável e sustentável no contexto urbano.

Outra informação que se encontra exposta acima são as universidades das quais foram defendidas as teses e dissertações. É possível sinalizar que a maior parte das instituições de ensino se encontram na região sul do país, ao mesmo tempo que nenhum dos estabelecimentos registrados fazem parte do centro-oeste. Além disso, dentre os 29 trabalhos nenhum foi defendido no estado do Rio de Janeiro, que, segundo Souza na Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos (ABREN, 2021), gera aproximadamente 6,1 milhões de toneladas de lixo urbano por ano e possui alto potencial de geração de energia a partir desses resíduos.

Ademais, pouco mais da metade (15) das publicações se encontra em programas de pós-graduação na área de conhecimento da Engenharia. Também há programas nas áreas agrárias (T7, T9, T18, T22, T24 e T29), biológicas (T1, T2, T4, T5 e T16) e

Tabela 3. Levantamento dos trabalhos feito a partir dos descritores gerais. Fonte: os autores (2022)

Trab.	Tipo[1]	Título do trabalho	Instituição	Ano de defesa	Programa de pesquisa	Palavras-chave
T1	D	Otimização da produção de biogás em biodigestores batelada	Unesp	2018	PPG em Biometria	Biodigestor
T2	D	Desenvolvimento de biodigestor anaeróbico com sistema eletrônico de controle de temperatura	UFPE	2018	PROTEN	Biodigestor anaeróbico
T3	D	Simulação de biodigestor de fluxo tubular com e sem sistemas de recirculação e aquecimento	UFV	2019	PGEAgri	-
T4	D	Avaliação da influência da alimentação de biodigestores na produção flexível de biogás	UFPR	2021	PPGMAUI	-
T5	D	Avaliação da geração de biogás de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos	UFPR	2021	PPGMAUI	Biodigestor
T6	D	Biodigestor em pequenas propriedades familiares e o benefício para a sustentabilidade	Unioeste	2018	PPGAd (MPA)	Biodigestor
T7	D	Viabilidade econômica para produção de energia elétrica por biodigestores utilizando resíduos pecuários	UFT	2017	PPG em Agroenergia	Biodigestores
T8	D	Desenvolvimento de um aplicativo computacional para dimensionamento técnico e econômico de biodigestores tipo tubular	Unioeste	2017	PPGEEA	Biodigestor tubular
T9	D	Digestão anaeróbia de dejetos suínos e resíduos de alimentos em Biodigestor Canadense	UFCG	2017	PPGSPA	-
T10	D	Estudo da transferência de calor em biodigestores do tipo *plug-flow* com três tipos diferentes de cores de gasômetros e inserção de isolante térmico	Unioeste	2020	PPGEEA	Biodigestor
T11	D	Análise da dinâmica não linear do processo de biodigestão em um biodigestor indiano no espaço de estados via técnica de Lyapunov	Unesp	2018	PPGEE	Biodigestores e Biodigestor Indiano

T12	D	Análise energética, ambiental, e econômica de biodigestores de circulação interna e concentradores de vinhaça para geração de eletricidade, fertilizantes e créditos de carbono em diferentes cenários econômicos	USP	2017	PPGAO	Biodigestor IC
T13	D	Avaliação de diferentes modelos de biodigestores para tratamento de resíduos sólidos urbanos gerados no Restaurante Universitário da UFPB	UFPB	2016	PPGECAM	Biodigestor
T14	D	Uso de biodigestor anaeróbio no tratamento de resíduo orgânico de restaurante	UFSM	2016	PPGEQ	-
T15	D	Influência de modulador biológico no tratamento de dejetos suínos em biodigestores	Unioeste	2017	PPGEEA	-
T16	D	Sustentabilidade: Avaliação da produção de biogás em um biodigestor de pequena escala	Univates	2021	PPGAD	-
T17	D	Tratamento dos resíduos sólidos orgânicos da UFSC através de biodigestor anaeróbio	UFSC	2016	PPGEA	-
T18	D	Irrigação por sulcos com efluente de fossa séptica biodigestora como fonte de nitrogênio na cultura do milho	Unesp	2019	PPG em Agronomia	-
T19	D	Produção de biodigestor e horta orgânica como elemento integrador entre escola e comunidade	Unesp	2016	PPGDEB	-
T20	D	Avaliação da operação de biodigestor no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos	Unisinos	2017	PPGEC	-
T21	T	Desamonificação como tratamento de digestato de biodigestor de lodos da suinocultura para a remoção de nitrogênio	Unioeste	2019	PPGEAgri	-
T22	T	Tecnologia de biodigestores rurais e desenvolvimento rural sustentável na região Oeste do Paraná	Unioeste	2020	PPGDRS	-
T23	D	Otimização da produção de biogás utilizando aquecimento e agitação com automação de biodigestores	Unioeste	2017	PPGEEA	-
T24	T	Irrigação de dois cultivos de milho com efluente de suinocultura tratado em biodigestor anaeróbio: avaliações no sistema solo-água-ar-planta	USP	2017	PPGCENA	-
T25	T	Avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos: ensaios de potencial bioquímico de metano (BMP) e projeto piloto de um biodigestor em escala real	UFC	2018	PPGEC	-
T26	D	Avaliação do tratamento de esgoto sanitário combinado com resíduos sólidos de restaurantes em biodigestor chinês e reator UASB	Unisinos	2017	PPGEC	-
T27	D	Avaliação de duas estratégias de partida em biodigestores do tipo CSTR utilizando lodos de sistemas de tratamento de efluentes da suinocultura	Unioeste	2018	PPGEAgri	-
T28	D	Comparação da eficiência de lagoas de estabilização e biodigestores no manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura no município de Toledo, PR	Unioeste	2018	PPGEEA	-
T29	D	Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz do Rio Pardo, SP	Unesp	2016	PPGAgro (Energia na Agricultura)	-

Obs.: D = Dissertação, T = Tese.

outras que se encontram em menor escala na tabela, como ciências sociais (T6 e T12) e ensino (T19). Isto mostra que há certa diversificação quando se trata da gestão de resíduos, o que é esperado por ser uma problemática que interfere no futuro de todos, independente da área de conhecimento.

Em relação às instituições de ensino, a Universidade Estadual do Oeste do Paraná possui o maior quantitativo de defesas de teses e dissertações, com o total de nove trabalhos. Em seguida, temos a Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" com cinco produções. Com duas publicações temos a Universidade Federal do Paraná, a Universidade de São Paulo e a Universidade do Vale do Rio dos Sinos. O restante dos estabelecimentos possui apenas um trabalho defendido entre os anos de 2016 e 2021 acerca da temática de biodigestores.

Por fim, é importante ressaltar que é interessante que haja mais investimentos nas pesquisas científicas, pois com isso haverá mais incentivo e subsídios, possibilitando assim que sejam feitos mais trabalhos nessa e em outras áreas e lugares do Brasil. Ainda mais por se tratar de um assunto cuja divulgação na mídia global é muito necessária, principalmente para alcançar a população geral.

Análise dos descritores específicos

Levando em consideração todos os trabalhos analisados, foram listados 22 tipos diferentes de biodigestor, tais: biodigestor batelada; tubular; piloto; canadense; sertanejo; rural; *plug-flow*; indiano; de circulação interna; de Ferreira; de Fernandes; de Reis; homebiogás; de fluxo semi-contínuo; fossa séptica biodigestora; caseiro; de câmara única; EGSB; MC-CG; chinês; UASB e do tipo CSTR. Esse quantitativo demonstra a variedade de modelos existentes, devido a modernização do equipamento em relação a estrutura, técnicas, tecnologia e modo de operação (Bezerra, 2016).

Além disso, o biodigestor batelada (T1, T2, T13, T14 e T15) e canadense (T5, T9, T22 e T23) foram os mais utilizados. O biodigestor batelada é reabastecido de tempos em tempos, por isso, é caracterizado como descontínuo. Logo, devido a esta característica, é utilizado quando os resíduos se encontram disponíveis após um longo período. O modelo tem a vantagem de ser um sistema simples com pouca exigência operacional (Deganutti et al. 2002). Já o biodigestor canadense é do tipo horizontal e, devido à maior exposição ao Sol, possui maior produção de biogás (Castanho & Arruda, 2008). Sua vantagem está no fato de poder ser utilizado em grandes ou pequenas propriedades e em projetos agroindustriais (Oliver, 2008).

Dez trabalhos implantaram os biodigestores nas instalações das universidades (T2, T4, T9, T13, T14, T15, T16, T17, T20 e T25), que são locais propícios para avanços tecnológicos e pesquisas experimentais, devido ao incentivo à produção científica e ao desenvolvimento acadêmico, com maior destaque na pós-graduação (Hilu & Gisi, 2011). Outrossim, a maior parte dos resíduos corresponde a restos de alimentos advindos de restaurantes universitários, o que já foi explicado anteriormente, e dejetos de animais. A agropecuária no Brasil é uma atividade muito importante para a economia brasileira, então há muitos investimentos nessa área (Felema, Raiher & Ferreira, 2013). Porém, com isso, a produção de resíduos de origem animal aumenta cada vez mais. T8, por exemplo, é um dos trabalhos que se propõe a analisar o uso do biodigestor tubular para mitigar as consequências dessa problemática.

Acerca da avaliação do biogás gerado, T6, T10, T13, T19, T21, T22 e T24 não fizeram alguma avaliação. Apenas T5, T9, T16 e T23 fizeram uma avaliação qualiquantitativa do gás gerado e o restante dos trabalhos fizeram apenas a avaliação quantitativa. Dentre os trabalhos, apenas T1 e T11 desenvolveram modelos matemáticos em suas dissertações. T1, com o objetivo maximizar a produção de biogás e minimizar o tempo de retenção hidráulica e T11, para descrever o processo de fermentação da biomassa dentro do biodigestor. Já T8, desenvolveu um programa computacional para dimensionamento técnico e econômico de biodigestores rurais do tipo tubular.

Os estudos T2, T13, T23, T26 e T27 fazem comparação entre biodigestores e/ou técnicas utilizadas para biodigestão. No caso de T2 ocorre a avaliação da quantidade de biogás produzida por biodigestores batelada monitorando sua temperatura e do substrato. Em T13, a partir de seis tipos diferentes de biodigestor, classifica-se qual dentre eles é o mais indicado para implantar na Universidade Federal da Paraíba para a digestão dos resíduos orgânicos produzidos. Já em T23 é realizada a comparação dos biodigestores MC-CG com agitação e biodigestores canadenses com e sem agitação, a fim de qualificar o ideal para futuras instalações. A pesquisa T26 utilizou biodigestores chinês e UASB para avaliar a biodigestão de resíduos de restau-

rantes com esgoto sanitário. E, para terminar, T27 avaliou duas estratégias de partidas da biodigestão de lodos com o modelo CSTR.

O T18 é a única publicação que utiliza uma fossa séptica biodigestora. Este tipo de fossa séptica é uma ótima alternativa para o tratamento de esgoto e possui vantagens à fossa séptica tradicional, pois estas precisam ser transportadas para limpeza. No caso da fossa biodigestora, os resíduos sólidos são tratados no próprio compartimento e ao final do processo podem ser utilizados de forma atóxica como adubo orgânico (Esgotecnica, 2019).

Também é importante ressaltar o T19, que implantou um biodigestor caseiro na Escola Estadual Dr. Avelino Aparecido Ribeiro para trazer atividades práticas à disciplina de biologia. De acordo com o autor Anderson Bacciotti (2016), as aulas práticas associadas às teorias aprendidas em sala de aula promovem uma aprendizagem sistêmica e proporcionam conhecimentos científicos, procedimentos e atitudes para os alunos.

Por fim, após a análise dos descritores específicos foi possível observar que todos os trabalhos contribuem de forma significativa para o cenário de pesquisa. Além disso, as motivações de uso do biodigestor como tema do trabalho diversificaram-se majoritariamente entre a busca para alternativas de gerir corretamente os resíduos sólidos urbanos e alternativas para a geração de energia renovável e sustentável.

Considerações finais

A fim de tentar sanar ou mitigar os impactos negativos do destino incorreto dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e buscar fontes renováveis e sustentáveis de energia, o presente trabalho realizou um levantamento do uso de biodigestores a partir de uma revisão sistemática de teses e dissertações brasileiras. A tecnologia, além de digerir de forma anaeróbica os resíduos orgânicos, que constituem a maior parte dos RSU, tem como produtos o biofertilizante e altas taxas de biogás, que pode ser utilizado na geração de energia.

Com a análise feita, é possível concluir que a produção de trabalhos voltados para a temática de biodigestor deve ser incentivada, pois, levando em consideração as percepções dos autores analisados, contribui para o avanço de tecnologias para a gestão de resíduos e diversificação da matriz energética. Ademais, por se tratar de um equipamento extremamente mutável, com os investimentos necessários, podem ser propostos modelos cada vez mais eficazes e econômicos

Diante do exposto, quanto às perspectivas futuras, sugere-se que sejam feitos mais trabalhos que comparem os diferentes modelos de biodigestor, visto que há uma infinidade deles, a fim de listar as vantagens e desvantagens de cada um. Além disso, outros tipos de resíduos podem ser utilizados para testar a eficácia de biodigestão. Também se fazem necessárias mais pesquisas que analisem e abordem outros usos de biogás e biofertilizantes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Cefet/RJ e ao CNPq pela concessão de bolsas para pesquisa; aos orientadores Marcelo Rocha e Pedro Costa, pelas contribuições e sugestões ao longo da escrita; ao Laboratório de Divulgação Científica e Ensino de Ciências (Labdec) pelo apoio e incentivo à pesquisa científica.

Referências

Bacciotti, A. (2016). *Produção de biodigestor e horta orgânica como elemento integrador entre escola e sociedade*. Mestrado profissional em docência para a educação básica. Bauru, SP: Universidade Estadual Paulista. (Tese Dout.). URL: https://repositorio.unesp.br/handle/11449/137994. Acesso 11.05.2022.

Barros, T. D. (2021). *Biofertilizantes*. Distrito Federal, Brasil. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. URL: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html. Acesso 11.05.2022.

Bezerra, G. P. F. (2016). Avaliação de diferentes modelos de biodigestores para tratamento de resíduos sólidos urbanos gerados no restaurante universitário da UFPB. João Pessoa, PB: Universidade Federal da Paraíba. (Tese Dout.). URL: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/9120. Acesso 11.05.2022.

Campaner, V. P., & Luiz-Silva, W. (2009). Processos físico-químicos em drenagem ácida de mina em mineração de carvão no sul do Brasil. *Química Nova*, *32*(1), 146-152. URL: http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=408. Acesso 11.05.2022.

Campos, M. L., Almeida, J. A., Silveira, C. B., Gatiboni, L. C., Albuquerque, J. A., Mafra, Á. L., Miquelluti, D. J., Filho, O. K., & Santos, J. C. P. (2010). Impactos no solo provocados pela mineração e depósito de rejeitos de carvão mineral. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, *9*(2), 198-205. URL: https://www.revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5301/3511. Acesso 11.05.2022.

Castanho, D. S., & Arruda, H. J. (2008). Biodigestores. *Embrapa Agricultura Digital*, *2*(21). URL: https://

www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/chines1_000g7gph0mm02wx5ok0wtedt3q5rn9mk.pdf. Acesso 11.05.2022.

De-la-Torre-Ugarte-Guanilo, M. C., Takahashi, R. F., & Bertolozzi, M. R. (2011). Revisão sistemática: noções gerais. *Rev. Esc. Enferm. USP, 45*(5), 1260-1266. URL: https://www.scielo.br/j/reeusp/a/CRjvBKKvRRGL7vGsZLQ8bQj/?format=pdf&lang=pt. Acesso 11.05.2022.

Deganutti, R., Palhaci, M. C. J. P., Rossi, M., Tavares, R., & Santos, C. (2002). Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. *Embrapa Agricultura Digital*. URL: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf. Acesso 11.05.2022.

Esgotecnica. (2019). *Fossa séptica biodigestora: o que é, para que serve e quanto custa*. Esgotecnica. URL: https://www.limpafossa.com.br/fossa-septica-biodigestora-o-que-e-para-que-serve-e-quanto-custa/. Acesso 11.05.2022.

Felema, J., Raiher, A. P., & Ferreira, C. R. (2013). Agropecuária Brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, *51*(3), 555-574. doi: 10.1590/S0103-20032013000300008.

Galvão, M. C. B., & Ricarte, I. L. M. (2019). Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da Informação*, *6*(1), 57-73. URL: https://www.researchgate.net/publication/335831854_REVISAO_SISTEMATICA_DA_LITERATURA_CONCEITUACAO_PRODUCAO_E_PUBLICACAO/link/5d7ede30a6fdcc2f0f713bad/download. Acesso 11.05.2022.

Guerra, S. M., & Carvalho, A. V. d. (1995). Um paralelo entre os impactos das usinas hidrelétricas e termoelétricas. *Revista de Administração de Empresas*, *35*(4), 83-90. doi: 10.1590/S0034-75901995000400010.

Hilu, L., & Gisi, M. L. (2011). *Produção científica no Brasil: um comparativo entre as universidades públicas e privadas*. Curitiba, PR: Congresso Nacional de Educação (Educere), X, 2011. p. 5664-5672. URL: https://educere.bruc.com.br/CD2011/pdf/5221_3061.pdf. Acesso 11.05.2022.

Mateus, A. L. M. L., Machado, A. H., & Aguiar, P. A. (2019). Tabela de Tempo de Decomposição de Materiais: Contexto para a Abordagem de Química Ambiental no Ensino Profissional de Nível Médio. *Revista Química Nova na Escola*, *41*(3), 259-265. doi: 10.21577/0104-8899.20160165.

Ministério do Meio Ambiente. (2017). *Gestão de Resíduos Orgânicos*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente. URL: https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gestão-de-resíduos-orgânicos.html. Acesso 11.05.2022.

Oliver, A. P. M. (2008). *Manual de treinamento em biodigestão*. (Instituto Winrock, Brasil. URL: https://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-treinamento-em-biodigestao.html.

Rabelo, T. O., Santos, N. M., Costa, D., Nascimento, M., & Lima, Z. M. C. (2018). A Contribuição da Geodiversidade na prestação dos Serviços Ecossistêmicos do manguezal. *Revista de Geociências do Nordeste*, *4*, 281-297. doi: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID16110.

Reis, A. D. S. (2012). *Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio*. Mestrado profissional em engenharia civil e ambiental. Recife, PE: Universidade Federal de Pernambuco. (Tese Dout.). URL: https://www.ufpe.br/documents/39810/1355139/AlexsandroSantosReis.pdf/fe045cb1-ddc5-4561-b240-047ed112b4c1. Acesso 11.05.2022.

Santos, V. F. D., Massi, L, & Villani, A. (2015). *O estado da arte das dissertações do Mestrado Profissional em ensino de ciências da Universidade de Brasília.* In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (X ENPEC), Águas de Lindóia, SP, nov. 2015. 9p. URL: http://www.abrapecnet.org.br/enpec/x-enpec/anais2015/resumos/R1101-1.PDF. Acesso 11.05.2022.

Siddaway, A., Wood, A. M., & Hedges, L. V. (2019). How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annual Review of Psychology*, *70*(1), 747-770. doi: 10.1146/annurev-psych-010418-102803

Souza, D. (2021). *Abren Aponta para o grande potencial do Rio de Janeiro em geração de energia a partir do lixo (PetroNotícias)*. Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos. URL: https://abren.org.br/2021/06/22/abren-aponta-para-o-grande-potencial-do-rio-de-janeiro-em-geracao-de-energia-a-partir-do-lixo-petronoticias/. Acesso 11.05.2022.

Souza, S. N. M. d., Pereira, W. C., Nogueira, C. E. C., Pavan , A. A., & Sordi, A. (2004). Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. *Acta Scientiarum Technology*, *26*(2), 127-133. doi: 10.4025/actascitechnol.v26i2.1510

Souza, W. A. (2016). *Introdução de geociências no ensino médio através de oficinas pedagógicas de mineração*. URL: https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Wane_Aparecida_de_Souza.pdf. Acesso 11.05.2022.

Suçuarana, M. d. S. (2021). *Biodigestores*. InfoEscola. https://www.infoescola.com/energia/biodigestores/. Acesso 11.05.2022.

Turdera, M. V., & Yura, D. (2006). *Estudo da viabilidade de um biodigestor no município de Dourados*. Anais 6 Encontro de Energia no Meio Rural, 2006. 9p. URL: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100062&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso 11.05.2022.

Zanini, A. M., & Rocha, M. B. (2020). Relação de comunidades do entorno com as unidades de conservação: tendências em estudos brasileiros. *Terræ Didatica*, *16*, 1-13, e020037. doi: 10.20396/td.v16i0.8660516

Zimmer, L. (2006). Qualitative meta-synthesis: a question of dialoguing with texts. *Journal of Advanced Nursing*, *53*(3), 311-318. doi: 10.1111/j.1365-2648.2006.03721.x