

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SUZY CRISTINA CORTEZ

O USO DE BIODIGESTORES NO CONTEXTO DA ECONOMIA
CIRCULAR: UMA ANÁLISE DE BARREIRAS E FACILITADORES

BAURU / SP

2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

SUZY CRISTINA CORTEZ

O USO DE BIODIGESTORES NO CONTEXTO DA ECONOMIA
CIRCULAR: UMA ANÁLISE DE BARREIRAS E FACILITADORES

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Engenharia de
Produção pela Faculdade de Engenharia de
Bauru da Universidade Estadual Paulista “Júlio
de Mesquita Filho”.

Orientadora: Profa. Dra. Adriana Cristina Cherri

Coorientador: Prof. Dr. Daniel Jugend

BAURU / SP

2022

Cortez, Suzy C.

O uso de biodigestores no contexto da Economia Circular: uma análise de barreiras e facilitadores / Suzy C. Cortez, 2022
154 f.

Orientadora: Adriana Cristina Cherri
Coorientador: Daniel Jugend

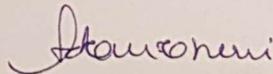
Dissertação (Mestrado) -Universidade Estadual Paulista (Unesp). Faculdade de Engenharia, Bauru, 2022

1. Economia Circular. 2. Biodigestor. 3. Sustentabilidade. 4. Biogás. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE SUZY CRISTINA CORTEZ, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 07 dias do mês de abril do ano de 2022, às 14:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE Mestrado de SUZY CRISTINA CORTEZ, intitulada **O USO DE BIODIGESTORES NO CONTEXTO DA ECONOMIA CIRCULAR: UMA ANÁLISE DE BARREIRAS E FACILITADORES**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. ADRIANA CRISTINA CHERRI NICOLA (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Departamento de Matemática / UNESPCampus de Bauru, Prof^ª. Dr^ª. BARBARA STOLTE BEZERRA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru UNESP, Prof^ª. Dr^ª SIMONE SEHNEM (Participação Virtual) do(a) Departamento de Administração / Universidade do Oeste de Santa Catarina. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. ADRIANA CRISTINA CHERRI NICOLA



*“Você não pode mudar o vento,
mas pode ajustar as velas do barco
para chegar onde quer.”*

Confúcio

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus familiares, meus pais, Paulo e Cristina, e minha irmã Danieli, por todo incentivo e toda compreensão pelas ausências. A minha sobrinha Melissa, por mesmo sem entender, foi uma fonte de inspiração para o aprendizado e crescimento todos os dias de sua vida.

A todos os meus colegas e amigos que me apoiaram, orientaram e incentivaram a enfrentar essa jornada, por muitas vezes desesperadora.

De todo meu coração, um agradecimento especial ao “*fato inevitável*”, Júlio Maldonado, por todo companheirismo, dedicação e confiança. Por acreditar em mim, quando nem eu mesma acreditei. Por ser a bússola, o vento e a fé que me guiou para terra firme.

Meus agradecimentos à professora Dra. Adriana Cherri, por ter confiado no meu trabalho e me orientado. Ao professor Dr. Daniel Jugend, um exemplo de ética e amor pela profissão, com toda sua dedicação, apoio, as pacientes correções e ensinamento, sempre com palavras confortantes.

Agradeço também a todos os participantes da pesquisa e das entrevistas. À CAPES, pela bolsa de mestrado concedida a mim. E todos os professores e funcionários da FEB que fizeram parte dessa trajetória. Em especial ao professor Dr. Fernando Bernardi, por ter plantado a sementinha do mestrado em mim e ter me guiado nos primeiros passos.

RESUMO

O uso de biodigestores como forma de impulsionar a Economia Circular (EC), vem ganhando muitos adeptos no decorrer dos últimos anos. Tanto os biodigestores, quanto a EC são consideradas formas para minimizar os impactos, não apenas no âmbito ambiental, mas também econômico e social. Esta pesquisa teve como objetivo identificar e analisar, por meio de análise SWOT e estudo de casos, as implicações do uso de biodigestores considerando a abordagem da EC. Para isso, optou-se pela adoção da abordagem metodológica qualitativa, na qual, inicialmente levantou os principais artigos referentes aos temas “biogás” e “EC”. Embasado nesta análise bibliográfica, foi estruturado um questionário, que serviu de base para a elaboração da matriz SWOT. Além disso, foram selecionadas duas empresas, de setores distintos, para a realização do estudo de casos, o que possibilitou analisar as diferenças existentes entre as duas abordagens, do uso de biodigestores e suas implicações para a EC. Durante o desenvolvimento desse trabalho observou-se que os participantes da pesquisa identificaram um número maior de facilitadores do que de barreiras, na intersecção dessas duas vertentes. Observou-se também que o maior número de empresas que utilizam a tecnologia de biodigestores faz parte do setor agrário. Os fatores mais relevantes que reforçam esse resultado consistem no fato de que o biogás é uma energia renovável e, o biodigestor propiciar o fechamento do ciclo dos materiais orgânicos, transformando resíduos em insumos. Outros resultados observados são o aumento do poder econômico para as empresas e pessoas que utilizam a tecnologia do biodigestor, a implementação do saneamento básico em áreas remotas e a melhoria na qualidade de vida dos agentes que usam biodigestores. Essa pesquisa mostra que o uso do biodigestor promove a EC, gerando benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Palavras-chave: Economia Circular; Biodigestor; Sustentabilidade; Biogás.

ABSTRACT

The use of biodigesters as a way to drive the Circular Economy (CE), has been gaining many supporters in recent years. Both biodigesters and CE are considered ways to minimize the impacts, not only on the environmental, but also economic and social. This research aimed to identify and analyze, through SWOT analysis and case studies, the implications of the use of biodigesters considering the CE approach. For this, we chose to adopt a qualitative methodological approach, which initially surveyed the main articles on the topics "biogas" and "circular economy". Based on this bibliographic analysis, a questionnaire was structured, which served as a basis for the SWOT matrix elaboration. Beside this, two companies from different sectors were selected to carry out case studies, which made it possible to analyze the differences between the two approaches, the use of biodigesters and their implications for the CE. During the development of this work it was observed that the research participants identified a greater number of facilitators than barriers, at the intersection of these two approaches. It was also observed that the largest number of companies using biodigester technology are in the agricultural sector. The most relevant factors that reinforce this result are the fact that biogas is a renewable energy and that the biodigester provides the closure of the cycle of organic materials, transforming waste into inputs. Other results observed are the increase in economic power for the companies and people who use biodigester technology, the implementation of basic sanitation in remote areas, and the improvement in the quality of life of the agents who use biodigesters. This research shows that the use of the biodigester promotes CE, generating economic, social and environmental benefits.

Keywords: Circular Economy; Biodigester; Sustainability; Biogas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Quantidade de artigos publicados por ano correlacionando os temas biogás e Economia Circular	20
Figura 02 – Rede de coocorrência das palavras-chave.....	25
Figura 03 – Diagrama do sistema da Economia Circular	31
Figura 04 – Esquema da digestão anaeróbica de matéria orgânica complexa.....	34
Figura 05 – Biodigestor modelo indiano.....	38
Figura 06 – Biodigestor modelo chinês.....	49
Figura 07 – Biodigestor modelo canadense.....	40
Figura 08 – Intersecção entre biodigestores e a Economia Circular.....	51
Figura 09 – Resultado do questionário por meio de uma matriz SWOT.....	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Níveis da Economia Circular	29
Quadro 02 – Facilitadores da Economia Circular e biodigestores.....	46
Quadro 03 – Barreiras da Economia Circular e biodigestores.....	48
Quadro 04 – Barreiras e facilitadores do estudo de casos.....	79
Quadro 05 – Comparação das barreiras encontradas na matriz SWOT e estudo de casos com a revisão bibliográfica.....	84
Quadro 06 – Comparação dos facilitadores encontrados na matriz SWOT e estudo de casos com a revisão bibliográfica.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Poder calorífico do biogás	42
Tabela 02 – Identificação dos respondentes ao questionário.....	55
Tabela 03 – Estatística descritiva das afirmativas do questionário.....	66

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Forças e pontos fortes.....	60
Gráfico 02 – Fraquezas e pontos fracos.....	62
Gráfico 03 – Oportunidades.....	63
Gráfico 04 – Ameaças.....	64

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A – Questionário para análise SWOT.....	117
Apêndice B – Protocolo do estudo de casos.....	120
Apêndice C – Roteiro de entrevista.....	125
Apêndice D – Transcrição da entrevista realizada com a empresa A.....	128
Apêndice E – Transcrição da entrevista realizada com a empresa B.....	137

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3R's – Redução, Reutilização e Reciclagem

ANEEL – Agência Nacional de Energia

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Cd – Cádmió

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

DA – Digestão Anaeróbica

EC – Economia Circular

EHS – *Environment, Health and Safety*

GEE – Gases do Efeito Estufa

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

H₂ – Hidrogênio

Kcal - Quilocaloria

Kg – Quilograma

kW - Quilowatt

m - Metro

m³ - Metro Cúbico

MW - Megawatt

N – Nitrogênio

NR12 – Norma Regulamentadora de Segurança do Trabalho em Máquinas e Equipamentos

OMS – Organização Mundial da Saúde

P – Fósforo

PVC – Policloreto de Vinila

RSU – Resíduo Sólido Urbano

SWOT – *Strenghts, Weaknesses, Oportunities, Threats*

TBL – *Triplo Bottom Line*

UE – União Europeia

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Contexto do trabalho.....	17
1.2 Justificativas.....	20
1.3 Formulação do problema de pesquisa.....	23
1.4 Objetivos da pesquisa.....	23
1.5 Estrutura do trabalho.....	24
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	25
2.1 Economia Circular.....	26
2.2 Biodigestores.....	33
3. BIODIGESTOR E ECONOMIA CIRCULAR.....	43
4. MÉTODO DE PESQUISA.....	52
4.1 Procedimento para levantamento e análise SWOT.....	52
4.2 Critério de seleção dos participantes e empresas.....	54
4.3 Procedimento de coleta de dados.....	56
5. RESULTADOS.....	59
5.1 Resultados da análise SWOT.....	59
5.2 Resultados do estudo de casos.....	71
5.2.1 Caracterização da empresa A.....	71
5.2.2 O uso de biodigestores na empresa A.....	72
5.2.3 Caracterização da empresa B.....	74
5.2.4 O uso de biodigestores na empresa B.....	75
5.3 Barreiras e facilitadores identificados.....	79
6. DISCUSSÕES.....	82
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98

8. REFERÊNCIAS.....	102
9. APÊNDICES.....	117

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto do trabalho

Os anos antecedentes a 2020 foram marcados por um crescimento econômico acelerado, e nem sempre devidamente estruturado (BOGOVIC; GRDIC, 2020), pois não foram levados em consideração todos os impactos sociais, econômicos e principalmente ambientais, não sendo mensuradas as suas consequências no desdobramento a longo prazo (MURRAY *et al.*, 2017).

No ano de 2020 a economia global foi fortemente impactada com a pandemia do COVID-19, pois, com o intuito de conter a disseminação do vírus, foram tomadas medidas preventivas que acabaram por destruir os pilares centrais de sustentação das economias mundiais (IBN-MOHAMMED *et al.*, 2021). Pilares esses, que segundo Saar e Yag (2015), são representados principalmente pelo setor financeiro e industrial. Houve uma desaceleração generalizada da atividade econômica, que afetou o setor produtivo e interrompeu as cadeias de suprimentos, desestabilizando os mercados financeiros (BACHMAN, 2020).

A pandemia reforçou a necessidade de uma mudança do modelo de crescimento econômico atual, dando destaque à importância dos conceitos da Economia Circular (EC) (IBN-MOHAMMED *et al.*, 2021), pois impactos causados pelo crescimento econômico devem ser ponderados, e os recursos naturais devem ser gerenciados de uma maneira que não comprometa a integridade ambiental das futuras gerações (DONG *et al.*, 2014).

Embora seja compreensivo que para suprir às demandas do crescimento populacional ocorrido nas últimas décadas, houve a necessidade de uma expansão das áreas urbanas, das áreas agrícolas e de pastagem, do desvio de cursos de águas e aumento do uso de fertilizantes, esses fatores causaram uma perda considerável da biodiversidade, diminuindo a capacidade de sustentação natural dos ecossistemas (FOLEY *et al.*, 2005).

O consumo exacerbado destes recursos naturais tem feito parte de um sistema socioeconômico, denominado de linear, o qual não está mais se sustentando (HYSA *et al.*, 2020). Em resposta a esse ineficiente gerenciamento dos recursos do modelo linear tradicional, alguns governos como aqueles presentes na União Europeia e a China, além de instituições como a Ellen MacArthur Foundation, estão buscando um novo modelo econômico, o qual aponta para a EC (MICHELINI *et al.*, 2017).

A EC emerge como uma proposta que visa transpor a economia linear de extrair-produzir-descartar, que não pondera todos os impactos negativos que podem vir a desencadear (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). A transição de uma economia linear para a EC requer uma nova abordagem de consumo e produção sustentável, sendo necessário reduzir a quantidade de matéria-prima e utilizando de forma mais eficiente, para uma menor geração de resíduos (JABBOUR *et al.*, 2020).

Embora esteja em um estágio inicial de implantação no mundo, a EC constitui-se como importante conceito de pensamento para o desenvolvimento sustentável (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Ao focar principalmente em resíduos urbanos e industriais, ela promove a aplicação dos ciclos fechados de produção, o que promove o aumento da eficiência do uso de recursos e possibilita a dissociação do crescimento econômico da pressão ambiental (GHISELLINI; CIALINI; ULGIATI, 2016).

Outro ponto importante defendido pela EC é o uso de energias renováveis, pois ao contrário da demanda mundial de energia que continua aumentando (IRENA, 2015), as reservas naturais de petróleo e gás natural são finitas (BARROS, 2007) e o seu uso tem sido questionado no período atual. A escassez dessas reservas provavelmente tornará os recursos de energia renovável mais atraentes, a fim de alcançar a sustentabilidade na produção de energia, sendo necessário otimizar todos os recursos energéticos, com o intuito de proteger o meio ambiente (MOHAMMED; AL-BAZI, 2021; DEMIRBAS, 2007).

As fontes de energia e os recursos de nutrientes das plantas, os quais geralmente não eram devidamente considerados, acabaram tendo uma maior atenção com a transição para fontes de energias renováveis (HADIN; HILLMAN; ERIKSSON, 2017). Nesse sentido, Holm-Nielsen, Seadi e Oleskowicz-Poiel (2009) sugerem que os dejetos animais devem ser considerados como recursos importantes para a obtenção de energia renovável e fonte de nutrientes para a agricultura, o que possibilitaria pelo menos 25% de toda bioenergia do futuro ser proveniente do biogás.

O biogás, assim como o biofertilizante, são produtos obtidos por meio da digestão anaeróbica (DA) de material orgânico, ocorrida dentro de um biodigestor, também chamado de digestor anaeróbico (FEIZ; AMMENBERG, 2017). A principal empregabilidade do biogás é gerar eletricidade e calor: como aquecer, operar máquinas ou cozinhar (OKONKWO; ONOKPITE; ONOKWAI, 2018). Para Aboudi *et al.* (2020),

devido a produção do biogás por DA servir como base de sustentação para todos os pilares, ela torna-se relevante para a transição para uma EC. Stanchev *et al.* (2020) corroboram a importância da DA para o processo de transição de uma economia linear para uma EC, evidenciando benefícios diretos no pilar ambiental e indiretos nos demais pilares (social e econômico).

O uso de digestores de biogás em pequena escala mostra-se crescente ao redor do mundo, sendo uma tecnologia muito usada na Ásia, mas também com relatos de uso na América Latina e em algumas regiões da África Ocidental. Na China e na Índia, essa tecnologia tem sido disseminada entre pequenos agricultores, tornando-se uma prática padrão (MWAJE, 2008). Por ser um país agrário, a implantação de biodigestores no Brasil deve ser explorada.

Desde 2010, juntamente com o decreto 10.936 foi implementada a Lei nº 12.305 referente à Política Nacional de Resíduos Sólidos, os quais estimulam a implantação de biodigestores e trazem incentivos para a criação de projetos de biodigestão de resíduos sólidos orgânicos urbanos (BRASIL, 2022). Dessa maneira, já é significativo o uso de biodigestão no Brasil para tratamento do esgoto urbano e se tornando crescente no tratamento de resíduos sólidos de criadouros, principalmente suínos e bovinos (PORTAL DO BIOGÁS, 2020).

Também em 2010, a ELETROSUL e ELETROBRÁS financiaram o Projeto Alto Uruguai, o qual na sua fase inicial contou com a instalação de trinta e cinco biodigestores abastecidos com dejetos suínos no estado de Santa Catarina, próximos à bacia do Rio Uruguai, além da construção de uma usina termelétrica com capacidade de 400kW (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020). Em 2017, ocorreu a segunda fase do projeto, com a construção de mais dez biodigestores e quatro novas usinas termelétricas com capacidade de 250kW cada e, em 2018, Santa Catarina foi o primeiro Estado brasileiro a criar uma lei de biogás (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020).

Em 2013, a Itaipu Binacional e a EMBRAPA firmaram a parceria Rede Biogásfert, um investimento de R\$ 7,5 milhões, que tem como intuito promover o desenvolvimento de pesquisas do biogás como fonte alternativa de energia e renda para agricultores brasileiros, compreendendo o biogás como um produto energético da relevância do etanol e não apenas como um subproduto (ITAIPU BINACIONAL, 2013).

A parceria inclui também a redução na emissão de gases do efeito estufa (GEE) e o uso de biofertilizantes (ITAIPU BINACIONAL, 2013).

1.2 Justificativas

Ao realizar uma pesquisa na base de dados SCOPUS, com os termos “*biogas*” e “*circular economy*”, dentro dos parâmetros: *article title*, *abstract* e *keywords*, com os filtros: *Document Type Article*, *Publication Stage Final*, *Source Type Journal* e *Language English*, obteve-se os resultados apresentados na Figura 1, os quais foram atualizados em março de 2021. Optou-se pela SCOPUS, pois segundo Rodrigues, Taga e Passos (2016) a SCOPUS possui a maior base de dados de literatura científica especializada.

Os resultados obtidos com a revisão sistemática da literatura, observados na Figura 1, mostram o número de artigos publicados por ano de publicação, referente à relação de pesquisas sobre o uso de biodigestores na EC. Pôde-se observar que foi apenas após 2016 que o interesse da academia se tornou mais notório, mas ainda com um pequeno número de artigos publicados. Desde então, o número de publicações mostra-se crescente, chegando a 80 artigos publicados no ano de 2020. Caracterizando a pesquisa como atual, com oportunidades de expansão e de tema relevante para a academia e para a sociedade como um todo.

FIGURA 1 - Quantidade de artigos publicados por ano correlacionando os temas biogás e Economia Circular



Fonte: elaborado pela autora, com base nas informações obtidas na SCOPUS.

Além disso, segundo Velvizhi *et al.* (2020), ainda são poucos os artigos na literatura que discutem o gerenciamento de resíduos sólidos em direção à EC. Entretanto, trabalhos como o de Neves, Converti e Penna (2009), Abad *et al.* (2019) e Xue *et al.* (2019), sugerem o uso de biodigestores como forma de destinação dos resíduos orgânicos, contribuindo de maneira positiva para os princípios da EC.

Segundo Matsakas *et al.* (2017), por apresentar composição química favorável (rico em carboidratos, proteínas e minerais) os resíduos sólidos urbanos têm sido amplamente utilizados como matéria-prima para a DA, a qual requer menos custo de investimento, contribuindo assim para uma EC. Bagheri *et al.* (2020), por meio de análise do potencial de recuperação de energia dos principais resíduos urbanos, concluíram que, embora a EC não tenha sido amplamente adotada, houve um crescimento no interesse em tecnologias capazes de transformar resíduos em energia, como a recuperação de gás de aterro, tratamento térmico e sistemas biológicos.

Tanto a EC quanto o desenvolvimento sustentável buscam mitigar os problemas ambientais, pois a EC torna a sustentabilidade mais provável (SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016). Para Akerman, Humalisto e Pitzen (2020), a EC traz a expectativa de um futuro mais sustentável sem renunciar a prosperidade econômica, pois transforma os processos lineares em um sistema que recicla, processa e renova materiais. Os biodigestores transformam o resíduo orgânico em biogás, que possui benefícios evidenciados nos três pilares da sustentabilidade, seja ele social, econômico ou ambiental.

Embora o Brasil seja um dos maiores produtores de *commodities* agrícolas, assim como os demais países em desenvolvimento, ainda não possui políticas eficazes de gestão de resíduos agroindustriais (FERREIRA *et al.*, 2020). A fonte de renda das comunidades agrícolas do Brasil poderia ser aumentada com a adoção dos princípios da EC, por meio da produção de biogás e biofertilizante, mas falta conhecimento sobre os benefícios da reciclagem de resíduos orgânicos (VAN DER VELDEN *et al.*, 2021). Um exemplo é o resíduo gerado pelo açaí.

O consumo da polpa do açaí está entre 10-20%, o restante é descartado e não ocorre uma destinação adequada para os resíduos agroindustriais remanescentes, o que torna a semente do açaí um lixo urbano e gera grandes inconvenientes para a população (MARTINS *et al.*, 2021).

Por meio da DA, aplicando os conceitos da EC, seria possível transformar esse “lixo” em fonte de bioenergia ou biocombustível, o que aumentaria a relação custo-eficácia da cadeia de abastecimento agroindustrial, e poderia gerar vantagens comerciais e ambientais, como redução de custos, fechamento de ciclos de produção para resíduos e aumento da reutilização e reciclagem (FERREIRA *et al.*, 2020). O resíduo do açaí poderia ser transformado em biogás e posteriormente convertido em energia elétrica e térmica, pois o resíduo do açaí possui alto potencial para produção do metano (MACIEL-SILVA *et al.*, 2021).

Em outubro de 2020 foi inaugurada no Brasil uma das maiores plantas de biogás do mundo, para geração de energia elétrica em escala comercial. O empreendimento pertence a uma empresa privada, que contou com o apoio financeiro do governo. A usina tem a capacidade de abastecer uma cidade com 150 mil habitantes. O insumo utilizado para abastecimento será o subproduto da produção do etanol e do açúcar (BRASIL, 2020).

A expectativa é que o país se torne referência na geração de energias limpas e renováveis. Atualmente, 17% da matriz energética do Brasil é derivada da cana-de-açúcar, com uma meta de 19% até 2030 (BRASIL, 2020). É válido destacar que a União Europeia aprovou a Diretiva UE 2018/2001, que estabelece um consumo obrigatório de energia renovável de pelo menos 32% da energia total até 2030 (EUROPEAN UNION, 2018). No Brasil, 83% da matriz elétrica é originada de fontes renováveis, sendo: 63,8% de hidrelétricas; 9,3% eólica; 8,9% biomassa e biogás e 1,4% solar (BRASIL, 2020).

Para incentivar empreendimentos como essa planta de biogás, citada acima, o governo brasileiro criou a Política Nacional de Biocombustíveis, mais conhecida como *RenovaBio*, instituída pela Lei nº 13.576/2017, a qual estabelece metas nacionais anuais de diminuição na emissão de carbono para o setor de combustíveis, o que pode incentivar a expansão dos biocombustíveis na matriz energética do país, mitigando assim a geração de GEE (BRASIL, 2017).

Conforme apresentado, são poucos os trabalhos que trazem uma visão mais gerencial do uso de biodigestores no contexto da EC. Portanto, diante desta lacuna, justifica-se a realização deste estudo, com o foco de identificar as principais barreiras e facilitadores dessa nova abordagem. Mostrando-se inovador ao adotar, de maneira conjunta, as metodologias de matriz SWOT e estudo de caso para analisar e discutir o uso de biodigestores como uma forma de promover a EC.

Com as implicações desta pesquisa, pretende-se fornecer às empresas, governantes e a população em geral, uma visão mais holística das possibilidades que o uso de biodigestores proporciona, principalmente para a EC, ao identificá-las como uma oportunidade acessível e de impactos positivos para a sustentabilidade e a EC, o que pode contribuir para a tomada de decisões da adoção dessa tecnologia, de forma mais embasada e assertiva.

1.3 Formulação do problema de pesquisa

Embora a análise do uso de biodigestores no contexto da EC ainda seja um tema relativamente novo e pouco explorado, nos últimos anos vem atraindo um interesse crescente da academia e de praticantes (MAGRÍ *et al.*, 2017). Tanto em relação a adoção das práticas da EC, quanto na implantação do uso de biodigestores como parte de um contexto ambiental.

O resultado da análise bibliográfica demonstrou que são poucos os trabalhos que apresentam a interligação entre o uso de biodigestores e a EC, principalmente com uma visão mais gerencial. Diante disso, esse trabalho visa responder à seguinte questão:

Quais as barreiras e facilitadores na adoção dos biodigestores considerando a abordagem da Economia Circular?

1.4 Objetivos da pesquisa

O presente trabalho tem como objetivo geral identificar e analisar as implicações do uso de biodigestores considerando a abordagem da EC. Esse objetivo geral pode ser desdobrado nos seguintes objetivos intermediários:

- (i) Analisar os impactos (vantagens e desvantagens) do uso de biodigestores considerando a abordagem da EC.
- (ii) Identificar as barreiras e os facilitadores do uso de biodigestores no contexto da EC, assim como as influências da integração dessas duas vertentes para a sustentabilidade.
- (iii) Elaborar uma análise SWOT com a participação de especialistas e representantes de empresas, as quais utilizam a tecnologia do biodigestor.

1.5 Estrutura do trabalho

A primeira parte apresentada neste trabalho refere-se a uma introdução, com uma explanação sobre o cenário atual da EC e do uso de biodigestores, com uma breve intersecção entre os dois temas, o problema de pesquisa a ser estudado e a definição dos objetivos para a realização desse estudo.

No segundo capítulo é apresentada a revisão teórica da literatura, primeiramente de maneira isolada a EC e os biodigestores. No terceiro capítulo, optou-se por um capítulo exclusivo para a revisão teórica da literatura que traz a intersecção entre os dois temas de pesquisa, o uso de biodigestores dentro da EC.

O quarto capítulo apresenta de forma detalhada o método de pesquisa utilizado para a realização desse estudo. Estando subdividido em: metodologia; critério de seleção; procedimento de coleta de dados e procedimento de análise de dados.

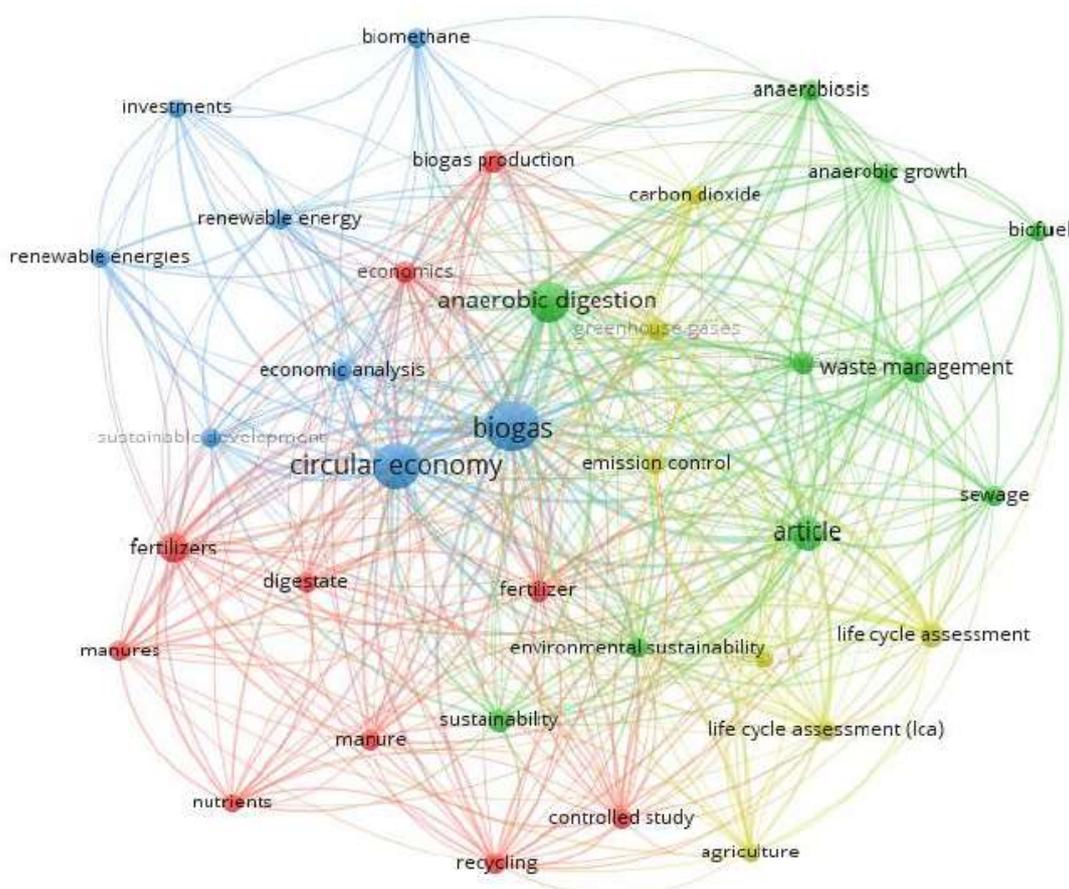
No quinto capítulo foram apresentados os resultados, estando eles divididos em: resultados da análise SWOT; resultado do estudo de casos e barreiras e facilitadores identificados. O sexto capítulo traz as discussões dos resultados encontrados.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões finais desse trabalho, alinhadas aos objetivos propostos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para a execução desse trabalho foi realizada uma revisão sistemática da literatura na base de dados SCOPUS em março de 2021, utilizando diversos termos relacionados aos temas de estudo, tais como: *biodigester*, *biogas*, *biofertilizer* e *circular economy*. Conforme demonstrado na Figura 2, com a utilização do *software* VosViewer, pôde-se observar que os termos mais pertinentes são: *biogas* e *circular economy*.

FIGURA 2 – Rede de coocorrência das palavras-chave



Fonte: elaborado pela autora.

Na Figura 2, nota-se que o *cluster* azul apresenta os principais termos: “*circular economy*” e “*biogas*”. Entretanto, outros termos também se destacam, como por exemplo: “*renewable energy*”; “*renewable energies*”; “*biomethane*”; “*sustainable development*”; e “*economic analysis*”. Os termos “energia renovável” e “energias renováveis”, foram

apresentados de forma separada e, mesmo assim possuem forte grau de importância. Juntos seriam ainda mais representativos no *cluster*. O *cluster* apresenta as conexões entre a energia renovável, a EC, o biogás e o desenvolvimento sustentável, e como esses termos estão interligados. A princípio o termo análise econômica mostra-se como algo inesperado, mas está se relacionando com todos os principais termos do *cluster*.

Destaca-se ainda que o *cluster* azul possui forte relação com o *cluster* verde, onde os principais termos são: “*anaerobic digestion*”; “*waste management*”; e “*sewage*” (Figura 2), outros termos importantes nos artigos referentes a biodigestores e EC. Em destaque o termo “esgoto”, pois muitos trabalhos identificam a importância do uso de biodigestores, para tratamento das águas residuais municipais e a possibilidade de saneamento básico em áreas distantes, apoiando a EC.

Verifica-se também que na Figura 2, entre os *clusters* azul e verde, está o *cluster* vermelho, e os seus principais termos são: “*fertilizers*”; “*fertilizer*”; “*digestate*”; “*biogas production*”; e “*economics*”. Do mesmo modo que o ocorrido no *cluster* azul, no *cluster* vermelho os termos “fertilizante” e “fertilizantes” aparecem separados. Por terem o mesmo significado, deve-se analisar a figura com os termos unidos, aumentando suas forças dentro do *cluster*. O *cluster* vermelho possui forte relação com os demais *clusters*. O que evidencia a importância desses termos para o uso de biodigestores na EC.

Embora o *cluster* amarelo possua termos importantes como “*life cycle assessment*” e “*agriculture*”, ele possui pouca interação com o *cluster* azul (*cluster* no qual estão localizados os principais termos). O *cluster* amarelo possui maior interação com o *cluster* verde, por meio de termos como: “*greenhouse gases*”, “*emission control*” e “*carbon dioxide*” (Figura 2).

Este capítulo apresenta aspectos teóricos relativos à Economia Circular (EC) e aos biodigestores.

2.1 Economia Circular

Durante a revolução industrial ocorreu um crescimento econômico expressivo, mas nem sempre foi acompanhado de planejamento e estruturação, que levasse em consideração todos os impactos ambientais e sociais (SCHOT; KANGER, 2018). Entretanto, em meados do século XX, de forma ainda embrionária, as indústrias

começaram a enxergar a necessidade de uma maior orientação para um desenvolvimento sustentável (BOCKEN *et al.*, 2017).

Desta forma, surgiu os primeiros indícios dos conceitos de uma EC dentro da indústria, como forma de integrar as atividades econômicas e o meio ambiente, maximizando a produção, os recursos e o reprocessamento, para um maior bem-estar humano (MURRAY *et al.*, 2017). Segundo Murray *et al.* (2017), se iniciava a compreensão de que um futuro sustentável dependeria de um pensamento igualitário entre sociedade, meio ambiente e economia.

No decorrer da história há diversas escolas distintas de pensamento precursoras da EC, entre elas a Economia de Performance, *Design Regenerativo*, *Cradle to Cradle*, Ecologia Industrial, Biomimética e a *Blue Economy*, as quais são constituídas por acadêmicos, líderes intelectuais e representantes empresariais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

Acompanhando essa linha de pensamento de interação entre a sociedade, o meio ambiente e a economia, em 1966 o economista Kenneth Boulding publicou o seu ensaio: *The Economic of the Coming Spaceship Earth*, que mostrava interesse no padrão observado em sistemas naturais e suas interações com os processos produtivos, transpondo a lógica de ecossistemas naturais para ecossistemas industriais, o que com o tempo abriria passagem para os conceitos da EC (BOCKEN *et al.*, 2017).

Desde o final da década de 1970, a Economia de Performance e suas aplicações práticas para os sistemas econômicos modernos e processos industriais adquiriram uma nova dinâmica, pois em 1976, Walter Stahel, em seu relatório de pesquisa para a Comissão Europeia, “*O potencial de substituir mão de obra por energia*”, demonstrou a visão de uma economia em ciclos e seu impacto na criação de emprego, competitividade econômica, redução de recursos e prevenção de desperdícios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

Outra importante publicação para essa nova dinâmica foi o artigo publicado pelos físicos Robert Frosch e Nicholas Gallopoulos, em 1989 na *Scientific American*, no qual já traziam os conceitos introdutórios da EC conhecidos atualmente. O artigo de título, *Strategies for Manufacturing: Wastes from one industrial process can serve as the raw materials for another, thereby reducing the impact of industry on the environment*,

reafirmava a simbiose existente entre os ecossistemas industriais e os biológicos (FROSCH; GALLOPOULOS, 1989).

Originando-se a partir dos princípios da Ecologia Industrial, por meio do pensamento de ciclos fechados de materiais e uso de matéria-prima e energia em múltiplas fases consecutivas (YUAN *et al.*, 2006), o termo “Economia Circular” foi mencionado pela primeira vez em 1990, pelos economistas David Pearce e Kerry Turner, durante a disciplina de Ecologia Industrial, em que descreveram as interações da economia e do meio ambiente em um sistema fechado (ANDERSEN, 2007).

Ainda na década de 90, dando continuidade ao termo “*Cradle to Cradle*” do final da década de 70 de Walter Stahel, os conceitos da EC começaram a ganhar maior aderência e relevância com a publicação do trabalho “*Cradle to Cradle: Remaking the Way we Make Things*” de Willian McDonough e Michal Braungart (THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013).

Em 1996 a Alemanha iniciou uma abordagem voltada ao fechamento dos ciclos, por meio do “*The Closed Substance Cycle and Waste Manangement Act*”, com tradução aproximada: “*O Ciclo Fechado de Substâncias e a Lei de Gestão de Resíduos*”. O qual em 2012 passou a ser conhecida como “*Circular Economy Act*”, cuja tradução aproximada seria: “*Ato para a Economia Circular*” (DORNACK, 2017).

A Comissão Europeia, publicou em 2014 o primeiro relatório que trouxe o conceito de EC. O documento intitulado “*Para uma Economia Circular: programa para acabar com os resíduos na Europa*” enfatizava práticas ligadas à gestão e gerenciamento de resíduos, entre elas a reutilização e reciclagem (COMISSÃO EUROPEIA. 2014).

No ano seguinte, esta comissão publicou um segundo relatório, intitulado “*Fechar o ciclo: plano de ação da União Europeia para a Economia Circular*”. Nele foram mostradas medidas mais abrangentes, incluindo a concepção de produtos, o processo de produção, o consumo, a gestão de resíduos, matérias-primas secundárias e reutilização dos recursos hídricos, definindo também o monitoramento dos avanços em relação a EC (COMISSÃO EUROPEIA, 2015).

Segundo Sauvé, Bernard e Sloan (2016), o conceito da EC está se consolidando por oferecer estratégias claras para solucionar os problemas ambientais, comparando-o com os processos ocorridos em ambientes naturais, em que pouco é desperdiçado e a maior parte é recuperada por outra espécie. Segundo os autores, conforme demonstrado

no Quadro 1, diferentemente do desenvolvimento sustentável que é definido no nível macro, a EC é definida principalmente no nível micro, por meio de um modelo de consumo e produção, o que a torna uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável.

QUADRO 1 - Níveis da Economia Circular

Nível da EC	Campo de atuação	De que maneira	Com qual objetivo
Micro	Empresa ou setor (independente)	- Redução de resíduos; - Otimização de recursos	- Produção mais limpa; - Redução da pegada ambiental
Meso	Interações entre empresas ou setores diferentes	- Subproduto de um setor torna-se recurso bruto para outro setor	- Indústria ecológica
Macro	Sociedade como um todo	- Produção e consumo tornam-se interligados	- Integração dos incentivos à EC

Fonte: adaptado de Sauv e, Bernard e Sloan (2016).

Segundo Kirchherr *et al.* (2017), visando alcançar o desenvolvimento sustentável, a qualidade ambiental, a prosperidade econômica e equidade social, para benefício das gera es atuais e futuras, a EC   um sistema econômico que substitui o conceito de “fim de vida” por redu o, reutiliza o, reciclagem e recupera o, operando nos três níveis (micro, meso e macro).

Considerando que o principal conceito da EC   o alinhamento dos objetivos ambientais com os econômicos, para que haja a transforma o de produtos e subprodutos manufaturados em recursos para outras indústrias (ZHU *et al.*, 2010), para Ghisellini, Cialani e Ulgiati (2016) a EC foi embasada nos princípios dos 3R’s (Redu o, Reutiliza o e Reciclagem), pois a sua estrutura o tem o objetivo de manter no sistema a circula o dos materiais. Os princípios dos 3R’s são:

- Princípio 1 – Redu o: uma melhor eficiência produtiva (também conhecida como ecoeficiência), através da minimiza o da entrada de energia primária e matérias-primas. Incentivando uma forma mais consciente de produ o e consumo, prolongando a vida útil dos produtos (SU *et al.*, 2013).

- Princípio 2 – Reutilização: produtos ou componentes que não sejam resíduos são utilizados novamente para o mesmo fim para que foram concebidos (DIRECTIVE, 2008), aumentando a eficiência geral dos recursos e criando novos ciclos de uso (RANTA; AARIKKA-STENROOS; MÄKINEN, 2018) e, diminuindo a energia empregada, a mão de obra e os recursos naturais (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).
- Princípio 3 – Reciclagem: refere-se a “qualquer operação de recuperação pela qual os resíduos são reprocessados em produtos, materiais ou substâncias para seus fins originais ou outros” (DIRECTIVE, 2008), reduzindo assim o consumo de materiais virgens, através do processamento de produtos e componentes em novos produtos (SU *et al.*, 2013). Segundo Stahel (2013), por ser limitada pela lei natural da entropia, a reciclagem é o princípio menos sustentável.

Em 2017 outro relatório publicado descreveu os avanços atingidos pelo Plano de Ação discriminado em 2015 pela União Europeia, entre outras observações estava que o plano de ação contribuiu para a disseminação da EC (COMISSÃO EUROPEIA, 2017).

Para Geissdoerfer *et al.* (2018) a EC é um sistema regenerativo, no qual a entrada de recursos e os desperdícios são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento de *loops* de material e energia. Além de fornecer uma nova perspectiva para a gestão dos resíduos e recursos, ela estimula discussões e reflexões de pesquisas para o desenvolvimento dos setores industriais (BLOMSMA; BRENNAN, 2017).

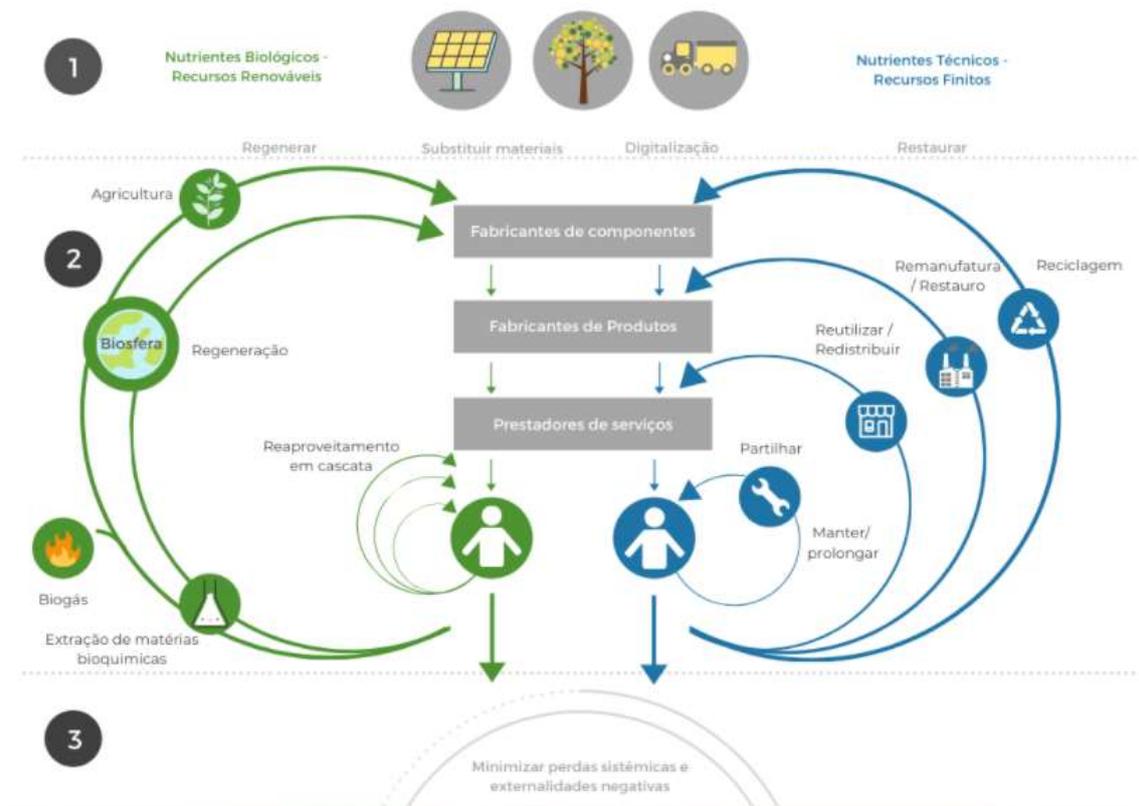
A EC não é necessariamente um conceito disruptivo, e sim um reequilíbrio dos processos industriais e hábitos de consumo, o qual promove um modelo viável para atingir a sustentabilidade econômica e ambiental, por meio de uma abordagem dinâmica e integrativa (JESUS e MENDONÇA, 2018).

Para Cooper (1999), a transposição do modelo de economia linear, a qual considerava os recursos naturais ilimitados e capacidade infinita de absorção de resíduos pelo meio ambiente, para uma EC, está muito além de opcional ou sazonal, mas essencial para dar-se continuidade ao processo mundial no qual os seres humanos e meio ambiente estão inseridos. Não se limitando a ajustes e redução dos impactos negativos, mas uma mudança sistêmica, que constrói resiliência em longo prazo, gera oportunidades

econômicas e de negócios e proporciona benefícios ambientais e sociais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020). Mas para que isso ocorra, a EC deve fornecer incentivos econômicos para garantir que produtos pós consumo sejam reintegrados no processo de fabricação e ocorra uma sinergia de alimentação das atividades industriais (MORSELETTO, 2020).

Como apresentado na Figura 3, segundo a definição da Ellen MacArthur Foundation (2020), a EC é composta por nutrientes biológicos (recursos renováveis) e nutrientes técnicos (recursos finitos). Em um contexto geral, o diagrama evidencia a função do ser humano em minimizar as perdas sistêmicas e externalidades negativas. Apresentando também, entre os recursos renováveis, a produção do biogás por meio da digestão anaeróbica.

FIGURA 3 - Diagrama do sistema da Economia Circular



Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2020.

Alguns conceitos da EC mostram-se contraditórios, pois ao mesmo tempo em que um dos pilares principais é o uso de energia renovável, a remanufatura, a reutilização, a

reciclagem e a virtualização dos produtos necessitam de grande quantidade de energia (KORHONEN; HONKASALO; SEPPÄLÄ, 2018). Deve-se considerar também que os fluxos circulares de materiais possuem um limite, pois em determinado momento o custo ultrapassará os benefícios. Além disso, geralmente é mais caro aumentar a vida útil de um bem de consumo (SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016).

Embora as práticas da EC tragam benefícios sociais, como a geração de novos empregos em um novo campo de mercado, que são as atividades de fechamento de ciclo, uma maior integração da comunidade com um todo e uma oportunidade mais equitativa de acesso a bens e serviços, em países que não haja um substancial apoio governamental ou leis para a implementação dessas práticas, cabe aos proprietários e acionistas de empresas assumirem esse papel (JABBOUR *et al.*, 2020).

De acordo com Ritzén e Sandstrom (2017), existem cinco barreiras principais para a adoção da EC: (i) Financeira, pelas dificuldades em medir os benefícios financeiros e o baixo custo de muitos materiais virgens; (ii) Estrutural, devido às dificuldades de comunicação em toda a cadeia de abastecimento, e falta de clareza quanto às responsabilidades dos diferentes departamentos; (iii) Operacional, por causa da falta de capacidade operacional e infraestrutura necessárias para adotar a EC; (iv) Atitudinal, pois as pessoas têm uma compreensão superficial da EC e não percebem a sua importância; (v) Tecnológico, devido às dificuldades em integrar a EC ao *design* do produto e aos processos de produção ou falta de acesso à tecnologia apropriada, como falta de tecnologia para rastrear resíduos e emissões de produtos.

Para Jesus e Mendonça (2018), uma das maiores barreiras para a adoção da EC são os gargalos técnicos, sendo necessário um aprimoramento das soluções tecnológicas e um menor custo dessas tecnologias, para que seja viável a expansão da EC, tornando aecoinovação um caminho importante na superação dessas barreiras. Outra barreira identificada na implementação da EC no nível organizacional, foi a dificuldade de comunicação entre os departamentos e a falta de clareza do papel de atuação de cada departamento dentro da empresa (JABBOUR *et al.*, 2020).

Akerman, Humalisto e Pitzen (2020) trazem o questionamento relevante de que a aparência simples e atraente da EC tenha sido criada por ideais políticos ao invés de investigações críticas, abrangendo uma fração relativamente pequena de materiais

recicláveis, pois 44% do rendimento da economia global está baseado em minerais e combustíveis que se dissipam e, infelizmente, não podem ser reaproveitados.

Diante disso, compreende-se que a EC defende a biomimética, a avaliação dos serviços ecossistêmicos, a bioeconomia e a energia renovável, entretanto, cada um deles tem seu próprio conjunto de conflitos com a proteção da biodiversidade e se não forem planejados adequadamente, podem levar à perda da mesma (BUCHMANN-DUCK; BEAZLEY, 2020).

2.2 Biodigestores

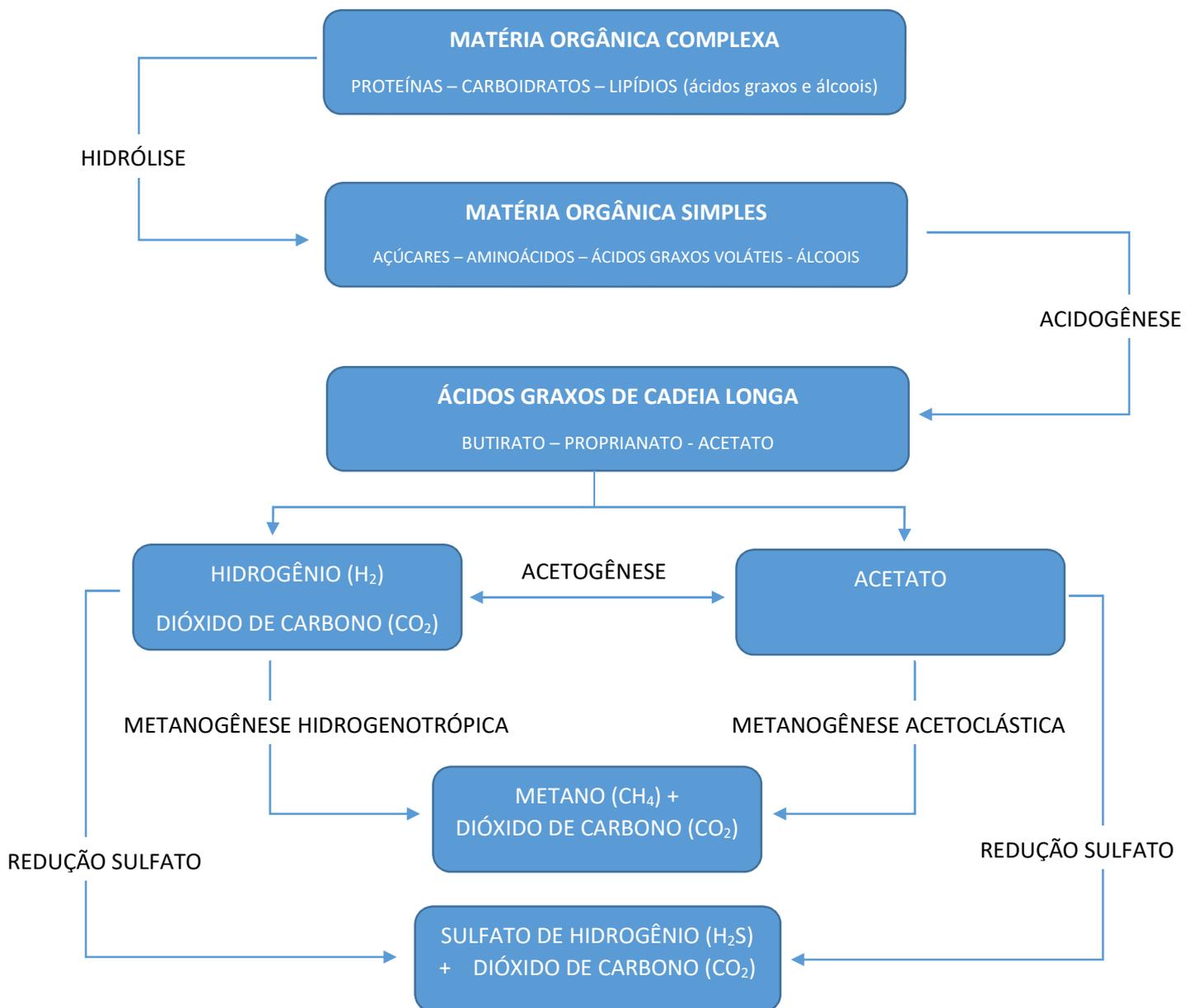
Biodigestores, também conhecidos como digestores, são equipamentos utilizados há muitos anos e têm como principal função a produção de biogás e biofertilizante (OLIVER, 2008). Segundo Sganzerla (1983), as primeiras citações do uso de biodigestores colocados em funcionamento regular, ocorreu na Índia, em Bombaim, no início do século XIX.

Existem dois tipos de biodigestores: os aeróbicos, que trabalham com a presença de oxigênio e os anaeróbicos, que trabalham com a ausência de oxigênio. Existem ainda os modelos mistos de biodigestores, os quais utilizam biodigestores aeróbicos e anaeróbicos, no mesmo sistema (PEDROZA *et al.*, 2010). Neste trabalho, utilizaremos para estudo os modelos anaeróbicos.

Os biodigestores anaeróbicos são câmaras herméticas, sem entrada de oxigênio, os quais são abastecidos com material orgânico, ocorrendo no seu interior a metabolização da matéria orgânica através de bactérias anaeróbicas. Durante a transformação dos compostos orgânicos complexos em compostos simples, ocorre a liberação do biogás e produção de insumos orgânicos na forma de biofertilizantes (GASPAR, 2003). Eles podem ser abastecidos com qualquer material orgânico, como biomassa, resíduos alimentares, processos industriais e agrícolas, permitindo a fermentação anaeróbica contínua dos resíduos (ZHANG *et al.*, 2007).

A Figura 4 mostra o processo de DA ocorrido dentro de um biodigestor. Este procedimento é complexo e se divide em quatro reações principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (MATSAKAS *et al.*, 2017).

FIGURA 4: Esquema da digestão anaeróbica de matéria orgânica complexa



Fonte: adaptado de Gujer e Zehnder (1983).

A hidrólise é a etapa limitante de todo o processo ocorrido, nela os polímeros (particulados complexos) são desedificados em materiais dissolvidos, de menor peso molecular (moléculas menores), facilitando a ação das bactérias fermentativas (SILVA, 2012).

Na acidogênese, os produtos da hidrólise são transportados para o interior da célula, onde são convertidos em ácidos graxos voláteis (hidrogênio - H₂ e dióxido de carbono - CO₂), a proporção de geração depende da pressão parcial de H₂. Quando a

pressão está baixa, gera acetato e H₂, sendo este o processo metabólico energético mais rentável (CARNEIRO, 2009).

Na acetogênese ocorre a preparação do substrato que será utilizado na metanogênese, por meio de dois grupos de bactérias: as bactérias acetogênicas consumidoras de hidrogênio (homoacetogênicas), que produzem acetato e liberam energia e, as bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio (sintróficas), por meio da oxidação dos ácidos graxos em acetato e hidrogênio (GUJER; ZEHNDER, 1983).

A metanogênese é a fase final da DA, é nesta fase que ocorre a formação do biogás. Nela as bactérias transformam o H₂ e o CO₂ em metano (CH₄), ocorrendo a formação de microbolhas de CH₄ e CO₂ em torno das bactérias metanogênicas, separando-a do composto. Por isso, recomenda-se que nesta fase seja realizada uma agitação do composto, movimentando o gasômetro ou as pás do digestor (ARRUDA *et al.*, 2002).

Matsakas *et al.* (2017) incluem outros compostos que são produzidos durante a digestão, tais como: compostos de enxofre (sulfeto de hidrogênio e alquiltióis), amônia, álcoois, compostos carbonílicos (incluindo aldeídos e cetonas), ácidos carboxílicos (como ácido fórmico e ácido acético), terpenos e compostos aromáticos.

O digerido é o último resíduo da produção de biogás através da DA (LAWAL-AKINLAMI e SHANMUGAM, 2017). O qual pode apresentar diferentes composições químicas e propriedades físicas, tais como: digestado bruto (digestado pós-digeridos e armazenados); digestado desidratado (fração sólida) e frações líquidas (proveniente da desidratação) (GUILAYN *et al.*, 2019).

Devido as transformações químicas ocorridas com a matéria orgânica, dentro do biodigestor, o biofertilizante é utilizado como material corretivo para melhorar a qualidade do solo, corrigir a acidez, condutividade hidráulica, facilitar a absorção da água e evitar erosões, além de não possuir odor e não ser poluente, pois encontra-se em estágio final de cura (ASO, 2020). Ao contrário do dejetos animal sem tratamento, o biofertilizante promove a saturação de carbono no solo (ARVANITOYANNIS *et al.*, 2016).

As qualidades e características do biofertilizante variam conforme as características da matéria-prima, o tipo de biodigestor e as opções de tratamento (HUTTUNEN; MANNINEN e LESKINEN, 2014). O uso de biofertilizante também pode trazer consequências negativas, pois a complexidade dos biofertilizante, associada a

grande diversidade de solos e suas particularidades, dificulta a otimização dos benefícios e a minimização dos riscos de contaminação, podendo comprometer a segurança alimentar (DAHLIN *et al.*, 2016).

Dahlin *et al.* (2016), comparam a concentração de cádmio (Cd) em grãos de trigo de terras adubadas com biofertilizantes e terras adubadas de maneira tradicional, e verificam que o uso inapropriado de Cloro em solos com material digerido aumentando significativamente a concentração de Cd nos produtos cultivados. Em relação aos grãos de trigo, o nível de Cd é superior ao recomendado pela OMS (Organização Mundial da Saúde) para a ingestão alimentar.

Segundo Tien *et al.* (2017), não se deve utilizar biofertilizante proveniente de fezes de animais que fazem uso de antibiótico, pois os genes resistentes aos antibióticos irão permanecer no digerido. Da mesma maneira, por ter uma grande quantidade de amônia nos digeridos, antes da aplicação em solos alcalinos é necessário um pré-tratamento adequado (KÖNINGER *et al.*, 2021).

O uso inadequado de dejetos como fertilizantes no Brasil ocasiona queima das plantas, poluição ambiental, sequestro de nitrogênio para decomposição da celulose, que está presente em grande quantidade no esterco, o que causa a deficiência nas plantas, disseminação de sementes de plantas daninhas, além de conter microrganismos patogênicos (WINROCK, 2008).

Os biodigestores foram trazidos para o Brasil na década de 70, devido à crise do petróleo, como uma fonte alternativa de geração de energia com o objetivo de estimular o uso do biogás. Os principais modelos implantados, inicialmente, no Brasil foram o chinês e o indiano. Sendo o modelo indiano de fácil funcionalidade, pois se adapta facilmente ao clima local, mantém a pressão constante no interior do biodigestor e há uma maior produção de biogás (SGANZERLA, 1983).

A principal empregabilidade dos biodigestores está concentrada na agropecuária e o modelo mais difundido no Brasil é o canadense, feito de manta de PVC, principalmente devido ao desenvolvimento desse modelo pelo setor privado para a comercialização, com o apoio de universidades e entidades de pesquisa (OLIVER *et al.*, 2008).

Segundo Schmidell e Facciotti (2001), o biodigestor, também chamado de reator biológico, pode ser classificado de acordo com a sua forma de operação: biodigestores de

fluxo contínuo e biodigestores de fluxo não contínuo, também denominado de biodigestor de batelada.

- Contínuo – possui alimentação contínua e vazão constante, mantendo constante o volume de reação. Estabelecendo um fluxo contínuo de líquidos no biodigestor, ou biodigestores em série. O líquido fermentado pode ser submetido a um sistema de separação de microrganismos: por sedimentação, centrifugação ou separação por membranas). Garantindo a flexibilidade da operação (QUADROS *et al.*, 2010).

- Semicontínuo – utilizado quando a disponibilidade de matéria orgânica for sazonal. Diferencia-se do descontínuo alimentado devido a retirada de uma fração do líquido fermentado e, preenchimento praticamente instantâneo do reator com vazão elevada. O líquido fermentado não retirado serve como inóculo ao meio de fermentação adicionado. Alguns autores não reconhecem o sistema semicontínuo, pois em biodigestores muito grandes, a possibilidade de preenchimento instantâneo é muito baixa, ocasionando um sistema descontínuo alimentado (SAGULA, 2017).

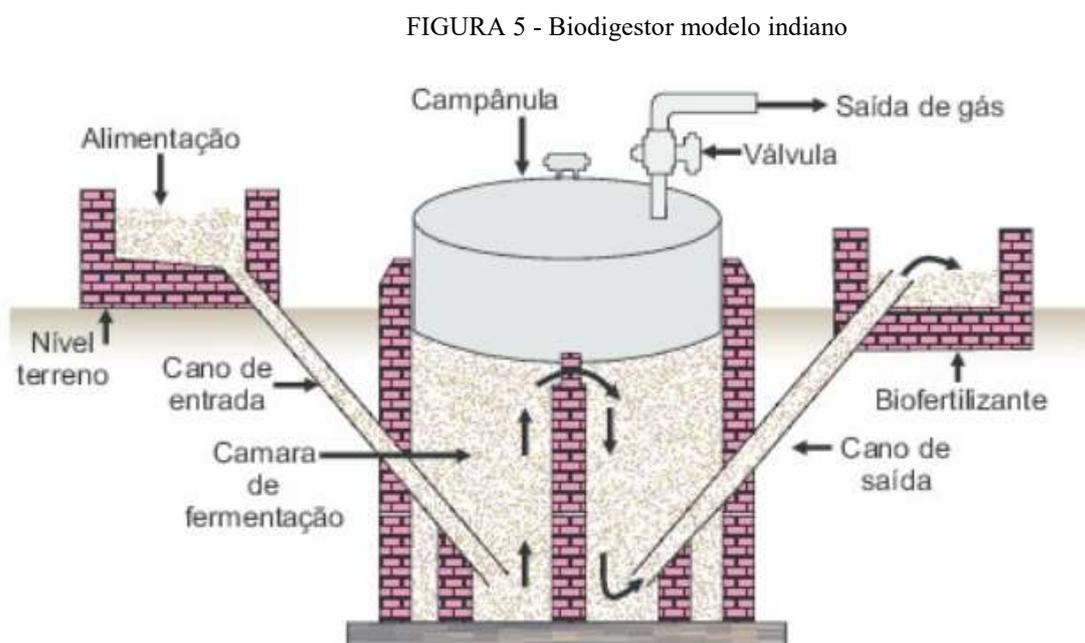
- Descontínuo simples (ou biodigestor de batelada) – embora seja pouco utilizado, devido a sua baixa produtividade, é indicado para materiais orgânicos de decomposição lenta e com longo período de produção. Prepara-se um meio de cultura adequado à nutrição e desenvolvimento de microrganismos, o qual deve ser colocado no biodigestor junto com o microrganismo responsável pelo processo biológico. Passado o tempo estimado de fermentação, retira-se o material remanescente do biodigestor e realiza as operações necessárias para a recuperação do produto. Em seguida o biodigestor deve ser lavado, esterilizado e recarregado (SAGULA, 2017).

- Descontínuo alimentado – introduz-se o inóculo no biodigestor, uma fração de 10 a 20% do volume total do biodigestor, depois inicia-se a alimentação com o meio de cultura, com uma vazão adequada e sem ocorrer a retirada do líquido fermentado, até o preenchimento do volume útil do biodigestor. Em seguida inicia-se a retirada do caldo fermentado para a recuperação do produto. Não é necessariamente obrigatório que se alimente o reator com vazão constante e, as características do microrganismo deverão permanecer ativas no sistema, caso contrário o processo deverá ser interrompido, para se reiniciar com um novo inóculo (ZDRADEK, 2005).

Os biodigestores são classificados conforme o modelo, e segundo Castanho e Arruda (2008), os principais modelos de biodigestores utilizados mundialmente são: indiano, chinês e o canadense.

O modelo indiano é de abastecimento contínuo, conforme ilustrado nas Figura 5, ele é caracterizado por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa ou em um selo d'água externo e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Uma das vantagens desse modelo é a sua campânula flutuante, a qual permite manter a pressão de escape do biogás constante, não sendo necessária a regulação constante dos aparelhos que utilizam metano. A sua desvantagem é o preço da construção da campânula, que normalmente é moldada em ferro (SGANZERLA, 1983). Esse modelo foi bem difundido no Brasil e, para tornar o preço mais acessível, a campânula de ferro foi substituída pela fibra de vidro.



Fonte: Fonseca *et al.* (2009).

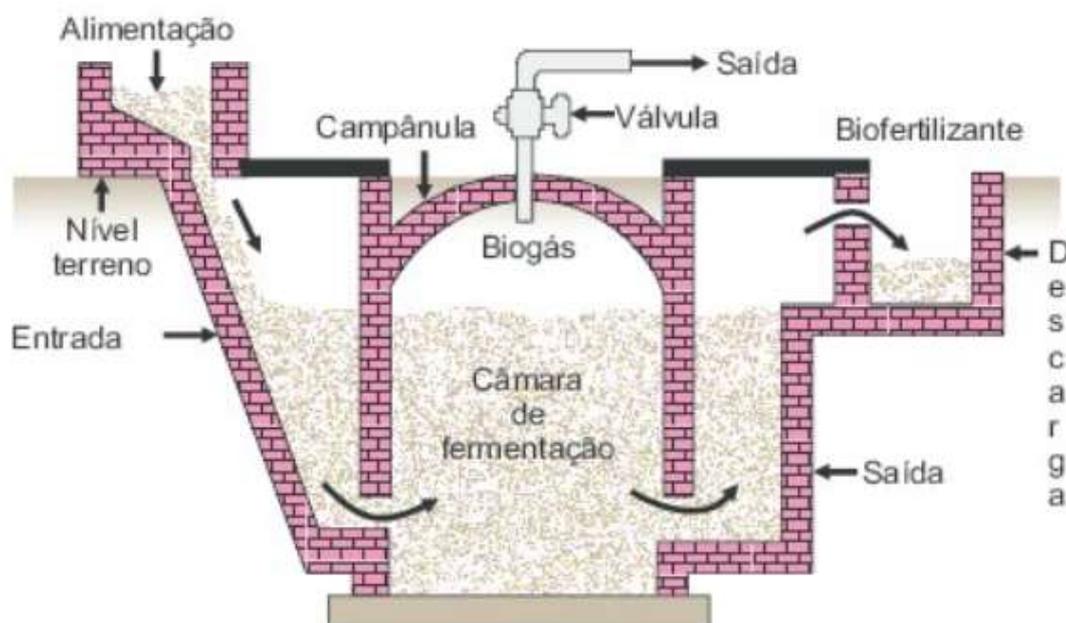
O modelo chinês, apresentado na Figura 6, também é um modelo de abastecimento contínuo. Constituído por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, teto impermeável e abobado para armazenamento do biogás. Tem funcionamento com base no princípio da prensa hidráulica, portanto com o aumento da pressão interna, devido ao

acúmulo de biogás ocasionará deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário no caso de descompressão (ANDRADE *et al.*, 2012).

Sua vantagem é o menor custo, devido ser construído de alvenaria e não necessitar de um gasômetro em chapa de aço, entretanto, pode ocorrer vazamento se não for bem vedado e impermeabilizado. Não são indicados para construções de grande porte, devido uma parcela do gás ser liberada para a atmosfera (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

O funcionamento desse biodigestor normalmente é com alta pressão, o que pode variar em função da produção e consumo do biogás, sendo necessário uma câmara de regulagem que permita trabalhar com baixa pressão (GASPAR, 2003). O autor ressalta a importância da impermeabilização nas paredes internas e externas, para que não haja infiltração de água pluvial ou do lençol freático. A profundidade do biodigestor é proporcional ao seu diâmetro, ou seja, quanto menor a profundidade, maior deverá ser o diâmetro.

FIGURA 6 - Biodigestor modelo chinês



Fonte: Fonseca *et al.* (2009).

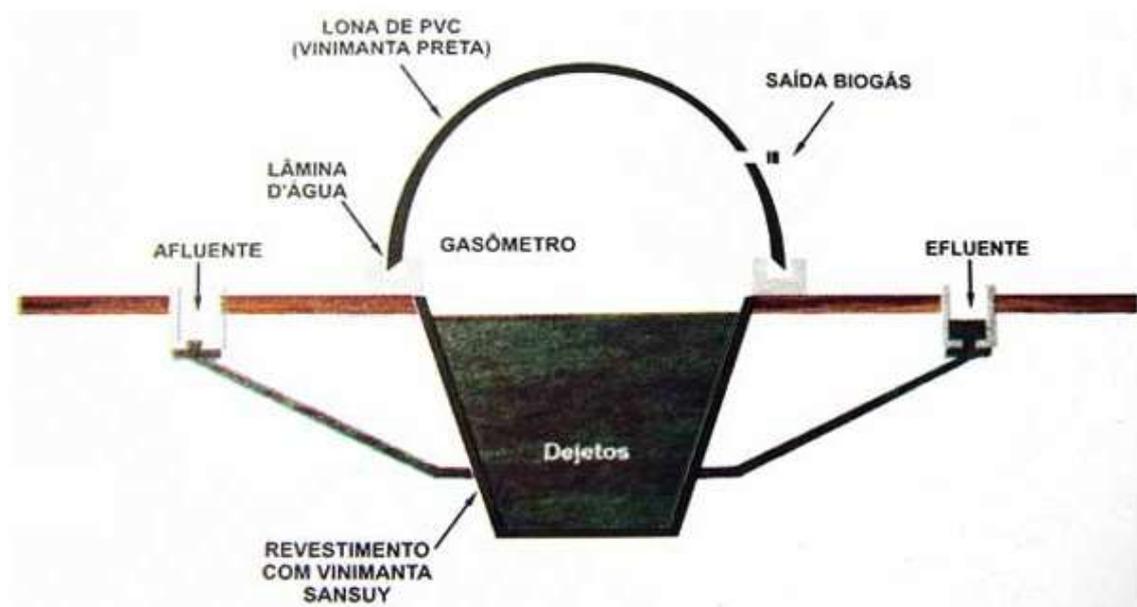
Os dois modelos, indiano e chinês, apresentam desempenhos semelhantes. Sendo necessário um abastecimento contínuo, com uma concentração de sólidos totais em torno

de 8%, evitando o entupimento do sistema de entrada e facilitando o sistema de circulação (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

Segundo GASPAR (2003), o modelo indiano oferece algumas vantagens em relação ao modelo chinês, pois ele pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo, não sendo necessário estabelecer medidas fixas para o diâmetro e profundidade, apenas manter a relação da capacidade do tanque digestor e da campânula.

O modelo canadense, ou modelo da marinha, também conhecido como biodigestor de fluxo tubular (Figura 7), pode ser de fluxo contínuo ou de batelada. Esse modelo apresenta o menor custo de instalação, devido a sua construção simples e a substituição das campânulas metálicas ou de fibra de vidro por PVC (CALZA *et al.*, 2015).

FIGURA 7 - Biodigestor modelo canadense



Fonte: Oliver *et al.* (2008).

Esse modelo pode ser utilizado em pequenas ou grandes propriedades. Embora o biogás apresente pouca pressão, para uma maior segurança, deve ser instalado a uma distância mínima de 10 metros de outras edificações (OLIVER *et al.*, 2008).

Durante a realização do processo de produção do biogás (de 40 a 60 dias, dependendo do tamanho), a cúpula infla, por isso a necessidade de ser de um material flexível. Importante destacar que a largura tem que ser maior que a profundidade da vala.

Embora o modelo canadense possua uma tecnologia mais simples, ele é mais moderno e avançado se comparado aos demais modelos (NEVES, 2010).

Para que se possa escolher de maneira assertiva o modelo do biodigestor a ser implantado, deve-se levar em consideração a finalidade do biodigestor, as condições climáticas, o espaço físico disponível e o tipo de substrato com o que o biodigestor será abastecido (ICLEI, 2009). Para a avaliação do local de instalação se deve considerar: as características do solo, facilidade na obtenção de insumo, preparo e armazenamento da biomassa, facilidade na remoção e utilização do biofertilizante, distância de utilização do biogás, preferencialmente em locais quentes e com pouca chuva (WINROCK, 2008).

O uso do biodigestor proporciona diversos benefícios ao meio ambiente, como por exemplo: tratamento adequado dos resíduos orgânicos, saneamento básico para a zona rural, mitigação das emissões de GEE, redução do corte de árvores para geração de energia, descontaminação do meio ambiente, redução da mortalidade dos animais de criação em cativeiro, redução do custo energético, diminuição do mau odor gerado pelos dejetos e geração de biogás, uma importante fonte de energia renovável (AMON *et al.*, 2007), neutralização das ervas daninhas e redução do teor de nitrogênio solúvel no estrume e outros nutrientes (AKERMAN; HUMALISTO; PITZEN, 2020).

Segundo Neves, Converti e Penna (2009), o uso de biodigestores proporciona impactos positivos na economia, sociedade, ecologia e meio ambiente. Os autores justificam essa afirmação, como um dos fatores principais, o aumento do poder econômico com a venda do biogás, uma fonte de energia renovável e limpa, que não polui o meio ambiente.

Por exemplo, a cada 1m³ de esterco suíno, tratado por DA em um biodigestor, obtém-se: 0,97 m³ de água, 49,4 Kg de biofertilizante e 5,33 m³ de biogás (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017). Aumentando assim a eficiência dos recursos e minimizando a geração de resíduos.

O estudo realizado por Barampouti *et al.* (2019) referente a geração de biocombustíveis (sendo um deles o biogás), a partir da utilização da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, apresenta que a implantação de usinas de biocombustível só seria possível com suporte financeiro, políticas adequadas e maior educação dos consumidores para sua maior aceitação.

Hadin, Hillman e Eriksson (2017), mostraram em seus estudos que a transição do uso de esterco de cavalo na compostagem local, para a DA em uma planta centralizada, apresenta um alto custo, pois o custo com o manejo do esterco será maior, chegando a um valor similar ao da alimentação dos cavalos. Por isso, embora seja ambientalmente melhor o uso de biogás e biofertilizante, o custo ainda pode ser um obstáculo, além de não haver políticas claras de incentivo ao uso do biogás como fonte de energia (AKERMAN, HUMALISTO; PITZEN, 2020).

Dados publicados pela Agência Nacional de Energia – ANEEL (2021), mostram que o Brasil tem 175.000 MW de potência instalada, sendo 85% de energia renovável, mas apenas 230 MW são provenientes do biogás. Além de ser uma fonte renovável de geração de energia limpa, os biodigestores é uma alternativa para a redução dos GEE (SADELEER; BRATTEBØ; CALLEWAERT, 2020), devido a captura e combustão subsequentes de CH₄ (FRESCH *et al.*, 2011).

A Tabela 1 apresenta a comparação do poder calorífico do biogás com outras fontes de energia. Segundo Winrock (2008), o poder calorífico do biogás é de 5.000 a 7.000 kcal/m³.

TABELA 1 - Poder calorífico do biogás

Fonte de Energia	SGANZERLA (1983)	NOGUEIRA (1986)	BARRERA (1993)	DEGANUTTI (2002)	WINROCK (2008)	RITTER (2013)	EMBRAPA (2020)
Biogás (m ³)	1	1	1	1	1	1	1
Gasolina (L)	0,61	0,61	0,63	0,61	0,61	0,60	0,70
Querosene (L)	0,58	0,62	0,58	0,57	0,58	-	-
Diesel (L)	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	-	0,66
GLP (kg)	0,45	1,43	0,45	0,45	0,45	1,50	-
Alcool Hidratado (L)	0,79	0,80	0,79	0,79	0,79	0,90	-
Carvão Mineral (kg)	0,74	0,74	-	-	-	-	-
Lenha (kg)	1,54	3,50	1,54	1,54	1,50	2,70	-
Eletricidade (kWh)	1,43	-	1,43	1,43	-	1,43	-

Fonte: elaborado pela autora.

3. BIODIGESTORES E ECONOMIA CIRCULAR

O conceito de “desenvolvimento sustentável” surgiu pela primeira vez em 1987, na Comissão Brundtland, sendo: “*desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades*” (BRUNDTLAND, 1987). Entretanto, a Comissão Brundtland considerava apenas dois pilares para o desenvolvimento sustentável: meio ambiente e desenvolvimento (mais voltado a economia).

Posteriormente surgiu o modelo *triple bottom line* (TBL), o qual dividiu o pilar de desenvolvimento em dois: econômico e social. Embasada em que “*ganhos materiais não são medidas suficientes ou preservadoras do bem-estar humano*” (GIBSON *et al.*, 2001). O modelo TBL é o mais conhecido atualmente, conceituado como três círculos concêntricos, representando o meio ambiente, a sociedade e a economia.

O uso de biodigestores no contexto da EC apoia o conceito de um desenvolvimento sustentável, abrangendo benefícios nos três pilares da sustentabilidade (social, econômico e ambiental). Assim como o desenvolvimento da EC, tornou-se de grande interesse os pesquisadores uma maior eficácia na reciclagem dos recursos naturais, seja eles advindos dos setores industriais ou domésticos (DAHLIN *et al.*, 2016).

Um modelo agrícola circular que prioriza a utilização do biogás, pode conferir economia de energia e reduções de carbono, diminuindo assim o uso de energia derivada de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, reduziria a emissão de GEE (ZHAO *et al.*, 2016). Esses autores sugerem a adoção de biodigestores como uma das formas de operacionalizar a EC, uma vez que está em equilíbrio com a sustentabilidade, conscientização e reaproveitamento dos recursos e resíduos.

Para Blomsma e Brennan (2017) o gerenciamento de resíduos e recursos dentro da EC vão além das práticas de reutilização, reciclagem e remanufatura. Para esses autores, o gerenciamento de recursos e resíduos fomenta a implantação e uso de biodigestores como uma das aplicabilidades da EC, sendo o elo de ligação entre o fim e o início de um ciclo, em relação aos resíduos orgânicos, ocorrendo a utilização de uma energia derivada de resíduos em toda a cadeia de valor do produto.

A DA dos resíduos, ocorrida dentro de um biodigestor, é uma forma estratégica de promover a EC entre os resíduos sólidos municipais e os sistemas de gerenciamento de resíduos industriais (DIAMANTIS *et al.*, 2021), pois os resíduos complementares são reutilizados, estendendo o ciclo de vida do recurso utilizado (ABAD *et al.*, 2019). Para Hidalgo, Marroquín e Corona (2019), a DA de resíduos biodegradáveis é um processo fundamental para o desenvolvimento de uma EC, por ser uma solução viável para os desafios de resíduos, energia, produção sustentável de alimentos e reciclagem de nutrientes de forma sustentável e circular.

O modelo circular tende a promover uma redução de emissão de carbono, gerando benefícios ambientais e econômicos também pelo comércio de carbono (XUE *et al.*, 2019). O governo é responsável por deliberar, para cada empresa, uma cota de emissão de carbono, e se o sistema produtivo da empresa exceder essa cota, a empresa necessitará comprar mais (XIA; LI e ZHU, 2020). Entretanto ao adotarem tecnologias de baixo carbono, emitindo menos carbono do que o determinado pelo governo, as empresas poderão vender esse excesso por meio do comércio de carbono (LIU; WAN e FU 2018).

Segundo Xue *et al.* (2019), o modelo circular também reduz o potencial de aquecimento global com a geração do biogás, aumenta a renda agrícola e rural, realiza o desenvolvimento sustentável e contribuir com a saúde pública. Segundo os autores, isso ocorrerá à medida que os resíduos orgânicos, provenientes dos dejetos animais, retornam ao sistema pela geração e uso do biogás, na substituição de combustíveis fósseis e, a substituição dos fertilizantes tradicionais pelo biofertilizante. Para que isso ocorra, os formuladores de política devem alinhar a EC com a sustentabilidade, pois eles possuem a responsabilidade de implementar leis de incentivo a energia renovável. A implicação de subsídios legais para a instalação de biodigestores não deve levar em consideração apenas a redução de danos ambientais, mas também o bem-estar social e novas oportunidades econômicas (CUCCHIELLA; D'ADAMO; GASTALDI, 2019).

A EC oferece uma abordagem que não é apenas “alimentada” pela energia renovável, mas também transforma a forma como os produtos são projetados e utilizados, cortando as emissões de GEE em toda a economia, por meio da redução das emissões nas cadeias de suprimentos, retenção de energia incorporadas em produtos e sequestro de carbono do solo e dos produtos. (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020; FLESCHE; DESJARDINS; WORTH, 2011).

Uma desvantagem no uso do biogás é que sua queima gera CO₂ (ARRUDA, 2002). Embora a produção de biogás, exija a construção de biodigestores e a combustão do gás metano, que é um dos principais componentes do biogás, processos os quais também geram emissões de carbono devido a liberação do dióxido de carbono, ainda assim, a pegada de carbono geral do modelo circular é muito menor do que a do modelo tradicional, pois a biodigestão do substrato diminui a carga orgânica e elimina patógenos, possibilitando a utilização do biofertilizante no solo, achatando assim o ciclo do produto (KARLSSON *et al.*, 2014; XUE *et al.*, 2019)

O biofertilizante é um outro subproduto resultante do processo de biodigestão, e a sua utilização e venda tende a aumentar a rentabilidade dos produtores de biogás, principalmente se forem utilizados em terras adjacentes a área dos biodigestores (CZEKALA *et al.*, 2020). Vale destacar que o biofertilizante apresenta uma fração líquida, rica em nitrogênio e, uma fração sólida, rica em fósforo (AKERMAN; HUMALISTO; PITZEN, 2020). Dois elementos fundamentais no ciclo de nutrientes biológicos da EC, principalmente o fósforo, por ser um recurso escasso e finito (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

De acordo com a EC, em relação a transformação do resíduo em recurso, há diversas possibilidades de insumos para abastecimento de um biodigestor, as quais devem ser analisadas, para que possa aumentar a disseminação do uso de biodigestores. Por exemplo: restos provenientes da produção de vinho (DONIA; MINEO; SGROI, 2018); a semente do açaí (MACIEL-SILVA *et al.*, 2021); bagaço de cana (BRASIL, 2020); águas residuais provenientes do esgoto urbano (PICARDO *et al.*, 2019); dejetos da suinocultura (MOLINA-MORENO *et al.*, 2017).

O Quadro 2 apresenta as principais vantagens identificadas pelos autores que apresentam a intersecção do uso de Biodigestores com a EC.

QUADRO 2: Facilitadores da Economia Circular e biodigestores

RELAÇÕES DO USO DE BIODIGESTORES COM A EC – FACILITADORES		
Facilitadores	Descrição	Referências
Sustentabilidade ambiental, econômica e social	Os biodigestores e a EC são ferramentas que contribuem com a sustentabilidade, por meio do aumento do poder econômico, da melhoria na qualidade de vida e uma maior preservação ambiental	Xu <i>et al.</i> (2018); Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Gontard <i>et al.</i> (2018); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019); Xue <i>et al.</i> (2019)
Aumento do poder econômico das empresas e pequenos produtores que aderirem ao uso de biodigestores	Aumento do poder econômico por meio da produção, consumo e venda do biogás e do biofertilizante. Além do comércio de carbono e da diminuição de custo com outras formas de energia e fertilizantes	Czekala <i>et al.</i> (2020); Xu <i>et al.</i> (2018); Paul <i>et al.</i> (2018); Grippo, Romano e Vastola (2019); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Lybæk e Kjær (2017); Winquist <i>et al.</i> (2019); Abad <i>et al.</i> (2019); Xue <i>et al.</i> (2019)
Uso de biofertilizantes	Transformação de resíduo em recurso e sua utilização total, além dos impactos ambientais e econômicos na diminuição do uso de fertilizante químico	Czekala <i>et al.</i> (2020); Tampio <i>et al.</i> (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Stoknes <i>et al.</i> (2016); Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019)
Redução dos gases do efeito estufa (GEE)	O tratamento adequado dos dejetos dentro do biodigestor reduz a emissão dos GEE na atmosfera	Xu <i>et al.</i> (2018); Kougiás e Angelidaki (2018); Paul <i>et al.</i> (2018); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Cecchi e Cavinato (2019); Kiselev <i>et al.</i> (2019); Slorach <i>et al.</i> (2019); Lybæk e Kjær (2017); Xue <i>et al.</i> (2019)
Leis e subsídios governamentais	Criação de leis de regulamentação e incentivo para a utilização de biodigestores	Xu <i>et al.</i> (2018); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019)

Continua

Cont. Quadro 2.

Reuso dos resíduos	Reaproveitamento dos resíduos por meio da digestão anaeróbica ocorrida dentro do biodigestor	Czekala <i>et al.</i> (2020); Xu <i>et al.</i> (2018); Ferella <i>et al.</i> (2019); Tampio <i>et al.</i> (2019); Barampouti <i>et al.</i> (2019); Kougias e Angelidaki (2018); Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Gontard <i>et al.</i> (2018); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Chang <i>et al.</i> (2018); Lybæk e Kjær (2017)
Disponibilidade de grande quantidade de matéria-prima	Grande quantidade de geração de resíduos animais e vegetais, que poderão ser utilizados para abastecimento dos biodigestores	Xu <i>et al.</i> (2018); Tampio <i>et al.</i> (2019); Gontard <i>et al.</i> (2018); Grippo, Romano e Vastola (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Cecchi e Cavinato (2019); Chang <i>et al.</i> (2018); Osman <i>et al.</i> (2019)
Produção e consumo próximos	Para uma maior eficiência, o biodigestor deve estar próximo ao local de utilização do biogás e do biofertilizante e, do local de coleta dos resíduos	Czekala <i>et al.</i> (2020); Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018)
Energia renovável	O biogás permite a geração de energia limpa proveniente de resíduos	Xu <i>et al.</i> (2018); Ferella <i>et al.</i> (2019); Kougias e Angelidaki (2018); Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Hadin, Hillman e Eriksson (2017); Winqvist <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019)
Fechamento do ciclo do produto	Fechamento dos ciclos dos produtos, prolongando a vida útil de cada recurso	Czekala <i>et al.</i> (2020); Grippo, Romano e Vastola (2019); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Magrí <i>et al.</i> (2017); Kiselev <i>et al.</i> (2019)

Fonte: elaborado pela autora.

Como mostra o Quadro 2, a vantagem mais frequentemente abordada pelos estudos quando se observa o uso de biodigestores e a EC é o reuso dos resíduos. Nela pode-se notar que o fechamento do ciclo de um produto, no qual ocorre a transformação de um resíduo em matéria-prima, com o tratamento dos resíduos orgânicos, gerando

energia limpa (biogás), reciclando os nutrientes dos fluxos dos resíduos e reduzindo a emissão dos GEE (WINQUIST *et al.*, 2019).

Para Spagnolo *et al.* (2020), o biogás proveniente do biodigestor, abastecido por dejetos animais, não pode ser considerado uma fonte de energia renovável como por exemplo: sol, vento e chuva. Segundo os autores, por não utilizar apenas fontes de energia renováveis o biodigestor atua mais como consumidor de um produto ou como um processo de transformação, do que como um produtor de energia.

Islam *et al.* (2021) verificaram que as principais barreiras a serem enfrentadas para adoção de energia renovável a partir de resíduos bovinos são: (i) o investimento financeiro, que torna necessária uma avaliação de custo-benefício; (ii) alto custo de infraestrutura para utilização do biogás em larga escala; (iii) ausência da difusão da tecnologia do uso de biogás; (iv) falta de conhecimento sobre a captura e utilização do metano.

Embora o uso de biofertilizantes resultantes da DA de dejetos da pecuária seja uma prática cada vez mais crescente e consistente com a EC, o seu uso pode acarretar problemas ao solo, pois adicionado ao ecossistema já existente no solo podem se tornar uma potencial fonte de antibióticos, genes e outros microrganismos resistentes em agroecossistemas (RAUSEO *et al.*, 2019).

O Quadro 3 apresenta as principais barreiras identificadas pelos autores que estudam a intersecção do uso de Biodigestores com a EC.

QUADRO 3: Barreiras da Economia Circular e biodigestores

RELAÇÕES DO USO DE BIODIGESTORES E DA EC – BARREIRAS		
Barreiras	Descrição	Referências
Dificuldade para realização e alto custo de transporte	Alto custo com transporte quando o biodigestor fica distante do ponto de coleta dos dejetos ou das terras de utilização do biofertilizante.	Czekala <i>et al.</i> (2020); Rada <i>et al.</i> (2019); Hadin, Hillman e Eriksson (2017); Slorach <i>et al.</i> (2019); Abad <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019); Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018)
Desconhecimento do potencial energético do setor	Desconhecimento do potencial energético que pode ser obtido com o uso do biogás.	Winqvist <i>et al.</i> (2019)

Continua

Cont. Quadro 3.

Conscientização da população	Falta de conhecimento da população sobre as vantagens dos biodigestores e necessidade de separação adequada dos dejetos.	Rada <i>et al.</i> (2019); Winquist <i>et al.</i> (2019)
Contaminação do solo, ar, água, etc.	Se não construído em local adequado ou de maneira adequada, pode ocorrer contaminação pelos dejetos de dentro do biodigestor, ou durante o processo de armazenamento dos dejetos.	Dahlin <i>et al.</i> (2016); Rauseo <i>et al.</i> (2019); Svanström <i>et al.</i> (2017)
Etapas de pré-tratamento	Necessária realização de pré-tratamento antes do abastecimento dos biodigestores, ou antes da utilização do biofertilizante e do biogás.	Rada <i>et al.</i> (2019); Tampio <i>et al.</i> (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Cecchi e Cavinato (2019); Kiselev <i>et al.</i> (2019); Chang <i>et al.</i> (2018); Abad <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019)
Custo/dificuldade de armazenagem	Devido a possibilidade de contaminação, os dejetos devem ser armazenados em locais apropriados.	Czekala <i>et al.</i> (2020); Abad <i>et al.</i> (2019)
Inviabilidade econômica de pequenas plantas / pequenos produtores	Dificuldade para geração do biogás, se for pequena a quantidade de dejetos para abastecimento.	Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Yazan <i>et al.</i> (2018)
Falta de leis e subsídios do governo	Falta de leis e pouco apoio financeiro por parte dos governos para construção de biodigestores e utilização do biogás.	Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Winquist <i>et al.</i> (2019); Xue <i>et al.</i> (2019)
Insuficiência energética / baixo teor de rendimento do biogás	Pode ocorrer baixa suficiência energética se houver vazamento durante o processo ou o biodigestor não for abastecido corretamente.	Slorach <i>et al.</i> (2019)
Custo/falta de infraestrutura	Falta de estrutura para utilização em larga escala do biogás.	Gontard <i>et al.</i> (2018); Picardo <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019)
Coleta seletiva adequada	Os dejetos devem ser separados corretamente, para não interferir na eficiência do biodigestor.	Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Cecchi e Cavinato (2019); Abad <i>et al.</i> (2019)

Continua

Cont. Quadro 3.

Alto custo de investimento	A construção do biodigestor e um sistema de coleta e utilização do biogás exige um alto custo de investimento.	Gontard <i>et al.</i> (2018); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Hadin, Hillman e Eriksson (2017); Winqvist <i>et al.</i> (2019); Picardo <i>et al.</i> (2019)
Mau odor	Se não armazenado corretamente, pode ocorrer mau odor próximo a armazenagem dos dejetos.	Rada <i>et al.</i> (2019)

Fonte: elaborado pela autora.

Como mostra o Quadro 3, as principais barreiras apresentadas pelos trabalhos são: dificuldade e o alto custo gerado com o transporte dos dejetos, do biofertilizante e do biogás e as etapas de pré-tratamento necessárias, para abastecimento do biodigestor e para a utilização do biofertilizante e do biogás.

Hadin, Hillman e Eriksson (2017), afirmam que além do alto custo com investimento, uma das principais barreiras do uso de biodigestores em uma EC, é a possibilidade de contaminação do solo, do ar e da água, pois se os dejetos não forem coletados e armazenados corretamente, pode ocorrer a contaminação. Isso também pode ocorrer se o biodigestor não for construído corretamente e não passar por uma manutenção periódica.

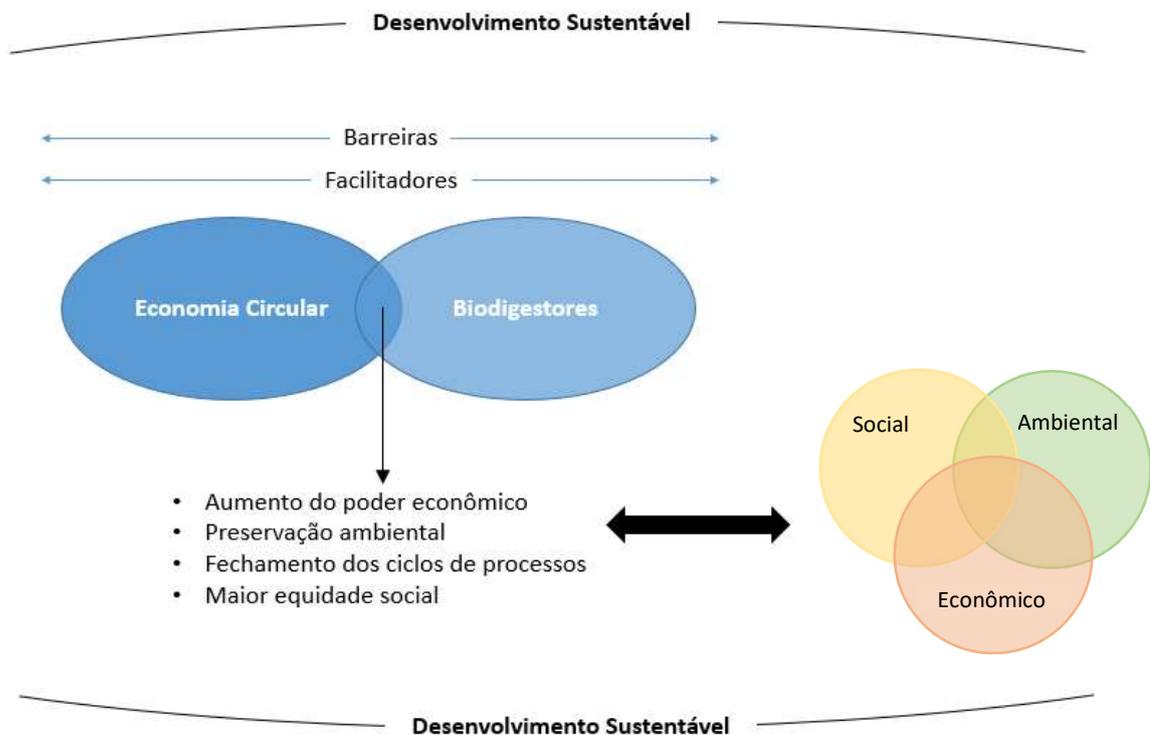
Picardo *et al.* (2019) apresentam um modelo para utilização das águas residuais de esgoto urbano na produção de biogás, como uma fonte de energia renovável a qual é utilizada para abastecimento municipal de água quente. Desta maneira, as águas residuais passaram de resíduos para recursos, gerando energia renovável e biofertilizante por meio de DA (MCCARTY; BAE; KIM, 2011).

Para Vondra, Touš e Teng (2019), para que o processo de biodigestão atenda as expectativas de uma EC, não pode haver um alto custo com transporte, ou seja, o biodigestor deve estar localizado próximo aos locais de coleta dos dejetos e das áreas para utilização do biofertilizantes.

A Figura 8 exemplifica essa relação entre a EC e o uso de biodigestores, sendo as duas vertentes ferramentas para o desenvolvimento sustentável, pois ambas geram aumento do poder econômico, preservação ambiental, fechamento dos ciclos de processos e uma maior equidade social. Tais fatores são referências do tripé da sustentabilidade

(econômico, ambiental e social). Entretanto, há diversas barreiras e facilitadores para que ocorra essa intersecção.

FIGURA 8 - Intersecção entre biodigestores e a Economia Circular



Fonte: elaborado pela autora.

A elaboração da Figura 8 foi embasada nos autores da revisão bibliográfica. Como por exemplo, Flint (2013) representou por meio de um diagrama de Venn a sustentabilidade como sendo o ponto equitativo de intersecção entre os pilares ambiental, social e econômico. O biogás (BILGILI *et al*, 2017), o mercado de carbono (DHAKAL e RAUT, 2010), assim como as demais práticas da EC podem ser aplicadas como ferramentas e abordagens de implementação para o desenvolvimento sustentável, devido a sua capacidade de atingir esses três pilares (SCHROEDER, ANGGRAENI; WEBER, 2018).

4. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos realizados durante o desenvolvimento do trabalho, o qual se dividiu em duas fases: uma fase analítica e uma fase empírica. Na fase analítica foram levantados e analisados os principais artigos da barreira do conhecimento do tema Economia Circular, Biodigestores e os principais artigos de congruência entre essas duas abordagens, embora tenha-se constatado que são poucos os artigos que exploram essas duas abordagens com uma visão gerencial. Esses resultados já foram apresentados nos Capítulos 2 e 3 deste trabalho.

Na fase empírica optou-se por dois métodos distintos: a realização de uma análise SWOT e dois estudos de casos em organizações com perspectivas distintas, no que se refere a utilização de biodigestores. Com isso, buscou-se uma visão mais abrangente, ou seja, mais de uma perspectiva, da realidade apresentada na utilização de biodigestores dentro dos critérios da Economia Circular.

4.1 Procedimentos para levantamento e análise SWOT

A análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*), sendo a tradução para o português (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) é uma ferramenta que permite a análise das principais forças e fraquezas (ambiente internos, ou fluxo vertical) e oportunidades e ameaças (ambiente externos, ou fluxo horizontal). Outros trabalhos de pesquisa em gestão têm utilizado esse procedimento com forma de análise de determinado fenômeno organizacional (VAHIDI; TORABI; RAMEZANKHANI, 2018; SOLANGI *et al.*, 2019; PAES *et al.*, 2019). A análise SWOT é baseada em ideias, experiência e afirmações de especialistas e a matriz resultante não está sujeita a testes empíricos (HELMS; NIXON, 2010).

Embora a análise SWOT seja utilizada como uma ferramenta de investigação dos problemas da organização mediante uma perspectiva estratégica (YUAN, 2013), ela possui uma abordagem principalmente qualitativa (ABDEL-BASSET; MOHAMED; SMARANDACHE, 2018). Vale destacar que o ambiente interno, composto pelas forças e fraquezas, está dentro do domínio da própria organização, podendo ser controlado por

ela. Como por exemplo: imagem, estrutura, acesso a recursos naturais, capacidade e eficiência e recursos financeiros (HELMS; NIXON, 2010).

O ambiente externo, por sua vez, é composto pelas oportunidades e ameaças, está fora do domínio imediato da organização e pode ter influências de fatores macro ambientais e agentes econômicos. Como por exemplo: clientes, concorrentes, tendências no mercado, parceiros e fornecedores, mudanças sociais, novas tecnologias e questões ambientais econômicas, políticas e regulatórias (HELMS; NIXON, 2010)

Segundo Arslan e Er (2008), os objetivos da análise SWOT são potencializar e aproveitar os pontos fortes e oportunidades, minimizar as ameaças externas, além de neutralizar os pontos fracos que não puderem ser fortalecidos. Os pontos fortes e oportunidades aproximam a organização dos seus objetivos, enquanto que os pontos fracos e ameaças a afastam.

Por ser atual e próxima da realidade das empresas, a análise SWOT pode ser utilizada para tomadas de decisões estratégicas (ABDEL-BASSET; MOHAMED; SMARANDACHE, 2018). Devido a análise SWOT apresentar os fatores internos (pontos fortes e pontos fracos) e externos (oportunidades e ameaças) é possível ter uma visão mais abrangente de um projeto em um processo de tomada de decisão.

Segundo Helms e Nixon (2010), se os pontos fortes não forem mantidos, se tornarão pontos fracos, as oportunidades não aproveitadas podem ser aproveitadas pelos concorrentes e se tornarem ameaças, os líderes devem transformar as oportunidades em pontos fortes e não permitir que as ameaças se tornem fraquezas, transformando as ameaças em oportunidades e as tecnologias emergentes podem se tornar pontos fortes ou pontos fracos.

Como etapa complementar a análise SWOT foi realizado dois estudos de casos com o objetivo de compreender barreiras e facilitadores na adoção de biodigestores no contexto da EC. O método de estudo de caso é o mais apropriado para investigações empíricas, investigando um fenômeno contemporâneo em profundidade e em seu contexto (YIN, 2015). Tendo como objetivo aprofundar o conhecimento sobre determinado problema não suficientemente definido, visando estimular a compreensão, sugerir hipóteses e questões ou desenvolver a teoria (CAUCHICK-MIGUEL, 2007).

4.2 Critério de seleção dos participantes e empresas

Conforme já mencionado a primeira etapa para a realização desta pesquisa foi uma análise SWOT. Com o embasamento da revisão bibliográfica foi elaborado um questionário com a utilização da ferramenta do *Google Forms*, conforme apresentado no Anexo A. Após a elaboração do questionário, o mesmo passou por validação de quatro acadêmicos.

Os acadêmicos que validaram o questionário estão divididos em dois grupos: dois doutores que pesquisam sobre EC e dois doutorandos que pesquisam sobre biodigestores. Eles sugeriram alterações nas questões e nos textos introdutórios, para maior compreensão dos respondentes. As alterações sugeridas foram analisadas e o questionário foi atualizado.

Com o questionário melhorado e corrigido, iniciou-se a seleção de empresas e acadêmicos que pudessem responder ao questionário. Optou-se por essa miscigenação de empresas e acadêmicos que trabalham ou pesquisam o uso de biodigestores, por compreender que dessa maneira ocorra uma concepção mais abrangente das vantagens e desvantagens do uso de biodigestores considerando a abordagem da EC. Entendeu-se que as empresas que estejam utilizando essa tecnologia sejam mais propícias a argumentarem sobre os impactos causados. Nesse sentido, interpretou-se que os acadêmicos são especialistas no assunto e detenham a fronteira do conhecimento.

Para a divulgação do questionário, sempre que possível foi realizado um contato prévio com as empresas, através de telefone ou *e-mail*, explicando a seriedade e importância da pesquisa para fins acadêmicos. Inicialmente o questionário foi enviado para 81 contatos, entre empresas, cooperativas e acadêmicos.

Com o intuito de expandir a disseminação do questionário, foi utilizada o método de amostragem em “bola de neve”. Segundo Vinuto (2014) a amostragem “bola de neve” é uma amostra não probabilística, que utiliza cadeias de referências. Geralmente utilizada para pesquisa com grupos de difícil acesso ou sem precisão de quantidade. Por meio de mecanismos de busca como o *LinkedIn* e *Google* e, da rede de contatos da Universidade Estadual Paulista (UNESP), por meio de informações chaves (estudos realizados ou uso de biodigestores), foram selecionadas empresas, acadêmicos e cooperativas agrícolas brasileiras.

Na amostragem “bola de neve” essas primeiras empresas, acadêmicos e cooperativas são denominados de “sementes”, por possuírem o perfil necessário para a realização da pesquisa e serem o ponto de partida. Após o primeiro contato com as “sementes” foi solicitado que além de responderem o questionário eles também indicassem novos contatos que utilizam biodigestores, a partir das suas redes pessoais, crescendo o quadro de respostas.

Deste total obteve-se 24 respostas de empresas diversificadas, que utilizam biodigestores em seus processos, ou realizam pesquisas sobre o tema, conforme apresentado na Tabela 2. Os 24 respondentes estão divididos nos seguintes setores: 12% empresas especializadas em biodigestores; 4% advogados especializados em leis ambientais; 16% empresas do agronegócio; 4% escola agrícola; 8% instituto de pesquisa agropecuária; 4% hospital particular; 8% cooperativa agrícola; 12% indústrias; 24% universidades e 8% optaram pelo anonimato.

TABELA 2 – Identificação dos respondentes ao questionário

Respondentes	Quantidade
Universidades	6
Empresas do Agronegócio	4
Empresas Especializada em Biodigestores	3
Cooperativa Agrícola	2
Indústrias	3
Instituto de Pesquisa Agropecuária	2
Advocacia Especializada em Leis Ambientais	1
Escola Agrícola	1
Hospital Particular	1
Anônima	1
Total	24

Fonte: elaborado pela autora.

Notou-se que o maior número de empresas que utilizam a tecnologia de biodigestores faz parte do setor agrário. Diante das respostas obtidas no questionário aplicado, deu-se continuidade a seleção das empresas para a realização do estudo de

casos. Devido a análise SWOT ter identificado dois nichos muito distintos de empresas que estão utilizando biodigestores, optou-se pela realização de dois estudos de casos, sendo um em uma empresa do agronegócio, mais especificamente em um frigorífico, e o outro em uma indústria em que a prática do uso de biodigestores ainda não é muito difundida.

4.3 Procedimento de coleta de dados

Para a primeira etapa de coleta de dados da pesquisa foi desenvolvido um questionário *on-line*, baseado em uma matriz de análise SWOT. As questões foram elaboradas conforme os principais impactos (positivos e negativos) do uso de biodigestores no considerando a abordagem da Economia Circular, abordados pela literatura realizada durante a revisão bibliográfica.

Conforme apresentado no Apêndice A, antes de iniciar o questionário foi realizada uma introdução, com uma breve explanação sobre o assunto a ser abordado: biodigestores e economia circular. Posteriormente, são apresentadas as perguntas para identificação opcional dos participantes.

O questionário foi dividido em quatro Seções: Seção 1 (S – Forças e Pontos Fortes); Seção 2 (W – Fraquezas e Pontos Fracos); Seção 3 (O – Oportunidade); Seção 4 (T – Ameaças). No início de cada Seção foi feita uma rápida explicação sobre as Seções 1 e 2 referirem-se ao ambiente interno da empresa e, as Seções 3 e 4 referirem-se ao ambiente externo da empresa na qual estão inseridos.

Cada Seção possui quatro afirmativas que deveriam ser respondidas de acordo com uma escala Likert, com variação de 1 (discordo totalmente) até 5 (concordo totalmente) e, uma pergunta discursiva, para que fosse possível o respondente expressar a sua realidade e trazer as particularidades de cada empresa. Totalizando 20 questões, sendo 16 afirmativas e 4 discursivas.

Após a divulgação do questionário para as “sementes”, o questionário ficou aberto para respostas por um período de 60 dias. Por considerarmos esse período um tempo hábil para que os interessados respondessem. Durante esse período, foram enviados mais dois *e-mails* de lembrete para as pessoas que receberam o questionário e ainda não haviam respondido.

Com a finalização da análise SWOT, foram selecionadas duas empresas estratégicas para a realização do estudo de casos. Devido a pandemia vivida no momento da execução da pesquisa, e a necessidade do distanciamento social, por razões de segurança as entrevistas foram realizadas *on-line*, por meio do *software Microsoft Teams*.

Após selecionadas as técnicas que serão utilizadas para a coleta de dados, deve ser desenvolvido um protocolo (CAUCHICK-MIGUEL,2007). Além de um questionário ou instrumento, o protocolo deve conter os procedimentos que permitem ao pesquisador se manter no rumo, contendo o instrumento, os procedimentos e as regras gerais a serem seguidas para a sua condução (YIN, 2015). Segundo o autor, a utilização de um protocolo é fundamental na realização de casos múltiplos.

Segundo Freitas e Jabbour (2011), o protocolo de pesquisa utilizado como estratégia de estudo de casos, deve apresentar os seguintes itens: questão principal da pesquisa; objetivo principal; temas da sustentação teórica; definição da unidade de análise; potenciais entrevistados e múltiplas fontes de evidências; período de realização; local da coleta de evidências; obtenção de validade interna, por meio de múltiplas fontes de evidências; síntese do roteiro de entrevista.

Com base nas definições de Freitas e Jabbour (2011), Yin (2015), Cauchick-Miguel (2007) e Seles (2015), foi elaborado o protocolo apresentado no Apêndice B. O qual foi utilizado como norteador do estudo de casos durante as entrevistas. Assim como o embasamento teórico utilizado na elaboração do questionário das entrevistas.

Neste protocolo existem quatro seções: (1) visão geral do estudo de casos e finalidade do protocolo; (2) procedimento de coleta de dados; (3) categorias de análise e painel de dados necessários; e (4) guia para a apresentação dos resultados do estudo de casos. Na Seção 1, são apresentadas a questão de pesquisa, o objetivo geral, as definições das unidades analisadas, o referencial teórico no qual foram embasadas as questões utilizadas durante as entrevistas e a lacuna de pesquisa. Esta seção auxiliou na formulação do restante do protocolo. Na Seção 2, são definidos os procedimentos que foram adotados para a realização das entrevistas. Atuando como um guia inicial de como proceder perante as empresas, antes, durante e depois das entrevistas. A Seção 3, apresenta as variáveis de pesquisa e as questões que foram realizadas durante as entrevistas. As questões foram elaboradas de acordo com os pontos de destaque da literatura. Essas questões serviram de base para a realização das entrevistas, sendo possível traçar um paralelo entre a literatura

e a realidade vivenciada pelas empresas. A Seção 4 traz um guia para a análise, agrupamento e apresentação dos resultados obtidos no estudo de casos.

Como explanado no subcapítulo 4.2 deste Capítulo, das empresas respondentes do questionário, de maneira arbitrária foram selecionadas duas empresas de nichos distintos que utilizam biodigestores. Uma empresa pertencente ao agronegócio e uma indústria. Essa escolha ocorreu, por acreditar que as características díspares de cada empresa pudessem proporcionar uma análise mais abrangente do uso de biodigestores no contexto da EC. As empresas optaram pelo anonimato e serão referidas como A e B. Ambas aceitaram a gravação da entrevista, a empresa A apenas em áudio e a empresa B em vídeo.

Conforme demonstrado no Apêndice C o roteiro da entrevista inicia-se com a identificação do representante, ou dos representantes da empresa na qual foi realizado o estudo de caso. Depois são apresentadas 31 questões específicas, estando elas divididas em 5 Seções (A, B, C, D e E):

- Seção A: caracterização da empresa, com 5 questões;
- Seção B: caracterização dos biodigestores utilizados pela empresa, com 3 questões;
- Seção C: definição dos dejetos utilizados, com 3 questões;
- Seção D: descrição operacional do processo do biodigestor, com 9 questões;
- Seção E: utilização dos biodigestores no contexto da economia circular, com 11 questões.

Em setembro de 2021 foi realizada a entrevista com a Empresa A, participando da entrevista a Coordenadora de Meio Ambiente e um Engenheiro Ambiental (a transcrição da entrevista está apresentada no Apêndice D). Em novembro de 2021 foi realizada a entrevista com a empresa B, onde o representante da empresa foi o responsável técnico do frigorífico (transcrição da entrevista está apresentada no Apêndice E).

Durante a entrevista o representante da Empresa B teve algumas dúvidas sobre questões específicas do biodigestor e solicitou a possibilidade de enviá-las posteriormente. Dessa maneira, as questões não respondidas ou que deixaram dúvidas foram enviadas por e-mail e posteriormente respondidas pelo entrevistado.

5. RESULTADOS

5.1 Resultados da análise SWOT

A análise e matriz SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities e Threats*), sendo a tradução para o português (Forças, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças) é um método que permite a análise das principais forças e fraquezas (ambiente internos, ou fluxo vertical) e oportunidades e ameaças (ambiente externos, ou fluxo horizontal).

Embora seja utilizada como uma ferramenta de investigação dos problemas da organização através de uma perspectiva estratégica (YUAN, 2013), ela possui uma abordagem principalmente qualitativa, por não atribuir pesos a cada alternativa dos quadrantes (ABDEL-BASSET; MOHAMED; SMARANDACHE, 2018). Vale destacar que o ambiente interno da matriz SWOT é composto pelas forças e fraquezas, estando dentro do domínio da própria organização, e compreende elementos, tais como: imagem, estrutura, acesso a recursos naturais, capacidade e eficiência e recursos financeiros (HELMS e NIXON, 2010).

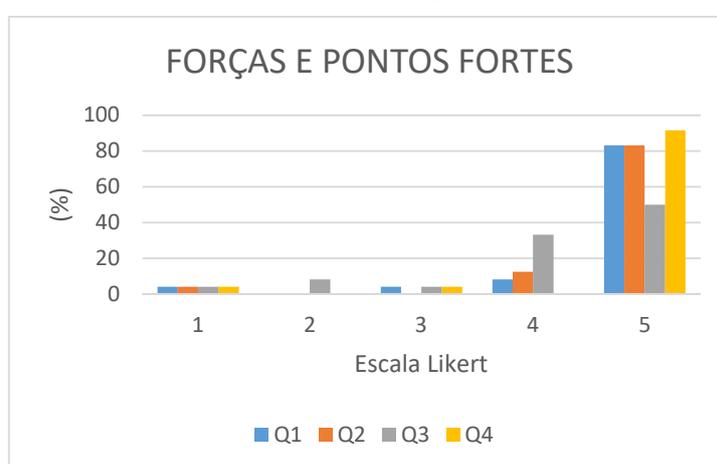
Já o ambiente externo, composto pelas oportunidades e ameaças, está fora do domínio imediato da organização e pode ter influências de fatores macro ambientais e agentes econômicos. Como por exemplo: clientes, concorrentes, tendências no mercado, parceiros e fornecedores, mudanças sociais, novas tecnologias e questões ambientais econômicas, políticas e regulatórias (HELMS e NIXON, 2010)

Segundo Arslan e Er (2008), os objetivos da análise SWOT é potencializar e aproveitar os pontos fortes e oportunidades, minimizar as ameaças externas, além de neutralizar os pontos fracos que não puderem ser fortalecidos. Os pontos fortes e oportunidades visam aproximar a organização dos seus objetivos, enquanto que os pontos fracos e ameaças podem os afastar.

Por ser atual e próxima da realidade das empresas, a análise SWOT pode ser utilizada para tomadas de decisões estratégicas (ABDEL-BASSET; MOHAMED; SMARANDACHE, 2018). Por meio da análise SWOT é possível obter uma visão mais abrangente de um projeto em um processo de tomada de decisão, pois ela apresenta fatores internos (pontos fortes e pontos fracos) e externos (oportunidades e ameaças). Sendo possível avaliar todas as implicações do projeto.

São apresentados abaixo os resultados do questionário aplicado. Os resultados da Seção 1 estão apresentados no Gráfico 1, que representa as forças e pontos fortes identificados na literatura e aplicado no questionário em forma de afirmativas. Os termos Q1, Q2, Q3 e Q4 referem-se, respectivamente, as seguintes afirmativas do questionário: (Q1) utilização de materiais considerados resíduos como insumos/matéria-prima para novos produtos; (Q2) geração de energia renovável pela produção do biogás; (Q3) maior lucratividade da empresa com a utilização e venda do biogás e do biofertilizante; (Q4) atuação da empresa dentro de um desenvolvimento sustentável, um processo produtivo no qual respeite as limitações do meio ambiente e não polua.

GRÁFICO 1 – Forças e pontos fortes



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme mostra o Gráfico 1, 83,3% dos participantes concordaram totalmente que por meio dos biodigestores ocorre um dos princípios da Economia Circular: o fechamento dos ciclos dos materiais. O reaproveitamento da energia contida, pois por meio da DA ocorrida dentro do biodigestor, os materiais, antes considerados resíduos, tornam-se insumo/matéria-prima para a produção de novos produtos, o biogás e o biofertilizante, o que aumenta o tempo de aproveitamento dos recursos naturais e diminui a extração de novos recursos. Observa-se também que 8,3% dos participantes concordaram parcialmente com essa afirmativa, 4,2% discordaram totalmente e 4,2% mostraram-se indiferentes a essa afirmativa.

Da mesma maneira, 83,3% dos participantes concordaram totalmente que o uso de biodigestores gera energia renovável, por meio da produção do biogás, o que diminui

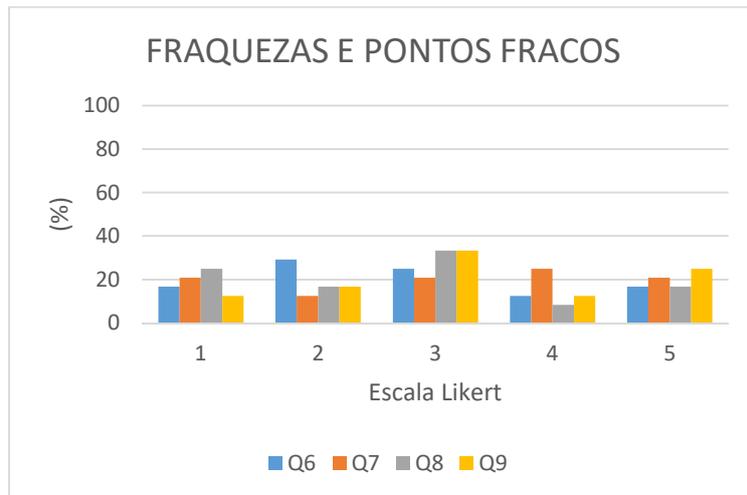
a necessidade de outros meios de energia. Dos participantes 12,5% concordaram parcialmente com essa afirmativa e 4,2% discordaram totalmente.

Em relação a afirmativa de que a empresa aumenta a sua lucratividade com a utilização e venda do biogás e do biofertilizante: 50% dos participantes concordaram totalmente; 33,3% concordaram parcialmente; 8,3% discordaram parcialmente; 4,2% mostraram-se indiferentes a essa afirmativa e, o mesmo percentual (4,2%) discordaram totalmente.

A quarta afirmativa da seção Forças/Pontos Fortes traz que o uso de biodigestores e a produção do biogás e do biofertilizante auxilia a empresa, em relação aos seus resíduos, a atuar dentro de um desenvolvimento sustentável, com um processo produtivo que respeite as limitações do meio ambiente e não polua. Pôde-se observar no gráfico que 91,7% dos participantes concordaram totalmente com essa afirmativa; 4,2% mostraram-se indiferentes e 4,2% discordaram totalmente.

No Gráfico 2 estão apresentados os resultados da segunda seção do questionário, a qual refere-se as fraquezas e pontos fracos. Essa Seção apresentou maior homogeneidade nas respostas. Os termos Q6, Q7, Q8 e Q9 referem-se, respectivamente, as seguintes afirmativas do questionário: (Q6) alto custo com transporte e armazenagem dos insumos utilizados para abastecimento do biodigestor e do produto final (biofertilizante e biogás); (Q7) alto custo com infraestrutura para construção para construção e manutenção periódica do biodigestor e da rede de distribuição do biogás; (Q8) possibilidade de contaminação do solo, água e ar; (Q9) coleta seletiva inadequada.

GRÁFICO 2 – Fraquezas e pontos fracos



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme demonstrado no Gráfico 2, em relação a afirmativa que pode ser considerado um ponto fraco o alto custo com o transporte e armazenamento, dos insumos utilizados para abastecimento do biodigestor e do produto final (biogás e biofertilizante), 29,2% dos participantes discordaram parcialmente; 25% mostraram-se indiferentes; enquanto que 16,7% dos participantes concordaram totalmente e o mesmo percentual discordou totalmente e, 12,5% dos participantes concordaram parcialmente.

Da mesma maneira que o alto custo com transporte e armazenagem dividiu a opinião dos participantes, o alto custo com infraestrutura para construção e manutenção periódica do biodigestor e da rede de distribuição do biogás, também dividiu: sendo que 25% dos participantes concordaram parcialmente com essa afirmativa; 20,8% concordaram totalmente; o mesmo percentual (20,8%) discordaram totalmente e também 20,8% mostraram-se indiferentes a essa afirmativa e, 12,5% dos participantes discordaram parcialmente (Gráfico 2).

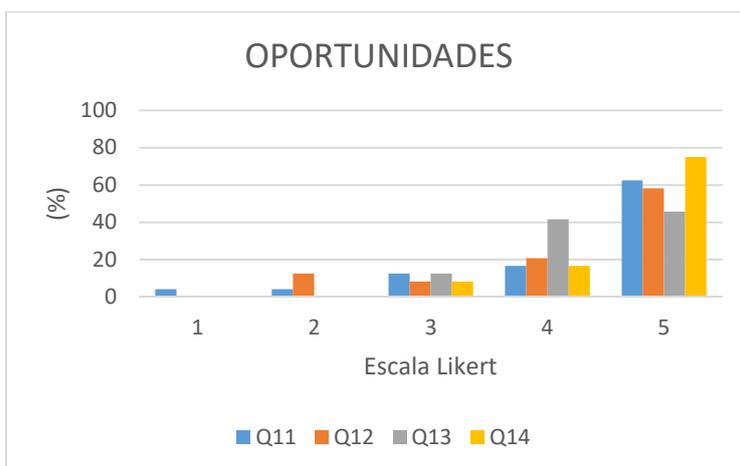
Em relação a afirmativa de que o uso de biodigestores pode ocasionar a contaminação do solo, da água e do ar, verificou-se que 33,3% dos participantes mostraram-se indiferentes, 25,0% discordaram totalmente, 16,7% concordaram totalmente, 16,7 % discordaram parcialmente e 8,3% concordaram parcialmente.

Na última afirmativa da seção 2, de que a coleta seletiva inadequada pode ser considerada um ponto fraco para o uso de biodigestores, pois estaria misturado resíduo orgânico com resíduo não orgânico. Os participantes apresentaram as seguintes opiniões:

33,3% mostraram-se indiferentes; 25,0% concordaram totalmente; 16,7% discordaram parcialmente; 12,5% discordaram totalmente e o mesmo percentual concordaram parcialmente.

No Gráfico 3 estão apresentados os resultados da terceira seção do questionário, a qual refere-se as oportunidades. Os termos Q11, Q12, Q13 e Q14 referem-se, respectivamente, as seguintes afirmativas do questionário: (Q11) atendimento a uma classe de consumidores cada vez mais conscientes das questões ambientais; (Q12) benefícios econômicos por meio do comércio de carbono e da venda do biogás e do biofertilizante; (Q13) sistema produtivo vantajoso, devido à alta diversificação os insumos, matéria-prima em abundância, com baixo custo de mercado; (Q14) obtenção de benefícios ambientais (redução dos gases do efeito estufa) e sociais (melhor qualidade de vida para a população).

GRÁFICO 3 – Oportunidades



Fonte: Elaborado pela autora.

O Gráfico 3 indica que 62,5% concordaram totalmente com a afirmativa de que o uso de biodigestores dentro de uma EC atende a uma classe de consumidores que se mostram cada vez mais conscientes das questões ambientais. Observa-se também que: 16,7% dos participantes concordaram parcialmente; 12,5% mostraram-se indiferentes a essa afirmativa; 4,2% discordaram parcialmente e também 4,2% discordaram totalmente.

A segunda afirmativa apresentada no questionário são as oportunidades por meio dos benefícios econômicos com o comércio de carbono e da venda do biogás e do biofertilizante: 58,3% dos participantes concordaram totalmente com essa afirmativa;

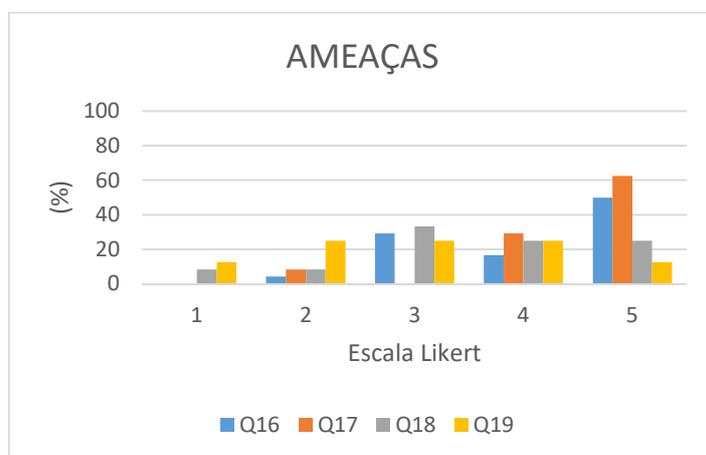
20,8% concordaram parcialmente; 12,5% discordaram parcialmente e 8,3% mostram-se indiferentes a afirmativa como uma oportunidade.

Em relação a afirmativa de oportunidade de que o uso de biodigestores, dentro da EC, é um sistema produtivo vantajoso, devido à alta diversificação dos insumos, matéria-prima em abundância, com baixo custo de mercado: 45,8% dos participantes concordaram totalmente com essa afirmativa; 41,7% dos participantes concordaram parcialmente e, 12,5% dos participantes mostraram-se indiferentes a essa afirmativa.

A última afirmativa da seção 3 traz como oportunidade a obtenção de benefícios ambientais, como a redução dos gases do efeito estufa, e os benefícios sociais, como a melhor qualidade de vida para a população. Dessa afirmativa: 75% dos participantes concordaram totalmente; 16,7% dos participantes concordaram parcialmente e 8,3% dos participantes mostraram-se indiferentes a essa afirmativa.

No Gráfico 4 estão apresentados os resultados da quarta seção do questionário, a qual refere-se as ameaças. Os termos Q16, Q17, Q18 e Q19 referem-se, respectivamente, as seguintes afirmativas do questionário: (Q16) falta de incentivo governamental, como por exemplo: leis de subsídio para construção do biodigestor, leis de incentivo fiscal para o uso de biodigestor, maior infraestrutura para utilização do biogás; (Q17) falta de conhecimento e conscientização da população em geral, sobre os benefícios do uso de biodigestores; (Q18) surgimento de fontes de energia renováveis mais atraentes; (Q19) possibilidade de declínio na produção dos insumos, seja por exemplos como: problemas com transporte, diminuição da pecuária, utilização de dejetos para outra finalidade, entre outros.

GRÁFICO 4 – Ameaças



Fonte: Elaborado pela autora.

No Gráfico 4, a primeira ameaça apresentada é a falta de incentivo governamental, como por exemplo: leis de subsídio para construção do biodigestor; leis de incentivo fiscal para o uso de biodigestores; e uma maior infraestrutura para a utilização do biogás. Em relação a essa afirmativa: 50% dos participantes concordaram totalmente; 29,2% dos participantes mostraram-se indiferentes a essa afirmativa; 16,7% dos participantes concordaram parcialmente e 4,2% dos participantes discordaram parcialmente.

A segunda ameaça apresentada é a falta de conhecimento e conscientização da população em geral, sobre os benefícios do uso de biodigestores: 62,5% dos participantes concordaram totalmente; 29,2% concordaram parcialmente e 8,3% dos participantes discordaram parcialmente.

A terceira ameaça é a possibilidade do surgimento de fontes de energia renováveis mais atraentes: 33,3% dos participantes mostraram indiferentes a essa afirmativa; 25% dos participantes concordaram totalmente; o mesmo percentual de 25% dos participantes concordara parcialmente; 8,3% dos participantes discordaram parcialmente e 8,3% dos participantes discordaram totalmente dessa afirmativa de ameaça.

Na última afirmativa do questionário traz como ameaça a possibilidade de declínio na produção dos insumos. Alguns exemplos de situações que causariam são: problemas com transporte; a diminuição da pecuária ou a utilização dos dejetos para outras finalidades. Em relação a essa afirmativa: 25% dos participantes concordaram parcialmente; 25% dos participantes mostraram-se indiferentes; 25% dos participantes discordaram parcialmente; 12,5% dos participantes discordaram totalmente e 12,5% dos participantes concordaram totalmente.

Em complemento aos gráficos demonstrados, a Tabela 3 apresenta a estatística descritiva das afirmativas do questionário e o Alpha de Cronbach das quatro dimensões analisadas (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças).

TABELA 3 – Estatística descritiva das afirmativas do questionário

	AFIRMATIVAS	Média	Erro Padrão	Mediana	Desvio Padrão	Variância	Curtose	Assimetria
FORÇAS ($\alpha = 0,91$)	Utilização de materiais considerados resíduos, como insumos/matéria-prima para novos produtos	4,67	0,19	5,00	0,92	0,84	11,68	-3,31
	Geração de energia renovável por meio da produção do biogás	4,71	0,18	5,00	0,86	0,74	16,30	-3,86
	Maior lucratividade da empresa, com a utilização e venda do biogás e do biofertilizante	4,17	0,23	4,50	1,13	1,28	1,85	-1,54
	Atuação da empresa dentro de um desenvolvimento sustentável, um processo produtivo no qual respeite as limitações do meio ambiente e não polua	4,75	0,18	5,00	0,90	0,80	14,65	-3,80
FRAQUEZAS ($\alpha = 0,85$)	Alto custo com transporte e armazenagem dos insumos utilizados para abastecimento do biodigestor e do produto final: o biofertilizante e o biogás	2,83	0,27	3,00	1,34	1,80	-0,95	0,33
	Alto custo com infraestrutura para construção e manutenção periódica do biodigestor e da rede de distribuição do biogás	3,13	0,30	3,00	1,45	2,11	-1,26	-0,24
	Possibilidade de contaminação do solo, água e ar	2,75	0,28	3,00	1,39	1,93	-0,95	0,28
	Coleta seletiva inadequada	3,21	0,28	3,00	1,35	1,82	-1,01	-0,07
	Atendimento a uma classe de consumidores cada vez mais consciente das questões ambientais	4,29	0,23	5,00	1,12	1,26	2,16	-1,64

Continua

Cont. Tabela 3.

OPORTUNIDADES ($\alpha = 0,78$)	Benefícios econômicos por meio do comércio de carbono e da venda do biogás e do biofertilizante	4,25	0,22	5,00	1,07	1,15	0,23	-1,24
	Sistema produtivo vantajoso, devido à alta diversificação dos insumos, matéria-prima em abundância, com baixo custo de mercado	4,33	0,14	4,00	0,70	0,49	-0,70	-0,58
	Obtenção de benefícios ambientais (redução dos gases do efeito estufa) e sociais (melhor qualidade de vida para a população)	4,67	0,13	5,00	0,64	0,41	2,20	-1,79
AMEAÇAS ($\alpha = 0,39$)	Falta de incentivo governamental, como por exemplo: leis de subsídio para construção do biodigestor; leis de incentivo fiscal para o uso do biodigestor; maior infraestrutura para utilização do biogás	4,13	0,20	4,50	0,99	0,98	-1,18	-0,56
	Falta de conhecimento e conscientização da população em geral, sobre os benefícios do uso de biodigestores	4,46	0,18	5,00	0,88	0,78	3,48	-1,93
	Surgimento de fontes de energias renováveis mais atraentes	3,50	0,25	3,50	1,22	1,48	-0,35	-0,48
	Possibilidade de declínio na produção de insumos. Seja por exemplos como: problemas com transporte; diminuição da pecuária; utilização dos dejetos para outra finalidade	3,00	0,26	3,00	1,25	1,57	-0,95	-4,00E-17

Nota: α = alfa de cronbach. Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se na Tabela 3 que as maiores médias e os menores erros padrão estão nas afirmativas das dimensões força e oportunidades. Os valores de curtose para as afirmativas da dimensão força mostram que, para os respondentes, o nível de concordância para esta dimensão é maior do que para as afirmativas da dimensão oportunidade.

Todas as afirmativas da dimensão fraqueza apresentou mediana 3, indicando que os respondentes adotaram uma postura neutra. As médias das afirmativas nessa dimensão

foram bem próximas a 3 (ponto neutro). Outro ponto que reforça essa informação, são os valores de assimetria dessas afirmativas próximas a zero.

As dimensões forças, fraquezas e oportunidades apresentaram valores satisfatórios para o alpha de cronbach, indicando consistência na confiabilidade interna das afirmativas selecionadas para medir as dimensões citadas (HAIR *et al.*, 2019). De acordo com Hair *et al.* (2019) os valores aceitáveis para alpha de cronbach devem estar entre 0,70 e 0,90.

O Alpha de Cronbach da dimensão ameaças não foi satisfatório, indicando que as afirmativas escolhidas não medem apropriadamente a dimensão analisada. Uma justificativa para esse problema, pode ser o tamanho da amostra que foi pequeno. As principais ameaças, na visão dos respondentes, é falta de incentivo governamental e falta de conhecimento da população.

A Figura 9 apresenta a matriz SWOT, a qual está dividida em quatro quadrantes. Os dois quadrantes superiores (S e W), referem-se ao ambiente interno das empresas, enquanto que os quadrantes inferiores (O e T), referem-se ao ambiente externo. Os quadrantes da esquerda (S e O), são pontos levantados pelos respondentes que facilitam o uso de biodigestores no contexto da EC. Os quadrantes da direita (W e T), são os pontos levantados pelos respondentes que dificultam (causam barreiras), o uso de biodigestores no contexto da EC.

FIGURA 9 – Resultado do questionário por meio de uma matriz SWOT



Fonte: Elaborado pela autora.

Alguns dos fatores apresentados pelos respondentes, foram abordados em mais de um quadrante da matriz, dependendo do enfoque de cada empresa. Algumas empresas identificaram o fator “sustentabilidade” como uma força, em contrapartida, outras empresas o classificaram como uma oportunidade que pode ser transformada em uma força. O mesmo ocorre com o fator “dificuldade com o transporte dos resíduos”, que foi apresentado como uma fraqueza e também como uma ameaça.

Detalhando alguns fatores apresentados na Figura 9, a EC com o fechamento de ciclos é considerada uma Força, pois o uso de biodigestores permite o reaproveitamento dos resíduos orgânicos, ocasionando um fechamento de ciclo e contribuindo com a EC. A simbiose industrial também é considerada uma Força, uma vez que os resíduos de uma indústria podem ser utilizados como matéria-prima em outra. Assim como a descentralização do tratamento de resíduos, não destinando à um único local e sobrecarregando-o. Outra força de destaque é o cultivo do próprio alimento, pois com a produção do biogás e do biofertilizante, pequenos agricultores podem obter solo de boa qualidade para agricultura familiar, com baixo custo, além da utilização da energia do biogás nos equipamentos utilizados no cultivo.

Foi considerada uma Fraqueza o alto custo com infraestrutura necessária para a construção do biodigestor e utilização do biogás. Outra Fraqueza apontada é a dificuldade na comercialização do digestado, devido à falta de conhecimento do mercado consumidor em relação confiabilidade na qualidade do produto. A possibilidade de geração de mau cheiro, também pode ser uma Fraqueza, se os resíduos não forem armazenados corretamente, antes de serem destinados ao biodigestor. Outra Fraqueza apontada é a burocracia interna para a execução do projeto de um biodigestor, pois a falta de conhecimento técnico e leis específicas podem gerar um aumento na burocracia das empresas. A necessidade de uma mudança de cultura, tanto organizacional, quanto da população como um todo, também foi apontada como uma Fraqueza, pois, por se tratar de um novo conceito, ainda gera dúvidas e incertezas.

O fator parcerias e investimentos no setor, foi considerada uma Oportunidade, por meio da possibilidade de alugar um biodigestor, ou uma cooperativa de centralização dos dejetos em um só biodigestor. Uma Oportunidade de destaque é a possibilidade do comércio de carbono, uma prática cada vez mais crescente, em que uma empresa com menores índices de produção de CO₂, podem vender suas cotas para empresas que ainda não se adequaram as leis vigentes. Outra Oportunidade é a produção e consumo dos

insumos próximos, que seria a utilização do biofertilizante e do biogás em áreas adjacentes ao biodigestor. O *marketing* ambiental também é apontado como uma Oportunidade, pois é uma possibilidade das empresas se beneficiarem perante a um público ambientalmente mais consciente. Também foi apresentada a Oportunidade de saneamento básico adequado, pois o uso de biodigestores propicia a realização de saneamento básico de qualidade em áreas remotas. Alimento e solo mais nutrido, com a utilização do biofertilizante e menos produtos químicos, assim como a diversificação de insumos, considerando que o biodigestor pode ser abastecido com qualquer material orgânico, também foram consideradas Oportunidades.

O surgimento de novas tecnologias e a falta de previsibilidade dos resíduos para abastecimento, foram apontadas como uma Ameaça, pois no futuro podem surgir tecnologias mais atrativas do que o biodigestor. Nesta mesma linha de raciocínio, a compostagem mostrar-se mais atraente, também foi apontada como uma Ameaça. A não homogeneidade dos resíduos também é considerada uma Ameaça, pois a realização de uma coleta seletiva inadequada pode misturar resíduos com características distintas. Outro Ameaça identificada é a falta de gestão das empresas, pois uma empresa mal gerida pode não usufruir de todos os benefícios que o uso de biodigestores e a CE podem proporcionar.

5.2 Resultados do estudo de casos

Conforme mencionado no Capítulo 4, por questões de confidencialidade, optou-se por chamar as empresas de A e B. As quais serão descritas abaixo.

5.2.1 Caracterização da empresa A

A Empresa A faz parte de uma recente subdivisão de um conglomerado industrial de origem alemã, considerado o maior da Europa e um dos maiores do mundo. Tendo sido concluída a sua formação em abril de 2020, a empresa é focada em soluções de energia sustentável, por meio do vento, água, sol e biomassa. Nasceu do desmembramento da antiga divisão de gás e energia desse conglomerado. Estando presente em 90 países, contando com mais de 90.000 funcionários em todo mundo. Ela é líder global na geração e distribuição de energia e na extração, conversão e transporte de petróleo e gás.

O conglomerado é uma multinacional fundada há mais de 170 anos, atuando nos setores: energia, indústria, saúde e infraestrutura. No Brasil, ele está presente há mais de 110 anos, contando com cerca de 6.000 colaboradores, divididos em 12 fábricas, 7 centros de Pesquisa & Desenvolvimento e 13 escritórios regionais.

Os representantes da empresa, os quais foram entrevistados, fazem parte da planta localizada na cidade de São Paulo, capital do Estado de São Paulo. Os dois representantes fazem parte do departamento de EHS (Meio ambiente, Saúde e Segurança), mais especificamente no setor de Meio Ambiente, sendo a coordenadora do setor e um engenheiro ambiental.

5.2.2 O uso de biodigestores na empresa A

A empresa A possui um projeto de Zero Aterro, o qual tem como intuito a redução e até mesmo a eliminação do descarte de resíduos em aterros. Segundo a coordenadora de Meio Ambiente: *“...não é muito sustentável a gente enviar resíduos para aterro...a gente quer sempre tentar destinos que recuperem a energia envolvida nos resíduos”*.

Diante disso, a empresa identificou que um dos principais resíduos gerados é proveniente do restaurante local. Com um preparo de aproximadamente 800-900 refeições diárias, mais os restos de alimentos deixados nos pratos, o volume de resíduos mostrou-se significativo e para mitigar esse resíduo a empresa optou pela implantação de um biodigestor.

O biodigestor da empresa A fica situado próximo a cozinha da empresa e recebe todos os descartes da mesma. Por ser um modelo de biodigestor de abastecimento contínuo, ele pode ser aberto e abastecido a qualquer momento, quantas vezes forem necessárias, conforme a necessidade do refeitório.

Antes de aderir pelo biodigestor a empresa analisou várias outras possibilidades, como a compostagem, mas optou pelo biodigestor devido a sua automação e facilidade de uso. O biodigestor possui conexão com o sistema de gestão da empresa e os funcionários envolvidos no projeto, o qual possui um aplicativo com as informações do biodigestor em tempo real. Neste aplicativo é possível filtrar período, gerar gráficos (quantidade abastecida, capacidade restante, energia consumida, horário de abastecimento, entre outros), problemas de manutenção, a quantidade de resíduos

descartada, a quantidade já processada dentro do biodigestor e a equivalência de gases poluentes que está deixando de emitir no meio ambiente.

O engenheiro ambiental salientou relevância da satisfação estética e facilidade de uso com o biodigestor: “...ele é muito bonito, futurista [...] tem um visorzinho [...] eu consigo acessar lá pelo aplicativo”.

Outro ponto destacado pela empresa é a redução de emissão de CO₂ no transporte dos resíduos, anteriormente realizado por caminhões. E com isso, também ocorre a eliminação de incidentes ocorridos no percurso do descarte dos resíduos. Além da redução significativa de mão de obra. A empresa não revela valores, mas alega ser significativa a economia alcançada com a utilização do biodigestor: “Não podemos falar do valor, mas todos esses benefícios ficaram mais baratos do que a gente pagaria se fosse o tradicional, através de caminhão levando para o aterro”.

Outro fator relevante para a escolha do biodigestor é um sistema facilitado de aluguel do equipamento com uma empresa parceira, a qual também é responsável por garantir todo suporte de manutenção necessária. A empresa mostra-se satisfeita em relação a manutenção necessária do equipamento, pois segundo a empresa a manutenção realizada é baixa. Durante a implantação do equipamento foi necessária uma maior atenção, para que houvesse o enquadramento na NR12, mas após a partida efetiva do equipamento está ocorrendo apenas a manutenção preventiva a cada seis meses.

Ao ser questionada sobre o uso do biogás e do biofertilizante gerados pelo biodigestor, a empresa mostrou-se desconhecer o assunto. Justificando o fato do biodigestor ser um modelo elétrico, utilizado apenas para redução dos resíduos e realizando o descarte final do subproduto direto na rede de esgoto doméstico. Pois, segundo a empresa, as bactérias contidas no biodigestor também auxiliam na limpeza das caixas de gordura. Quando questionada sobre a possibilidade de utilização desses subprodutos no futuro, a empresa afirmou: “Não, acho que esse modelo não tem essa opção”.

Embora a empresa não faça uso dos subprodutos gerados pelo biodigestor, ainda assim a empresa considera o biodigestor relevante na adoção da Economia Circular, em relação ao resíduo orgânico, por permitir a recuperação da energia existente nos resíduos. Que segundo os entrevistados, é um dos objetivos da empresa.

A empresa A não aponta nenhuma desvantagem, ou ponto de melhoria, no uso do biodigestor, pelo contrário, segundo eles o biodigestor está superando as expectativas iniciais. Apresentando um desempenho acima do esperado. Entre os benefícios apontados pela empresa A, estão:

- Benefícios econômicos: menor custo com a destinação final dos resíduos e redução do custo com a limpeza e manutenção das caixas de gordura;

- Benefícios ambientais: redução de descarte em aterros; redução do risco de incidentes no transporte até os aterros; melhor limpeza da caixa de gordura e conseqüentemente melhora na qualidade do esgoto descartado na rede doméstica;

- Benefícios sociais: melhoria significativa na ergonomia dos colaboradores do restaurante.

Apesar da empresa não ter recebido nenhum tipo de incentivo governamental para a instalação do biodigestor, ela acredita ser importante esse incentivo, para que possa facilitar e aumentar a viabilidade de implementação de biodigestores nas empresas. A empresa possui um contrato longo de aluguel com uma empresa de biodigestores, a qual fica responsável pela instalação e manutenções necessárias no equipamento.

A coordenadora de meio ambiente acredita que com essa possibilidade de aluguel do biodigestor, ocorrerá uma disseminação dessa tecnologia e muitas empresas irão aderir, devido à redução significativa do custo.

Atualmente, devido a pandemia, não são todas as unidades da empresa que possuem a tecnologia do biodigestor, mas devido aos resultados alcançados com esta experiência a empresa está prevendo a instalação em todas as unidades em um curto período de tempo.

5.2.3 Caracterização da empresa B

A Empresa B foi fundada na década de 50, e está localizada no interior do Estado de São Paulo. De origem familiar, ela está sendo liderada pela terceira geração de administradores. Possui uma estrutura verticalizada na produção de alimentação dos animais, cuidados dos processos de cria, recria e engorda, abatimento dos animais, distribuição e venda direta.

Com um quadro de funcionário de aproximadamente 500 funcionários, a fazenda possui 200 hectares de propriedade, sendo 10.000 m² de área construída. Sendo duas granjas de produção de suínos, criação de bovinos, frigorífico, área de cultivo de milho e pastagem.

O representante da empresa B, o qual foi entrevistado, é o responsável técnico pelo frigorífico da empresa, onde são abatidos diariamente 100 bovinos e 400 suínos, aproximadamente.

5.2.4 O uso de biodigestores na empresa B

O presente estudo de caso aprofundou-se na análise do biodigestor principal da empresa, a escolha justifica-se por ele ser maior, receber mais resíduos e consequentemente produzir maior quantidade de biogás. O biodigestor foi construído em 2010 e localiza-se próximo a unidade de abate da fazenda. Com uma dimensão de 17 metros de largura, por 50 metros de comprimento e 5 metros de profundidade.

Com um abastecimento contínuo, ele é abastecido diariamente com 170.000 litros de resíduos provenientes do frigorífico e, o período de retenção desses resíduos é de 15 dias, produzindo uma média de 1.000m³ de biogás diariamente. Entretanto, a empresa possui um segundo biodigestor, o qual é menor e é abastecido com os resíduos das baias de criação dos suínos (principalmente urina, fezes e um pouco de ração).

Segundo o responsável técnico do frigorífico, a empresa trabalha praticamente com um ciclo completo de produção: *“Tem as granjas que produz os suínos... tem o frigorífico que faz o abate... as lojas que comercializam o produto final... o biodigestor...”*. Além da parte de agricultura para a produção do milho e da pastagem para alimentação dos animais.

O principal intuito para a construção dos biodigestores consiste na utilização do biogás para abastecimento da caldeira, diminuindo assim o custo com a compra de lenha. Mas também foi levado em consideração o descarte adequado dos resíduos e a produção do biofertilizante para irrigação das áreas agrícolas e de pastagem, evitando assim o uso de fertilizantes químicos.

São necessárias duas caldeiras para suprir a necessidade energética da empresa, sendo uma abastecida com biogás e outra com lenha. Com o uso do biogás, proveniente

do biodigestor, a empresa passou a economizar uma carga de lenha por semana, ou seja, aproximadamente R\$15.000,00 de economia mensal na compra de lenha.

Como dito anteriormente, o biodigestor principal é abastecido com material proveniente do frigorífico: sangue, resíduo da lavagem dos ambientes, resíduo de carne e gordura, limpeza de rúmen e fezes do curral. Todo esse material passa por uma peneira e apenas a fração líquida é destinada ao biodigestor. Devido ao biodigestor ser bastecido com muita água e sangue, ele é menos rentável do que o biodigestor da granja de suínos, cujo os dejetos são ricos em fósforo.

Por acreditar ser mais lucrativo para a empresa, antes dos resíduos serem enviados ao biodigestor, a fração sólida é segregada e enviada para o setor de graxaria, onde são produzidos óleos, farinhas e outros produtos. Assim como os resíduos sólidos das fezes do curral, que são utilizados como esterco ou vendidos para compostagem, enviando assim apenas a fração líquida para o biodigestor.

Ao ser questionado sobre a possível rentabilidade da venda do biofertilizante, o entrevistado argumentou que o biofertilizante é utilizado apenas para irrigação das plantações da fazenda. E explicou que a parte líquida resultante do biodigestor do frigorífico vai para uma lagoa, dessa lagoa é bombeado para uma segunda lagoa (a qual fica centralizada na propriedade) e, essa segunda lagoa também recebe a fração líquida proveniente do biodigestor da granja.

A irrigação das plantações da fazenda é realizada com a água proveniente dessa lagoa. Vale ressaltar que as propriedades do biofertilizante variam conforme o material de entrada no biodigestor, portanto, a empresa realiza periodicamente uma análise de material da lagoa antes de utilizar na fertirrigação. O biodigestor, no entanto, não utiliza resíduos de propriedades menores e que são próximas a fazenda.

Tanto o transporte dos resíduos antes do biodigestor, quanto o transporte do biogás e do biofertilizante são realizados por tubulação (manilha ou tubos de grandes polegadas). Portanto, o biodigestor está ligando a caldeira e a lagoa de irrigação, não havendo nenhum contato manual, em nenhuma etapa do processo.

Conforme relatado, não há nenhum pré-tratamento dos resíduos antes de serem direcionados ao biodigestor. Não sendo utilizado nenhum produto químico, antes ou depois do processo. Também não é necessário adicionar água ao biodigestor, uma vez

que o material enviado ao mesmo é, em sua maioria, líquido. Embora haja consumo de energia pelo biodigestor, esse valor não é calculado.

A limpeza do biodigestor é realizada a cada 3 anos. Após o esgotamento do mesmo, ele é aberto e os resíduos sólidos são retirados com a ajuda de uma retroescavadeira. A troca da lona superior ocorre a cada 10 anos, entretanto, periodicamente são realizados reparos na mesma.

Embora todo o biogás produzido seja utilizado para abastecimento da caldeira, apenas ele não é suficiente, sendo necessária também a utilização de lenha, devido a uma defasagem de tecnologia na caldeira: *“...a quantidade de gás que a gente produz seria suficiente para movimentar uma caldeira que atenderia o frigorífico, mas tem um problema com a caldeira, tem uma defasagem de tecnologia, e a caldeira não consegue fazer o aproveitamento total do gás”*.

O entrevistado concorda com a afirmação de que o biogás é uma energia renovável, pois segundo ele, o biogás é um combustível proveniente de um processo inerente ao do frigorífico: *“...um material que é possível reaproveitar...não é finito, enquanto eu tiver matéria orgânica, eu vou estar gerando gás”*.

As principais vantagens do uso de biodigestores apresentadas foram: melhor aproveitamento do material orgânico gerado, pois mesmo com todo controle da CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), de certa forma, esse resíduo ainda acaba por poluir o meio ambiente *“...ou teria que haver um gasto financeiro muito maior para tratamento dessa água, desses resíduos, tratamento químico para poder lançar isso de volta a natureza”*; a questão energética devido ao aproveitamento do biogás; e a melhora significativa na qualidade da pastagem após a fertirrigação. Entretanto, o principal, segundo o entrevistado é *“...o aproveitamento completo de todo material que a gente acaba colocando dentro do biodigestor. Se fosse para escolher um, eu acho que o aproveitamento dos resíduos”*.

A principal desvantagem apontada é a dificuldade para a realização da manutenção do biodigestor, em relação a limpeza. Por necessitar de maquinário pesado, como trator, ter que tirar a lona e necessidade de uma mão de obra especializada. Embora não seja uma operação barata, o principal problema é a dificuldade na sua execução.

Entre os benefícios apontados pela empresa B, estão:

- Benefícios econômicos: economia significativa com a redução do consumo de lenha para abastecimento da caldeira; o aproveitamento de todo ciclo do produto.

- Benefícios ambientais: melhoria na qualidade da pastagem; diminuição do uso de herbicidas; não utilização de agentes químicos para tratamento de limpeza da água residual; e também a redução do consumo da lenha, pois mesmo que seja utilizada lenha de reflorestamento, ainda assim é um impacto negativo para o meio ambiente.

- Benefícios sociais: o exemplo da empresa com o uso de biodigestor e o descarte adequado dos resíduos, como fonte de inspiração para outras empresas “*Despertando o interesse em outras empresas do mesmo segmento, ou segmentos parecidos*”.

Entretanto, a empresa não observou nenhuma mudança comportamental nos próprios funcionários, pois muitas vezes eles não possuem conhecimento do uso e da importância do biodigestor. Talvez, se houvesse uma maior divulgação dos trabalhos realizados pela empresa houvesse um resultado melhor. Um exemplo disso é o fato da empresa possuir restaurante próprio, mas os resíduos do restaurante serem descartados em lixo orgânico comum, não sendo destinados ao biodigestor. E, por enquanto, não há nenhum projeto para que isso ocorra no futuro.

Ao ser questionado sobre a inter-relação do biodigestor com a economia circular, o entrevistado foi categórico ao dizer que com certeza o biodigestor faz parte de uma economia circular. Enfatizando que é por meio do biodigestor que é possível avançar nas etapas de aproveitamento da matéria orgânica, pois sem ele não ocorreria a obtenção do biogás e do biofertilizante: “*então, eu não consigo fechar esse processo se eu não tiver o biodigestor*”. Entretanto, por haver outras prioridades eminentes, a empresa não está explorando todas as possibilidades que poderia em relação a economia circular.

Embora não tenha ocorrido nenhum apoio governamental para a instalação e uso do biodigestor, a empresa acredita que seja importante haver esse incentivo. Para que as empresas sejam estimuladas a utilizar essa tecnologia. Mas ela acredita que isso só acontecerá se houver um ganho financeiro para ambas as partes envolvidas: “*...acredito que vai acontecer mais por obrigação, por necessidade, do que por iniciativa própria*”.

5.3 Barreiras e facilitadores identificados

Por meio do estudo de casos realizados nas empresas A e B, foi possível identificar as barreiras e os facilitadores apresentados pelas duas empresas. Essas barreiras e facilitadores estão apresentados na Quadro 4.

QUADRO 4 – Barreiras e facilitadores do estudo de casos

BARREIRAS E FACILITADORES DO USO DE BIODIGESTORES E DA ECONOMIA CIRCULAR – ESTUDO DE CASO			
Barreiras	Empresa Analisada	Facilitadores	Empresa Analisada
Não utilização do biogás	A	Auxílio na limpeza das caixas de gordura e menor periodicidade de manutenção	A
Não utilização do biofertilizante	A	Diminuição do descarte em aterros	A
Falta de incentivo governamental	A; B	Descarte adequado dos resíduos	A; B
Não utilização de todo resíduo para abastecimento do biodigestor	A; B	Melhora nos indicadores de desempenho de EHS	A
Esterco destinado a compostagem	B	Automação do biodigestor	A
Difícil manutenção (limpeza periódica)	B	Interligação do biodigestor com o sistema de gestão da empresa	A
Necessidade de mão de obra especializada para realização da manutenção	B	Informação em tempo real	A
Defasagem tecnológica para uso do biogás	B	Possibilidade de alugar o biodigestor	A
Falta de divulgação dos benefícios para os próprios funcionários	B	Menor custo de investimento com o aluguel	A
Falta de interesse em explorar as possibilidades	B	Redução de CO ₂ pelos caminhões	A
Falta de previsibilidade para o futuro	B	Eliminação do risco ambiental de acidentes com o transporte de resíduos	A
Falta de conhecimento de toda tecnologia	A; B	Redução de mão de obra	A

Continua

Cont. Quadro 4

	Redução dos custos	A
	Baixa manutenção	A
	Recuperação de energia dos resíduos	A; B
	Baixo custo para destinação dos resíduos	A
	Ergonomia dos funcionários	A
	Estética do equipamento	A
	Diminuição do consumo de lenha	B
	Fertirrigação da pastagem e agricultura	B
	Economia financeira	B; A
	Não utilização de produtos químico para tratamento das águas residuais	B
	Energia renovável	B
	Não poluição das águas dos rios	B
	Melhora da qualidade das áreas fertirrigadas	B
	Diminuição do uso de herbicidas e utilização do biofertilizante	B
	Exemplo para outras empresas	B
Contribuição com uma Economia Circular	B; A	
Fechamento do ciclo do produto	B	

Fonte: elaborado pela autora.

Conforme demonstrado no Quadro 4, as barreiras apresentadas exclusivamente pela empresa A foram: não utilização do biogás e não utilização do biofertilizante. A empresa B apresentou as seguintes barreiras: esterco destinado a compostagem,

diminuindo os resíduos para abastecimento do biodigestor; difícil manutenção (limpeza periódica); defasagem tecnológica para uso do biogás; projeto inicial tornou-se ineficiente economicamente; falta de divulgação dos benefícios para os próprios funcionários; falta de interesse em explorar mais possibilidades decorrentes do uso dos biodigestores; falta de previsibilidade para o futuro; e não utilização completa do biogás. Ambas as empresas apresentaram as barreiras: falta de incentivo governamental; não utilização de todo resíduo para abastecimento do biodigestor; e falta de conhecimento de toda tecnologia.

Já no que concerne os facilitadores, a empresa A apresentou os seguintes: auxílio na limpeza das caixas de gordura; diminuição do descarte em aterros; melhora nos indicadores de desempenho de EHS (*Environment, Health e Safety*); automação do biodigestor; interligação do biodigestor com o sistema de gestão da empresa; informação em tempo real; possibilidade de alugar o biodigestor; menor custo de investimento com o aluguel; redução de CO₂ pelos caminhões; eliminação do risco ambiental de acidentes com o transporte de resíduos; redução de mão de obra; redução dos custos; baixa manutenção; baixo custo para destinação dos resíduos; menor periodicidade de manutenção nas caixas de gordura; ergonomia dos funcionários; e estética do equipamento.

Com uma outra visão, a empresa B apresentou os seguintes facilitadores: ciclo completo do produto; abastecimento da caldeira; diminuição do consumo de lenha; fertirrigação da pastagem e agricultura; não utilização de produtos químicos para tratamento das águas residuais; energia renovável; não poluição das águas dos rios; melhora da qualidade das áreas fertirrigadas; diminuição do uso de herbicidas; exemplo para outras empresas; e fechamento do ciclo do produto. Ambas as empresas apresentaram: descarte adequado dos resíduos; recuperação de energia dos resíduos; economia financeira; e contribuição com uma economia circular.

6. DISCUSSÕES

Este capítulo aborda de maneira integrada as partes analíticas e empírica desta pesquisa, pois serão apresentadas as análises relacionando a revisão bibliográfica com a análise SWOT e o estudo de casos. Assim como os principais pontos de destaque observados.

Seguindo a proposta de Abdel-Basset, Mohamed e Smarandache (2018), após desenhada a Matriz SWOT faz-se relevante integrar as Oportunidades com as Forças, e as Ameaças com as Fragilidades, para que seja possível estabelecer um plano estratégico que minimize e monitore os aspectos negativos, assim como maximize as potencialidades. Pois, para que um plano estratégico atinja o sucesso deve-se focar nos pontos forte e oportunidades, trabalhar da melhor forma com os pontos fracos e mitigar as ameaças.

Diante disso, alguns fatores apresentados na matriz SWOT são singulares e desencadearam novas abordagens de pensamento, ampliando a fomentação deste trabalho, pois referem-se aos principais pontos de discussão do tema abordado (o uso de biodigestores na EC). Sendo eles:

- Forças: simbiose industrial; cultivo do próprio alimento; economia circular/fechamento de ciclo; substituição do combustível fóssil.

- Oportunidades: comércio de carbono; marketing ambiental; produção e consumo dos insumos próximos; geração de renda extra; melhoria da qualidade de vida; maior apoio a economia circular; substituição do combustível fóssil; diversificação de insumos.

- Fraquezas: burocracia interna; dificuldade de comercialização do digestado; alto custo de manutenção, de transporte e de armazenamento dos insumos.

- Ameaças: surgimento de novas tecnologias; não homogeneidade dos resíduos; falta de gestão da empresa; compostagem mostrar-se mais atraente.

Pôde-se observar que alguns fatores se repetem em posições diferentes da matriz. Por exemplo, a substituição do combustível fóssil por biogás e maior apoio a EC, são interpretadas como forças (ambiente interno) e também como oportunidades (ambiente externo). Isso pode ocorrer devido ao posicionamento atual da empresa do respondente, ou da sua compreensão sobre ambiente interno e externo. Uma boa gestão empresarial é

responsável por transformar as oportunidades (ambiente externo) em forças (ambiente interno), assim como evitar que uma ameaça (ambiente externo) se torne uma fraqueza (ambiente interno).

Houveram também fatores em posições opostas da matriz. Como por exemplo, foram classificados como uma fraqueza os altos custos envolvidos com o uso de biodigestores no contexto da EC (alto custo de manutenção, de transporte e de armazenamento dos insumos). Entretanto, foram apontados como oportunidades o comércio de carbono, a geração de benefícios econômicos e renda extra, assim como força, a redução do custo de produção e economia de custos em geral.

O que evidencia ambiguidade das informações descritas. Novamente, um das justificativas seria a realidade distinta de cada empresa e a compreensão de cada respondente dentro da sua própria realidade. Reiterando a importância de uma análise mais aprofundada das vantagens e desvantagens do uso de biodigestores para cada empresa, e sua abordagem para a EC.

As empresas A e B, do estudo de casos, destacam como um dos facilitadores a economia financeira. Assim como na literatura, por exemplo Xue *et al.* (2019), que asseguram os benefícios econômicos com a produção do biogás, em um modelo de EC. Evidenciando a superação dos benefícios financeiros em relação ao investimento inicial necessário. Neste caso, a discussão se limita aos benefícios econômicos, mas é válido salientar a existência de benefícios ambientais e sociais, muitas vezes intangíveis nas medidas monetária.

Alguns dos fatores apresentados na matriz SWOT também puderam ser observados no estudo de casos realizados. Entretanto, o estudo de casos trouxe uma contribuição ainda maior para a pesquisa realizada, pois muitos fatores apresentados pelas empresas não haviam sido mencionados, pelos respondentes e pela literatura. Estes fatores serão explanados mais à frente.

Diante do fato das empresas não serem do mesmo segmento e utilizarem o biodigestor para propósitos distintos, elas possuem abordagens diferenciadas das barreiras e facilitadores. Havendo poucas interseções entre os fatores apontados por ambas.

Os Quadros 5 e 6, apresentados abaixo, referem-se a um comparativo dos Quadros 2 e 3 apresentados no Capítulo 3, os quais apresentam as barreiras e facilitadores no uso

de biodigestores no contexto da economia circular apontados pela literatura, com a Figura 9 referente a matriz SWOT elaborada por meio do questionário e, o Quadro 4 que traz as barreiras e os facilitadores apresentados pelas empresas durante a realização do estudo de casos, apresentados no Capítulo 5.

QUADRO 5 – Comparação das barreiras encontradas na matriz SWOT e estudo de casos com a revisão bibliográfica

BARREIRAS	ESTUDO DE CASO (empresa)	ANÁLISE MATRIZ SWOT		LITERATURA
		FRAQUEZAS	AMEAÇAS	
Não utilização do biogás e do biofertilizante	A	-	-	-
Falta de conhecimento de toda tecnologia	A; B	-	-	Winqvist <i>et al.</i> (2019)
Falta de leis e incentivo governamental	A; B	Falta de incentivo público	Falta de incentivo governamental	Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Winqvist <i>et al.</i> (2019); Xue <i>et al.</i> (2019)
Não utilização de todo resíduo para abastecimento do biodigestor	A; B	-	Desperdício de insumos	-
Esterco destinado a compostagem	B	-	Compostagem mostrar-se mais atraente	-
Custo de manutenção	-	Alto custo de manutenção	-	-
Difícil manutenção (limpeza periódica)	B	Necessidade de manutenção periódica	-	-
Defasagem tecnológica para uso do biogás, gerando insuficiência energética	B	-	-	Slorach <i>et al.</i> (2019)

Continua.

Cont. Quadro 5.

Falta de previsibilidade para o futuro	B	-	Surgimento de novas tecnologias	-
		-	Previsibilidade dos resíduos para abastecimento	-
Dificuldade logística e custo de transporte	-	Alto custo de transporte	-	Czekala <i>et al.</i> (2020); Rada <i>et al.</i> (2019); Hadin, Hillman e Eriksson (2017); Slorach <i>et al.</i> (2019); Abad <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019); Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018)
	-	Dificuldade logística	Dificuldade logística e transporte dos resíduos	
Mau odor	-	Possibilidade de geração de mau cheiro	-	Rada <i>et al.</i> (2019)
Falta de conscientização da população	-	Ausência de conscientização da população	Falta de conscientização ambiental	Rada <i>et al.</i> (2019); Winqvist <i>et al.</i> (2019),
Falta de divulgação dos benefícios para os próprios funcionários	B	-	Falta de conhecimento da população	-
Possibilidade de contaminação do solo, ar, água, etc.	-	Risco de contaminação ambiental	-	Dahlin <i>et al.</i> (2016); Rauseo <i>et al.</i> (2019); Svanström <i>et al.</i> (2017)
Necessidade de realização de etapas de pré-tratamento	-	-	-	Rada <i>et al.</i> (2019); Tampio <i>et al.</i> (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Cecchi e Cavinato (2019); Kiselev <i>et al.</i> (2019); Chang <i>et al.</i> (2018); Abad <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019)
Dificuldade e alto custo de armazenagem	-	Alto custo de armazenagem dos insumos	Manejo correto dos resíduos	Czekala <i>et al.</i> (2020); Abad <i>et al.</i> (2019)

Continua

Cont. Quadro 5.

Inviabilidade econômica de pequenas plantas / pequenos produtores	-	-	-	Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Yazan <i>et al.</i> (2018)
Alto custo de investimento	-	Alto custo com infraestrutura	Alto custo de fabricação	Gontard <i>et al.</i> (2018); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Hadin, Hillman e Eriksson (2017); Winqvist <i>et al.</i> (2019); Picardo <i>et al.</i> (2019)
Necessidade de uma coleta seletiva adequada	-	Falta de uma coleta seletiva adequada	Não homogeneidade dos resíduos	Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Cecchi e Cavinato (2019); Abad <i>et al.</i> (2019)
Falta e alto custo de infraestrutura	-	-	-	Gontard <i>et al.</i> (2018); Picardo <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019)
Necessidade mão de obra especializada para realização da manutenção	-	Falta de mão de obra qualificada	Falta de mão de obra qualificada	-
Dimensionamento do biodigestor	-	Mal dimensionamento do biodigestor	-	-
Mudança de cultura	-	Necessidade de uma mudança de cultura	-	-
Dificuldade de execução do projeto	-	Burocracia interna para execução	Dificuldade de implementação	-
Falta de recursos e gestores capacitados	-	Necessidade de espaço físico	Falta de recursos e espaço físico	-
	B	Falta de verba e interesse dos gestores	Falta de gestão da empresa	-
Comercialização do digestado	-	Dificuldade na comercialização do digestado	-	-
Atendimento a legislação	-	Atendimento da legislação ambiental	Alterações da legislação atual	-
Controle de processo	-	-	Necessidade de controle de processo e qualidade	-

Fonte: elaborado pela autora.

Apenas uma das barreiras foi identificada em todas as etapas da pesquisa: a falta de incentivo governamental. Esse resultado é alinhado com os achados de Winqvist *et al.* (2019), Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019) e Xue *et al.* (2019), uma vez que as empresas A e B (participantes do estudo de casos), concordam que se houvesse um maior incentivo governamental essa tecnologia seria maior difundida e melhor aproveitada. Segundo a empresa B, o governo também poderia obter lucros com essas parcerias, seja financeiro ou como *marketing* verde. Essa barreira foi apontada na análise SWOT tanto como uma fraqueza, quanto uma ameaça. Deixando clara a importância da mesma e um forte ponto de melhoria.

A matriz SWOT também apresentou como barreiras, o excesso de 'burocracia' interna para a execução do projeto e a dificuldade de implementação do mesmo, como uma fraqueza e uma ameaça, respectivamente. Diversos fatores convergem para a existência e até mesmo o agravamento dessas barreiras, sendo como principais: simplesmente descaso dos gestores; falta de conhecimento; falta de leis mais claras e específicas.

No mesmo contexto, outra barreira abordada é a necessidade de uma mudança de cultura, tanto organizacional quanto da população em geral. A quebra dos conceitos pré-existentes sobre o tratamento de resíduos, pode mostrar-se um processo árduo e perene. Embora o uso de biodigestores para a produção de biogás e biofertilizante, não seja uma ferramenta nova, muitos ainda desconhecem a sua importância e os benefícios incorporados, o que demanda uma nova linha de pensamento, com mudanças substanciais.

Esta mudança de pensamento também está associada com as barreiras de surgimento de novas tecnologias e falta de previsibilidade dos resíduos para abastecimento do biodigestor, as quais foram mencionadas como ameaças na matriz SWOT e no estudo de casos. As empresas mostram-se receosas, em investir com a infraestrutura necessária para a instalação do biodigestor e utilização do biogás, considerando a possibilidade do desenvolvimento de tecnologias mais atraentes para o tratamento dos resíduos. Entretanto, o surgimento de novas tecnologias é um risco eminente em qualquer segmento.

Na mesma linha de raciocínio, embora não tenha sido mencionada na revisão bibliográfica, algumas empresas apontam a compostagem como uma ameaça, por

mostrar-se mais atraente do que o uso de biodigestores, para tratamento dos resíduos sólidos. Por considerar mais lucrativo, a maior parte dos resíduos sólidos do processo produtivo da empresa B, que não são segregados para o setor de graxaria, são destinados à compostagem.

Do mesmo modo, a empresa B, também destina à compostagem os resíduos do restaurante local. Por outro lado, o biodigestor utilizado pela empresa A, é abastecido exclusivamente com os resíduos alimentares do seu restaurante. Nenhum outro resíduo é utilizado pela empresa A, nem os resíduos do processo produtivo, nem a rede de esgoto. Para Cecchi e Cavinato (2019), os resíduos orgânicos provenientes do desperdício de alimentos, são os mais promissores como recursos renováveis. Devido a sua alta disponibilidade e por seu alto grau de geração de GEE, se descartado de maneira incorreta.

Outro ponto de destaque é que, segundo a empresa A, o biodigestor utilizado por ela, não produz biogás ou biofertilizante. Portanto, a empresa não usufrui das vantagens intrínsecas a estes insumos. Embora tenha sido questionada, durante o estudo de caso, por razões de segurança interna e confidencialidade do processo, não foi possível identificar com clareza as justificativas da empresa. Algumas das possibilidades seriam: o não conhecimento de toda tecnologia adotada; desconhecimento de todas as vantagens possíveis; limitações no contrato de aluguel do equipamento; e, de uma maneira menos provável, um novo modelo de biodigestor que não capta o biogás.

A dificuldade logística e o alto custo de transporte também é apontado como uma barreira, uma fraqueza e uma ameaça. Este fator é corroborado por diversos autores, entre eles: Czekala *et al.* (2020), Vondra, Tous e Teng (2019) e Abad *et al.* (2019). Entretanto, essa barreira não foi identificada pelas empresas do estudo de caso, pelo contrário, o sistema de transporte da empresa B é totalmente encanado, os dejetos para o biodigestor, o biogás para a caldeira e biofertilizante para a lagoa de fertirrigação. A empresa A, salientou a diminuição dos custos, se comparado ao transporte dos resíduos até os aterros, por meio de caminhões. Além da redução dos custos com mão de obra, a diminuição de emissão de CO₂ e a eliminação dos riscos ambientais, com a possibilidade de acidentes durante o trajeto.

O mesmo ocorreu com a barreira de inviabilidade econômica do uso de biodigestores para pequenos produtores, argumentado pelos autores: Cucchiella,

D'Adamo e Gastaldi (2019) e Yazan *et al.* (2018). Esse argumento não foi compartilhado por nenhuma empresa ou acadêmico, participantes da pesquisa. Ao contrário, observou-se exemplos de escolas, hospitais e até mesmo hotéis que estão aderindo ao uso de biodigestores, em um processo de modelo circular. Reforçando esse argumento, a empresa A utiliza um biodigestor elétrico alugado, de modelo compacto, e esteticamente agradável, segundo a empresa. No contrato de aluguel está vinculado os custos de instalação e manutenção do equipamento. Durante a entrevista, por mais de uma vez, a empresa salientou a importância da aparência estética do biodigestor e da tecnologia envolvida, pois todas as informações são transmitidas automaticamente para o sistema de gestão da empresa, e para um aplicativo disponível para todos os funcionários que o utiliza. Essas características não foram apresentadas em nenhum outro ponto da pesquisa realizada.

Trabalhos como o de Rada *et al.* (2019), Tampio *et al.* (2019), Cecchi e Cavinato (2019) e Kiselev *et al.* (2019), apontam como uma barreira a necessidade de realização de etapas de pré-tratamento dos resíduos, os quais irão abastecer o biodigestor. Entretanto, essa barreira não foi identificada em nenhuma outra etapa da pesquisa. No estudo de casos, as duas empresas utilizam os resíduos sem essa etapa anterior. A empresa B, realiza apenas uma simples separação prévia dos resíduos, por meio de uma peneira.

Foi apontada como uma fraqueza na matriz SWOT, a dificuldade na comercialização do digestado. Como em nenhum outro ponto de análise do trabalho, essa barreira foi mencionada, não foi possível identificar com clareza o enfoque do respondente. Todavia, duas possibilidades foram levantadas: ou alguma etapa do processo está agregando custos ao produto ou, simplesmente, a falta de conhecimento do mercado consumidor, em relação aos benefícios oriundos da utilização do produto.

Mediante a outros fatores levantados, no decorrer da pesquisa, a possibilidade do alto custo do digestado mostra-se distante, pois trata-se de um subproduto da produção do biogás, proveniente de resíduos (muitas vezes descartados) e, de baixo custo se comparado aos fertilizantes químicos. Portanto, a justificativa mais plausível seria a falta de conhecimento do mercado consumidor. A população ainda desconhece os benefícios e, em alguns casos, até mesmo a existência do biofertilizante.

O Quadro 6 apresenta a correlação dos facilitadores do uso de biodigestores, no contexto da economia circular, apresentados pela literatura, análise SWOT e estudo de casos realizados.

QUADRO 6 – Comparação dos facilitadores encontrados na matriz SWOT e estudo de casos com a revisão bibliográfica

FACILITADORES	ESTUDO DE CASO (empresa)	ANÁLISE MATRIZ SWOT		LITERATURA
		FORÇAS	OPORTUNIDADES	
Auxílio na limpeza das caixas de gordura e menor periodicidade de manutenção	A	-	-	-
Recuperação de energia dos resíduos	A; B	Recuperação de nutrientes dos resíduos	-	Czekala <i>et al.</i> (2020); Xu <i>et al.</i> (2018); Ferella <i>et al.</i> (2019); Tampio <i>et al.</i> (2019); Barampouti <i>et al.</i> (2019); Kougias e Angelidaki (2018); Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Gontard <i>et al.</i> (2018); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Chang <i>et al.</i> (2018); Lybæk e Kjær (2017)
Diminuição do descarte em aterros	A	Diminuição dos aterros	-	
		Descentralização do tratamento de resíduos		
Descarte adequado dos resíduos	A; B	Solução viável para tratamento dos resíduos	Destinação adequada dos resíduos	
			Saneamento básico adequado	
Reuso dos resíduos	-	Reaproveitamento dos resíduos	-	

Continua

Cont. Quadro 6.

Redução de CO ₂ pelos caminhões	A	-	-	Xu <i>et al.</i> (2018); Kougias e Angelidaki (2018); Paul <i>et al.</i> (2018); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Cecchi e Cavinato (2019); Kiselev <i>et al.</i> (2019); Slorach <i>et al.</i> (2019); Lybæk e Kjær (2017); Xue <i>et al.</i> (2019)
Redução dos GEE		-	-	
Melhora nos indicadores de desempenho de EHS	A	-	-	-
Automação do biodigestor	A	-	-	-
Interligação do biodigestor com o sistema de gestão da empresa	A	-	-	-
Informação em tempo real	A	-	-	-
Possibilidade de alugar o biodigestor	A	-	Parcerias e investimentos no setor	-
Necessidade de infraestrutura básica	-	Necessidade de infraestrutura básica	-	-
Menor custo de investimento com o aluguel	A	-	-	-

Continua

Cont. Quadro 6

Eliminação do risco ambiental de acidentes com o transporte de resíduos	A	-	-	-
Redução de mão de obra	A	-	-	-
Baixa manutenção	A	-	-	-
Aproveitamento energético	-	Aproveitamento energético	-	-
Baixo custo para destinação dos resíduos	A	-	-	-
Ergonomia dos funcionários	A	-	-	-
Melhoria da qualidade de vida		-	Melhoria da qualidade de vida	-
Estética do equipamento	A	-	-	-
Economia financeira	B; A	-	-	-
Aumento do poder econômico	-	-	Possibilidade do comércio de carbono	Czekala <i>et al.</i> (2020); Xu <i>et al.</i> (2018); Paul <i>et al.</i> (2018); Grippo, Romano e Vastola (2019); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Lybæk e Kjær (2017); Winqvist <i>et al.</i> (2019); Abad <i>et al.</i> (2019); Xue <i>et al.</i> (2019)
			Venda do biogás e do biofertilizante	
			Geração de benefícios econômicos	
			Geração de renda extra	
			Novas oportunidades de trabalho	
Redução dos custos	A	Economia de custos	-	
		Redução do custo de produção	-	

Continua

Cont. Quadro 6

Energia renovável	B	Produção de energia renovável (biogás)	-	Xu <i>et al.</i> (2018); Ferella <i>et al.</i> (2019); Kougias e Angelidaki (2018); Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Cucchiella,
Substituição do combustível fóssil	-	Substituição do combustível fóssil	Substituição do combustível fóssil	D'Adamo e Gastaldi (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Hadin, Hillman e Eriksson (2017); Winqvist <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019)
Não poluição das águas dos rios	B	-	-	-
Cultivo do próprio alimento	-	Cultivo do próprio alimento	-	-
Melhora da qualidade das áreas fertirrigadas	B	-	Alimento e solo mais nutrido	-
Fertirrigação da pastagem e agricultura	B	-	-	Czekala <i>et al.</i> (2020); Tampio <i>et al.</i> (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Stoknes <i>et al.</i> (2016); Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019)
Não utilização de produtos químico para tratamento das águas residuais	B	-	Redução do uso de produtos químicos	Czekala <i>et al.</i> (2020); Tampio <i>et al.</i> (2019); Paul <i>et al.</i> (2018); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Stoknes <i>et al.</i> (2016); Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019)
Uso de biofertilizante e diminuição do uso de herbicidas		Produção de biofertilizante		
Exemplo para outras empresas	B	-	Marketing ambiental	-
Conscientização da comunidade	-	-	Conscientização da comunidade	-

Continua

Cont. Quadro 6

Contribuição com uma Economia Circular	B; A			Czekala <i>et al.</i> (2020); Grippo, Romano e Vastola (2019); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Pérez-Camacho, Curry e Cromie (2018); Magrí <i>et al.</i> (2017); Kiselev <i>et al.</i> (2019)
Fechamento do ciclo do produto	B	Economia circular - fechamento de ciclo	Maior apoio a Economia Circular	
Sustentabilidade	B	Desenvolvimento sustentável	Sustentabilidade	Xu <i>et al.</i> (2018); Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Gontard <i>et al.</i> (2018); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Slorach <i>et al.</i> (2019); Hidalgo, Martín-Marroquín e Corona (2019); Xue <i>et al.</i> (2019)
		Preservação ambiental / sustentabilidade	Benefícios ambientais	
Diminuição do consumo de lenha		Melhor uso dos recursos naturais		
Leis e subsídios governamentais	-	-	-	Xu <i>et al.</i> (2018); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019)
Matéria-prima em abundância	-	-	Diversificação de insumos	Xu <i>et al.</i> (2018); Tampio <i>et al.</i> (2019); Gontard <i>et al.</i> (2018); Grippo, Romano e Vastola (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Cecchi e Cavinato (2019); Chang <i>et al.</i> (2018); Osman <i>et al.</i> (2019)
Coleta seletiva / facilitação na reciclagem	-	Coleta seletiva / facilitação na reciclagem	-	-
Simbiose industrial	-	Simbiose industrial	Produção e consumo dos insumos próximos	Czekala <i>et al.</i> (2020); Muradin, Joachimiak-Lechman e Foltynowicz (2018)
Desenvolvimento de pesquisas	-	-	Desenvolvimento de pesquisas	-

Fonte: Elaborado pela autora.

Como demonstrado no Quadro 6, alguns dos facilitadores do uso de biodigestores no contexto da EC, foram identificados em todas as etapas da pesquisa (literatura, matriz SWOT e estudo de casos), são eles: (i) diminuição do descarte em aterros; (ii) descarte adequado dos resíduos, incluindo o saneamento básico; (iii) produção de energia renovável; (iv) utilização de biofertilizante e, conseqüentemente, diminuição do uso de produtos químicos; (v) sustentabilidade, salientando o melhor uso dos recursos naturais, o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental; (vi) contribuição com a EC e fechamento de ciclos; (vii) aumento do poder econômico; e (viii) simbiose industrial.

A pesquisa evidencia, em todas as esferas, a preocupação dos participantes com o descarte adequado dos resíduos. A adoção de práticas da EC, como o uso de biodigestores, assegura o tratamento adequado dos resíduos orgânicos, possibilita o saneamento básico em áreas remotas e o tratamento de águas residuais em áreas urbanas, além da diminuição do descarte de resíduos em aterros. O descarte inadequado dos resíduos e a falta de saneamento básico trazem conseqüências prejudiciais à saúde e perda da energia residual dos materiais. A aderência a essas práticas é fundamental para o cumprimento dos objetivos do desenvolvimento sustentável (KISELEV; MAGARIL; RADA, 2019).

Um dos principais pilares do uso de biodigestores, dentro dos conceitos da EC, é a geração de energia renovável. Um facilitador que foi citado pela empresa B, mencionado como uma força na matriz SWOT e na literatura por diversos autores. Entre eles: Loizia, Neofytou e Zorpas (2019); Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019); Winqvist *et al.* (2019); Ferella *et al.* (2019); e Xu *et al.* (2018).

Para Cucchiella, D'Adamo e Gastaldi (2019), a sustentabilidade apoia o crescimento econômico de longo prazo, valorizando a transformação dos resíduos em recursos. Mas para que isso ocorra, é necessária uma maior aderência aos recursos energéticos renováveis, para que haja cada vez menos dependência dos combustíveis fósseis. A sensibilização ao uso de energia renovável, como o biogás, já mostra claramente a consciência de substituição do uso de combustíveis fósseis. Um facilitador apontado como uma força e uma oportunidade.

Assim como o biogás, o biofertilizante também desempenha um papel importante dentro da EC. O biofertilizante é o insumo final do ciclo do produto, sendo proveniente de resíduos orgânicos, ele finaliza o processo de destinação adequada dos resíduos. Evitando assim a liberação dos GEE, por resíduos que não possuem tratamento adequado. A sua utilização acarreta na redução do consumo dos produtos químicos industrializados,

além de ser mais barato e natural. Como enfatizado pela empresa B, além da melhora significativa na qualidade das áreas de pastagem, após a utilização do biofertilizante para fertirrigação.

Essas características do biofertilizante amparam outro facilitador, apresentado como força na matriz SWOT: o cultivo do próprio alimento. Embora não tenha sido citado nem nenhuma outra etapa, esse facilitador deve ser levado em consideração, pois refere-se a compreensão de que, por meio da produção do biofertilizante e do biogás, pequenos produtores podem fertilizar a própria terra, com um produto de qualidade e baixo custo, além do uso do biogás gerar energia para os equipamentos necessários no cultivo e subsistência da propriedade.

Com os mesmos conceitos, mas expandindo os parâmetros, temos o facilitador da simbiose industrial, apresentado como uma força na perspectiva do uso de biodigestores no contexto da EC, pois por meio dela é possível fechar, ou pelo menos estreitar, o ciclo da matéria-prima, com a menor perda possível. Na simbiose industrial o resíduo de uma indústria torna-se matéria-prima para outra, sendo possível agregar valor e vantagem competitiva por meio da gestão de resíduos (ORMAZABAL *et al.*, 2018).

A simbiose industrial está relacionada com uma oportunidade apresentada na matriz SWOT e corroborada pela literatura: a produção e consumo dos insumos próximos. Segundo Czekala *et al.* (2020), para que o uso de biodigestores esteja alinhado com a EC, é fundamental que a utilização dos insumos (biogás e biofertilizante) ocorra em áreas adjacentes ao biodigestor.

A agregação de valor e a vantagem competitiva, são retratados na literatura por diversos autores, por meio do aumento do poder econômico com a utilização do biodigestor. Entre os autores, estão: Czekala *et al.* (2020); Donia, Mineo e Sgroi (2018); Xu *et al.* (2018); Paul *et al.* (2018); Grippo, Romano e Vastola (2019); Xue *et al.* (2019); e Abad *et al.* (2019).

Embora esse facilitador não tenha sido mencionado no estudo de casos, tão pouco como uma força na matriz SWOT, ele foi de várias maneiras distintas, citado como uma oportunidade, por meio de possibilidade do comércio de carbono, venda do biogás e do biofertilizante, geração de benefícios econômicos, geração de renda extra e novas oportunidades de trabalho. Essas oportunidades evidenciam a necessidade de atuação dos gestores, para a transformarem em forças para suas empresas.

A prática do comércio de carbono mostra-se cada vez mais crescente e, é apontada como uma oportunidade. Uma vez que empresas que geram menores índices de emissão de carbono, podem vender suas cotas para empresas que ainda não se adequaram as normas vigentes (PAUL *et al.*, 2018). Pois, com a gestão adequada dos resíduos ocorre uma redução da emissão de CO₂. Esta possibilidade do modelo circular, permite a conversão dos benefícios ambientais em benefícios econômicos, além da redução da emissão de carbono e dos inúmeros outros benefícios atribuídos ao biogás (XUE *et al.*, 2019).

De forma contraditória, um mesmo fator foi apontado como uma barreira e como um facilitador. Conforme apresentado anteriormente, a falta de incentivo governamental foi apontada como uma barreira, em todas as etapas da pesquisa. Entretanto, alguns autores também apresentaram como um facilitador a existência de leis e subsídios governamentais. Portanto, compreende-se que a falta de incentivo governamental é uma barreira, mas a criação de leis e subsídios que estimulem o uso de biodigestores, podem fortalecer e até mesmo expandir o uso do mesmo.

Apesar da maior parte das barreiras e facilitadores estarem voltados para os pilares ambientais e econômicos, houve um fator de destaque no âmbito social. O facilitador “*melhoria da qualidade de vida*”, o qual foi apontado como uma oportunidade na matriz SWOT e, também pela empresa A no estudo de caso. A empresa ainda enfatizou os benefícios ergonômicos, que o uso do biodigestor propiciou aos funcionários da mesma.

Por último, o principal facilitador encontrado, visto em todas as etapas da pesquisa: a contribuição com uma EC e o fechamento do ciclo do produto. Isso mostra a importância do uso de biodigestores para a contribuição da EC, pois, por meio dele, torna-se possível o fechamento do ciclo dos produtos orgânicos. O biogás como uma energia renovável, pertencente a uma sustentabilidade eficiente, mostra-se um elemento integrante da EC (WINQUIST *et al.*, 2019).

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa de mestrado visou em responder à questão: “*Quais as barreiras e os facilitadores na adoção dos biodigestores, considerando a abordagem da EC*”. Por sua vez, essa questão foi desdobrada em três objetivos secundários: (i) analisar os impactos (vantagens e desvantagens) do uso de biodigestores, considerando a abordagem da Economia Circular; (ii) identificar as barreiras e os facilitadores do uso de biodigestores no contexto da Economia Circular, assim como as influências da integração dessas duas vertentes para a sustentabilidade; (iii) elaborar uma análise SWOT com a participação de especialistas e representantes de empresas, os quais utilizam a tecnologia do biodigestor.

Para que fosse possível responder essa questão, da melhor maneira possível, primeiramente foi realizada uma revisão bibliográfica da literatura, a qual abordasse os dois temas envolvidos: biogás e Economia Circular. Apoiado nessa literatura, foi montado um questionário, que serviu de parâmetro para a construção da matriz SWOT. A elaboração da matriz, com o levantamento das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças do uso de biodigestores no contexto da EC, identificadas por acadêmicos e empresas, em diversos setores de atuação, permitiu o cumprimento do objetivo (iii) dessa pesquisa.

Para a elaboração da Matrix SWOT foi necessário analisar com cautela a disposição de cada variante nos quadrantes da matriz, pois algumas se repetiam devido à dificuldade dos respondentes em diferenciar os fatores internos dos externos. Portanto, ao se analisar a matriz, foi necessário levar em consideração a possibilidade de falta de discernimento do respondente do questionário, quanto a segregação desses fatores. Isso mostrou-se evidente, quando o mesmo fator foi apontado como uma oportunidade e uma força, ou uma ameaça e uma fraqueza. Também não se pode descartar as diferentes etapas de desenvolvimento, ou o grau de maturidade no qual a empresa se encontra.

Por último, dentre os respondentes do questionário, foram selecionadas duas empresas com atuações distintas, para a realização do estudo de casos múltiplos. Optou-se por empresas díspares, por acreditar que assim, com visões e realidades distintas, seria ampliada a concepção de uso de biodigestores e suas interações com a Economia Circular e a sustentabilidade.

As duas empresas identificaram um número maior de vantagens do que desvantagens, no uso de biodigestores no contexto da Economia Circular. O que evidencia, que embora haja muitos aspectos a serem trabalhados, os benefícios dessa conectividade se sobressaem. Benefícios esses que foram corroborados em todos os pilares da sustentabilidade: econômico, social e ambiental. Com ênfase nos pilares econômicos e ambientais.

Com um público cada vez mais crescente de consumidores conscientes e, optando por empresas que possuam uma maior preocupação ambiental, com processos que não agridam o meio ambiente, as empresas podem usufruir do *marketing* verde para atender esse público e alavancar suas vendas. Além dos demais benefícios que o tratamento adequado dos resíduos proporciona.

Conforme já mencionado no final do Capítulo 6, o principal facilitador encontrado foi a “*contribuição com uma Economia Circular*” e o “*fechamento do ciclo do produto*”. Entrelaçando todos os outros facilitadores, e confirmando a importância do viés dessa pesquisa. Pois, em todas as etapas, foi identificada significativa importância do uso de biodigestores, como parte essencial de uma Economia Circular. Exemplificado pela geração de energia limpa, renovável, e também pelo fechamento do ciclo dos produtos orgânicos, por meio da digestão anaeróbica. Transformando resíduos em insumos.

Embora os biodigestores estejam sendo utilizados há tempos, a sua disseminação e o conhecimento de suas vantagens, ainda se mostra restrito a uma pequena parcela da população. O que é inconsistente com a sua aplicação, pois ela é válida para pequenas e grandes empresas, produtores rurais e até mesmo uso doméstico. Essa limitação pode ser evidenciada pela barreira “*dificuldade de comercialização do digestado*”. Mostrando que a população, de forma geral, ainda desconhece os benefícios do biodigestor e por sua vez, dos seus insumos (biogás e biofertilizante).

Muitos criadores de animais desconhecem os problemas causados pelo tratamento inadequado dos dejetos. O biodigestor propicia, de maneira simples, o tratamento adequado desses resíduos. Uma solução viável, que também permite o saneamento básico adequado, em áreas remotas. Trazendo benefícios ambientais, econômicos e acima de tudo, benefícios sociais, pois contribui com uma saúde pública de qualidade. Por isso, deveria ser mais incentivado pelos governantes, os quais possuem um papel relevante nessa nova abordagem.

Diante dos resultados apresentados, foi possível atender aos objetivos (i) e (ii) e, por conseguinte, responder à questão de pesquisa proposta nesse trabalho. Portanto, essa pesquisa proporciona contribuições relevantes à literatura, às empresas públicas e privadas e à sociedade como um todo.

A presente pesquisa agrega a literatura as principais barreiras/limitantes e facilitadores/impulsionadores para uma economia mais viável, por meio de uma ferramenta, relativamente, simples e acessível, que é o biodigestor. Além de sintetizar, em um só trabalho, a visão de várias linhas de pensamento e atuação. A partir dessa pesquisa, governantes, empresas de grande e pequeno porte, e até mesmo a população em geral, para uso doméstico, podem identificar as vantagens e desvantagens vinculadas ao uso de biodigestores. Para que mais facilmente possam tomar decisões mais assertivas, cientes dos impactos positivos e negativos.

Além de compreenderem a importância dessa prática para uma Economia Circular. Uma economia mais sustentável, mais condizente com as necessidades humanas, como um todo. Seja no âmbito econômico, ambiental ou social. Uma economia que contribua com o desenvolvimento sustentável, assegurando o progresso e o bem-estar atual, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras usufruírem dos mesmos benefícios.

Por meio da matriz SWOT desenvolvida, empresas diversas podem analisar as oportunidades apresentadas, com o intuito de buscar mecanismos para transformá-las em forças e vantagens competitivas. Do mesmo modo, podem identificar com maior facilidade as ameaças e pontos fracos, para que esses sejam tratados adequadamente. Portanto, utilizando os resultados desta pesquisa, as empresas podem analisar estrategicamente as vantagens e desvantagens do uso de biodigestores, potencializando os pontos fortes, transformando as oportunidades em forças, fortalecendo os pontos fracos e neutralizando as ameaças.

Com o intuito de uma contribuição significativa para a sustentabilidade, um termo tão discutido e tão importante para a nossa existência, a pesquisa apresenta meios para que os desenvolvimentos econômicos e sociais possam estar alinhados a preservação ambiental, de maneira consciente e conjunta com os demais fatores. De maneira um pouco mais audaciosa, os governantes podem se sensibilizarem com a suas importantes

participações nessa nova abordagem. Contribuindo e incentivando o desenvolvimento dessa ferramenta e, de todas as vantagens inerente a ela.

Apesar dos resultados aqui demonstrados, do atendimento aos objetivos propostos e das contribuições pertinentes, a pesquisa também apresenta algumas limitações. Devido ao momento em que a pesquisa foi realizada, no ápice da pandemia global do COVID, por razões de segurança, não foi possível realizar um estudo de caso mais aprofundado, *in loco*, com todas as evidências para uma maior triangulação de informações relevantes. Circunstância essa, que poderia contribuir de forma significativa com a robustez da pesquisa. Trazendo observações importantes, para agregação de valor a mesma.

Outro fator limitante refere-se ao questionário realizado, o qual teve um número limitado de respondentes. O questionário poderia ser expandido para um número maior de “sementes”, além de ficar aberto para respostas por um período maior, o que possivelmente aumentaria o número de respostas. Ampliando essa pesquisa, de maneira produtiva, e possivelmente trazendo uma visão mais abrangente sobre os pontos apresentados.

Por isso, com base nos resultados e nas limitações apresentados, sugere-se que pesquisas futuras apresentem estudo de casos realizados *in loco*. Com a maior gama possível de informações. Podendo também, ocorrer uma maior exploração de setores onde o uso de biodigestores mostra-se inovador e ao mesmo tempo promissor, como hotéis, hospitais e até mesmo escolas.

A literatura utilizada para o embasamento desta pesquisa, partiu de dois termos principais: “*biogas*” e “*circular economy*”. Pesquisas futuras poderiam ampliar essa revisão bibliográfica, utilizando outros termos pertinentes ao tema estudado, como por exemplo: “*biodigestor*”, “*biofertilizer*” ou “*narrowing loops*”. Outra linha de trabalho sugerida, seria a realização de *workshops*, no qual os resultados aqui obtidos sejam apresentados e avaliados com o maior número possível de empresas e acadêmicos.

REFERÊNCIAS

ABAD, V.; AVILA, R.; VICENT, T; FONT, X. Promoting circular economy in the surroundings of an organic fraction of municipal solid waste anaerobic digestion treatment plant: Biogas production impact and economic factors. **Bioresource technology**, v. 283, p. 10-17, 2019.

ABDEL-BASSET, M.; MOHAMED, M.; SMARANDACHE, F. An extension of neutrosophic AHP–SWOT analysis for strategic planning and decision-making. **Symmetry**, v. 10, n. 4, p. 116, 2018.

ABOUDI, K.; QUIROGA, X.; GALLEGO, C.; GARCIA, L. Insights into Anaerobic Co-Digestion of Lignocellulosic Biomass (Sugar Beet By-Products) and Animal Manure in Long-Term Semi-Continuous Assays. **Applied Sciences**, v. 10, n. 15, p. 5126, 2020.

ÅKERMAN, M.; HUMALISTO, N.; PITZEN, S. Material politics in the circular economy: The complicated journey from manure surplus to resource. **Geoforum**, v. 116, p. 73-80, 2020.

AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; MACHMÜLLER, A.; HOPFNER-SIXT, K.; BODIROZA, V.; HRBEK, R.; FRIEDEL, J.; PÖTSCH, E.; WAGENTRISTL, H.; SCHREINER, M.; ZOLLITSCH, W. Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. **Bioresource technology**, v. 98, n. 17, p. 3204-3212, 2007.

ANDERSEN, Mikael Skou. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability science**, v. 2, n. 1, p. 133-140, 2007.

ANDRADE, H., O.; PINHEIRO, G., D.; PEREIRA, A., I., S.; FERREIRA, J., C., S., F.; BORGES, M., V., F. Aspectos Teóricos na Produção de Biogás e Biofertilizante pelo Mecanismo de Biodigestão e Geração de Energia Elétrica Limpa Através de um Gerador Específico. **VII CONNEPI- Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**. Palmas, Tocantins, Brasil, 2012.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2>. Acessado em: agosto 2021.

ARANCON, R.; LIN, C.; CHAN, K.; KWAN, T.; LUQUE, R. Advances on waste valorization: new horizons for a more sustainable society. **Energy Science & Engineering**, v. 1, n. 2, p. 53-71, 2013.

ARRUDA, M.; AMARAL, L.; PIRES, O.; BARUFI, C. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. **Revista científica eletrônica de agronomia**, v. 1, n. 2, p. 1-8, 2002.

ARSLAN, Ozcan; ER, Ismail Deha. SWOT analysis for safer carriage of bulk liquid chemicals in tankers. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1-3, p. 901-913, 2008.

ASO, Sammy N. Digestate: The Coproduct of Biofuel Production in a Circular Economy, and New Results for Cassava Peeling Residue Digestate. In: **Renewable Energy-Technologies and Applications**. IntechOpen, 2020.

AZOUMA, Y.; DRIGALSKI, L.; JEGLA, Z.; REPPICH, M.; TUREK, V., WEIB, M. Indirect Convective Solar Drying Process of Pineapples as Part of Circular Economy Strategy. **Energies**, v. 12, n. 15, p. 2841, 2019.

BACHMAN, D. The Economic Impact of COVID-19 (Novel Coronavirus) COVID-19 could Affect the Global Economy in Three Main Ways. **Deloitte March**, v. 3, 2020

BAGHERI, M.; ESFILAR, R.; GOLCHI, M.; KENNEDY, C. Towards a circular economy: A comprehensive study of higher heat values and emission potential of various municipal solid wastes. **Waste Management**, v. 101, p. 210-221, 2020.

BARAMPOUTI, E. M.; MAI, S.; MALAMIS, D.; MOUSTAKAS, K.; LOIZIDOU, M. Liquid biofuels from the organic fraction of municipal solid waste: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, p. 298-314, 2019.

BARROS, E. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Engevista**, 2007.

BERTRAND, J. Will M.; FRANSOO, Jan C. Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, 2002.

BILGILI, F.; KOÇAK, E.; BULUT, Ü.; KUSKAYA, S. Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 71, p. 830-845, 2017.

BLOMSMA, Fenna; BRENNAN, Geraldine. The emergence of circular economy: A new framing around prolonging resource productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603-614, 2017.

BOCKEN, N.; OLIVETTI, E.; CULLEN, J.; POTTING, J.; LIFSET, R. Taking the circularity to the next level: a special issue on the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 476-482, 2017.

BRASIL. Brasil inaugura uma das maiores plantas de biogás do mundo, em SP. Planalto, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/planalto/pt-br/acompanhe-oplanalto/noticias/2020/10/brasil-inaugura-uma-das-maiores-plantas-de-biogas-do-mundo-em-sp>. Acesso em: 27/01/2021

BRASIL. Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 22/04/2021.

BRASIL. Lei nº 12.305 e decreto nº 10.936. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm. Acesso em: 15/03/2022.

BRASIL. RenovaBio - Lei Nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Disponível: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/renovabio>. Acesso em: 27/01/2021.

BRUNDTLAND, Gro Harlem et al. Our common future. **New York**, p. 8, 1987.

BUCHMANN-DUCK, J.; BEAZLEY, K. An urgent call for circular economy advocates to acknowledge its limitations in conserving biodiversity. **Science of the Total Environment**, v. 727, p. 138602, 2020.

CALZA, L.; LIMA, C.; NOGUEIRA, C.; SIQUEIRA, J.; SANTOS, R. et al. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 990-997, 2015.

CARNEIRO, Débora Rute Costa. Viabilidade técnica e econômica de uma unidade centralizada de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos. 2009.

CASTANHO, D.; ARRUDA, H. Biodigestores. In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. v. 02, n. 21. 2008.

CECCHI, F.; CAVINATO, C. Smart approaches to food waste final disposal. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 16, p. 2860, 2019.

CHANG, C.; CHEN, Y.; LIN, YI.; HUNG, Z.; YUAN, M.; CHANG, C.; LI, Y.; SHIE, J.; CHEN, Y.; WANG, Y.; KO, C.; LIN, F.; HO, C.; LIU, B.; LIU, K.; WANG, S. A pilot plant study on the autoclaving of food wastes for resource recovery and reutilization. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3566, 2018.

COOPER, Tim. Creating an economic infrastructure for sustainable product design. **Journal of sustainable product design**, p. 7-17, 1999.

CRESWELL, John W. Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto. In: **Projeto de pesquisa métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2010. p. 296-296.

CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; GASTALDI, M. An economic analysis of biogas-biomethane chain from animal residues in Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 230, p. 888-897, 2019.

CZEKAŁA, W.; LEWICKI, A.; POCHWATKA, P.; CZEKAŁA, A.; WOJCIESZAK, D.; JÓZWIAKOWSKI, K.; WALISZEWSKA, H. Digestate management in polish farms as an element of the nutrient cycle. **Journal of Cleaner Production**, v. 242, p. 118454, 2020.

DA FONSECA, João José Saraiva. Apostila de metodologia da pesquisa científica. João José Saraiva da Fonseca, 2002.

DAHLIN, A.; ERIKSSON, J.; CAMPBELL, C.; ÖBORN, I. Soil amendment affects Cd uptake by wheat—are we underestimating the risks from chloride inputs? **Science of the Total Environment**, v. 554, p. 349-357, 2016.

DHAKAL, Shobhakar; RAUT, Anil K. Potential and bottlenecks of the carbon market: The case of a developing country, Nepal. **Energy policy**, v. 38, n. 7, p. 3781-3789, 2010.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. **Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural**, 2002.

DEMIRBAS, Ayhan. Importance of biodiesel as transportation fuel. **Energy policy**, v. 35, n. 9, p. 4661-4670, 2007.

BOGOVIC, N.; GRDIC, Z. Transitioning to a Green Economy—Possible Effects on the Croatian Economy. **Sustainability**, v. 12, n. 22, p. 9342, 2020.

DAHLIN, A.; ERIKSSON, J.; CAMPBELL, C.; ÖBORN, I. Soil amendment affects Cd uptake by wheat—are we underestimating the risks from chloride inputs? **Science of the Total Environment**, v. 554, p. 349-357, 2016.

DIAMANTIS, V.; EFTAXIAS, A.; STAMATELATOU, K.; NOUTSOPOULOS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; AIVASIDIS, A. Bioenergy in the era of circular economy: Anaerobic digestion technological solutions to produce biogas from lipid-rich wastes. **Renewable Energy**, v. 168, p. 438-447, 2021.

DIRECTIVE, E. C. 98/EC of the European Parliament and of the Council, on waste and repealing certain Directives. **Official Journal of the European Union**, n. 312, p. 3-30, 2008.

DONG, X.; YU, B.; BROWN, M.; ZHANG, Y.; KANG, M.; JIN, Y.; ZHANG, X.; ULGIATI, S. Environmental and economic consequences of the overexploitation of natural capital and ecosystem services in Xilinguole League, China. **Energy Policy**, v. 67, p. 767-780, 2014.

DONIA, E.; MINEO, A.; SGROI, F. A methodological approach for assessing business investments in renewable resources from a circular economy perspective. **Land Use Policy**, v. 76, p. 823-827, 2018.

DORNACK, Christina. Waste policy for source separation in Germany. In: **Source Separation and Recycling**. Springer, Cham, 2017. p. 3-10.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

Ellen MacArthur Foundation, 2020. Disponível em: https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview?gclid=CjwKCAiA4KaRBhBdEiwAZi1zzmOV4cBEL3rkW4AWXg3PJeI_yBfr-0C5EQ6OUzSO-c0MCGLCMS_eVhoC6WgQAvD_BwE. Acesso em: 02/02/2021.

EUROPEAN UNION. 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable source. **Publications office of the European Union**: Luxembourg, 2018.

FALAGAS, M.; PITSOUNI, E., MALIETZIS, G.; PAPPAS, G. Comparison of PubMed, Scopus, web of science, and Google scholar: strengths and weaknesses. **The FASEB journal**, v. 22, n. 2, p. 338-342, 2008.

FEIZ, Roozbeh; AMMENBERG, Jonas. Assessment of feedstocks for biogas production, part I—A multi-criteria approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 122, p. 373-387, 2017.

FERELLA, F.; CUCCHIELLA, F.; D'ADAMO, I.; GALLUCCI, K. A techno-economic assessment of biogas upgrading in a developed market. **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 945-957, 2019.

FERREIRA, J.; OLIVEIRA, D.; MALDONADO, R.; KAMINURA, E.; FURIGO, A. Enzymatic pretreatment and anaerobic co-digestion as a new technology to high-methane production. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 104, n. 10, p. 4235-4246, 2020.

FLESCH, T.; DESJARDINS, R.; WORTH, D. Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 9, p. 3927-3935, 2011

FLINT, R. Warren. Noções básicas de desenvolvimento sustentável. In: **Prática de desenvolvimento comunitário sustentável**. Springer, Nova York, NY, 2013. p. 25-54.

FOLEY, J.; DEFRIES, R.; ASNER, G.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S.; CHAPIN, F.; COE, M.; DAILY, G.; GIBBS, H.; HELKOWSKI, J.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E.; KUCHARIK, C.; MONFREDA, C.; PATZ, J.; PRENTICE, I.;

RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FREITAS, Wesley RS; JABBOUR, Charbel JC. Utilizando estudo de caso (s) como estratégia de pesquisa qualitativa: boas práticas e sugestões. **Revista Estudo & Debate**, v. 18, n. 2, 2011.

FROSCH, Robert A.; GALLOPOULOS, Nicholas E. Strategies for manufacturing. **Scientific American**, v. 261, n. 3, p. 144-153, 1989.

GASPAR, Rita Maria Bedran Leme. Utilização de biogestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na Região de Toledo-PR. 2003.

GEISSDOERFER, M.; MORIOKA, S.; CARVALHO, M.; EVANS, S. Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of cleaner production**, v. 190, p. 712-721, 2018.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner production**, v. 114, p. 11-32, 2016.

GIBSON, Robert B. Specification of sustainability-based environmental assessment decision criteria and implications for determining "significance" in environmental assessment. Ottawa: **Canadian Environmental Assessment Agency**, 2001.

GODOY, Arilda Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. **RAE-revista de administração de empresas**, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

GONTARD, N.; SONESSON, U.; BIRKVED, M.; MAJONE, M.; BOLZONELLA, D.; CELLI, A.; ANGELLIER-COUSSY, H.; JANG, G.; VERNIQUET, A.; BROZE, J.; SCHAEER, B.; BATISTA, A.; SEBOK, A. A research challenge vision regarding management of agricultural waste in a circular bio-based economy. **Critical reviews in environmental science and technology**, v. 48, n. 6, p. 614-654, 2018.

GRIPPO, V.; ROMANO, S.; VASTOLA, A. Multi-criteria evaluation of bran use to promote circularity in the cereal production chain. **Natural Resources Research**, v. 28, n. 1, p. 125-137, 2019.

GUILAYN, F.; JIMENEZ, J.; MARTEL, J.; ROUEZ, M.; CREST, M.; PATUREAU, D. First fertilizing-value typology of digestates: A decision-making tool for regulation. **Waste Management**, v. 86, p. 67-79, 2019.

GUJER, Willi; ZEHNDER, Alexander JB. Conversion processes in anaerobic digestion. **Water science and technology**, v. 15, n. 8-9, p. 127-167, 1983.

HADIN, Å.; HILLMAN, K.; ERIKSSON, O. Prospects for increased energy recovery from horse manure—A case study of management practices, environmental impact and costs. **Energies**, v. 10, n. 12, p. 1935, 2017.

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. **European business review**.

HELMS, M.; NIXON, J. Exploring SWOT analysis—where are we now? A review of academic research from the last decade. **Journal of strategy and management**, 2010.

HIDALGO, D.; MARTÍN-MARROQUÍN, J.; CORONA, F. A multi-waste management concept as a basis towards a circular economy model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 111, p. 481-489, 2019.

HOLM-NIELSEN, J.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource technology**, v. 100, n. 22, p. 5478-5484, 2009.

HUTTUNEN, S.; MANNINEN, K.; LESKINEN, P. Combining biogas LCA reviews with stakeholder interviews to analyse life cycle impacts at a practical level. **Journal of Cleaner Production**, v. 80, p. 5-16, 2014.

HYSA, E.; KRUIJA, A.; REHMAN, N.; LAURENTI, R. Circular Economy Innovation and Environmental Sustainability Impact on Economic Growth: An Integrated Model for Sustainable Development. **Sustainability**, v. 12, n. 12, p. 4831, 2020.

IBN-MOHAMMED, T.; MUSTAPHA, K.; GODSELL, J.; ADAMU, Z.; BABATUNDE, K.; AKINTADE, D.; ACQUAYE, A.; FUJII, H.; NDIAYE, M.; YAMOA, F.; KOH, S. A critical review of the impacts of COVID-19 on the global economy and ecosystems and opportunities for circular economy strategies. **Resources, Conservation and Recycling**, p. 105169, 2020.

ICLEI - BRASIL - GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE. Manual para aproveitamento do biogás: Aterros sanitários. Secretariado para a América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009. 1-80 p.

IRENA - International Renewable Energy Agency. Renew - able energy in the water, energy and food nexus. IRENA, 2015.

ISLAM, K.; SARKER, T.; TAGLIZADEH-HESARY, F.; ATRI, A.; ALAM, M. Renewable energy generation from livestock waste for a sustainable circular economy in Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 139, p. 110695, 2021.

ITAIPU BINACIONAL. Itaipu e Embrapa vão investir R\$ 7,5 milhões em tecnologias para biogás. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/noticia/itaipu->

e-embrapa-vao-investir-r-75-milhoes-em-tecnologias-para-biogas. Acesso em: 25 jun. 2020.

JABBOUR, C.; SEURING, S.; JABBOUR, A.; JUGEND, D.; FIORINI, P.; LATAN, H.; IZEPPI, W. Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable performance of firms in an emerging economy facing institutional voids. **Journal of environmental management**, v. 264, p. 110416, 2020.

JESUS, A.; MENDONÇA, S. Lost in transition? Drivers and barriers in the eco-innovation road to the circular economy. **Ecological economics**, v. 145, p. 75-89, 2018.

KARLSSON, T.; KONRAD, Q.; LUMI, M.; SCHMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E.; KOCH, F. F.; PEDROSO, A. G. Manual básico de biogás. Lajeado: UNIVATES, 2014. 65p.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, conservation and recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017.

KISELEV, A.; MAGARIL, E.; RADA, E. Energy and sustainability assessment of municipal wastewater treatment under circular economy paradigm. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 237, p. 109-120, 2019.

KÖNINGER, J.; LUGATO, E.; PANAGOS, P.; KOCHUPILLAI, M.; ORGIAZZI, A.; BRIONES, M. Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable food systems in the EU. **Agricultural Systems**, v. 194, p. 103251, 2021.

KORHONEN, J.; HONKASALO, A.; SEPPÄLÄ, J. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological economics**, v. 143, p. 37-46, 2018.

KOTLER, Philip. Marketing para o século XXI. São Paulo: Futura, 2000.

KOUGIAS, P.; ANGELIDAKI, I. Biogas and its opportunities—A review. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 12, n. 3, p. 1-12, 2018.

LAWAL-AKINLAMI, H.; SHANMUGAM, P. Comparison of biochemical methane potential and methanogen morphology of different organic solid wastes co-digested anaerobically with treatment plant sludge. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 107, p. 216-226, 2017.

LEWANDOWSKI, Mateusz. Designing the business models for circular economy—Towards the conceptual framework. **Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 43, 2016.

LIU, M.; WAN, M.; FU, H. Low-carbon technology selection for supply chain under cap and trade mechanism with low-carbon preference. **Chinese Journal of Management Science**, v. 26, n. 1, p. 152-162, 2018.

LOIZIA, P.; NEOFYTOU, N.; ZORPAS, A. The concept of circular economy strategy in food waste management for the optimization of energy production through anaerobic digestion. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 15, p. 14766-14773, 2019.

LYBÆK, R.; KJÆR, T. Enhancing identified circular economic benefits related to the deployment of the Solrød biogas plant. **Engineering and Applied Science Research**, v. 44, n. 2, p. 97-105, 2017.

MACIEL-SILVA, F.; BULLER, L.; GONÇALVES, M.; ROSTAGNO, M.; CARNEIRO, T. Sustainable development in the Legal Amazon: energy recovery from açai seeds. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 15, n. 4, p. 1174-1189, 2021.

MAGRÍ, A.; GIOVANNINI, F.; CONNAN, R.; BRIDOUX, G.; BÉLINE, F. Nutrient management from biogas digester effluents: a bibliometric-based analysis of publications and patents. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 14, n. 8, p. 1739-1756, 2017.

MARCUCCI, Leandro Willian. Otimização da produção de biogás em biodigestores batelada. 2018.

MARTINS, L.; SILVA, N.; CLARO, A.; AMARAL, N.; BARUD, H.; MULINARI, D. Insight on açai seed biomass economy and waste cooking oil: Eco-sorbent castor oil-based. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112803, 2021.

MATSAKAS, L.; GAO, Q.; JANSSON, S.; ROVA, U.; CHRISTAKOPOULOS, P. Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 26, p. 69-83, 2017.

MCCARTY, P.; BAE, J.; KIM, J. Domestic wastewater treatment as a net energy producer—can this be achieved. 2011.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. Cradle to cradle: Remaking the way we make things. **North point press**, 2010.

MICHELINI, G.; MORAES, R.; CUNHA, R.; COSTA, J.; OMETTO, A. From linear to circular economy: PSS conducting the transition. **Procedia CIRP**, v. 64, n. 1, p. 2-6, 2017.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MILLAR, N.; MCLAUGHLIN, E.; BÖRGER, T. The circular economy: swings and roundabouts? **Ecological economics**, v. 158, p. 11-19, 2019.

MOHAMMED, Nooriya A.; AL-BAZI, Ammar. Management of renewable energy production and distribution planning using agent-based modelling. **Renewable Energy**, v. 164, p. 509-520.

MOLINA-MORENO, V. LEYVA-DÍAZ, J.; LLORENS-MONTES, F.; CORTÉS-GARCÍA, F. Design of indicators of circular economy as instruments for the evaluation of sustainability and efficiency in wastewater from pig farming industry. **Water**, v. 9, n. 9, p. 653, 2017.

MORSELETTO, Piero. Targets for a circular economy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104553, 2020.

MURADIN, M.; JOACHIMIAK-LECHMAN, K.; FOLTYNOWICZ, Z. Evaluation of eco-efficiency of two alternative agricultural biogas plants. **Applied Sciences**, v. 8, n. 11, p. 2083, 2018.

MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of business ethics**, v. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

MWAKAJE, Agnes Godfrey. Dairy farming and biogas use in Rungwe district, South-west Tanzania: A study of opportunities and constraints. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 8, p. 2240-2252, 2008.

NEVES, L.; CONVERTI, A.; VESSONI PENNA, T. Biogas production: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones. **Chemical Engineering & Technology: Industrial Chemistry-Plant Equipment-Process Engineering-Biotechnology**, v. 32, n. 8, p. 1147-1153, 2009.

NIZAMI, Abdul-Sattar; KORRES, Nicholas E.; MURPHY, Jerry D. Review of the integrated process for the production of grass biomethane. **Environmental science & technology**, v. 43, n. 22, p. 8496-8508, 2009.

OKONKWO, U.; ONOKPITE, E.; ONOKWAI, A. Comparative study of the optimal ratio of biogas production from various organic wastes and weeds for digester/restarted digester. **Journal of King Saud University-Engineering Sciences**, v. 30, n. 2, p. 123-129, 2018.

OLIVER, A.; SOUZA, A.; QUADROS, D.; VALLADARES, R. Manual de Treinamento em Biodigestão. Instituto de Estudos Del Hambre. 2008. Disponível em: <http://docplayer.com.br/3948560-Manual-de-%20treinamento-embiodigestao.html>. Acesso em: 18/11/20.

ORMAZABAL, M.; PRIETO-SANDOVAL, V.; PUGA-LEAL, R.; JACA, C. Circular economy in Spanish SMEs: challenges and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 157-167, 2018.

ORTIZ, W.; TERRAPON-PFAFF, J.; DIENST, C. Understanding the diffusion of domestic biogas technologies. Systematic conceptualisation of existing evidence from developing and emerging countries. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 74, p. 1287-1299, 2017.

OSMAN, M.; SHAO, X.; ZHAO, D.; BASHEER, A.; JIN, H.; ZHANG, Y. Methane Production from alginate-extracted and non-extracted waste of laminaria japonica: Anaerobic mono-and synergetic co-digestion effects on yield. **Sustainability**, v. 11, n. 5, p. 1269, 2019.

PAES, L.; BEZERRA, B.; DEUS, R.; JUGEND, D.; BATTISTELLE, R. Organic solid waste management in a circular economy perspective—A systematic review and SWOT analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 239, p. 118086, 2019.

PAPURELLO, D.; SANTARELLI, M.; FIORILLI, S. Physical activation of waste-derived materials for biogas cleaning. **Energies**, v. 11, n. 9, p. 2338, 2018.

PAUL, S.; DUTTA, A.; DEFERSHA, F.; DUBEY, B. Municipal food waste to biomethane and biofertilizer: a circular economy concept. **Waste and biomass valorization**, v. 9, n. 4, p. 601-611, 2018.

PECORINI, I.; BALDI, F.; CARNEVALE, E.; CORTI, A. Biochemical methane potential tests of different autoclaved and microwaved lignocellulosic organic fractions of municipal solid waste. **Waste Management**, v. 56, p. 143-150, 2016.

PEDROZA, M.; VIEIRA, G.; SOUSA, J.; PICKLER, A.; LEAL, E.; MILHOMEN, C. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 147-158, 2010.

PÉREZ-CAMACHO, M.; CURRY, R.; CROMIE, T. Life cycle environmental impacts of substituting food wastes for traditional anaerobic digestion feedstocks. **Waste Management**, v. 73, p. 140-155, 2018.

PICARDO, A.; SOLTERO, V.; PERALTA, M.; CHACARTEGUI, R. District heating based on biogas from wastewater treatment plant. **Energy**, v. 180, p. 649-664, 2019.

PORTAL DO BIOGÁS. Incentivos legais para a construção de biodigestores no Brasil. Disponível em: [https://www.portaldobiogas.com/incentivos-legais-para-construcao-de-biodigestores-brasil/#:~:text=A%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Res%C3%ADduos,de%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20org%C3%A2nicos%20urbanos](https://www.portaldobiogas.com/incentivos-legais-para-construcao-de-biodigestores-brasil/#:~:text=A%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Res%C3%ADduos,de%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20org%C3%A2nicos%20urbanos.). Acesso em: 01 jul. 2020.

QUADROS, D.; OLIVER, A.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P.; FERREIRA, E. Biodigestão anaeróbia de detritos de caprinos e ovinos em reator contínuo

de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 326-332, 2010.

RADA, E.; COSTA, L.; PRADELLA, C.; ADAMI, L.; SCHIAVON, M.; MAGARIL, H.; TORETTA, V. Unconventional small-scale biogas production with reduced local impact. 2019.

RANTA, V.; AARIKKA-STENROOS, L.; MÄKINEN, S. Creating value in the circular economy: A structured multiple-case analysis of business models. **Journal of cleaner production**, v. 201, p. 988-1000, 2018.

RAUSEO, J.; CARACCILO, A.; ADEMOLLO, N.; CARDONI, M.; LENOLA, M.; GAZE, W.; STANTON, I.; GRENNI, P.; PESCATORE, T.; SPATARO, F.; PATROLECCO, L. Dissipation of the antibiotic sulfamethoxazole in a soil amended with anaerobically digested cattle manure. **Journal of hazardous materials**, v. 378, p. 120769, 2019.

RITZÉN, S.; SANDSTRÖM, G. Barriers to the Circular Economy—integration of perspectives and domains. **Procedia Cirp**, v. 64, p. 7-12, 2017.

RODRIGUES, R.; TAGA, V.; PASSOS, M. Research articles about open access indexed by Scopus: A **content analysis**. *Publications*, v. 4, n. 4, p. 31, 2016.

SAAR, Dan; YAGIL, Yossi. Forecasting sectorial profitability and credit spreads using bond yields. **International Review of Economics & Finance**, v. 38, p. 29-43, 2015.

SADELEER, I.; BRATTEBØ, H.; CALLEWAERT, P. Waste prevention, energy recovery or recycling-Directions for household food waste management in light of circular economy policy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, p. 104908, 2020.

SAGULA, Alex Luiz. Biodigestão anaeróbia da fração líquida da cama de frango triturada e peneirada: efeito da diluição e do uso de reciclo. 2017.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48-56, 2016.

SCHOT, J.; KANGER, L. Transições profundas: Emergência, aceleração, estabilização e direcionalidade. **Política de Pesquisa**, v. 47, n. 6, pág. 1045-1059, 2018.

SCHROEDER, P.; ANGGRAENI, K.; WEBER, U. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019.

SELES, Bruno Michel Roman Pais. O papel dos stakeholders na adoção de práticas de green supply chain management: estudo de caso em uma cadeia de suprimentos do setor de baterias automotivas. 2015.

SGANZERLA, Edílio. Biodigestor: uma solução. **Agropecuária**, 1983.

SILVA, J.; MICHAELSEN, A.; SCALVI, M.; PACHECO, M. Forecast of electric energy generation potential from swine manure in Santa Catarina, Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, n. 3, p. 2305-2319, 2020.

SILVA, Gardênia Azevedo. Estimativa da geração de biogás no aterro Sanitário metropolitano de João Pessoa através do teste BMP. 2012.

SLORACH, P.; JESWANI, H.; CUÉLLAR-FRANCA, R.; AZAPAGIC, A. Environmental sustainability of anaerobic digestion of household food waste. **Journal of environmental management**, v. 236, p. 798-814, 2019.

SOLANGI, Y.; TAN, Q.; MIRJAT, N.; ALI, S. Evaluating the strategies for sustainable energy planning in Pakistan: An integrated SWOT-AHP and Fuzzy-TOPSIS approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117655, 2019.

SPAGNOLO, S.; CHINELLATO, G.; CRISTIANO, S.; ZUCARO, A.; GONELLA, F. Sustainability assessment of bioenergy at different scales: An emergy analysis of biogas power production. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, p. 124038, 2020.

STAHEL, Walter R. Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 371, n. 1986, p. 20110567, 2013.

STANCHEV, P.; VASILAKI, V.; EGAS, D.; COLON, J.; PONSÁ, S.; KATSOU, E. Multilevel environmental assessment of the anaerobic treatment of dairy processing effluents in the context of circular economy. **Journal of Cleaner Production**, p. 121139, 2020.

STOKNES, K.; SCHOLWIN, F.; KRZESINSKI, W.; WOJCIECHOWSKA, E.; JASINSKA, A. Efficiency of a novel “Food to waste to food” system including anaerobic digestion of food waste and cultivation of vegetables on digestate in a bubble-insulated greenhouse. **Waste management**, v. 56, p. 466-476, 2016.

SVANSTRÖM, M.; HEIMERSSON, S.; PETERS, G.; DIFICIL, R.; I'NOS, D.; FINNISON, A.; OLSSON, J. Life cycle assessment of sludge management with phosphorus utilisation and improved hygienisation in Sweden. **Water Science and Technology**, v. 75, n. 9, p. 2013-2024, 2017.

SU, B.; HESHMATI, A.; GENG, Y.; YU, XIAOMAN. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of cleaner production**, v. 42, p. 215-227, 2013.

TAMPIO, E.; BLASCO, L.; VAINIO, M.; KAHALA, M.; RASI, S. Volatile fatty acids (VFAs) and methane from food waste and cow slurry: Comparison of biogas and VFA fermentation processes. **GCB Bioenergy**, v. 11, n. 1, p. 72-84, 2019.

THE PRODUCT-LIFE INSTITUTE, 2013. Disponível em: <http://www.product-life.org/>. Acessado em 18 Jan 2021.

TIEN, Y.; Li, B.; ZHNAG, T.; SCOTT, A.; MURRAY, R.; SABOURIN, L.; MARTI, R.; TOPP, E. Impact of dairy manure pre-application treatment on manure composition, soil dynamics of antibiotic resistance genes, and abundance of antibiotic-resistance genes on vegetables at harvest. **Science of the Total Environment**, v. 581, p. 32-39, 2017.

VAHIDI, F.; TORABI, S. Ali; RAMEZANKHANI, M. J. Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. **Journal of Cleaner Production**, v. 174, p. 1351-1365, 2018.

VAN DER VELDEN, R.; FONSECA-ZANG, W.; ZANG, J.; CLYDE-SMITH, D.; LEANDRO, W.; PARIKH, P.; BORRION, A.; CAMPOS, L. Closed-loop Organic Waste Management Systems for Family Farmers in Brazil. **Environmental Technology**, p. 1-1, 2021.

VELVIZHI, G.; SHANTHAKUMAR, S.; BHASKAR, D.; PUGAZHENDHI, A.; PRIYA, T.; ASHOK, B.; NANTHAGOPAL, K.; VIGNESH, R.; KARTHICK, C. Biodegradable and non-biodegradable fraction of municipal solid waste for multifaceted applications through a closed loop integrated refinery platform: Paving a path towards circular economy. **Science of The Total Environment**, p. 138049, 2020.

VINUTO, Juliana. A amostragem em bola de neve na pesquisa qualitativa: um debate em aberto. **Temáticas**, v. 22, n. 44, p. 203-220, 2014.

VONDRA, M.; TOUŠ, M.; TENG, S. Digestate evaporation treatment in biogas plants: A techno-economic assessment by Monte Carlo, neural network and decision trees. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117870, 2019.

WINQUIST, E.; RIKKONEN, P.; PYYSIÄINEN, J.; VARHO, V. Is biogas an energy or a sustainability product? - Business opportunities in the Finnish biogas branch. **Journal of cleaner production**, v. 233, p. 1344-1354, 2019.

XIA, X.; LI, C.; ZHU, Q. Game analysis for the impact of carbon trading on low-carbon supply chain. **Journal of Cleaner Production**, v. 276, p. 123220, 2020.

XU, X.; MA, Z.; CHEN, Y.; GU, X.; LIU, Q.; WANG, Y.; SUN, M.; CHANG, D. Circular economy pattern of livestock manure management in Longyou, China. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 2, p. 1050-1062, 2018.

XUE, Y.; LUAN, W.; WANG, H.; YANG, Y. Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 238, p. 117968, 2019.

YAZAN, D.; CAFAGNA, D.; FRACCASCIA, L.; MES, M.; PONTRANDOLFO, P.; ZIJM, H. Economic sustainability of biogas production from animal manure: a regional circular economy model. **Management research review**, 2018.

YIN, Robert K. Estudo de Caso-: Planejamento e métodos. Bookman editora, 2015.

YUAN, Hongping. A SWOT analysis of successful construction waste management. **Journal of cleaner production**, v. 39, p. 1-8, 2013.

YUAN, Zengwei; BI, Jun; MORIGUICHI, Yuichi. The circular economy: A new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 4-8, 2006.

ZDRADEK, Cristiane Pereira et al. Seleção de linhagens oxidadoras de amônio e remoção de nitrogênio via nitrito em reator descontínuo alimentado (SBR), sob condições de limitação de oxigênio. 2005.

ZHAO, G.; SHUANG, J.; LAN, J.; TING, Z.; FANG, M. Research and application of circular economy mode based on biogas energy as a significant technique. **Kezaisheng Nengyuan/Renewable Energy Resources**, v. 34, n. 10, p. 1574-1580, 2016.

ZHANG, Ruihong et al. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. **Bioresource technology**, v. 98, n. 4, p. 929-935, 2007.

ZHIJUN, Feng; NAILING, Yan. Putting a circular economy into practice in China. **Sustainability Science**, v. 2, n. 1, p. 95-101, 2007.

ZHU, Qinghua; GENG, Yong; LAI, Kee-hung. Circular economy practices among Chinese manufacturers varying in environmental-oriented supply chain cooperation and the performance implications. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 6, p. 1324-1331, 2010.

APÊNDICE A – Questionário para análise SWOT

Introdução

A Economia Circular é uma alternativa para a atual economia linear, pois integra o crescimento econômico e a preservação ambiental, a partir do fechamento ou estreitamento do ciclo de materiais, amenizando os problemas ambientais e reduzindo a geração de resíduos.

Os biodigestores estão relacionados com a Economia Circular, por permitirem o tratamento ambientalmente adequado dos resíduos orgânicos, resultando na produção de biofertilizante e biogás.

As quatro primeiras questões de cada seção deverão ser respondidas conforme a escala Likert de 1 a 5 pontos, onde a pontuação 1 refere-se a “discordo totalmente” e a pontuação 5 refere-se a “concordo totalmente”. A quinta e última questão de cada seção, será de resposta aberta, para que o participante possa expressar a sua realidade e contribuir de maneira participativa.

Identificação

A identificação dos participantes, assim como o nome da empresa ou as informações fornecidas não serão divulgados e os dados coletados serão utilizados apenas para fins acadêmicos.

1- Nome:

2- Nome da empresa/instituição de pesquisa/universidade em que atua:

3- Cargo/função/graduação:

Forças e Pontos fortes

Considerando o ambiente interno da sua empresa, analise as afirmações abaixo e indique o grau de concordância. As afirmações dizem respeito aos pontos fortes que facilitam o uso de Biodigestores para apoiar a Economia Circular.

- 1- Utilização de materiais considerados resíduos, como insumos/matéria-prima para novos produtos.
- 2- Geração de energia renovável por meio da produção do biogás.
- 3- Maior lucratividade da empresa, coma utilização e venda do biogás e do biofertilizante.
- 4- Atuação da empresa dentro de um desenvolvimento sustentável, um processo produtivo no qual respeite as limitações do meio ambiente e não polua.
- 5- Em sua opinião qual(is) força(s) relacionam o uso de Biodigestores e a Economia Circular?

Fraquezas e Pontos fracos

Considerando o ambiente interno da sua empresa, analise as afirmativas abaixo e indique o grau de concordância de quanto os pontos fracos dificultam o uso de Biodigestores para apoiar a Economia Circular.

- 6- Alto custo com transporte e armazenagem dos insumos utilizados para abastecimento do biodigestor e do produto final: o biofertilizante e o biogás.
- 7- Alto custo com infraestrutura para construção e manutenção periódica do biodigestor e da rede de distribuição do biogás.
- 8- Possibilidade de contaminação do solo, água e ar.
- 9- Coleta seletiva inadequada.
- 10- Em sua opinião qual(is) fraqueza(s), ou dificuldades internas, que a empresa possui na relação entre o uso de Biodigestores a Economia Circular?

Oportunidades

Considerando o ambiente externo, ou seja, o que ocorre fora da sua empresa, analise as possíveis oportunidades no uso de Biodigestores no contexto da Economia Circular.

- 11- Atendimento a uma classe de consumidores cada vez mais consciente das questões ambientais.

- 12- Benefícios econômico por meio do comércio de carbono e da venda do biogás e do biofertilizante.
- 13- Sistema produtivo vantajoso, devido à alta diversificação dos insumos, matéria-prima em abundância, com baixo custo de mercado.
- 14- Obtenção de benefícios ambientais (redução dos gases do efeito estufa) e sociais (melhor qualidade de vida para a população).
- 15- Em sua opinião qual a principal, ou as principais, oportunidades externas à empresa e que relacionam o uso de Biodigestores e a Economia Circular?

Ameaças

Considerando o ambiente externo, ou seja, o que ocorre fora da sua empresa, analise as possíveis ameaças no uso de Biodigestores no contexto da Economia Circular.

- 16- Falta de incentivo governamental, como por exemplo: leis de subsídio para construção do biodigestor; leis de incentivo fiscal para o uso de biodigestor; maior infraestrutura para utilização do biogás.
- 17- Falta de conhecimento e conscientização da população em geral, sobre os benefícios do uso de biodigestores.
- 18- Surgimento de fontes de energias renováveis mais atraentes.
- 19- Possibilidade de declínio na produção dos insumos. Seja por exemplos como: problemas com transporte; diminuição da pecuária; utilização dos dejetos para outra finalidade.
- 20- Em sua opinião qual a principal, ou as principais, ameaças externas à empresa e que relacionam o uso de Biodigestores e a Economia Circular?

APÊNDICE B – Protocolo do estudo de casos

1. Visão geral do estudo de casos e finalidade do protocolo	
<p>A) <u>Questão de pesquisa:</u></p> <p style="text-align: center;">Quais as barreiras e facilitadores na adoção dos biodigestores considerando a abordagem da Economia Circular?</p>	
<p>B) <u>Objetivo geral:</u></p> <p style="text-align: center;">Identificar e analisar as implicações do uso de biodigestores considerando a abordagem da Economia Circular.</p>	
<p>C) <u>Definição das unidades de análise:</u></p> <p style="text-align: center;">Empresa A – Parte de um conglomerado alemão, a empresa é focada em soluções de energia sustentável, por meio de vento, água, sol e biomassa.</p> <p style="text-align: center;">Empresa B – De origem familiar, possui uma estrutura verticalizada na produção de alimentação dos animais, cuidados os processos de cria, recria e engorda, abatimento dos animais e venda.</p>	
<p>D) <u>Estruturação teórica para sustentação do estudo de casos:</u></p>	
<ul style="list-style-type: none"> • Modelo de biodigestor utilizado 	<p>Deganutti <i>et al.</i> (2002); Oliver <i>et al.</i> (2008); Sganzerla (1983); Schmidell e Facciotti (2001); Winrock (2008)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Dejetos utilizados 	<p>Donia, Mineo e Sgroi (2018); Maciel-Silva (2021); Brasil (2020); Picardo <i>et al.</i> (2019); Molina-Moreno <i>et al.</i> (2017); Rauseo <i>et al.</i> (2019)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Vantagens do uso de biodigestores para a economia circular 	<p>Winqvist <i>et al.</i> (2019); Barampouti <i>et al.</i> (2019); Xue <i>et al.</i> (2019); Papurello, Santarelli e Fiorilli (2018); Cucchiella, D’Adamo e Gastaldi (2019); Dahlin <i>et al.</i> (2016); Czekala <i>et al.</i> (2020)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Desvantagens do uso de biodigestores para a economia circular 	<p>Abad <i>et al.</i> (2019); Vondra, Tous e Teng (2019); Islam <i>et al.</i> (2021); Rada <i>et al.</i> (2019); Hadin, Hillman e Eriksson (2017)</p>

Continua

<p>E) <u>Lacuna de pesquisa:</u></p> <p>Segundo Velvizhi <i>et al.</i> (2020), encontra-se na literatura poucos artigos que discutam o gerenciamento de resíduos sólidos em direção a uma economia circular. Isso foi confirmado com o resultado da análise bibliográfica realizada, a qual também demonstrou que há poucos trabalhos que apresentem a interligação entre o uso de biodigestores e a economia circular. É muito recente o interesse do meio acadêmico e, da sociedade como um todo, no uso de biodigestores como um braço de apoio a economia circular. Os primeiros artigos publicados datam do ano de 2016. E mesmo assim, dos artigos apresentados até hoje, poucos possuem uma visão mais sistêmica. Portanto, há muitas lacunas a serem exploradas e respondidas. Sendo necessário a realização de um número maior de estudos, até mesmo de uma forma mais aprofundada, que tragam a interação entre essas duas vertentes.</p>		
<p>2. Procedimento para coleta de dados</p>		
<p>Comportamento e atividades do pesquisador ANTES, DURANTE e APÓS a coleta de dados.</p>		
<p>A) <u>Antes:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Confirmar data e horário das entrevistas; • Enviar com antecedência, por <i>e-mail</i>, possíveis necessidades ou recomendações aos entrevistados; • Ligar na empresa na mesma semana da realização da entrevista para confirmar se houve mudança na agenda dos entrevistados, e assim saber se haverá necessidade de remarcar as entrevistas; • Preparar os recursos a serem utilizados na coleta de dados: gravadores, folhas de anotações, canetas, computador, entre outros; • Revisar o roteiro de entrevistas e objetivos da pesquisa para que não seja negligenciado durante a coleta dos dados. 	<p>B) <u>Durante:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Fazer rápida apresentação da pesquisa ao entrevistado; • Anotar o nome e função dos entrevistados; • Pedir permissão para gravar a entrevista e se for autorizado pelo entrevistado, gravar toda a entrevista; • Seguir sempre o roteiro de entrevista para que o foco da entrevista seja mantido; • Fazer todo tipo de anotação necessária durante a entrevista; • Controlar a duração da entrevista para que a mesma não se alongue mais do que o necessário. 	<p>C) <u>Após:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Agradecer ao entrevistado e a empresa pela participação da pesquisa; • Deixar meios de contato com a empresa e recolher o contato dos entrevistados (e-mail e telefone);

Continua

3. Categorias de análise e painel de dados necessários		
Categories de análise	Questões	Fontes dos dados
A) Caracterização da empresa	Qual o setor de atuação da empresa?	() Entrevista
	Qual a quantidade de empresas do grupo?	
	Qual a quantidade de funcionários?	
	Qual a localização da empresa?	
	Qual a data de fundação da empresa?	
B) Caracterização dos biodigestores	Qual o modelo utilizado e por quê?	() Entrevista
	Qual a capacidade do biodigestor?	
	Como é feita a manutenção do biodigestor? Com qual periodicidade?	
C) Dejetos utilizados	Quais os principais dejetos utilizados para abastecimento?	() Entrevista
	Quem é o fornecedor dos dejetos utilizados?	
	Como a empresa transporta e armazena esses dejetos?	
D) Descrição operacional do processo do biodigestor	Existe alguma etapa de pré-tratamento? Qual?	() Entrevista
	Qual o consumo de água para o processo?	
	Qual o consumo de energia para o processo?	
	Qual a periodicidade de alimentação do biodigestor?	
	Qual o tempo de retenção dentro do biodigestor?	
	Qual a perda no processo?	
	Quais os produtos, e a quantidade gerada pelos biodigestores?	

Continua

	Qual a destinação dos produtos gerados?	
	Na sua opinião o biogás pode ser considerado uma energia renovável? Por quê?	
E) Utilização dos biodigestores no contexto da EC	Porque a empresa decidiu fazer uso de biodigestores (o que levou a tomarem essa decisão)?	() Entrevista
	Quais as principais vantagens do uso de biodigestores? Por quê?	
	Quais as principais desvantagens do uso de biodigestores? Por quê?	
	O uso de biodigestores traz benefícios econômicos? Quais?	
	O uso de biodigestores traz benefícios sociais? Quais?	
	O uso de biodigestores traz benefícios ambientais? Quais?	
	Qual o principal benefício que o uso de biodigestores traz para a empresa e para a sociedade como um todo?	
	O uso de biodigestores faz parte de uma economia mais circular? Por quê?	
	O governo apoia o uso de biodigestores? É importante a existência desse apoio?	
	Como será o uso de biodigestores no futuro?	
4. Guia para apresentação dos resultados do estudo de casos		
1. Caracterização do caso estudado	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar a empresa onde será realizado o estudo de caso, para que seja possível uma visão geral da empresa 	
2. Caracterização do biodigestor utilizado	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar o biodigestor utilizado, quando foi construído, as manutenções necessárias 	

Continua

Cont. Protocolo

3. Caracterização do (s) dejetos (s) utilizado (s)	<ul style="list-style-type: none">• Identificar o principal dejetos utilizado para abastecimento do biodigestor, todo o processo de coleta e armazenamento. O porquê da escolha desse dejetos, suas vantagens e possíveis desvantagens.
4. Produtos gerados	<ul style="list-style-type: none">• Analisar o produto gerado pelo biodigestor (possivelmente biogás e biofertilizante), assim como é aproveitado esses produtos e qual a lucratividade da empresa na geração desses.
5. Vantagens e desvantagens do uso de biodigestores	<ul style="list-style-type: none">• Verificação da visão da empresa em relação as possíveis vantagens e desvantagens. O que poderia ocorrer no futuro que possa melhorar ou piorar a situação atual.
6. Qual a ligação entre o uso de biodigestores e a economia circular	<ul style="list-style-type: none">• Como a empresa vê o uso de biodigestores para a economia circular.

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE C – Roteiro de entrevista

Data: ___/___/___

Caso estudado:

Dados do entrevistado

Nome:

Cargo:

Setor:

Telefone de contato: ()

E-mail:

A) Caracterização da empresa

- 1) Qual o setor de atuação da empresa: _____
- 2) Quantidade de empresas do grupo: _____
- 3) Quantidade de funcionários: _____
- 4) Localização: _____
- 5) Data de fundação da empresa: _____

B) Caracterização dos biodigestores

- 6) Qual o modelo de biodigestor utilizado? Porque a escolha desse modelo?
- 7) Qual a capacidade do biodigestor?
- 8) Como é feita a manutenção do biodigestor? Com qual periodicidade?

C) Dejetos utilizados

- 9) Quais os principais dejetos utilizados para abastecimento?
- 10) Quem é o fornecedor (pequenos produtores, cooperativas, produção local, etc.) dos dejetos utilizados?
- 11) Como a empresa transporta e armazena esses dejetos?

D) Descrição operacional do processo do biodigestor

- 12) Existe alguma etapa de pré-tratamento?
- 13) Qual o consumo de água para o processo?
- 14) Qual o consumo de energia para o processo?
- 15) Qual a periodicidade de alimentação do biodigestor?
- 16) Qual o tempo de retenção dentro do biodigestor?
- 17) Qual a perda no processo?
- 18) Quais os produtos, e a quantidade gerada pelos biodigestores?
- 19) Qual a destinação dos produtos gerados?
- 20) Na sua opinião, o biogás pode ser considerado uma energia renovável? Por quê?

E) Utilização dos biodigestores no contexto da EC

- 21) Porque a empresa decidiu fazer uso de biodigestores (o que levou a tomarem essa decisão)?
- 22) Quais as principais vantagens do uso de biodigestores? Por quê?
- 23) Quais as principais desvantagens do uso de biodigestores? Por quê?
- 24) O uso de biodigestores traz benefícios econômicos? Quais?
- 25) O uso de biodigestores traz benefícios sociais? Quais?

- 26) O uso de biodigestores traz benefícios ambientais? Quais?
- 27) Qual o principal benefício que o uso de biodigestores traz para a empresa e para a sociedade como um todo?
- 28) O uso de biodigestores faz parte de uma economia mais circular? Por quê?
- 29) Na sua empresa os biodigestores têm apoiado a Economia Circular? Por quê?
- 30) O governo apoia o uso de biodigestores? É importante a existência desse apoio?
- 31) Como será o uso de biodigestores no futuro?

APÊNDICE D – Transcrição da entrevista realizada com a empresa A

Data: 17/09/2021

Caso estudado: Empresa A

Dados do entrevistado

Nome: (optou por não se identificar)

Cargo: Coordenadora de Meio Ambiente Setor: EHS (Meio Ambiente, Saúde e Segurança)

Setor de Atuação da Empresa: Soluções em Energia Sustentável

Entrevistadora: Para que possamos otimizar o tempo de entrevista e eu possa transcrever depois, vocês autorizam que a entrevista seja gravada, para elaboração futura do meu Estudo de Caso?

Coordenadora de Meio Ambiente: Pode ser gravada, mas não poderemos divulgar algumas informações.

Engenheiro Ambiental: Exatamente, não poderemos passar nenhum dado técnico específico.

Entrevistadora: Ok.

Entrevistadora: Qual o setor que vocês trabalham?

Coordenadora de Meio Ambiente: Nosso departamento é do EHS (Saúde, Segurança e Meio Ambiente) e nós fazemos parte do time de Meio Ambiente. Eu sou coordenadora de Meio Ambiente e o X é um dos nossos engenheiros ambientais.

Entrevistadora: O que levou a empresa a ter um biodigestor?

Coordenadora de Meio Ambiente: Nós temos um projeto que é o Zero Aterro. Então, dentro do projeto Zero Aterro, que a gente entende que não é muito sustentável a gente enviar resíduos para aterro. A gente não quer contribuir para esse tipo de destino final, a gente quer sempre tentar destinos que recuperem a energia envolvida no resíduo. Então, seguindo a pirâmide desde lá do: reduzir, reutilizar, reciclar. E aí, assim a gente vai passando por outros tipos e por último lá no final tem o aterro e esse é um dos que a gente

visa eliminar. Com esse projeto do Zero Aterro a gente foi buscar alternativas para cada tipo de resíduo que a gente tem e um dos resíduos que a gente viu que tem bastante é o resíduo gerado na preparação dos alimentos no nosso restaurante. Hoje a gente tem cerca de 800-900 refeições por dia, mais ou menos, e tem o resíduo gerado na preparação desses alimentos e também o deixado ali no prato.

Engenheiro Ambiental: Hoje está isso.

Entrevistadora: Então o Biodigestor de vocês utiliza como dejetos apenas o resto do refeitório?

Coordenadora de Meio Ambiente: Isso. Ele fica dentro da cozinha, não na cozinha, mas na área de separação, depois, quando recebe os pratos sujos e lavagem, ele fica situado nessa área do restaurante e recebe todos esses restos de alimento. Do preparo e do descarte do prato dos usuários.

Entrevistadora: Muito legal!

Coordenadora de Meio Ambiente: A gente tinha, a gente pensou né, em outras possibilidades, a gente avaliou a compostagem, a gente avaliou outros métodos que existem no mercado, mas o biodigestor foi um que a gente achou bem interessante pela automação que ele tem. O biodigestor que a gente tem é todo conectado. A gente consegue ver em tempo real, no site da empresa, o quanto que ele já está recebendo de resíduo, as equivalências que a gente está deixando de emitir no meio ambiente e, ele também já ajuda, ele digere todo o resíduo orgânico e descarta nas caixas de gordura. Então ele ajuda também no tratamento das caixas de gordura, por ele ter as bactérias ali. As bactérias acabam indo um pouquinho para a caixa de gordura e ajudam também a degradar essa gordura, eliminando também um dos resíduos que a gente tinha, que era o de caixa de gordura e depois é descartado na rede de esgoto doméstico. Isso também foi um ponto que a gente achou interessante por ele, a gente não contabilizar mais esse resíduo. Então a gente tem os nossos indicadores internos né, de geração de resíduo e esse resíduo por não sair mais do site a gente não contabiliza, a gente não considera mais ele no indicador. Então a gente deixou de colocar no indicador algumas toneladas no mês. Isso ajuda internamente na nossa conta, que a ideia é reduzir o máximo possível o nosso resíduo. Então seja, reduzindo ele, deixando de utilizar alguma coisa, ou no caso do biodigestor, ou então reutilizando internamente, e por aí vai.

Entrevistadora: Muito legal o trabalho desenvolvido por vocês. Parabéns pela iniciativa. Se todas as empresas tivessem essa iniciativa já teríamos um grande avanço em relação ao descarte de resíduos.

Coordenadora de Meio Ambiente: Eu acho que agora algumas empresas já estão começando a ver né?! Porque o biodigestor tinha antes um custo muito alto envolvido nele, as empresas vendiam antes o biodigestor, mas agora a gente já tem empresas que fazem contratos de aluguel. Que ajuda no *payback* do projeto, então eu acho que facilita um pouco mais a implementação nas empresas.

Entrevistadora: Com certeza!

Engenheiro Ambiental: Eu queria acrescentar também a melhoria também com relação a redução de emissão CO₂ nas estradas pelos caminhões de coleta, você reduz a emissão, você também reduz o risco, reduz não, a zero o risco de incidentes nas estradas. O caminhão tombar na estrada com a carga, com o resíduo orgânico na estrada. Você também reduz o custo de mão de obra, porque todo resíduo que sai da empresa tem que fazer um MTR. Às vezes, alguns casos, não esse caso específico, nota fiscal, demanda funcionários administrativos, demanda tempo também dos funcionários da balança para pesar o caminhão para ter o peso correto e, eu acho que tem esses ganhos também positivos. E outro, o final é o custo né?! Não podemos falar do valor, mas todos esses benefícios “ficou” mais barato do que a gente pagaria se fosse o tradicional através de caminhão levando para o aterro.

Entrevistadora: A empresa A tem um sistema de controle de comércio de carbono?

Coordenadora de Meio Ambiente: Como assim?

Entrevistadora: Tem algumas empresas, geralmente no exterior, no Brasil são poucas, que quando você gasta menos carbono do que você poderia emitir no meio ambiente, você pode vender essa taxa negativa de carbono para outra empresa que gasta mais. Mas isso ainda não é muito difundido no Brasil.

Coordenadora de Meio Ambiente: “Tá”. Nós não temos, até porque a parte do carbono a gente tem metas de neutralizar a emissão de carbono até 2030. A gente ainda tem alguma emissão, a gente não está na emissão negativa ainda, para conseguir ter esse comércio.

Entrevistadora: Qual é o modelo de biodigestor que vocês utilizam? Não precisam falar a marca, mas vocês saberiam dizer o modelo dele?

Coordenadora de Meio Ambiente: Mas é para saber a quantidade que ele consegue digerir?

Entrevistadora: Nós temos vários modelos utilizados, os mais comuns são os modelos: canadenses, indianos, ..., você saberia me dizer qual o modelo de vocês? Como ele é?

Engenheiro Ambiental: É que na verdade, se eu te falar “o modelo canadense”, você irá saber a marca.

Coordenadora de Meio Ambiente: É.

Entrevistadora: Ah ok, tudo bem.

Entrevistadora: Vocês têm uma manutenção periódica? Como que é feita a manutenção desse equipamento?

Engenheiro Ambiental: Ah, então, isso é um grande ganho também. Essa experiência da instalação do biodigestor 100% da manutenção, um que não é para dar manutenção, ele é para fazer a cada seis meses uma manutenção preventiva. Obviamente quando você instala, você tem que levar em consideração a pressão da água, trava de emergência, porque a gente tem que fazer o enquadramento na NR12, que é um equipamento de segurança. Então, para fazer o *start* do equipamento demanda de alguma mão de obra mais constante no site pela empresa. A nossa experiência, nos últimos, no último tempo agora “tá” funcionando sem o acionamento, não acionamos mais nenhuma vez a empresa. Então, está perfeito. E a resposta da empresa está sendo ótima. A gente aciona, a empresa está aqui dentro de uma ou duas horas no máximo. Então, a gente não tem problema de parada do equipamento até momento.

Entrevistadora: Ah, que ótimo. Entendi. E vocês utilizam o biogás e o biofertilizante também? Vocês utilizam esses dois produtos?

Coordenadora de Meio Ambiente: Não.

Engenheiro Ambiental: Não.

Entrevistadora: Por que o biodigestor gera o biogás, certo?!

Coordenadora de Meio Ambiente: O nosso biodigestor é um biodigestor elétrico né?! Ele é um modelo elétrico. A gente fornece água, as bactérias e ele já degrada todo o resíduo orgânico e ele sai na rede de efluente de esgoto doméstico. Então a gente acaba...já vai tudo “pro” esgoto.

Entrevistadora: Então vocês acabam não tendo esse subproduto? Seja o biogás ou biofertilizante?

Coordenadora de Meio Ambiente: Não. Como eu falei ele tem a ajuda, como ele sai no esgoto, passa nas nossas caixas de gordura, ele ajuda a degradar a caixa de gordura. Então ele está melhorando o aspecto das nossas caixas de gordura. Antes elas, todas as indústrias que tem caixa de gordura e periodicamente tem que fazer alguma retirada ali. E isso é um resíduo adicional, que acaba tendo na indústria. Com o uso do biodigestor e essas bactérias saindo um pouquinho, indo na caixa de gordura, acaba que a gente não precisa, a gente acaba não tendo mais esse resíduo da caixa. Para não ter que sair, então são dois resíduos que a gente eliminou da nossa lista, praticamente.

Entrevistadora: Entendi. E você acha que no futuro vocês podem vir a produzir, a utilizar esse biogás?

Coordenadora de Meio Ambiente: Não, acho que esse modelo, ele não tem essa opção.

Entrevistadora: Não fornece essa opção?

Engenheiro Ambiental: Não.

Coordenadora de Meio Ambiente: Não.

Entrevistadora: E como vocês enxergam o uso de biodigestores para a Economia Circular dentro da empresa de vocês?

Coordenadora de Meio Ambiente: Olha, ele é, acho que um dos pontos cruciais para esse tipo de resíduo que a gente está usando, que é o orgânico. A gente tem, acaba circulando ali, “que nem” a gente falou, a gente quer métodos de tratamento que recuperem, de certa forma, a energia que existe no resíduo. E esse a gente entende que é um dos tipos que recupera, que utiliza a energia ali desse resíduo. Seja na forma de degradação da bactéria ali, e ajudando na caixa de gordura, ou outras formas ali que pode existir.

Entrevistadora: Entendi. E vocês veem alguma desvantagem no uso de biodigestores, para vocês?

Entrevistadora: Algo que ainda possa ser aprimorado? Alguma coisa?

Coordenadora de Meio Ambiente: Por enquanto, não vi nenhuma. X não sei se você tem?

Engenheiro Ambiental: Não. Eu realmente fiquei muito surpreso. Eu sabia que ele era bom, mas não tanto. Ele me surpreendeu.

Entrevistadora: Que bom!

Engenheiro Ambiental: Realmente.

Entrevistadora: E vocês conseguem listar para mim alguns benefícios econômicos? Não precisa falar valores, mas algum benefício econômico além dos que vocês já citaram? De não ter o custo com transporte, economizar no custo com caminhões, de levar até o aterro, ..., vocês conseguem me dizer mais algum benefício econômico?

Engenheiro Ambiental: Não. O custo direto mesmo econômico. Ele é mais viável do que você descartar tradicionalmente, que é o transporte e a destinação em aterro. Ele é mais barato. Hoje o biodigestor, no caso com as manutenções e você também tem um custo também que você economiza com relação a caixa de gordura. Que você tem que pagar também com o transporte e a destinação da caixa de gordura. Você vai reduzir a periodicidade de limpeza. Então, é um custo direto. Não é um custo, ah a gente vai ser taxado pela emissão de CO₂ no futuro. Eu não “to” falando nem de futuro, eu “to” falando de presente: hoje é mais barato você utilizar o biodigestor.

Entrevistadora: Sim.

Entrevistadora: E benefícios sociais, vocês viram algum? Alguma vantagem social, que vocês conseguem identificar com o uso do biodigestor de vocês?

Coordenadora de Meio Ambiente: Benefício social você diz?

Entrevistadora: Isso.

Coordenadora de Meio Ambiente: Olha, ele...talvez para fora da nossa empresa não. Mas a gente nota uma melhora significativa na ergonomia dos nossos colaboradores do restaurante. Antes eles tinham que lidar ali com caixas, com sacos, com resíduos, e etc. Fazer um caminho “né”?! Um pouco maior para fazer o descarte nas lixeiras, nos coletores que a gente tinha. E agora o caminho é bem curto e ergonomicamente para eles ficou muito melhor. A gente fez toda uma análise ergonômica do aparelho antes de instalar e melhorou muito a qualidade do trabalho deles. Acho que esse pode ser um dos benefícios sociais que a gente pode falar.

Entrevistadora: Sim, com certeza.

Entrevistadora: Vocês tiveram algum apoio do governo para a instalação desse biodigestor? Ou não, é totalmente uma iniciativa privada?

Coordenadora de Meio Ambiente: Não, total privada.

Entrevistadora: E vocês acham que seria importante ter um incentivo do governo? Faria diferença para vocês?

Coordenadora de Meio Ambiente: É, talvez ajudaria na parte econômica “né”?! Mas eu não vejo tendo esse incentivo tão fácil assim.

Entrevistadora: Infelizmente né?!

Entrevistadora: E como vocês veem o uso de biodigestores pela Empresa Z no futuro? Daqui, não sei, cinco...dez anos.

Coordenadora de Meio Ambiente: Olha, a gente tem contratos longos com a empresa, para continuar com esse biodigestor. E dando tudo certo, eu não vejo porque a gente mudar a tecnologia que a gente tem hoje. Está atendendo “super” bem, a gente colocou na maioria dos nossos sites. Pela pandemia a gente tem alguns sites que não estão operando no momento, então, a gente está aguardando o retorno deles para também colocar nesses outros. Mas os sites que estão operando, todos a gente já colocou. Só para corrigir, a gente tem hoje a Empresa A e nós aqui estamos falando especificamente da *A-Energy*.

Entrevistadora: Ah ok. Desculpa.

Coordenadora de Meio Ambiente: Não, imagina. É que é recente a separação, então...sem problemas.

Entrevistadora: Entendi. Eu ia perguntar isso para você: se os outros sites também já tinham biodigestor. Então já foi respondida essa questão também.

Entrevistadora: Essas foram as perguntas principais que eu gostaria de fazer a vocês. Agora eu gostaria que vocês me contassem um pouquinho mais. O que vocês acharam, pelo jeito vocês estão adorando o uso de biodigestores. Estão mais empolgados, que superou as expectativas de vocês. Tem mais alguma coisa que vocês gostariam de acrescentar?

Engenheiro Ambiental: Olha, não teve essa pergunta. Não sei se é relevante também. O *design* dele é legal, eu acho ele muito bonito, futurista, fica bem legal na cozinha, onde é

descartado. Ele é futurista, tem um visorzinho, você também, ontem “né” eu “tava” indo embora, eu consigo acessar lá pelo aplicativo. O aplicativo, aí você consegue colocar o período, você forma gráfico, a própria empresa também consegue verificar qual o problema que deu no biodigestor. Às vezes ele pode ter uma queda de energia, mas ele volta a funcionar automaticamente. Então você gera gráfico, você pode colocar o período, você consegue saber a quantidade de quilos que você descartou naquele dia, a quantidade que foi processada pelo biodigestor. Então você tem a informação na mão, de todas as localidades da *Z-Energy*. Então acho que é isso, agregou também ao ambiente da cozinha. O biodigestor, a estética dele.

Entrevistadora: Com certeza. E vocês conseguem abastecer direto, não precisam esperar um tempo para poder abrir e abastecer? É contínuo o abastecimento?

Engenheiro Ambiental: Isso. Ele tem um, cada funcionário da cozinha, todos tem um treinamento, cada um tem um *login*, vai lá no computadorzinho do biodigestor e coloca a senha dele. Aí a tampa vai destravar, ele abre, aí vira...eles têm um vasilhame pequenininho que no dia a dia que eles vão limpando os pratos, as bandejas, ou o próprio da preparação do alimento tem essas sobras, eles colocam nesse vasilhame e viram dentro do biodigestor. Aí eles fecham e apertam o botão *START*, aí trava, aí não consegue abrir. É uma trava de segurança né?!

Entrevistadora: Mas se precisar fazer isso várias vezes ao dia, consegue?!

Engenheiro Ambiental: Consegue, fica à vontade. Coloca a senha, abre, joga o resíduo, fecha, *START*. Isso é a parte operacional.

Entrevistadora: Muito legal! Muito legal mesmo!

Engenheiro Ambiental: Muito bom mesmo. Ele me surpreendeu.

Coordenadora de Meio Ambiente: Sim, estamos bem felizes. E achamos que foi uma ótima solução para a nossa empresa

Entrevistadora: Espero que vocês façam muito *Benchmarking* com isso e incentivem outras empresas a colocarem também.

Coordenadora de Meio Ambiente: É, como eu comentei. Acho que agora mais empresas estão começando a adotar essa técnica, até por essa mudança das empresas de biodigestores: ao invés de vender o equipamento, o de fazer esse aluguel, com a manutenção, com tudo que a gente precisa. Acho que isso facilita bastante, o custo reduz

significativamente e fica mais viável para as empresas adotarem. Então, acredito que logo mais, pelo menos as grandes empresas, já vão começar a pensar em algo nesse sentido.

Entrevistadora: É o futuro, não tem como fugir disso.

Coordenadora de Meio Ambiente: Exato.

Engenheiro Ambiental: Sim. Tem uma grande empresa que é prestadora de serviço nossa aqui de resíduos, ela oferece “pro” mercado também soluções ambientais. E ela quer trazer os clientes dela aqui na A-Energy para mostrar o biodigestor. Por que o resíduo orgânico de restaurante é bem complicado você tratar ele. E as empresas não tem o que fazer com esse resíduo né?! Tem que mandar para aterro. Então ela quer trazer esses clientes dela aqui na A-Energy, para fazer esse *benchmarking* legal “pra” gente.

Entrevistadora: E a Empresa A abre as portas para essa visitação?

Engenheiro Ambiental: Ainda não. Eu pedi para ela esperar um pouquinho, mas a ideia é sim. Não vejo problema para fazer o funcionamento. Como é um fornecedor nosso, não vejo problema.

Engenheiro Ambiental: Tem contrato com a gente né?!

Entrevistadora: Entendi. Só me explica de novo, que eu fiquei um pouco confusa. Eu nunca vi esse sistema de descarte. Ele passa pelo... o material que é digerido dentro do biodigestor, ele cai na sua caixa de gordura, ajuda a digerir o material da caixa de gordura e depois ele é descartado no esgoto. É isso?!

Engenheiro Ambiental: Isso. Lá a cozinha, todo restaurante tem que ter uma caixa de gordura, até porque esses materiais sólidos que caem na grelha, ela tem que passar por uma caixa de gordura. O sedimento tem que ficar na caixa de gordura. Quando sobe a caixa de gordura, vai para o esgoto. E com o tempo vai formando aquela crosta grossa, dura, que vai entupir a tubulação. O que que as bactérias fazem no biodigestor? Ela vai pela tubulação, ela está interligada na caixa de gordura. Ela vai degradar a matéria orgânica e não vai deixar formar aquela crosta rígida de gordura. Ela vai ser diluída e segue para a tubulação de esgoto. Por isso que você diminui a periodicidade da coleta.

Entrevistadora: E daí ela vai direto para a caixa de esgoto?

Engenheiro Ambiental: Isso.

APÊNDICE E – Transcrição da entrevista realizada com a empresa B

Data: 01/11/2021

Caso estudado: Empresa B

Dados do entrevistado

Nome: Optou pelo anonimato

Setor de Atuação da Empresa: Criação e frigorífico de suínos e bovinos

Cargo: Responsável técnico Setor: Frigorífico

Entrevistadora: Luiz, você poderia se apresentar por favor? Seu nome? A sua função na empresa em que você trabalha?

Responsável técnico do frigorífico: Meu nome é Luiz Henrique Cabral, eu sou responsável técnico do frigorífico B. O qual fica localizado em Boituva, interior de São Paulo. É um frigorífico que faz abate de bovinos e suínos e tem outras atividades no seu entorno: a criação de suínos, criação de bovinos e tem uma área da propriedade que é destinada também a produção de milho...principalmente milho.

Entrevistadora: Entendi. Então não seria só o abate, tem a criação também.

Responsável técnico do frigorífico: Falando um pouquinho do que você acabou de comentar, eles quase que fazem o ciclo completo. Tem a granja, que produz os suínos. Tem o frigorífico que faz o abate dos suínos. Tem as lojas que comercializam o produto final. E aí acaba entrando a questão do biodigestor. Tem a parte de pastagem. Tem a parte de agricultura...então eles vão mais para essa linha do ciclo mesmo.

Entrevistadora: Entendi. Vamos prosseguir então. Luiz, você sabe me dizer o tempo de fundação da empresa?

Responsável técnico do frigorífico: Por volta de 30 anos já.

Entrevistadora: E só tem uma unidade dela, ou tem mais unidades?

Responsável técnico do frigorífico: Não, só tem uma unidade. O frigorífico tem uma unidade. Eles têm duas granjas de produção de suínos, uma fica em Boituva, na

propriedade onde tem o frigorífico e a outra fica em Alambarí. Mais a unidade produtora mesmo, de abatedouro, é uma unidade só.

Entrevistadora: O biodigestor fica localizado em qual unidade? Na unidade de abate?

Responsável técnico do frigorífico: Isso, fica na unidade de abate.

Entrevistadora: Na outra unidade não tem biodigestor?!

Responsável técnico do frigorífico: Na outra unidade não tem biodigestor.

Entrevistadora: Ok. Agora falando um pouquinho mais do biodigestor, você sabe me explicar qual o modelo de biodigestor que vocês utilizam?

Responsável técnico do frigorífico: Olha, eu posso descrever para você. Eu não sei o nome específico. Mas é feito aquela escavação no solo, existe uma proteção que é feita no solo com uma lona (não lembro o tipo de material). E depois ele é coberto, tem uma outra lona por cima, para a captação do gás.

Entrevistadora: Pelo o que você está me explicando, acredito que seja o modelo canadense.

Entrevistadora: E qual o tamanho? Qual a capacidade dele?

Responsável técnico do frigorífico: Nossa! Não sei te falar a capacidade dele. Vou te falar em medidas, comprimento e largura, de comprimento ele deve ter uns 30 metros. Eu acho que tenho esse dado para te passar depois, se você quiser. Mais ou menos, ele deve ter uns 30 metros de comprimento, por uns 10-12 de largura. Profundidade eu não sei te falar. Deve ter uns 8-10 metros de profundidade.

Entrevistadora: Se você tiver esses dados para me passar depois, eu agradeço.

Responsável técnico do frigorífico: Tenho sim.

Entrevistadora: Só para ficar um pouco mais completo.

Entrevistadora: E você sabe me dizer o porquê vocês optaram por esse modelo?

Responsável técnico do frigorífico: Não sei se te falar. Qual o motivo desse modelo...não sei se tem a ver com a área, a propriedade tem uma área bem extensa. Talvez isso tenha dado condições para eles trabalharem com esse modelo. Gera muito...o resíduo que se gera, ele é bastante líquido. Utiliza bastante água, então talvez, por propiciar uma capacidade de armazenamento boa. Não sei te dar com exatidão essa informação não.

Entrevistadora: E faz tempo que vocês têm biodigestores?

Responsável técnico do frigorífico: Faz, faz tempo.

Entrevistadora: Você saberia precisar quanto tempo?

Responsável técnico do frigorífico: Eu acho que eles implantaram os biodigestores por volta de 2010/2012, por aí.

Entrevistadora: Ok. Já faz um certo tempo então.

Responsável técnico do frigorífico: Faz, faz um tempo.

Entrevistadora: Em relação a manutenção realizada no biodigestor: como é feita a manutenção? Tem alguma periodicidade?

Responsável técnico do frigorífico: A manutenção maior que é feita...ela era feita na lona. Porque a lona depois de um tempo começou a apresentar bastantes pontos de furo. Aí o pessoal tinha que fazer essa manutenção. De limpeza, teve que ser feita uma manutenção de limpeza (coisa de uns 3 anos atrás), é mais ou menos essa a periodicidade que tem que ser feita a limpeza: abertura, esgotamento, retirada de sólido. Mas fazia um bom tempo que não tinha esse tipo de tratamento.

Entrevistadora: Entendi. Então faz três anos que foi realizada a última limpeza?

Responsável técnico do frigorífico: A última limpeza faz uns três anos, sim. Foi realizada em 2018.

Entrevistadora: E você sabe me dizer como foi feita essa manutenção? Essa limpeza?

Responsável técnico do frigorífico: Eu sei que eles esgotaram uma parte do material, depois teve a abertura, teve a retirada da lona, aí foi feita a limpeza com uma retroscavadeira. Foi mais ou menos por aí. Não lembro com exatidão para te falar. Se teve alguma empresa que fez esse trabalho, mas foi mais ou menos nessa linha.

Entrevistadora: Está ótimo.

Entrevistadora: Agora falando um pouquinho sobre os dejetos. Você falou que tem uma área de criação de animais. Vocês usam também dos dejetos dos animais? Quais são os dejetos que vocês usam para abastecer os biodigestores?

Responsável técnico do frigorífico: Tem dois biodigestores. Tem um biodigestor que é abastecido pela limpeza de baias dos suínos. Então, basicamente é urina e fezes. Tem um

pouco da parte de ração que se mistura. Então um biodigestor é abastecido basicamente por esse material. O outro biodigestor, ele recebe material proveniente do frigorífico. E aí entra: sangue, material de lavagem de ambientes, então mistura com matéria orgânica, resíduo de carne, gordura. Tem uma parte de limpeza de rúmen, das fezes de curral, que passa por uma peneira, aí o líquido que sobra vai para o biodigestor também. Então, toda parte, tirando a parte, tirando o esgoto dos sanitários, tudo aquilo que é relacionado a limpeza do frigorífico (que entra no plano de limpeza dos materiais) vai para o biodigestor.

Entrevistadora: Tem algum tipo de segregação? Você falou que um biodigestor é abastecido com os dejetos dos suínos, né?! O resto para o outro biodigestor. Tem algum tipo de segregação ou mistura tudo junto?

Responsável técnico do frigorífico: Não, são separados. Eles estão em áreas separadas, a granja está dentro da propriedade, mas está em um local afastado ao frigorífico. E aí, o biodigestor também. O biodigestor está próximo a granja, mas também está afastado do frigorífico, então não dá para fazer a interligação.

Entrevistadora: Não. Você havia me falado que um biodigestor é abastecido com os dejetos dos suínos, certo?!

Responsável técnico do frigorífico: Sim, isso.

Entrevistadora: O outro biodigestor você falou que vai o resto dos animais (com sangue, gordura). Aí não tem nenhuma outra separação nesse outro biodigestor? Vai tudo junto?

Responsável técnico do frigorífico: Tudo junto. Sim.

Entrevistadora: Então são dois biodigestores, né?!

Responsável técnico do frigorífico: É. A única separação que tem, ela é antes de chegar no biodigestor. Então a gente tem alguns locais que fazem retirada da parte sólida, antes de chegar no biodigestor.

Entrevistadora: Ok...

Responsável técnico do frigorífico: Então a parte, o resíduo mais grosso (vamos falar assim), a parte de sólidos que está misturado na água, eles vão sendo retidos em algumas áreas, para ir a menor quantidade possível de material sólido para o biodigestor.

Entrevistadora: Mas vocês não colocam material sólido no biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Vai pouco material sólido para o biodigestor.

Entrevistadora: Por que vocês fazem essa segregação?

Responsável técnico do frigorífico: Porque esse resíduo, uma parte desse resíduo, desse sólido que é retido, ele é reaproveitado em um outro departamento, em uma outra área do frigorífico, que é a graxaria. Então, todo sólido que desce do frigorífico...pensa assim: você vai lavar...você conhece frigorífico? Assim, alguma vez?

Entrevistadora: Eu fui uma vez lá no Frigorífico M.

Responsável técnico do frigorífico: Isso, então pega assim oh: você pega a sala de abate lá do Frigorífico M, cai gordura, cai pedaço da limpeza do animal, ..., então quando isso é lavado, desce pela tubulação, esse material sólido ele é possível de ser reaproveitado num setor de graxaria. Que faz a parte de óleo, de farinha, ..., então esse material sólido não vale, pro frigorífico não é interessante ele ir para o biodigestor, e sim ser aproveitado na graxaria.

Entrevistadora: Ah ok, entendi. Então não é uma questão do biodigestor, é que vocês utilizam antes então?!

Responsável técnico do frigorífico: Isso. Utiliza. A mesma coisa para o material sólido para as fezes. Quando é lavado o curral, esse material desce para uma peneira, ele é separado (o sólido), então vira o esterco e isso é vendido para a compostagem, para a agricultura. E o líquido desse material vai para o biodigestor.

Entrevistadora: Depois mais à frente nós vamos falar sobre o biofertilizante. Para vocês não seria interessante vender o biofertilizante depois que passa pelo biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Então, o biofertilizante é utilizado para irrigação. Para a irrigação é utilizado o material que é proveniente do primeiro biodigestor.

Entrevistadora: O primeiro biodigestor é qual?

Responsável técnico do frigorífico: É o que utiliza as fezes e ração da granja.

Entrevistadora: Dos suínos?!

Responsável técnico do frigorífico: É. Então, assim, o que vai para o biodigestor do frigorífico, a parte líquida que vai saindo dele, ele vai para uma lagoa, dessa lagoa é bombeada para uma segunda lagoa (que fica meio centralizada na propriedade) e que recebe material do outro biodigestor (também da granja) e dali faz a parte de irrigação.

Entrevistadora: Entendi. E vocês não vendem, só utilizam para vocês mesmo?!

Responsável técnico do frigorífico: É, só para a gente mesmo. Só para a propriedade, não é vendido.

Entrevistadora: Ok. E o que vocês abastecem são só resíduos de vocês mesmo? Vocês não chegam a trazer resíduos de outras granjas menores, ao redor da fazenda, para abastecer o biodigestor de vocês?

Responsável técnico do frigorífico: Não. Não traz.

Entrevistadora: Ok. E como vocês fazem o transporte? O transporte dos dejetos até os biodigestores e depois quando sai do biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Tudo tubulação. Tudo manilha, ou tubos de polegada grande.

Entrevistadora: É tudo encanado então?!

Responsável técnico do frigorífico: É, tudo encanado. O gás que gera do biodigestor da granja até a caldeira, também é tudo encanado. Tudo tubulado.

Entrevistadora: Entendi. Então não tem nenhum contato manual, nada.

Responsável técnico do frigorífico: Não. Tudo fechado. Todo segmento fechado.

Entrevistadora: Até mesmo com o biofertilizante depois, vocês têm um sistema de tubulação que faz a irrigação de vocês? É isso?!

Responsável técnico do frigorífico: É. Mesma coisa. É bombeado da lagoa. A gente chama de lagoa, mas é do reservatório onde fica. Ele é bombeado por mangueira e a mangueira vai fazendo...como se fosse de jardim.

Entrevistadora: Interessante. Agora vou falar um pouquinho do processo, da parte operacional. E se tiver algum dado específico que você não se lembre e queira me passar depois, não tem problema.

Responsável técnico do frigorífico: Ok.

Entrevistadora: Nós já conversamos um pouquinho, mas eu queria que você me falasse mais um pouquinho se existe uma etapa de pré-tratamento desses resíduos, antes de ir para o biodigestor.

Responsável técnico do frigorífico: Não. Não tem tratamento nenhum. Só tem, ..., tem algumas lagoas (como eu falei pra você), tem alguns reservatórios que vão fazendo a retenção desses sólidos. Tem uma das lagoas que trabalha com um sistema de aeração. Mas não tem nenhum ..., não utiliza nenhum produto químico, não usa nada, é só esse sistema mesmo.

Entrevistadora: Ok. Você sabe me dizer o consumo de água que vocês utilizam, só para abastecer o biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Olha, precisaria fazer uma conta. A gente usa, em média, eu consigo te falar o consumo de água por animal abatido.

Entrevistadora: Mas aí seria todo consumo do animal, não seria o uso específico do biodigestor, né?!

Responsável técnico do frigorífico: Não. Eu não sei te falar em percentual, quanto que vai dessa água para o biodigestor, mas a maior parte dela vai “pro” biodigestor. Porque toda água que é utilizada no processo, ou é para lavagem do animal, ou é para lavagem do ambiente. De certa forma, vou falar para você que de 80-90% dessa água acaba indo para o biodigestor.

Entrevistadora: Ok, mas você tem que adicionar água direto no biodigestor. No processo do biodigestor? Ou não?!

Responsável técnico do frigorífico: Não. Eu não uso água no biodigestor. A água que vai para o biodigestor é água proveniente dos processos do frigorífico. Ou da limpeza da granja. Entendeu?! Então eu não coloco água.

Entrevistadora: Entendi. É que tem alguns processos nos quais é necessário acrescentar água no processo do biodigestor. No caso de vocês, vocês não usam né?!

Responsável técnico do frigorífico: Não.

Entrevistadora: Como já tem bastante água proveniente do processo...não precisa.

Responsável técnico do frigorífico: Não. Não tem necessidade, é muita água que usa. Para você ter uma ideia, em média, para cada bovino abatido são 300 litros de água.

Entrevistadora: Nossa, é bastante né?!

Responsável técnico do frigorífico: É. O suíno usa 100 litros de água. Então, uso por exemplo, são 100 bovinos por dia, mais 400 suínos. Então você tem uma ideia, são quase 1.000 litros de água por dia. Então é bastante. É um volume bem grande de água.

Entrevistadora: Entendi. E em relação a energia utilizada no biodigestor? Vocês têm algum sistema de energia? Qual o consumo de energia para o biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Em consumo de energia eu não sei te informar o quanto que ele consome, não existe essa separação. Mas há um consumo de energia para a movimentação de bomba de aeração, do biodigestor. Então tem um sistema de aeração, que é feito com a própria água que entra no biodigestor, tem um sistema que eles criaram, que faz a aeração. Então, tem um motor que faz isso. Tem motor que utiliza também para bombear o líquido que sai dos biodigestores para as lagoas. Tem um consumo ali, mas não sei te falar qual é em kW, quanto tem disso não.

Entrevistadora: Entendi. Você acha que tem esses registros? Você poderia me passar depois?

Responsável técnico do frigorífico: Eu acho pouco provável ter. Posso procurar, ver se tem alguma coisa, mas muito pouco provável que tenha alguma coisa.

Entrevistadora: Ok. Agora eu iria te perguntar qual a periodicidade de abastecimento do biodigestor, mas pelo que entendi é contínuo o fluxo de vocês.

Responsável técnico do frigorífico: É contínuo. Você pode colocar, por exemplo, que talvez no biodigestor do frigorífico um dia e meio ele não recebe material (que é o domingo e uma parte do sábado).

Entrevistadora: O resto ele recebe continuamente.

Responsável técnico do frigorífico: Do resto ele recebe continuamente. De segunda a sexta-feira e um pedacinho do sábado.

Entrevistadora: E o de suínos?

Responsável técnico do frigorífico: A granja de suínos?! Ah, aí eu não sei te falar. Eu não tenho contato com a granja. Não sei te falar quantas vezes por dia lava, recebe material. Eu não sei te falar.

Entrevistadora: Mas acredito que todo dia receba?!

Responsável técnico do frigorífico: Ah, imagino que sim.

Entrevistadora: Ok. Outra pergunta que eu iria te fazer é referente ao tempo de retenção dentro do biodigestor. Você saberia me dizer se fica material retido lá, antes de ir para as lagoas?

Responsável técnico do frigorífico: Fica. Eu não sei te falar o período, quanto tempo fica. Mas o material fica um período ali, antes de subir, antes de ser bombeado para a lagoa. Pelo volume de material que gera, pelo volume de água, acho que vai mais ou menos pelo mesmo caminho dos dias de abate. Então, diariamente esse material tem que ser bombeado. Não acredito que fique por muito tempo.

Entrevistadora: Então você acredita que o material fica um dia retido?

Responsável técnico do frigorífico: Eu acredito que deva ficar por volta de um dia, ali dentro.

Entrevistadora: Ok. E esse material que vai para o biodigestor tem perda nesse processo? Ou tudo que sai de lá é utilizado?

Responsável técnico do frigorífico: Como assim? Não entendi.

Entrevistadora: Tudo que você coloca dentro do biodigestor, tem alguma coisa que você descarta depois? Ou tudo vira biofertilizante?

Responsável técnico do frigorífico: Não, tudo vira biofertilizante. Não tem nenhum descarte.

Entrevistadora: Você falou que usa o biofertilizante e também o biogás, certo?!

Responsável técnico do frigorífico: Sim, isso.

Entrevistadora: E o que vocês fazem com o biogás?

Responsável técnico do frigorífico: Ele alimenta a caldeira.

Entrevistadora: Ele é encanado, direto para a caldeira?

Responsável técnico do frigorífico: É.

Entrevistadora: A caldeira precisa de outro tipo de abastecimento, ou só biogás de vocês é suficiente?

Responsável técnico do frigorífico: Precisa. Ela trabalha com gás e com lenha.

Entrevistadora: Ok. Então o biogás que vocês produzem, vocês consomem tudo e ainda falta um pouquinho para abastecer a caldeira de vocês?!

Responsável técnico do frigorífico: É. Assim, a caldeira que é utilizada, ela tem uma defasagem de tecnologia. O que eu sei (de técnicos que já passaram por lá), é que a quantidade de gás que a gente produz seria suficiente para movimentar uma caldeira que atenderia o frigorífico. Mas tem um problema com a caldeira, tem uma defasagem de tecnologia, e a caldeira não consegue fazer o aproveitamento total do gás.

Entrevistadora: Mas sobra gás?

Responsável técnico do frigorífico: Não. Não sei te falar.

Entrevistadora: Ok. Na sua opinião, você considera o biogás uma energia renovável?

Responsável técnico do frigorífico: Sim.

Entrevistadora: Por que?

Responsável técnico do frigorífico: Ah, é um combustível que ele não ..., eu vou partir do princípio que é um combustível que ele não vai existir se você não fizer nenhum tipo de processo. Se você não fizer os processos que visam a sua obtenção. Como a gente trabalha com o material que te dá essa possibilidade, de estar renovando, de estar gerando esse gás (eu entendo dessa forma). Como um material que é possível você reaproveitar. Você tem um gás sempre novo, ele está sempre sendo obtido dentro do processo nosso.

Entrevistadora: Essa pergunta é bem questionável nas entrevistas. Porque para muitos, é inquestionável que é uma energia renovável, mas existe uma parte da literatura que alega... alguns escritores alegam que não é uma energia renovável. Então é bem discutível isso. Eu sou da opinião que é uma energia renovável.

Responsável técnico do frigorífico: É, porque você assim, se a gente entende como renovável, é algo que você consiga (pelo menos eu entendo dessa forma). Se você falar para mim o que é renovável, é algo que eu consigo estar sempre obtendo dentro de um processo. Então eu faço um processo e dele eu sempre consigo extrair algo, ou material. No caso o gás. Então eu estou sempre renovando ele. Eu sempre estou utilizando um material novo. Não é algo finito. Então, enquanto eu tiver matéria orgânica, eu vou estar gerando gás. Eu entendo dessa forma. Não sei.

Entrevistadora: E está correto. O que alguns escritos alegam é que como você utiliza água, utiliza energia, ..., para a produção do biogás, então não é exatamente renovável. Mas a maioria dos escritores, da literatura, apoiam que é uma energia renovável.

Responsável técnico do frigorífico: É, então. Assim, por exemplo, a gente teve uma situação, ..., é que a empresa, ela (em alguns pontos), para ela não foi financeiramente interessante, ou o pessoal não quis dar andamento, mas o biodigestor que é proveniente da granja, ele teve um momento em que o pessoal chegou a instalar um gerador de energia nele, para utilizar a energia, gerar energia elétrica, e poder utilizar essa energia elétrica no consumo da granja. Aí acabaram..., começou o projeto, mas não deu andamento. Mas a gente sabe que se você prosseguir com isso, a energia, o gás pode gerar energia elétrica, que pode movimentar o próprio biodigestor. Exceção pela água, que a gente acaba tirando ela para poder utilizar em outros processos, mas é uma água que é utilizada em outro processo, não no biodigestor. Pelo menos no nosso caso, não é uma água utilizada direto no biodigestor.

Entrevistadora: Isso. É o que eu falei para você, alguns processos utilizam água exclusiva no biodigestor. Água limpa.

Responsável técnico do frigorífico: É. Aí já...

Entrevistadora: Você sabe me dizer por que que a empresa decidiu construir um biodigestor? Resolveu utilizar um biodigestor? O que que levou ela a tomar essa decisão?

Responsável técnico do frigorífico: Até onde eu sei, foi realmente com o intuito de usar para energia da caldeira e também para irrigação.

Entrevistadora: E você sabe me dizer o quanto que economizou de energia?

Responsável técnico do frigorífico: Hum... eu tenho um dado que eu acho que é mais ou menos, ainda deve estar por volta de disso, a caldeira a lenha (são duas caldeiras né?!). A caldeira a lenha, ela usa uma carga de lenha por semana. Isso dá mais ou menos, eu acho que entorno de uns, na época que eu estava mais próximo desses dados, se eu não estou enganando, dava uns R\$5.000,00 por carga de lenha.

Entrevistadora: Por semana.

Responsável técnico do frigorífico: Por semana. O uso do biodigestor tirava uma carga de lenha, acho que era uma carga de lenha que ele economizava por semana também. Eu sei que no final dava por volta de uns R\$15.000,00 por mês de economia, utilizando o biodigestor. É entorno de uns R\$15.000,00. São assim, números aproximados, mas dava uma boa economia no consumo de lenha nosso por mês.

Entrevistadora: Ok. E o gasto que vocês tiveram para a construção do biodigestor, em quanto tempo se pagava isso?

Responsável técnico do frigorífico: Ah, eu não tenho esse dado.

Entrevistadora: Não tem? Não tem problema, fica tranquilo.

Responsável técnico do frigorífico: Esses dados de consumo, por exemplo, esses dados de consumo de energia, do consumo de lenha, quanto que a gente está economizando, todos esses dados, se você quiser me passar depois essas perguntas. Eu acredito que algumas delas eu consigo levantar a informação e te passo. Agora essa por exemplo, de tempo de retorno, de quando construiu o biodigestor, já tem muito tempo, o pessoal acabou perdendo os dados...então foi...

Entrevistadora: Entendi. Eu quero sim, eu vou te passar por e-mail depois então.

Responsável técnico do frigorífico: Passa, e o que eu conseguir eu te mando. O que faltar...

Entrevistadora: Não. Está ótimo já. Você está me ajudando muito.

Entrevistadora: Agora eu vou falar um pouquinho sobre a sua opinião. Ok?!

Responsável técnico do frigorífico: Ok.

Entrevistadora: Na sua opinião, quais as principais vantagens do uso do biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Vantagens?

Entrevistadora: É.

Responsável técnico do frigorífico: Primeiro eu tenho um bom aproveitamento do material orgânico que a gente gera e, que se não fosse para o biodigestor, isso iria para...ou iria para um leito de rio, mesmo com todas as exigências da CETESB, de controle, isso acaba de uma certa forma acaba indo para o rio. Ou teria que haver um gasto financeiro muito maior para tratamento dessa água, desses resíduos, tratamento químico para poder lançar isso de volta para a natureza. Então eu acho que a primeira coisa é um aproveitamento..., vamos falar ecológico (não sei se é a palavra correta) mas é um bom aproveitamento do resíduo que a gente gera, que é inerente ao nosso processo de produção. Então gera esse tipo de resíduo. Então a gente consegue dar um bom aproveitamento para ele. Depois a questão energética, eu acho que com equipamentos mais bem dimensionados, com uma tecnologia melhor, na nossa condição, poderia ser

aproveitado 100% da energia do gás que é produzido. Isso aí eu não tenho dúvida. Ou para geração de energia para a caldeira, ou para a própria energia elétrica a ser consumida na empresa. E o que sobra, a parte líquida que sobra, isso está mais do que..., dá para ver na qualidade da pastagem da fazenda. Então, é utilizado na fertirrigação. Então, eu vejo o aproveitamento completo de todo material que a gente acaba colocando dentro do biodigestor. Se fosse para escolher um, eu acho que o aproveitamento dos resíduos. Não colocar esse material diretamente na natureza.

Entrevistadora: Ok. Perfeito. E você identifica alguma desvantagem no uso de biodigestores?

Responsável técnico do frigorífico: Desvantagens?! Acho que a manutenção dele é bem difícil ainda: necessita de máquina pesada, então você precisa de trator, tem que tirar a lona, a mão de obra é bem complexa para mexer com isso, não é uma operação fácil.

Entrevistadora: Mas você fala de facilidade ou financeira? Um custo da manutenção?

Responsável técnico do frigorífico: Eu acho que é mais a questão da facilidade. O financeiro, tem um gasto, não é uma operação barata, eu sei que não é uma operação barata, mas perto do resultado da economia que ele gera ao longo do tempo, acho que não é significativo perto disso. Acho que é mais pela dificuldade da manutenção, do que diz respeito a limpeza né?! De manutenção de lona não é difícil, é um processo bem simples, nunca vi grandes problemas com relação a isso. Mais quando precisa abrir mesmo e limpar, para melhorar a vida útil do biodigestor.

Entrevistadora: A manutenção de lona vocês colocam um remendo onde rasga? Onde fura?

Responsável técnico do frigorífico: É. É remendo. Até, pelo menos lá, eu não sei te precisar assim, tem um limite de colocação de remendo?! De tanto tem tanto tempo eu sei que tem que trocar a lona, mas nesse intervalo de tempo, de troca de lona, vai fazendo na base do remendo.

Entrevistadora: Você sabe de quanto tem quanto tempo eles trocam a lona?

Responsável técnico do frigorífico: Olha, se eu não estou enganado, a recomendação, se eu não estou enganado, eu escutei uma vez, que a cada dez anos que tem que trocar. Cinco, dez anos, alguma coisa assim. Então tinha um período aí, que era relativamente

grande para trocar a lona. Da lona de cobertura, a outra que vai lá em contato com a terra, essa não sei te falar.

Entrevistadora: Ok. E você vê mais alguma desvantagem?

Responsável técnico do frigorífico: Não.

Entrevistadora: Ok. E com relação a benefícios econômicos? Quais são os benefícios econômicos que o biodigestor trouxe para a sua empresa, ou que você acha que pode vir a trazer?

Responsável técnico do frigorífico: Econômico?! A redução do consumo de lenha, a gente utiliza como combustível lenha para movimentação de caldeira, então, com a redução do consumo de lenha. Não tem nem o que falar. A melhoria na qualidade da pastagem, isso diminui o uso de herbicida. Você tem uma pastagem com qualidade melhor. Então, acho que são dois principais pontos que eu consigo visualizar.

Entrevistadora: Ok. E benefícios sociais? Você identifica algum benefício social que já tenha ocorrido na sua empresa ou que possa vir a ocorrer?

Responsável técnico do frigorífico: Benefício social?! Olha, eu vejo, o que eu consegui acompanhar nesse período é ..., como que eu vou te falar?! Como se fosse um exemplo, eles têm, como eles conseguem fazer esse ciclo todo, dá um aproveitamento, então acaba despertando interesse em outras empresas do mesmo segmento, ou segmentos parecidos, acaba incentivando o pessoal a fazer uso do biodigestor. Acho que é um bom incentivador.

Entrevistadora: E em relação aos funcionários? Você acha que tem algum benefício social aos funcionários que trabalham na empresa?

Responsável técnico do frigorífico: Não, não consigo identificar isso.

Entrevistadora: Ok. Mesmo deles verem talvez a necessidade de uma maior proteção ambiental, você acha que não chega a impactar neles então?!

Responsável técnico do frigorífico: Não. Não, esse tipo de trabalho não é feito. Se ele fosse mais explorado, mais divulgado, dê-se maior ênfase para esse lado...acho que sim. Seria interessante, você consegue amarrar outras situações no dia a dia do funcionário, no que diz respeito ao uso do biodigestor na empresa, mas isso não é feito.

Entrevistadora: Na sua empresa tem restaurante?

Responsável técnico do frigorífico: Tem.

Entrevistadora: E os resíduos do restaurante vai para o biodigestor?

Responsável técnico do frigorífico: Não. Vai para lixo comum. É feita a separação, tem a separação no refeitório, do orgânico e o reciclado, mas não vai para o biodigestor.

Entrevistadora: Ok. E não tem nem projeto para que isso ocorra?

Responsável técnico do frigorífico: Também não.

Entrevistadora: Ok. Nós já falamos bastante, mas eu vou te perguntar, porquê está no meu roteiro. Quais são os benefícios ambientais, na sua opinião? Os principais benefícios ambientais.

Responsável técnico do frigorífico: Benefício ambiental?!

Entrevistadora: Pode ser que já tenha na sua empresa, ou que veja que possa vir a ter.

Responsável técnico do frigorífico: O fato de utilizar o biogás, reduzindo o consumo de lenha já é um benefício. Deixa de consumir lenha, por mais que seja lenha de reflorestamento, acaba auxiliando nessa situação. Não utilizar, por exemplo, agente químico para poder fazer a limpeza da água que a gente utiliza no processo. É um benefício. Por aí...

Entrevistadora: Ok. Essa aqui também é uma que a gente já conversou, só vou falar por que está no roteiro mesmo. Qual seria o principal benefício, que o uso de biodigestores traz para a sua empresa e para a sociedade, na qual faz parte a sua empresa?

Responsável técnico do frigorífico: Benefício financeiro. A questão do consumo de lenha, o não lançamento de material em rio.

Entrevistadora: Ok. Um pouquinho que a gente conversou sobre economia circular, e o conhecimento que você já tem sobre economia circular. Você acha que o biodigestor faz parte de uma economia circular?

Responsável técnico do frigorífico: Sim, com certeza.

Entrevistadora: Por que? Você pode me explicar um pouquinho?

Responsável técnico do frigorífico: Porque é por meio do biodigestor que a gente consegue avançar nas etapas de aproveitamento da matéria orgânica. Então, sem o biodigestor eu não consigo a obtenção do gás. Sem o biodigestor eu não consigo a

obtenção do líquido que eu uso para a fertirrigação, a irrigação de pastagem. Então, eu não consigo fechar esse processo se eu não tiver o biodigestor.

Entrevistadora: Ok. Nós estamos acabando. Só mais um pouquinho.

Entrevistadora: Na sua empresa. O uso de biodigestores na sua empresa, você acha que ela faz todo esse apoio a economia circular? Que você mencionou que seria possível?!

Responsável técnico do frigorífico: Faz. Acho que hoje ela está um pouco no piloto automático (vamos falar assim). Não é algo que a empresa procura explorar mais. Já foi um tempo, já foi um período passado, hoje não está muito em evidência. É importante, mas não está tão em evidência, não está entre as prioridades da empresa.

Entrevistadora: Por que você acha que isso aconteceu?

Responsável técnico do frigorífico: Ah, teve um pouco da questão econômica, eles tiveram problemas com o biodigestor um tempo atrás. Aí estavam com problema econômico, acabou deixando um pouco de lado. Não sei te falar com precisão.

Entrevistadora: E você acha que no futuro como seria?

Responsável técnico do frigorífico: Não sei.

Entrevistadora: Ok. A construção do biodigestor, o uso do biodigestor na sua empresa, teve algum apoio governamental?

Responsável técnico do frigorífico: Apoio governamental?! Nossa, não sei te falar se teve algum. Me parece que não.

Entrevistadora: Ok. E você acha que seria importante?

Responsável técnico do frigorífico: Seria importante o apoio governamental?! Eu acho que sim. Eu acho que seria importante algum tipo de apoio, no sentido de incentivar. De divulgar, de incentivar, de propiciar para a empresa alguma contrapartida que a estimule a fazer. Acho que funciona muito dessa forma. A implantação do biodigestor no frigorífico, na granja, acho que além de poder utilizar os recursos do biodigestor, veio muito porquê os proprietários tinham muito essa preocupação. Eles tinham essa intenção de fazer um uso adequado. Agora, tem empresários, tem gente que acaba não se importado muito. Eu trabalhei em outro frigorífico, durante um bom período e lá tinha área, tinha condições, mas não tinha nem a estação de tratamento de efluentes era decente, era boa. Sofreu bastante. Então tinha condições de fazer, mas não tinha interesse, não tinha esse

viés, não tinha esse pensamento. E as duas empresas estão, mais ou menos, dentro do mesmo período de inauguração, de crescimento (vamos falar assim). O outro é um pouquinho mais velho, esse que trabalho agora é um pouco mais novo, mas ambos estavam ali dentro da mesma...os proprietários dentro do mesmo período de desenvolvimento da empresa. Eu acho que seria interessante sim, se houvesse algum tipo de incentivo para a implantação do biodigestor.

Entrevistadora: Você consegue me citar algum tipo de incentivo, que favorecesse a sua empresa?

Responsável técnico do frigorífico: Se eu consigo citar o quê?

Entrevistadora: Algum tipo de incentivo. Qual seria o incentivo? Financeiro? Abatimento de imposto, o marketing verde...

Responsável técnico do frigorífico: Sim. Algum tipo de abatimento em imposto, desde que isso fosse atrelado a divulgação. Acredito que se os dois lados tivessem benefícios, então, por parte do governo, deveria haver benefícios para ter esse incentivo. O que o governo ganha em incentivar? Da mesma forma a empresa, para a empresa poder fazer a implantação, tem que ganhar alguma coisa para fazer isso.

Entrevistadora: Ok. Entendi.

Responsável técnico do frigorífico: Acho que incentivo fiscal...marketing...alguma coisa que pudesse levar por esse caminho. Se não tiver nenhum tipo de ..., se não tiver nenhum ganho financeiro, acho que fica muito no campo da ..., não da imaginação, mas fica muito na fantasia, no ideal, e acho que não funciona dessa forma. Tem que haver um ganho financeiro para ambos os lados, para poder funcionar.

Entrevistadora: Sim, concordo.

Entrevistadora: E como você vê o uso de biodigestores no futuro? Tanto dentro, quanto fora da sua empresa.

Responsável técnico do frigorífico: Como que eu vejo o uso de biodigestores no futuro?

Entrevistadora: Isso.

Responsável técnico do frigorífico: Acho que a gente está engatinhando ainda. Bem devagarzinho. Acredito que precisa ser mais estimulado. A gente tem muitos ganhos com o uso de vários tipos de biodigestores, e acredito que poderia ter um trabalho melhor

desenvolvido, mais estimulado, para ter melhor resultado. Acho que a gente teria condições de aproveitar bem melhor aquilo que a gente consome.

Entrevistadora: E você acha que isso vai acontecer?

Responsável técnico do frigorífico: Se vai acontecer? Acho que um dia vai acontecer, mais por obrigação, por necessidade do que por iniciativa própria.

Entrevistadora: Entendi. Como quase tudo né?!

Responsável técnico do frigorífico: É

Entrevistadora: Eu acabei o meu roteiro da entrevista. Você gostaria de colocar alguma coisa que eu não tenha perguntado, que ficou faltando?

Responsável técnico do frigorífico: Não, acho que não.

Entrevistadora: Eu posso te mandar por e-mail algumas questões de dados técnicos?

Responsável técnico do frigorífico: Pode. Pode sim.

Entrevistadora: Ok. Eu vou te mandar.

Responsável técnico do frigorífico: Se eu tiver as informações te mando.

Entrevistadora: Muito obrigada pela sua participação. Por ser respondido o questionário on-line. Foi fundamental a sua participação na pesquisa.

Responsável técnico do frigorífico: Legal.

Entrevistadora: Se você precisar de alguma coisa estou à disposição. Muito obrigada!

Responsável técnico do frigorífico: Por nada.