

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE ANIMAIS: uma revisão sistemática e metassíntese de evidências dos biodigestores CSTR e Lagoa Coberta

MAYARA ROHENKOHL RICCI

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

CAROLINE RODRIGUES VAZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

Introdução

A geração de biogás a partir de resíduos orgânicos oferece um processamento ecologicamente correto de matérias-primas prejudiciais ao meio ambiente. Há um conjunto de evidências que mostra que o CSTR é um equipamento mais eficaz em relação ao BLC, tratando de produção de biogás a partir de dejetos de animais. O foco tem sido em medidas tradicionais, como volume do biodigestor, carga orgânica volumétrica, tempo de retenção hidráulica e temperatura. O que não foi sistematicamente avaliado são outros parâmetros como sólidos voláteis, nutrientes e composição dos substratos e pH.

Problema de Pesquisa e Objetivo

O Brasil é um dos maiores produtores de suínos, levando a alta geração de resíduos na produção, dessa maneira, busca-se alternativas para que seja minimizado essa produção de resíduos, uma maneira é a utilização da digestão anaeróbica, por isso a questão, será que o CSTR é o mais eficaz em relação ao lagoa coberta, mais comumente utilizado. Esta revisão sistemática examinou a eficácia do biodigestor CSTR (Continuous Stirred-Tank Reactor) versus o BLC (Biodigestor de Lagoa Coberta) em produção de biogás a partir de dejetos de animais.

Fundamentação Teórica

Num contexto voltado para mudanças climáticas, as entidades estão buscando formas para utilizar o metano do biogás em aplicações de energia renovável, devido a alta demanda. A geração de resíduos na produção de suínos é alta, por isso a busca por biodigestores para a produção de biogás e gestão de resíduos. O BLC é mais utilizado do que em relação ao CSTR, porém o BLC apresenta algumas limitações, uma delas é o estado da biomassa, sendo que se diferencia em relação aos biodigestores. Outra questão é o tamanho, o CSTR possui um volume menor em relação ao BLC, o que já torna mais viável.

Metodologia

Dois bancos de dados, incluindo Science Direct e Scopus, também duas bases cinzenta, como o Google Scholar e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) foram sistematicamente pesquisados para estudos em língua inglesa sem limite de datas. Os estudos selecionados para recuperação foram avaliados por dois revisores (MR e CV) independentes para a qualidade metodológica usando listas de verificação de avaliação crítica apropriadas ao desenho do estudo. Esta revisão inclui estudos em biodigestores CSTR e BLC que utilizam como substrato dejetos de animais.

Análise dos Resultados

Seis publicações foram incluídas nesta revisão (n=69). Dois dos 6 estudos comparam a produção de biogás nos dois tipos de biodigestores, e os demais, apenas falam de produção de biogás no biodigestor de lagoa coberta. Com base nas ferramentas apropriadas de avaliação crítica do JBI, a qualidade dos estudos incluídos foi considerada moderada a alta. Na maioria dos estudos, uma fonte potencial de viés estava relacionada à falta de informações de produção de energia elétrica e viabilidade econômica na implantação dos biodigestores.

Conclusão

O biodigestor CSTR mostrou-se mais eficaz na produção de biogás justamente por possuir aquecimento, o que já não é observado no BLC, sendo este dependente da temperatura externa do ambiente, o que o torna mais indicado para regiões com maior incidência solar. Outro fator que se mostrou importante na produção do biogás é a Carga Orgânica Volumétrica (COV), pois a sua quantidade interfere na produção também. A bibliometria mostrou as palavras-chave que mais ocorreram entre as pesquisas e a sua evolução ao longo de 2005 a 2022.

Referências Bibliográficas

AMARAL, A. C. d. C. et al. Produção de biogás e energia elétrica com biodigestor de lagoa coberta e CSTR a partir de dejetos de suínos. In: VI SIGER - Simpósio Internacional sobre gerenciamento dos resíduos agropecuários e agroindustriais, 2019, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: Oceania Park Hotel, 2019. p. 401-403. TÁPPARO, Deisi Cristina et al. Swine manure biogas production improvement using pre-treatment strategies: lab-scale studies and full-scale application. Bioresource Technology Reports, v. 15, p. 100716, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100716>

Palavras Chave

Biogás, Digestão anaeróbica, Dejetos de animais

Agradecimento a órgão de fomento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

1. INTRODUÇÃO

No contexto das mudanças climáticas e geopolíticas, não somente as entidades agrícolas, mas também as de águas residuais, estão cada vez mais procurando formas benéficas para utilizar a fração de metano do biogás em aplicações de energia renovável (MULLER et al., 2022). A alta demanda por energia resultante do rápido crescimento da população global trouxe o aumento de combustíveis fósseis, sendo este um dos principais impulsionadores na busca por fontes renováveis (MAHMUDUL et al., 2022).

Mahmudul et al. (2022), coloca que o uso de combustíveis fósseis também é o principal impulsionador do debate sobre diferentes preocupações ambientais, como poluição do ar e aquecimento global. Em vista disso, esforços estão sendo criados para ampliar o uso de fontes alternativas de energia ou fontes de energias renováveis.

O consumo global de carne vem aumentando nas últimas décadas, sendo esse um tópico importante em debates sobre mudanças ambientais globais e desenvolvimento sustentável (SPORCHIA; KEBREAB; CARO, 2021).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de carne suína, equivalente a 4,1 milhões de toneladas anuais, conseqüentemente a isso, ocorre a alta geração de resíduos na produção. Cândido et al. (2022), esclarece que as águas residuais provenientes da produção de suínos têm alto potencial de poluentes, por isso a necessidade em se implantar melhores sistemas de manejos desses resíduos, e como forma de tratamento o indicado é a digestão anaeróbica (DA).

Resíduos orgânicos podem ser usados para gerar biogás usando a DA, sendo esta uma fonte de energia alternativa viável. Para Gupta et al. (2022, p. 2), “à medida que os resíduos aumentam, eventualmente o custo de descarte aumenta, o que destaca a importância de métodos sustentáveis para converter resíduos em produtos úteis”.

A DA é uma tecnologia ecologicamente correta, que combina produção de biogás e gestão de resíduos, muito utilizada para tratar compostos orgânicos na produção pecuária e geração de energia (TÁPPARO et al., 2020). A DA se intensificou no Brasil, tendo em vista baixo custo, fácil operação, eficiência na redução de odores, decorrentes da produção de suínos, por meio do uso de biodigestores de lagoa coberta (BLC) (TÁPPARO, et al., 2021).

Contudo, para os autores Tápparo et al. (2021), o BLC tem limitações, pois dependem de alguns fatores, em confronto, existe outros tipos de reatores, um exemplo é o reator tanque agitado contínuo (CSTR), sendo este muito utilizado para substratos mais sólidos. Os autores trazem diferença, mas é importante que ocorra uma análise de quais diferenças que esses dois tipos de biodigestores mostram. A pesquisa busca mostrar essas diferenças para auxiliar em pesquisas sobre qual é o melhor tipo de biodigestor para tal finalidade que os produtores agropecuários buscam e capturar evidências atuais por meio de uma revisão sistemática.

A eficiência do tipo de biodigestor irá indicar a produção de biogás, e a seleção do biodigestor vai depender do teor de matéria-seca da biomassa (MATHERI et al., 2018). O BLC trabalha melhor com dejetos líquido e o CSTR com sólido (CÂNDIDO et al., 2022).

2. MÉTODOS

2.1. Estratégia de busca e critérios de seleção

Esta revisão sistemática está baseada de acordo com a lista de verificação *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews* (PRISMA) (LIBERATI et al., 2009).

A elegibilidade foi baseada no quadro População, Intervenção, Comparação, Resultado (PICO), conforme apresentado no Quadro 1, (ROBINSON; SALDANHA; MCKOY, 2011), com estudos incluídos se satisfizessem os seguintes critérios: (1) a biomassa utilizada fosse dejetos de animais; (2) os biodigestores fossem especificamente o CSTR ou BLC; (3)

relatado a produtividade de biogás; (3) valores de TRH e OLR nos estudos; (4) estudos empíricos.

As buscas iniciaram definindo as palavras-chave, conforme o Quadro 1, com intuito de responder a pergunta de pesquisa: “*O biodigestor CSTR é mais eficaz que o BLC na produção de biogás a partir de dejetos de animais?*”

Quadro 1 - Elegibilidade PICO para definição de palavras-chave

P	I	C	O
Problema	Intervenção	Comparação	Resultados
Dejetos de animais	Continuous Stirred-Tank Reactor (CSTR)	Biodigestor de lagoa coberta (BLC)	Biogás
(manure OR manured OR manuring) AND (“Continuous Stirred-Tank Reactor” OR CSTR) AND (“covered lagoon digesters” OR “covered lagoon biodigesters”) AND (biogás)			

Fonte: os autores (2022).

As bases Science Direct e Scopus foram utilizadas para a pesquisa, lembrando que outras bases também foram pesquisadas, porém não retornou artigos. Outra forma de trazer artigos para o estudo foi incluir a base cinzenta, nesse caso utilizou-se o Google acadêmico.

Com auxílio de um gerenciador de referências, dois revisores (CV e MR) selecionaram títulos e resumos para a elegibilidade e estudos que atenderam aos critérios de título e resumo foram submetidos à revisão do texto completo.

2.2. Análise de dados

2.2.1. Risco de viés e qualidade do estudo

O risco de viés e a qualidade do estudo foram avaliados no nível do estudo usando ferramenta *Review Manager* (RevMan) da *Cochrane Collaboration*. Para a análise de viés criou-se um questionário baseado em *Joanna Briggs Institute* (JBI), composto por 11 perguntas que poderiam ser classificadas em baixo risco, não aplicável e alto risco.

Canto, Stefani e Massigman (2021), colocam que acima de 70% é considerado um alto risco de viés, de 50 a 69% moderado e 49% baixo risco, dessa maneira seguiu este estudo.

Cada estudo foi classificado como alto, baixo ou não aplicável risco de viés e qualidade em relação aos critérios estabelecidos e pontuado em 2, 1 ou 0, respectivamente. Os métodos planejados incluíram a aplicação de *Grading of Recommendations, Assessment, Development and Evaluations* (GRADE).

Todas as revisões sistemáticas necessitam incorporar um processo de avaliação das evidências da pesquisa. Esta avaliação busca avaliar a qualidade dos estudos e determinar até que ponto o estudo abordou a possibilidade de viés na sua condução e análise de pesquisa (JBI, 2020). O sistema GRADE é utilizado para classificar a qualidade das evidências e a força das recomendações que podem ser aplicadas (GRADE WORKING GROUP, 2004).

2.2.2. Metassíntese

De acordo com o protocolo publicado, uma metassíntese foi concluída. Para isso o método *Scientometric and sYStematic yielding MApping Process* (SYSMAP) (VAZ; URIONA MALDONADO, 2017) foi seguido, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Fases do SYSMAP



Fonte: Vaz e Uriona Maldonado (2017).

O objetivo desta metassíntese era gerar insights sobre a produção de biogás nos biodigestores CSTR e BLC.

A síntese inicial se baseia numa análise bibliométrica e análise de conteúdo. A síntese e análise dos dados foi realizada por: i) definição do tema com definição de palavras-chave e base de dados; ii) análise de conteúdo com tipo de pesquisa (empírico), conceitos adotados pelos autores sobre o tema, principal contribuição, principais resultados e trabalhos futuros; iii) análise bibliométrica com citação de palavras-chave e autores; iv) identificar lacunas de pesquisas pelos autores.

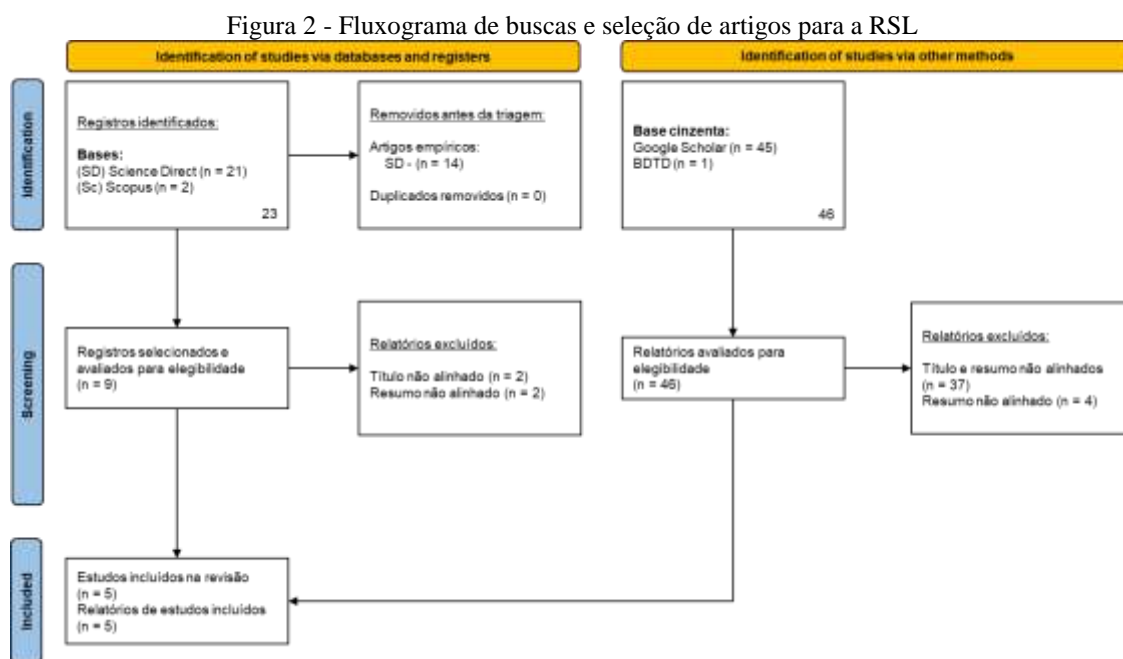
O gerenciador EndNote X9 foi utilizado para exportar dados descritivos sobre a amostra de documentos. Por meio dele, foi possível identificar a quantidade de artigos por ano, por autor e palavras-chave mais recorrentes. Posterior a isso, a próxima fase foi a utilização da ferramenta VOSviewer, um software para criar, visualizar e explorar mapas bibliométricos em dados de redes.

Por fim, buscou-se encontrar informações relevantes diante dos métodos aplicados, conforme apresentado a seguir.

3. RESULTADOS

3.1. Definição do tema

O fluxograma PRISMA, na Figura 2, mostra 23 artigos identificados na busca, sendo removidos artigos que não eram empíricos, e nesse caso não houve duplicados, deixando 9 artigos para a triagem de título e resumo. Destes, 5 artigos foram submetidos à avaliação de texto completo. Da mesma maneira, buscou-se artigos na base cinzenta, 46 artigos foram identificados, destes foram analisados títulos e resumos, totalizando 6 para avaliação completa.



Fonte: os autores (2022).

Conforme a Figura 2, e de acordo com o objetivo proposto, dos 11 artigos selecionados para leitura completa, cinco deles não estavam de acordo com os critérios pré-estabelecidos. O Quadro 2 mostra o motivo pela qual cinco dos artigos selecionados foram excluídos da revisão, totalizando seis artigos que foram incluídos nessa RSL.

Quadro 2 - Motivo de exclusão dos artigos selecionados para leitura

Autor(es)	Título	Motivo de exclusão	Periódico
CÂNDIDO et al. (2022)	<i>Integration of swine manure anaerobic digestion and digestate nutrients removal/recovery under a circular economy concept</i>	O artigo traz um conceito de economia circular e a sua aplicabilidade no setor de suinocultura.	<i>Journal of Environmental Management</i>
CARUANA (2019)	<i>Organizational and economic modeling of an anaerobic digestion system to treat cattle manure and produce electrical energy in Argentina's feedlot sector</i>	O artigo traz a viabilidade de cadeias de fornecimento de biogás em sistema de confinamento na Argentina.	<i>Journal of Cleaner Production</i>
HOLLAS et al. (2022)	<i>Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production</i>	O estudo traz informações para promover a descarbonização do setor de biogás, por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).	<i>Journal of Cleaner Production</i>
SAFLEY JR; WESTERMAN (1990)	<i>Psychrophilic anaerobic digestion of animal manure: Proposed design methodology</i>	Desenvolvimento de uma equação para determinar as taxas de carregamento adequadas para digestores.	<i>Biological Wastes</i>
WU (2013)	<i>Advances in the use of CFD to characterize, design and optimize bioenergy systems</i>	O artigo busca desenvolver um modelo de dinâmica de fluidos computacional utilizado em biorreatores que produzem biometano e biohidrogênio.	<i>Computers and Electronics in Agriculture</i>

Fonte: os autores (2022).

A maioria dos estudos (83%) foram publicados nos últimos 10 anos e foram realizados no Brasil (n=3), EUA (n=1), Dinamarca (n=1) e Tailândia (n=1). Os substratos utilizados nos estudos foram: dejetos de suínos, de gado e de frango. Os trabalhos encontrados que colocavam a produtividade de biogás foram de comparação entre os dois tipos de biodigestores (n=2), apenas o tipo BLC (n=3) e CSTR (n=1). Os resultados quantitativos encontrados nos trabalhos podem ser visualizados no ANEXO 1 - Tabela de dados quantitativos a partir dos estudos da RSL.

O risco de viés variou e foi considerado ao comparar os achados e assim avaliar a qualidade das evidências. A avaliação do risco de viés é apresentada na Figura 3. No geral, quatro artigos foram considerados de risco moderado e dois de baixo risco.

Figura 3 - Avaliação crítica dos artigos selecionados

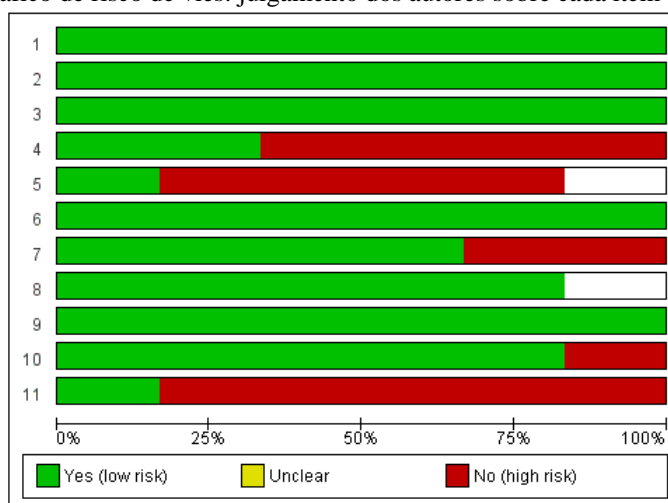
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Amaral et al., 2019	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Arosemena 2021	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Boe; Angelidaki, 2009	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	-
De Paula Sousa et al., 2022	+	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-
Srichat, 2017	+	+	+	-	-	+	-		+	+	-
Tapparo et al., 2021	+	+	+	+		+	+	+	+	+	-

Lista de verificação para os artigos:

- 1 - O artigo aborda sobre a temática de biogás?
- 2 - O artigo aborda sobre o CSTR e/ou BLC
- 3 - O artigo traz informações sobre a biomassa em específico (dejeito animal)?
- 4 - O artigo compara o CSTR com o BLC?
- 5 - Os dados de produtividade de biogás são padronizados? (Ex.: m³biogás.m-3 reator d-1)
- 6 - O artigo traz informações como COV?
- 7 - O artigo traz informações como TRH?
- 8 - O artigo traz informações como temperatura?
- 9 - O artigo trouxe informação sobre a % de concentração de metano?
- 10 - O artigo fala do volume do biodigestor?
- 11 - O artigo trouxe recomendação para outros estudos que envolvem os tipos de biodigestores?

A Figura 4 mostra as porcentagens do risco de viés de todos os estudos incluídos na revisão sistemática sobre cada item julgado.

Figura 4 - Gráfico de risco de viés: julgamento dos autores sobre cada item do risco de viés



Fonte: os autores (2022).

De acordo com a Figura 4, pode-se observar que as questões 5 (Os dados de produtividade de biogás são padronizados? (Ex.: m^3 biogás. m^{-3} reator d $^{-1}$) e 11 (O artigo trouxe recomendação para outros estudos que envolvem os tipos de biodigestores?), geraram um alto risco de viés. A questão 4 (O artigo compara o CSTR com o BLC?), um risco moderado e as questões 7 (O artigo traz informações como TRH?) e a 10 (O artigo fala do volume do biodigestor?), um baixo risco.

Portanto, os artigos ainda foram considerados, pois ao serem avaliados por estudo, não apresentaram alto risco de viés, o que inviabilizaria seu uso.

3.2. Análise de conteúdo

Os estudos selecionados foram avaliados e trazidos informações como: tipo de biomassa, volume do biodigestor (para identificar a produtividade de biogás), Carga Orgânica Volumétrica (COV), Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), produção de biogás, temperatura do biodigestor e concentração de metano.

O Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), corresponde ao tempo médio teórico que o substrato permanece no reator, sendo este um parâmetro importante para o bom funcionamento. Um TRH menor representa uma taxa de carga volumétrica maior, o que também traz um ambiente desfavorável para a produção de CH_4 , enquanto um TRH maior, uma taxa de carregamento menor. O TRH está correlacionado com a taxa de carregamento (AROSEMENA, 2021).

A Carga Orgânica Volumétrica (COV) corresponde à quantidade de material orgânico alimentado ao digestor por dia. O COV está relacionado com os sólidos voláteis (VS) ou a demanda química de oxigênio (COD) na matéria-prima e o volume do reator. Ele mostra o desempenho do digestor e também quanto espaço do reator está sendo realmente utilizado (AROSEMENA, 2021). A autora coloca uma questão importante que os sólidos totais (TS) indicam a massa total do material que está sendo adicionado diariamente ao reator, enquanto VS é o material disponível para conversão do biogás.

O funcionamento dos biodigestores BLC é semelhante ao regime plug-flow, devido a relação comprimento/largura e também pela simplicidade de operação e baixo custo. Nesse biodigestor o biogás que é produzido (processo de DA) infla a cúpula, onde permanece armazenado, posteriormente, o biogás é canalizado para um medidor de temperatura e depois convertido em energia elétrica (DE PAULA SOUSA, et al., 2022).

O BLC, por não ter um sistema controlado de aquecimento, sofre reduções na degradação orgânica e na produção de biogás subsequente (SCHMIDT et al., 2019).

Os biodigestores BLC possuem algumas limitações como necessidade elevada de área, baixa carga de alimentação e concentração de sólidos totais. Já os biodigestores CSTR o manejo é mais adequado para sólidos, possuem aquecimento da biomassa o que ajuda na degradação da mesma (AMARAL et al., 2019). Os mesmos autores relataram que o biodigestor BLC teve uma produção de biogás superior ao indicado na literatura, isso se deve ao tipo de substrato utilizado, no caso chamado de sobrenadante (fração líquida do resíduo), sendo este mais biodegradável que o dejetos bruto. Para o CSTR, a carga orgânica volumétrica (COV) foi superior ao BLC, justamente pelo biodigestor possuir sistema de aquecimento e agitação. Quando comparado a produtividade de biogás, o CSTR foi superior ao BLC.

O CSTR pode aceitar uma variedade de matéria-prima e pode amplamente implementado em vários climas, justamente por possuir um sistema de aquecimento controlado. Os BLCs são mais indicados para climas mais quentes, pois não são aquecidos, normalmente, e assim serão ineficientes para climas com temperaturas mais frias. Onde o clima é mais frio, o BLC é utilizado para armazenamento de digeridos e controle de odor (AROSEMENA, 2021). A Tabela 1 mostra uma comparação entre o CSTR *versus* BLC.

Tabela 1 - Comparação geral de um biodigestor CSTR *versus* BLC

	CSTR	BLC
TRH	5 a 20 dias	40 a 60 dias
TS	Variável	< 5%
COV	1 a 10 kg COD/m ³ /dia	0 a 0,2 kg COD/m ³ /dia
Isolamento	Sistema dependente	Não é típico
Aquecimento	Sistema dependente	Não é típico
Mistura	Sim (bomba ou motor)	Não é típico

Fonte: Arosemena (2021).

A falta de aquecimento ou mistura interfere na produção de biogás, o que favorece o biodigestor CSTR. Arosemena (2021), complementa que o BLC não seja capaz de produzir a mesma qualidade e quantidade de biogás que um CSTR, porém quando uma temperatura operacional de 30 °C essa ideia pode mudar.

Outro sistema que se mostrou aceitável é utilizar o CSTR em série, trazendo resultados de produção de biogás maior do que quando utilizado o CSTR único, assim como o TRH foi menor, 11% menor (BOE; ANGELIDAKI, 2009).

Em diferentes temperaturas, tanto externas quanto internas influenciam na produção de biogás, e essas diferenças são significativas quando o estudo é voltado para os BLCs, no verão o COV é menor do que em relação ao inverno, pois os animais se alimentam menos (DE PAULA SOUSA et al., 2022). Essa sazonalidade climática (inverno e verão) influenciam as temperaturas internas e externas no BLC, complementam ou autores. Outra questão relacionada também na produção de biogás, não somente ocorre relação devido a temperatura, mas é preciso observar a variabilidade do afluente, pois sua composição é afetada pela quantidade de água utilizada para limpeza das baias, idade dos animais, a composição da ração e o número de saídas de animais vendidos.

Na ausência de radiação solar, a temperatura do biogás é menor que a temperatura do ar, “a temperatura do biogás apresentou grande variação durante o dia, semelhante à temperatura do ar, que está diretamente associada à taxa de radiação solar” (DE PAULA SOUSA et al., 2022, p. 8). Devido o BLC ter uma parte dele abaixo do nível do solo, e no solo apresentar variação de temperatura (no verão e inverno), isso acaba prejudicando a DA, e se o biodigestor não tiver camadas de isolamento, no inverno, principalmente, ele tende a perder

calor para o solo, acrescentam os autores. “As características dos dejetos de suínos e consequentemente a geração de biogás estão ligadas às flutuações inerentes ao processo de produção” (TÁPPARO et al., 2021, p. 3).

A produtividade do biogás é influenciada pela temperatura do biodigestor, principalmente quando se refere ao BLC, por não possuir um sistema de aquecimento, podendo apresentar variação na produção de biogás, sendo este mais indicado para regiões geográficas com temperaturas moderadas ou elevadas durante todo o ano (TÁPPARO et al., 2021).

3.3. Sugestão para trabalhos específicos

Os trabalhos analisados colocaram algumas sugestões para estudos futuros, conforme segue:

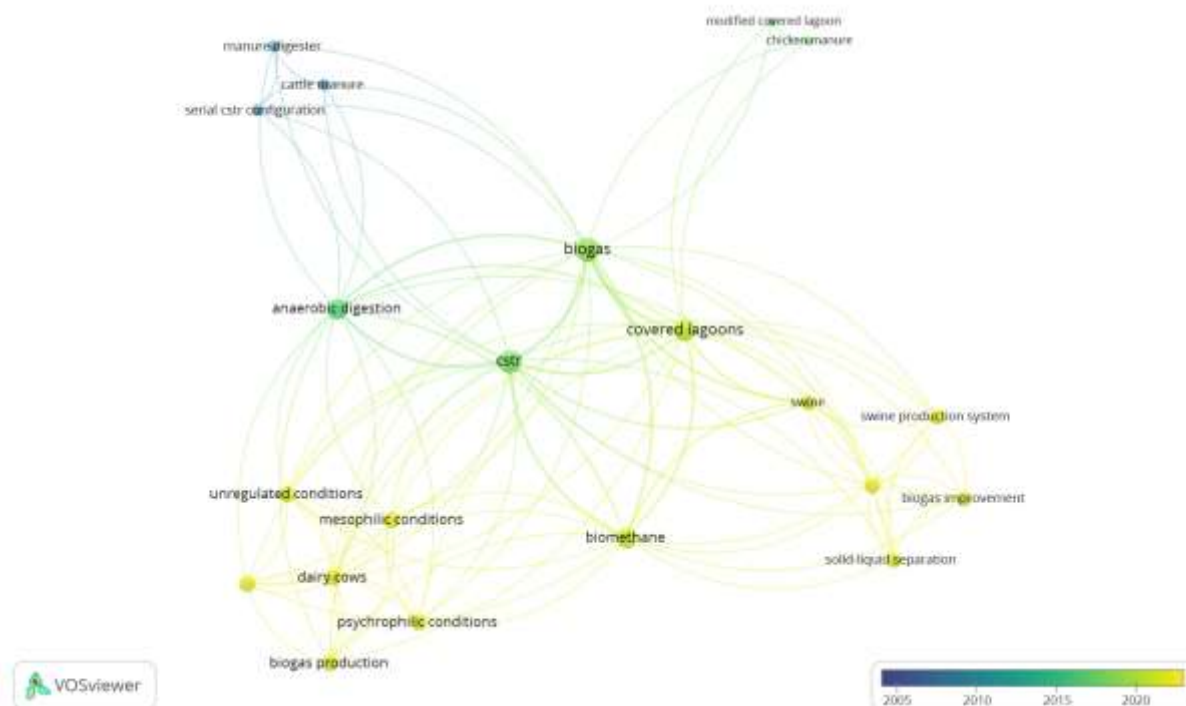
- Há uma falta de estudos de caso comparando o desempenho de diferentes tipos de digestores entre si. Há uma falta de dados disponíveis comparando as operações individuais do digestor e transmitindo resultados sobre como as operações podem estar afetando a quantidade e a qualidade do biogás;
- Seria benéfico para a indústria comparar esses sistemas a uma usina, ou os impactos associados aos fertilizantes químicos; pois ambos os sistemas, um CSTR e uma lagoa coberta, fornecerão formas de energia renovável e fertilizante orgânico;
- Estudos potenciais em se utilizar um sistema de aquecimento no BLC;
- Estudos comparativos da qualidade do biogás em diferentes temperaturas.

3.4. Metassíntese

Para analisar as palavras-chave utilizou-se o VOSviewer dos estudos que foram incluídos na RSL. Essa análise busca enriquecer a compreensão sobre os agrupamentos temáticos e auxiliar a elaborar o conteúdo com base em cada cluster temático. Outro objetivo é usar para prever pesquisas futuras no campo em destaque, nesse caso, o biogás.

As palavras-chave fornecidas pelos autores do artigo e que ocorreram em torno de cinco vezes foram incluídas na análise final. Nesse caso, 21 palavras-chave foram incluídas. A Figura 5 mostra a co-ocorrência de palavras-chave no decorrer dos anos a partir de 2005. É possível observar que as palavras que estão juntas possuem uma relação temática.

Figura 5 - Co-ocorrência de palavras-chave (2005-2022)



Fonte: os autores (2022).

Normalmente, o termo que direcionou a coleta de dados, “*biogas*” foi o mais recorrente com 6 artigos. O segundo e terceiro termo foram “*covered lagoon*” e “*CSTR*” com 5 e 4, respectivamente. As palavras-chave que tiveram uma forte ligação foram “*biogas*” (força total do link 33), “*covered lagoon*” (força total do link 28), “*CSTR*” (força total do link 28) e “*biomethane*” (força total do link 23).

Além disso, destacaram-se termos referentes ao tipo de biomassa como: dejetos provenientes de vaca leiteira (*dairy cows*), suínos (*swine*), bovinos (*cattle manure*) e frangos (*chicken manure*). Na Figura 5 também foi possível observar que os estudos mais recentes estão mais concentrados em biometano (*biomethane*) e o tipo de biodigestor mais adotado é o BLC.

Em termos de clusters, o mapa apresentou quatro agrupamentos (por ano). O maior deles a ocorrência se deu após 2020 (cor amarela), o que trouxe o cluster voltado para o biometano e as biomassas provenientes de vaca leiteira e suínos. Também nesse agrupamento mostraram estudos voltados para as diferentes temperaturas que são estudadas para a produção de biogás, como já mencionado, um fator importante na produção de biogás.

4. DISCUSSÃO

Até o momento, esta é a primeira revisão sistemática e metassíntese para comparar a produção de biogás do biodigestor CSTR com o biodigestor de lagoa coberta a partir de dejetos de animais. Esta revisão sistemática seguiu as diretrizes PRISMA e aplicou a estrutura JBI. A metassíntese é baseada nas diretrizes do SYSMAP e informou a abordagem analítica. No geral, foram incluídos 6 estudos, sendo 2 desses comparavam os dois tipos de biodigestores, os demais apenas abordavam o CSTR ou BLC.

Os estudos mostraram as características importantes e que devem ser levadas em consideração para uma produção de biogás. O COV mostrou-se um importante fator na produção do biogás, pois o carregamento diário influencia diretamente na produção, assim

como a temperatura do biodigestor, sendo que esta tem uma forte correlação na produção do biogás.

O biodigestor CSTR, por possuir um sistema de aquecimento, produziu mais biogás quando comparado ao BLC, sendo que este não possui um sistema de aquecimento, logo, depende da temperatura externa, o que influencia na interna.

5. CONCLUSÃO

Trazendo a pergunta de pesquisa: “se o biodigestor CSTR é mais eficaz na produção de biogás em relação ao BLC, a partir de dejetos de animais”, observou-se, por conta dos estudos apresentados, que sim. Porém existe alguns fatores que devem ser levados em consideração, como o estado da biomassa, o COV e a temperatura.

A tabela, ANEXO 1, mostra valores de produção de biogás, assim como outros fatores que se mostraram serem importantes e relacionados com a produção do biogás. Foi possível verificar, quantitativamente, que o CSTR, quando comparado com BLC, teve maior produtividade de biogás. E quando estudado somente o BLC, o foco se deu na temperatura do mesmo.

Algumas lacunas de pesquisas a partir da revisão sistemática são voltadas para que ocorra maior necessidade de comparação entre os tipos de biodigestores (CSTR x BLC), envolvendo outros tipos biomassa, a partir de dejetos de animais, como por exemplo, de bovinos e de frangos, visto que esta pesquisa não evidenciou esse tipo de comparação. Outro ponto que não foi observado, e que seria significativo, é a viabilidade econômica em se utilizar os dois tipos de biodigestores em conjunto, ou qual seria, economicamente, o mais viável e quais as condições para a sua operação, trazendo as barreiras na implantação.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. C. d. C. et al. Produção de biogás e energia elétrica com biodigestor de lagoa coberta e CSTR a partir de dejetos suínos. *In: VI SIGER - Simpósio Internacional sobre gerenciamento dos resíduos agropecuários e agroindustriais*, 2019, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: Oceania Park Hotel, 2019. p. 401-403.

AROSEMENA, Maria Ines Barrios. **Exploring the impact of biogas quantity and quality in different digester types with variations in temperature**. 2021. 287 f. Thesis (Master of Science) – Biosystems Engineering – Michigan State University. EUA, 2021.

BOE, Kanokwan; ANGELIDAKI, Irini. Serial CSTR digester configuration for improving biogas production from manure. **Water research**, v. 43, n. 1, p. 166-172, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.09.041>

CANTO, G. L; STEFANI, C. M.; MASSIGNAN, C. **Risco de Viés em revisões sistemáticas: guia prático**, 1 ed. Curitiba: Brasil Publishing, 2021, p. 286. *In: MASSIGNAN, C; CANTO, G. L. Capítulo 15 - Apresentação e Interpretação do Risco de Viés nos Resultados e Meta-análise*, pg. 245-270.

CÂNDIDO, Daniela et al. Integration of swine manure anaerobic digestion and digestate nutrients removal/recovery under a circular economy concept. **Journal of Environmental Management**, v. 301, p. 113825, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113825>

CARUANA, María Eugenia Castelao. Organizational and economic modeling of an anaerobic digestion system to treat cattle manure and produce electrical energy in Argentina's feedlot sector. **Journal of Cleaner Production**, v. 208, p. 1613-1621, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.133>

DE PAULA SOUSA, Izabelle et al. Study of internal and external temperatures and their influence on covered lagoon digester performance. **Biomass and Bioenergy**, v. 159, p. 106380, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106380>

GRADE WORKING GROUP. Grading quality of evidence and strength of recommendations. **Bmj**, v. 328, n. 7454, p. 1490, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.328.7454.1490>

GUPTA, J. et al. Agro-forestry waste management-A review. **Chemosphere**, v. 287, p. 132321, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132321>

HOLLAS, Camila Ester et al. Life cycle assessment of waste management from the Brazilian pig chain residues in two perspectives: Electricity and biomethane production. **Journal of Cleaner Production**, v. 354, p. 131654, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131654>

JBI. **Critical Appraisal Checklist for Systematic Reviews and Research Syntheses**. 2020. Disponível em: <https://jbi.global/critical-appraisal-tools>. Acesso em: 12 set. 2022.

LIBERATI, Alessandro et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Journal of clinical epidemiology**, v. 62, n. 10, p. e1-e34, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2009.06.006>

MAHMUDUL, H. M. et al. Estimation of the sustainable production of gaseous biofuels, generation of electricity, and reduction of greenhouse gas emissions using food waste in anaerobic digesters. **Fuel**, v. 310, p. 122346, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.122346>

MATHERI, Anthony Njuguna et al. Waste to energy bio-digester selection and design model for the organic fraction of municipal solid waste. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 82, p. 1113-1121, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.051>

MULLER, C. et al. A review of the practical application of micro-aeration and oxygenation for hydrogen sulfide management in anaerobic digesters. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 165, p. 126-137, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.07.009>

ROBINSON, Karen A.; SALDANHA, Ian J.; MCKOY, Naomi A. Development of a framework to identify research gaps from systematic reviews. **Journal of clinical epidemiology**, v. 64, n. 12, p. 1325-1330, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2011.06.009>

SAFLEY JR, L. M.; WESTERMAN, P. W. Psychrophilic anaerobic digestion of animal manure: proposed design methodology. **Biological wastes**, v. 34, n. 2, p. 133-148, 1990. DOI: [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(90\)90014-J](https://doi.org/10.1016/0269-7483(90)90014-J)

SCHMIDT, Thomas et al. Investigating the impact of seasonal temperature variation on biogas production from covered anaerobic lagoons treating slaughterhouse wastewater using lab scale studies. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 3, p. 103077, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103077>

SPORCHIA, Fabio; KEBREAB, Ermias; CARO, Dario. Assessing the multiple resource use associated with pig feed consumption in the European Union. **Science of The Total Environment**, v. 759, p. 144306, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144306>

SRICHAT, Aphichat. The Study of Organic Loading Effect from Layer Chicken Manure for Biogas Production in a Large Farm by Modified Covered Lagoon Reactor in Thailand. **Journal of Materials Science and Applied Energy**, v. 6, n. 3, p. 6, 2017. Disponível em: <https://jmsae.snru.ac.th/wp-content/uploads/2017/12/5-V6-N3-3.pdf>

TÁPPARO, Deisi Cristina et al. Nutritional, energy and sanitary aspects of swine manure and carcass co-digestion. **Frontiers in Bioengineering and Biotechnology**, v. 8, p. 333, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00333>

TÁPPARO, Deisi Cristina et al. Swine manure biogas production improvement using pre-treatment strategies: lab-scale studies and full-scale application. **Bioresource Technology Reports**, v. 15, p. 100716, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2021.100716>

VAZ, C. R.; URIONA MALDONADO, M. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and sYStematic yielding MApping Process). **Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos da Engenharia de Produção**, p. 260, 2017.

ANEXO 1 - Tabela de dados quantitativos a partir dos estudos da RSL

AUTOR(es)	PAÍS	BIOMASSA	Carga Orgânica Volumétrica (COV)		Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) – (dias)		PRODUÇÃO BIOGÁS		TEMPE
			CSTR	CLB	CSTR	CLB	CSTR	CLB	CSTR
Amaral et al. (2019)	Brasil	Granja comercial de suínos, produtora de leitões (UPL)	19,25 m ³ /dia	171,47 m ³ /dia	36	29	0,42 m ³ biogás.m ⁻³ biodigestor.d ⁻¹	0,18 m ³ biogás.m ⁻³ biodigestor.d ⁻¹	32,67
Arosemena (2021) *	EUA	Estrume de vaca (fazenda leiteira)		0-0,2 m ³ /dia		45		86, 168, 440, 475 e 448 (L/kg VS)	
Boe; Angelidaki, I. (2009)	Dinamarca	Bovino	213 mL/dia		15		15,1 mL-biogás/mL-alimentação		55
De Paula Sousa et al. (2022) **	Brasil	Granja de suínos		1,2 kg m ⁻³ d ⁻¹				1099,2 e 471,6 (m ³ biogás d ⁻¹)	
Srichat (2017)	Tailândia	Esterco de galinha poedeira		1 a 5 kg m ⁻³ d ⁻¹				10234 m ³ d ⁻¹	
Tapparo et al. (2021)	Brasil	Granja de suínos (unidade de parto a desmame)	1.618 ±0,418 kg _{vs} sadd.m ⁻³ reator.d ⁻¹	0,356 ± 0,163 kg _{vs} sadd.m ⁻³ reator.d ⁻¹	38	28	0,65 ± 0,23 NL _{biogás} L ⁻¹ reator.d ⁻¹	0,18 ± 0,05 NL _{biogás} L ⁻¹ reator.d ⁻¹	37

Notas: * neste estudo levou em consideração: 15°C não misturado, 20°C não misturado, 30°C não misturado, 39°C não misturado e 39°C misturado de acordo com as informações mencionadas, respectivamente). **neste estudo levou em consideração: inverno e verão (os valores apresentados na tabela mencionadas, respectivamente).

Legenda: d (dia); COD (Chemical Oxygen Demand)