

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Daniel da Silva Polla

Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido por dejetos da bovinocultura leiteira: um estudo de caso numa propriedade em Meleiro/SC

Araranguá

2022

Daniel da Silva Polla

Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido por dejetos da bovinocultura leiteira: um estudo de caso numa propriedade em Meleiro/SC

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Energia do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Kátia Cilene Madruga, Dra.

Coorientador: Prof. Reginaldo Geremias, Dr.

Araranguá

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Polla, Daniel da Silva

Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido por dejetos da bovinocultura leiteira: um estudo de caso numa propriedade em Meleiro/SC / Daniel da Silva Polla ; orientador, Kátia Cilene Madruga, coorientador, Reginaldo Geremias, 2022.
38 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. Bovinocultura leiteira .
3. Biogás. 4. Energia. 5. Meleiro/SC. I. Madruga, Kátia
Cilene . II. Geremias, Reginaldo. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de
Energia. IV. Título.

Daniel da Silva Polla

Estimativa do potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido por dejetos da bovinocultura leiteira: um estudo de caso numa propriedade em Meleiro/SC

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa. Elaine Virmond, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Gustavo Henrique Araújo dos Santos, MSc.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro de Energia.

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Coordenador do Curso

Profa. Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.
Orientadora

Daniel da Silva Polla
Autor

Araranguá, 18 de março de 2022.

RESUMO

A busca por uma matriz energética mais sustentável com a utilização de menor quantidade de combustíveis fósseis é centro de pesquisa e estudos da atualidade. Nesse contexto, o biogás é uma ótima fonte energética, visto que é um biocombustível totalmente renovável oriundo da degradação de matéria orgânica por agentes microbiológicos. Santa Catarina se destaca na produção de leite bovino e, como consequência dessa produção, tem-se a geração de resíduos, que acarretam impactos negativos ao meio ambiente. Uma forma de reaproveitamento e minimização dos impactos é por meio do emprego dos resíduos na cadeia produtiva do biogás. O presente estudo teve como objetivo estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido por dejetos da bovinocultura leiteira em uma propriedade situada em Meleiro, Santa Catarina. Calculou-se uma produção diária e anual de dejetos de 0,0683 m³ e 24,95 m³, respectivamente. A produção diária de biogás foi estimada em um total de 35,43 m³. O potencial energético e a energia disponíveis a partir do biogás foram estimados em 8,75 kW e 188,98 kWh diários, respectivamente. Essas estimativas indicam potencial de redução de 142,86 toneladas por ano de CO₂eq e de 2.857,17 toneladas durante os 20 anos de operação do sistema. A análise econômica e financeira apresentou um Valor Presente Líquido (VLP) positivo de R\$15.567,37, com retorno do investimento em 6 anos, indicando que o empreendimento apresenta viabilidade. Conclui-se que o aproveitamento energético dos dejetos se mostra como uma alternativa para produção de energia e redução dos impactos ambientais.

Palavras-chave: Bovinocultura leiteira. Biogás. Energia. Emissões de CO₂eq. Viabilidade econômica. Meleiro/SC.

ABSTRACT

The search for a more sustainable energy matrix with the use of less fossil fuels is currently the center of research and studies. In this context, biogas is a great energy source, since it is a fully renewable biofuel derived from the degradation of organic matter by microbiological agents. Santa Catarina stands out in the production of bovine milk and, because of this production, there is the generation of residues, which have negative impacts on the environment. One way to reuse and minimize impacts is through the use of waste in the biogas production chain. The present study aimed to estimate the potential for generating electricity from biogas produced by dairy cattle waste on a property located in Meleiro, Santa Catarina. A daily and annual production of manure of 0.0683 m³ and 24.95 m³, respectively, was calculated. The daily production of biogas was estimated at a total of 35.43 m³. The energy potential and energy available from biogas were estimated at 8.75 kW and 188.98 kWh daily respectively. These estimates indicate a potential for a reduction of 142.86 tons per year of CO₂eq and of 2,857.17 tons during the 20 years of operation of the system. The economic and financial analysis showed a positive Net Present Value (NPV) of R\$15,567.37, with a return on investment in 6 years, indicating that the project is viable. It is concluded that the energy use of waste is shown as an alternative for energy production and reduction of environmental impacts.

Keywords: Dairy cattle. Biogas. Energy. CO₂eq emissions. Economic viability. Meleiro/SC.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação de um biodigestor modelo canadense.....	15
Figura 2 - Digestão anaeróbia.....	16
Figura 3- Localização da propriedade em estudo.....	21
Figura 4 - Grupo motogerador.....	26
Figura 5- Fluxo de caixa do empreendimento	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores de conversão	18
Tabela 2 - Emissões de CO ₂ eq (t) do setor agropecuário do estado de Santa Catarina com base no ano de 2018.....	18
Tabela 3 - Parâmetros para cálculo da produção diária de biogás.....	23
Tabela 4 - Dados operacionais do grupo motogerador.....	25
Tabela 5 - Indicadores econômicos e financeiros.....	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	BOVINOCULTURA LEITEIRA E GERAÇÃO DE DEJETOS	13
2.2	GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS	14
2.3	GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS	17
2.4	EMISSÕES DE CO ₂	18
2.5	ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE PLANTA DE BIOGÁS	19
3	METODOLOGIA.....	20
3.1	LOCAL DE ESTUDO	20
3.2	COLETA E DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DOS DEJETOS ...	22
3.3	ESTIMATIVA DA VAZÃO TEÓRICA DE BIOGÁS PARA A PROPRIEDADE EM ESTUDO	22
3.4	ESTIMATIVA DA POTÊNCIA E DA ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL..	24
3.5	ESTIMATIVA DA POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA	27
3.6	EMISSÕES DE CO _{2EQ} EVITADAS	27
3.7	VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1	PRODUÇÃO DE DEJETOS na propriedade em estudo	30
4.2	PRODUÇÃO DE BIOGÁS	30
4.3	POTENCIAL ENERGÉTICO	31
4.4	EMISSÕES EVITADAS DE CO _{2eq}	31
4.5	VIABILIDADE FINANCEIRA	32
5	CONCLUSÃO.....	34
	REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial, em sua grande parte, é constituída por combustíveis fósseis. Essa é representada, majoritariamente, por petróleo, carvão e gás natural, com 31,5%, 26,9% e 22,8%, respectivamente. Devido ao grande aumento populacional e, conseqüentemente, da utilização de energia, iniciou-se uma busca por novas alternativas para diversificar a matriz energética após a grande crise do petróleo na década de 1970. As fontes renováveis de energia são a melhor saída para resolver a problemática no sistema energético, sendo que a biomassa respondeu por 9,3% da matriz energética no mundo no ano de 2019 (BRASIL, 2020).

Algumas fontes não renováveis de energia, como o petróleo e o carvão mineral, são responsáveis por grande parte da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera. Isso ocorre porque são combustíveis que, quando queimados, liberam poluentes que impactam a saúde e o meio ambiente. Além disso, pode haver outros impactos ambientais ao longo da cadeia do petróleo, por exemplo, vazamentos de óleo na extração ou no transporte por dutos, caminhões ou embarcações. No caso do carvão, quando extraído sem o devido acompanhamento, esse pode causar a poluição de rios e lençóis freáticos (EPE, 2021a).

No Brasil, no ano de 2020, as energias originárias de fontes naturais foram responsáveis por 48,4% da matriz energética. Essas fontes são a cana-de-açúcar, a hidráulica, lenha/carvão vegetal e outras renováveis, com 19,1%, 12,6%, 8,9% e 7,7% respectivamente. Dentre a repartição da oferta de 7,7% das “outras renováveis”, consideram-se 7 categorias de fontes de energia limpa: lixívia, biodiesel, eólica, outras biomassas (incluem casca de arroz, capim elefante e óleos vegetais), solar, biogás e gás industrial de carvão vegetal, com 43,1%, 23,8%, 22,1%, 5,1%, 4,2%, 1,4% e 0,4%, respectivamente (EPE, 2021b).

Embora a biomassa de dejetos da bovinocultura leiteira para fins de geração de energia ainda tenha pouca contribuição, não tendo sido descrita como participante da matriz energética nacional no ano de 2020, deve-se considerar a necessidade de analisar as questões ambientais dessa atividade econômica. A bovinocultura produz grande quantidade de dejetos que, se não forem manejados corretamente, podem contaminar o solo e os lençóis freáticos. Entre as alternativas viáveis para o seu manejo, está a digestão anaeróbia desses resíduos, como uma forma de promover a produção sustentável da geração de energia. Além disso, a natureza das transformações biológicas durante o processo de digestão fornece como produto final um substrato com potencial uso como fertilizante agrícola (RESENDE et al., 2015).

Opções tecnológicas são utilizadas para converter a biomassa em energia. Essas tecnologias de conversão podem liberar a energia diretamente sob a forma de calor ou eletricidade, ou convertê-la em outra forma intermediária, como biocombustível líquido ou biogás. O aproveitamento de dejetos da bovinocultura leiteira para a geração de biogás é uma oportunidade para os produtores agregarem valor ao seu empreendimento com a produção de energia elétrica (KONRAD et al. 2016).

Por meio da conscientização da população, é possível estabelecer uma relação teórico-prático a respeito dos resíduos animais, bem como a sua relação com a saúde pública e o meio ambiente. Conseqüentemente, há um maior desenvolvimento de ações relacionadas ao gerenciamento dos dejetos da bovinocultura leiteira. Dessa forma, princípios de engenharia associados à viabilidade econômica podem reduzir os impactos ambientais dos resíduos sólidos provenientes dos animais (VIANA; MARISCO, 2019).

O município de Meleiro/SC, por se tratar de uma região essencialmente agrícola, tem na bovinocultura leiteira geração de emprego e renda. Essa produção também está associada a uma grande produção de dejetos. O manejo e descarte incorreto pode trazer um grande problema à saúde da população local. Dessa forma, são necessários estudos de aproveitamento energético dos dejetos do município em questão, para que esses sejam manejados corretamente, o que pode reduzir os custos dos produtores rurais e gerar retornos financeiros (EPAGRI, 2022).

Partindo desses pressupostos, o presente trabalho teve como objetivos: 1) estimar o potencial de geração de energia elétrica a partir de biogás produzido por dejetos da bovinocultura leiteira em uma propriedade do município de Meleiro; 2) estimar a emissão evitada de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ pelo aproveitamento energético do biogás produzido a partir dos dejetos; 3) analisar a viabilidade econômica e financeira de uma planta de aproveitamento energético do biogás na propriedade em estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 BOVINOCULTURA LEITEIRA E GERAÇÃO DE DEJETOS

A produção mundial de leite tem crescido constantemente nos últimos anos devido, sobretudo, à expansão da produção leiteira no continente asiático. A produção se concentra em poucos produtores, respondendo por 76,5% do total da previsão de produção de 2020, sendo eles a Índia, União Europeia, EUA, Paquistão, China, Brasil, Federação Russa, Nova Zelândia e Turquia. O Brasil encontra-se na sexta posição como principal produtor de leite, com 34,9 bilhões de quilos produzidos no ano de 2019. Segundo a Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM/IBGE), a produção brasileira de leite em 2019 foi 15,5% superior à levantada pelo Censo Agropecuário 2017 (EPAGRI, 2021; IBGE, 2019).

Em Santa Catarina, a produção de leite proveniente da bovinocultura é uma das principais atividades agropecuárias, sendo responsável por 7% do Valor Bruto da Produção (VBP) agropecuária do Estado. A atividade corresponde ao quarto produto em importância econômica e afeta diretamente a formação da renda de um expressivo contingente de produtores, especialmente, os pequenos. A produção está, geograficamente, distribuída em quase todo o território catarinense, contribuindo de maneira significativa para a manutenção de produtores no campo e, conseqüentemente, redução do êxodo rural em várias regiões (EPAGRI, 2021).

Santa Catarina está entre os maiores produtores da bovinocultura leiteira. De acordo com a Pesquisa Pecuária Municipal (PPM/IBGE), o Estado é o 4º produtor nacional, com 3,040 bilhões de litros produzidos, superando Goiás. O sul de Santa Catarina se destaca na produção de leite, com 244,3 milhões de litros, representando cerca de 8% do total produzido em território catarinense (IBGE, 2019).

O município de Meleiro/SC, local de estudo da presente pesquisa, conta com um considerável contingente de cabeças de gado leiteiro. Segundo a cooperativa de produção de leite de Meleiro (Coopercolmeia), o plantel é de 2500 cabeças em todo o município. Todo esse contingente de gado, além de gerar emprego e renda e acelerar a economia, também incorre em uma problemática, que é a geração de grande quantidade de dejetos dos animais.

O grande número de animais na bovinocultura, agrupados e explorados intensivamente, produz enorme volume de dejetos que causam graves problemas, tais como odores, emissões de gases de efeito estufa, proliferação de moscas, transmissão de doenças e

parasitoses e poluição dos lençóis freáticos. Gases, como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O) e hidrofluorcarbonos (HFCs) são formados no processo de decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbias, incluindo os dejetos (VICENTINI; CARVALHO; RICHTER, 2009).

A atmosfera terrestre serve como filtro da radiação ultravioleta que, quando chega até a superfície, é refletida na forma de onda infravermelha, que posteriormente é absorvida por gases de efeito estufa. Quando em grande quantidade, esses gases causam o aquecimento global. Como consequência, aquece os oceanos por absorção do calor pelas águas, o calor retido inicia o processo de derretimento das calotas polares, ocasionando inundações. Comparado ao dióxido de carbono, o metano tem um potencial de 28-36 vezes maior na absorção da radiação infravermelha, o que contribui ainda mais para o impacto ambiental.

Dessa forma, o manejo dos dejetos integrado à produção de energia por meio do biogás é uma alternativa para a diminuição de seus impactos negativos (JUNGES et al. 2018).

2.2 GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS

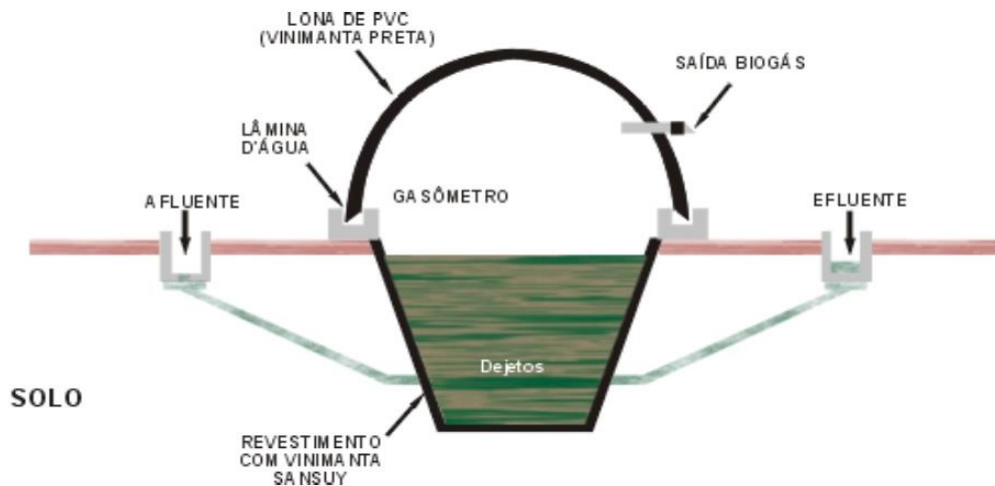
Biomassa é qualquer matéria orgânica biodegradável de origem animal ou vegetal. Essa é classificada como biomassa lenhosa e agrícola, biomassa marinha, resíduos sólidos urbanos, resíduos industriais, pecuária, resíduos de aves, vegetações terrestres e resíduos orgânicos. Em relação à sua origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas nas categorias de resíduos sólidos urbanos, resíduos da produção animal, resíduos vegetais, resíduos industriais e resíduos florestais (ANTUNES, 2019; MACIEL-SILVA, 2019; YAKOUB, 2021)

A partir da biomassa, pode-se gerar energia por meio de diferentes processos, dentre eles, o de biodigestão. Para tanto, é comum o uso de um biodigestor. Definem-se biodigestores os biorreatores anaeróbios contendo uma câmara fechada, onde são colocados os substratos orgânicos para serem degradados na ausência de oxigênio, tendo como produtos o biogás e um efluente rico em nutrientes. Sua formação está relacionada diretamente à velocidade das reações (cinética das reações bioquímicas do processo), ou seja, à eficiência da transformação da carga orgânica do efluente em metano (FRIGO et al. 2015).

Segundo Frigo e colaboradores (2015), o modelo de biodigestor canadense (Figura 1) é o mais difundido no Brasil, por apresentar a vantagem de poder ser usado tanto em pequenas quanto em grandes propriedades e também em projetos agroindustriais. O modelo diferencia-

se pelo fato de ser do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga feita em alvenaria e com largura maior que a profundidade, possuindo, então, uma maior área de exposição ao sol. Essa exposição possibilita uma grande produção de biogás e evita o entupimento. O modelo inclui uma câmara de fermentação subterrânea que é revestida com lona plástica, bem como uma manta superior para reter o biogás produzido de modo a formar uma campânula de armazenamento. Além disso, o modelo inclui uma caixa de saída onde o efluente é liberado. Existe também um registro para a saída do biogás e um queimador, que fica conectado ao registro de saída do biogás.

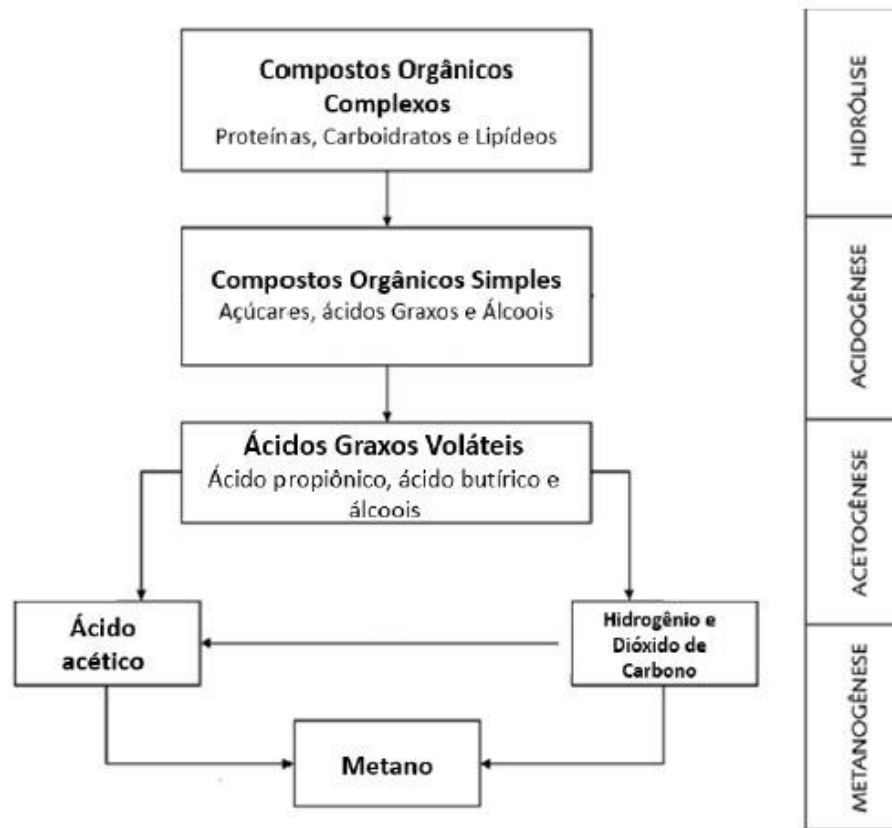
Figura 1- Representação de um biodigestor modelo canadense



Fonte: Antunes, 2019.

A digestão anaeróbia ocorre no interior do biodigestor sob a ação de um consórcio de microrganismos. Essa ocorre em 4 fases (Figura 2).

Figura 2- Digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Oliveira e Higarashi (2006).

Na fase de hidrólise, compostos orgânicos complexos (proteínas, carboidratos e lipídeos) são catabolizados em compostos orgânicos mais simples, tais como açúcares, ácidos graxos e álcoois. Na fase da acidogênese, compostos orgânicos simples são catabolizados em ácidos graxos voláteis (ex: ácido propiônico, ácido butírico) e álcoois. Na terceira fase, denominada acetogênese, as bactérias acetogênicas convertem o material degradado nas etapas anteriores em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono. Por fim, os derivados da acetogênese são convertidos em CH_4 , CO_2 e H_2O . Nessa última etapa, o metano é formado de duas formas: (1) metanogênese acetotrófica ($\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$) e (2) metanogênese hidrogenotrófica ($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$) (KARLSSON, 2014; SUNGYUP, 2021).

Ao final das quatro etapas citadas anteriormente, obtém-se o biogás, mistura gasosa composta em sua maior parte por metano, com concentração de 40-75%; dióxido de carbono, com concentração de 25-60%; resquícios de sulfeto de hidrogênio (H_2S), nitrogênio (N_2), hidrogênio (H_2), monóxido de carbono (CO) e oxigênio (O_2). Quanto maior a concentração de matéria orgânica, maior a concentração de metano no biogás (SOUZA, 2021).

Para que o biodigestor obtenha maior produção de metano, deve-se levar em consideração alguns parâmetros operacionais. Inicialmente, no pré-tratamento, submete-se a

biomassa a processos físico-químicos, tais como trituração e moagem, para diminuir a granulometria dos resíduos (KARLSSON, 2014; PASALARI, 2021).

Outro parâmetro operacional fundamental é a temperatura, reguladora da atividade metabólica de microrganismos e desempenho da digestão anaeróbia. O processo de digestão anaeróbia pode ser dividido em 4 faixas de temperaturas: psicrófilico (9-25 °C), mesofílico (25-35 °C), termofílico (35-55 °C), termofílico extremo (55-70 °C) (KARLSSON, 2014; PASALARI, 2021).

Ainda, deve-se levar em consideração a quantidade de amônia que resulta da matéria rica em nitrogênio. Níveis altos de amônia podem causar instabilidade e baixa produção de metano. A Taxa de Carregamento Orgânico (TCO) e o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) são também importantes na digestão anaeróbia. Alta taxa de TCO e baixo TRH são recomendáveis para a produção de biogás (KARLSSON, 2014; PASALARI, 2021).

Alcalinidade e pH são fatores importantes para serem observados. Obtém-se maiores rendimentos em pH neutros ou ligeiramente superiores (pH entre 7,0 e 8,5). A alcalinidade é uma medida da quantidade de substâncias alcalinas (básicas) presentes no processo de geração de biogás. Quanto maior for a alcalinidade, maior será a capacidade tampão do processo que, por sua vez, promove um pH estável (KARLSSON, 2014; PASALARI, 2021).

2.3 GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO BIOGÁS

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. No caso da conversão do biogás em energia elétrica, a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador, que a converte em energia elétrica (FREITAS et al, 2018; QIAN et al. 2017).

Para que se obtenha energia a partir do biogás, o mesmo pode passar por dois tipos de processos: combustão direta e queima em motores primários. Na combustão direta, o biogás é queimado em câmaras de combustão, caldeiras, aquecedores, secadores, e o calor liberado é utilizado nos processos produtivos. Na queima em motores primários (motores de combustão interna ou turbinas a gás), o biogás é utilizado para produzir energia mecânica. Essa energia mecânica ativa um gerador que a transforma em energia elétrica. A Tabela 1 mostra o fator de conversão dos dejetos bovinos em eletricidade.

Tabela 1- Fatores de conversão

Fonte de biomassa	Material de biomassa gerado	Conversão de fonte bruta para biogás	Conversão de biogás em eletricidade
Gado	1 vaca = 15 kg dia de esterco	6 kg de esterco=1 m ³	1 m ³ de biogás = 2,5 kWh

Fonte: YAQOUB et al. (2021).

Para avaliar o desempenho da produção de biogás, alguns parâmetros devem ser monitorados e analisados, tais como: qualidade do substrato (teores de sólidos totais, sólidos voláteis e sólidos fixos; pH; teor de umidade; presença de substâncias tóxicas; temperatura; densidade; etc) e do biogás (composição química, teor de impurezas, umidade, conteúdo energético, pressão, vazão, etc.) (FREITAS et al, 2018; OSHIRO, 2016).

2.4 EMISSÕES DE CO_{2eq}

Gases de Efeito Estufa (GEE) são aqueles que contribuem para o aquecimento global: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), perfluorcarbonetos (PFCs), hidrofluorcarbonetos (HFCs), hexafluoreto de enxofre (SF₆).

O setor agropecuário catarinense responde por cerca de 36% das estimativas totais de emissões de GEE do Estado (SEEG, 2021), com um total de 13.700.109 t de CO_{2eq}, sendo que 55% dessas emissões estão relacionadas à fermentação entérica, seguido pelo manejo dos solos e dos dejetos animais, que contribuem com 23,54% e 17,75%, respectivamente, das emissões do setor (SEEG, 2021). A Tabela 2 apresenta as emissões de CO_{2eq} (t) do setor agropecuário do estado de Santa Catarina com base no ano de 2018.

Tabela 2- Emissões de CO_{2eq} (t) do setor agropecuário do Estado de Santa Catarina com base no ano de 2018

Subsetor	CO _{2eq} (t)	%
Cultivo de arroz	445.678	3,25
Fermentação entérica	7.595.767	55,44
Manejo de dejetos animais	2.431.225	17,75
Queima de resíduos agrícolas	2.472	0,02
Solos manejados	3.224.968	23,54
Total Geral	13.700.109	100,00

Fonte: SEEG (2021).

A fermentação entérica é a principal fonte emissora de metano, que ocorre nos processos digestivos no estômago (rúmen) do animal. O metano é expulso por eructação, com maiores valores de emissão de GEE no Estado observados no plantel de gado de corte seguido pelo gado leiteiro. Outra importante fonte de emissão é o manejo dos dejetos animais e nesse subsetor as maiores fontes emissoras estão relacionadas com a suinocultura, gado de corte e gado leiteiro, respectivamente (DORTZBACH et al. 2021).

2.5 ANÁLISE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE PLANTA DE BIOGÁS

A viabilidade econômica permite averiguar se o investimento a ser realizado em uma atividade específica será benéfico para o investidor. Nesse sentido, é importante que ele conheça bem o seu mercado e os fatores envolvidos. Espera-se, por meio da análise, que os gestores possam ter uma ferramenta com dados que possam auxiliá-los no processo de tomada de decisão. Portanto, o estudo da viabilidade econômica mostra a qualidade do que é viável, ou seja, reúne informações importantes para o sucesso ou fracasso de um projeto (SILVEIRA et al. 2017).

As técnicas mais utilizadas e recomendadas para análises financeiras e econômicas são: foco no lucro, essa não considera a alteração do valor do dinheiro com o tempo, ou seja, ignora juros e correção monetária; e as técnicas de fluxo de caixa descontado, que são mais utilizadas pois consideram fluxos de caixa futuros que serão obtidos pela empresa e trazem consigo a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Valor Presente Líquido (VPL) (SANTOS, 2021).

O valor presente líquido (VPL) é utilizado para analisar a viabilidade de um empreendimento, podendo avaliar o projeto mais lucrativo, tanto pelo retorno quanto pelo custo. A taxa que determina a expectativa de retorno do capital ao VPL é a taxa mínima de atratividade (TMA) que reflete a expectativa do empreendimento. Uma vez atribuída a TMA e as entradas e saídas registradas o VPL poderá ser calculado. VPL igual à zero significa que o empreendimento é viável e que atinge a remuneração esperada para o empreendimento. VPL maior que zero, o negócio é viável e além do esperado, ou seja, possibilita aumento de patrimônio em relação ao montante do valor presente líquido do investimento (DEGEN, 2019).

A TIR, ou Taxa Interna de Retorno, é uma variável única em forma de percentual que auxilia na melhor escolha de diferentes projetos para identificar qual é o melhor empreendimento em termos de retorno do capital investido, ou seja, qual que retorna mais o

capital investido em determinado projeto. Caso a TIR seja maior que a taxa de retorno desejada, o investimento é lucrativo. Caso contrário, o investimento é considerado inviável, e deve ser abandonado (DEGEN, 2019).

O Custo Nivelado de Energia (LCOE), sigla em inglês para *Levelized Cost of Electricity* é um método utilizado especialmente no setor energético. Esse indicador tem como objetivo uma padronização e uma comparação entre o preço de produção de diferentes fontes de geração de eletricidade. O indicador representa a receita média por unidade de energia produzida para recuperação do investimento, pois relaciona todos os custos envolvidos no ciclo de vida da planta de geração de energia por kWh (DEGEN, 2019).

Além dos indicadores citados anteriormente, é de suma importância para esse empreendimento conhecer a Resolução Normativa nº 482/2012 (BRASIL, 2012) e sua revisão bem como a Resolução Normativa nº 687/2015 (BRASIL, 2015), que tratam da micro e da minigeração distribuídas de energia elétrica respectivamente, inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. Igualmente, é importante conhecer a estrutura tarifária definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e as características da concessionária de energia (SILVA et al., 2017; SOUZA et al., 2019). Por fim, com os indicadores é possível estimar o tempo de retorno do capital (*Payback*), e os cálculos de estimativa de capital a ser investido (DEGEN, 2019).

3 METODOLOGIA

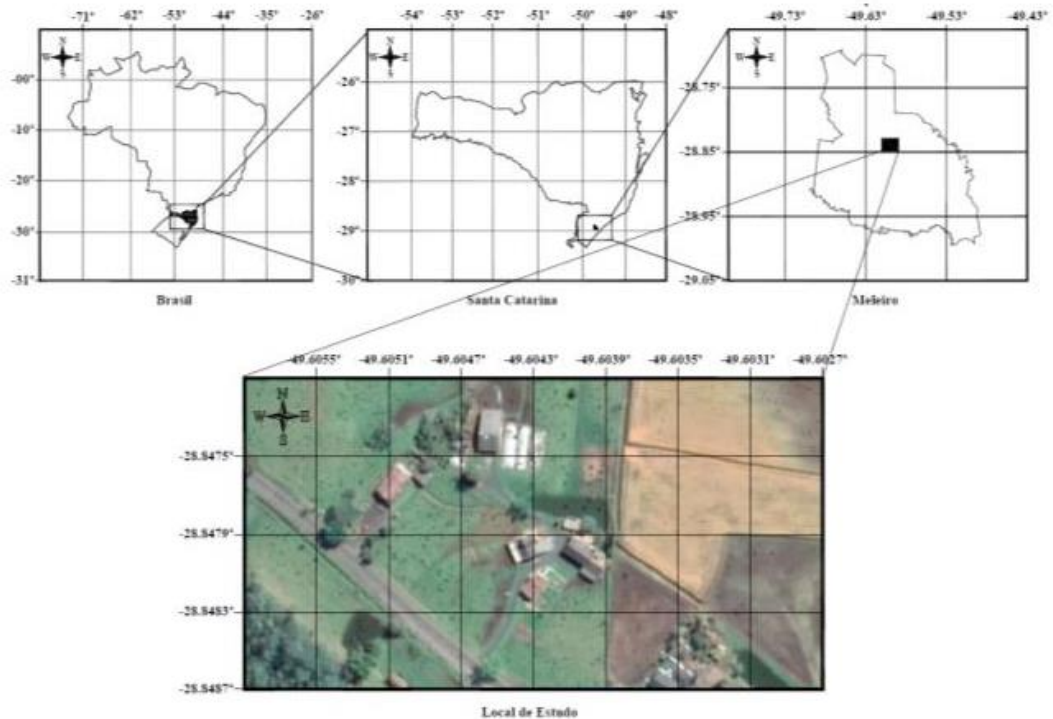
As etapas da presente investigação compreenderam a caracterização do local de estudo; a coleta e determinação de sólidos voláteis em amostra de esterco; a estimativa da vazão teórica de biogás; a estimativa da potência e da energia disponível; a estimativa da potência elétrica instalada; as emissões de CO_{2eq} evitadas e, por fim, a viabilidade econômica.

3.1 LOCAL DE ESTUDO

O local de estudo (Figura 3) da presente investigação situa-se no município de Meleiro, estado de Santa Catarina, com coordenadas geográficas 28° 51' 0.02" de latitude sul e 49° 36' 18.03" de longitude oeste. O município tem uma área aproximada de 186.439 km² e altitude de 38 m. A cidade faz divisa com Morro Grande-SC, Nova Veneza-SC, Turvo-SC,

Ermo-SC, Maracajá-SC, Araranguá-SC e Forquilha-SC. Sua população é de 7.000 mil habitantes, com densidade demográfica de 37,42 habitantes por km² (IBGE, 2021).

Figura 3- Localização da propriedade em estudo



Fonte: Guth, 2021.

A propriedade escolhida tem uma área total de 35 ha, sendo que 10 ha são destinados à bovinocultura leiteira e o restante para o plantio de milho e vegetação nativa. O plantel consta de 51 cabeças de gado leiteiro da raça Jersey, pesando, em média, 300 kg por animal e com idade variando entre 3,5 e 4 anos de idade.

Durante o manejo dos animais, realizado duas vezes ao dia, o gado é retirado do pasto. O rebanho é encaminhado ao galpão, onde se alimenta e é preparado, por métodos de higienização, para realização da ordenha. Os animais ficam confinados por um período aproximado de 2 horas diárias. Os dejetos do curral são recolhidos e levados a uma esterqueira com medidas de 4m x 3,5m x 1,50m, totalizando 21 m³. Esses dejetos permanecem de duas a três semanas na esterqueira e servem como adubo na lavoura de milho. Cada vaca produz, neste período de confinamento, cerca de 1,5 a 2 kg de dejetos. Na propriedade, não há o aproveitamento energético dos dejetos, estando ausentes sistemas de biodigestores e motogeradores, sendo a energia obtida pela concessionária local.

A propriedade consome cerca 957 kWh de energia elétrica por mês (média dos últimos 12 meses) que é utilizada no galpão para o equipamento de ordenha, bomba de lavar, aquecedor de água, lâmpadas, triturador de milho, misturador de ração e na residência da família.

3.2 COLETA E DETERMINAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DOS DEJETOS

Três amostras de, aproximadamente, 100 g de dejetos foram coletadas na estrebaria da propriedade e acondicionadas em embalagens plásticas devidamente higienizadas. Posteriormente, foi feita a determinação do teor de sólidos totais voláteis, por gravimetria, sendo os resultados expressos em % (m/m), com um limite de quantificação (LQ) de 0,05. Os testes foram executados no laboratório do Parque Científico e Tecnológico (I-parque) localizado na cidade de Criciúma-SC.

3.3 ESTIMATIVA DA VAZÃO TEÓRICA DE BIOGÁS PARA A PROPRIEDADE EM ESTUDO

Na literatura são descritas metodologias para estimar o potencial teórico de produção de biogás. Esses métodos variam em suas considerações, em sua complexidade e na quantidade de dados de que necessitam. O presente trabalho tomou como base a metodologia proposta pelo Centro Internacional de Energias Renováveis - CIBiogás-ER (2009), a qual propõe a estimativa da produção de biogás com base na metodologia e nos parâmetros descritos pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC 2006). Considerou-se a utilização de um biodigestor do modelo canadense. Primeiramente, foi calculada a produção diária de dejetos bovinos na propriedade em estudo por meio da Equação 1.

$$PDDB = \sum(N^{\circ} \times TC \times PE) \quad (1)$$

onde,

PDDB = produção diária de dejetos por bovinos da categoria ($m^3_{\text{dejetos}} \text{dia}^{-1}$);

N° = número de animais da categoria em questão (número absoluto);

TC = tempo de confinamento ($\text{horas} \cdot \text{dia}^{-1}$);

PE = produção específica de dejetos de bovino por categoria ($\text{m}^3 \text{ cabeça.hora}^{-1}$)

Para calcular a produção diária de dejetos bovinos (PDDB), foram necessários alguns parâmetros, tais como tempo de confinamento (TC), pois trata-se de um plantel de maior pastejo, portanto, o gado fica em confinamento durante a ordenha e alimentação. Além disso, para o cálculo do PE foi considerado o valor padrão de produção de 15 kg de dejetos por cabeça por dia, com densidade de 933 kg/m^3 (YAQOOB et al, 2021).

Posteriormente, foi calculada a produção anual de dejetos para bovinos por meio da Equação 2.

$$\text{PADB} = \sum (\text{PDDB} * \text{FAC}) \quad (2)$$

onde,

PADB = produção anual de dejetos por bovinos ($\text{m}^3 \text{ dejetos. ano}^{-1}$);

PDDB = produção diária de dejetos por bovino da categoria ($\text{m}^3 \text{ dejetos. dia}^{-1}$);

FAC = fração anual de confinamento (entre 0 e 1 - adimensional).

Ainda, para o cálculo da produção anual de dejetos bovinos, foi considerada a FAC igual a 0,2, dado encontrado na literatura (YAQOOB et al., 2021).

Por fim, foi efetuado o cálculo da produção diária de biogás por meio da Equação 3 e empregando os parâmetros presentes na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros para cálculo da produção diária de biogás

Tipo de rebanho	SV (kg SVcabeça. ano⁻¹)	FCM (%)	B₀ (m³ CH₄. kgSV⁻¹)	F_b	% CH₄
Bovino de leite	46,06	0,78	0,18	0,94	60

Fonte: Adaptado de Silva, Muller e Mielke (2011).

O peso médio considerou os dados coletados na propriedade, equivalente a 300 kg, e para o peso padrão, utilizou-se dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (BRASIL, 2012), considerando 350 kg para a raça Jersey. Para o parâmetro

sólidos voláteis ($\text{kg SVcabeça.ano}^{-1}$) foi considerado o valor obtido nas amostras de dejetos analisadas, conforme descrito na Seção 3.2.

$$PDB = N^{\circ} \left(\frac{PM}{PP} \right) \times FDC \times SV_{\text{padrão}} \times \left(\frac{FCM \times B_0 \times f_b}{CH_4} \right) \quad (3)$$

onde,

PDB = produção diária de biogás ($\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$);

N° = número de animais;

PM = peso médio (kg);

PP = peso padrão (kg);

FDC = fração diária de confinamento (entre 0 e 1 - adimensional);

SV = sólidos voláteis ($\text{kg}_{\text{sv}} \text{cabeça.ano}^{-1}$);

FCM = fator de conversão de metano para a linha base do sistema (adimensional);

B_0 = capacidade de produção de metano pelo dejetos ($\text{m}^3_{\text{CH}_4} \text{kg}_{\text{SV}}^{-1}$);

F_b = fator de correção de incertezas (adimensional);

CH_4 = porcentagem de metano no biogás.

3.4 ESTIMATIVA DA POTÊNCIA E DA ENERGIA ELÉTRICA DISPONÍVEL

A vazão do CH_4 proveniente da fermentação dos dejetos no biodigestor pode ser descrita em termos de potência máxima disponível, calculada conforme a Equação 4 (CETESB, 2006).

$$P_{\text{disp}} = Q_{\text{CH}_4} * PCI \quad (4)$$

onde,

P_{disp} [kW] = potência disponível;

Q_{CH_4} [m^3/ano] = vazão de CH_4 em cada ano;

PCI [$\text{kJ}/\text{m}^3\text{CH}_4$] = poder calorífico do CH_4 .

Foram adotados os parâmetros de eficiência entre 35% e 33%, dados esses obtidos pelo fabricante do sistema moto gerador (ALIBABA, 2021). A Tabela 4 descreve os dados do moto gerador encontrado no mercado,

Tabela 4 - Dados operacionais do grupo motogerador

Modelo do grupo gerador		ydnyd-10
Potência nominal (kw/kva)		10/12.5
Corrente nominal (a)		18
Dimensão (mm)		1450 x 700 x 1100
Peso bruto (kg)		510
Motor de biogás	Marca	yd4m1d (480)
	Configuração	water-cooled, 4-acidente vascular cerebral, 4 cilindros in-line
	Potência Nominal (kw/kva)	15
	Velocidade Nominal (rpm)	1500
	cilindro no.	4
	Método de resfriamento	refrigeração a água
	Consumo de óleo (g/kw.h)	2
	Consumo de gás (m ³ /h)	3.3
	Começando o método	12v dc
Sistema de Controle de gás	E-acelerador	bosch® (marca alemã)
	Mixer	impc® (eua marca)
	Regulador	madas® (marca italiana)
	Vela de ignição	tocha® (china marca)
	A temperatura da água	bosch® (marca alemã)
Alternador	Marca	farrand
	Modelo	fld-10
	Potência nominal (kw/kva)	10/12.5
	Eficiência	92.50%
	Regulação de tensão	± 1

	Regulação de tensão	brushles, auto excitação
	Classe de isolamento	h
Sistema de controle	Marca	smartgen
	Tensão de funcionamento	dc8.0v para dc35.0v, contínua
	Dimensões totais (mm)	197*152*47
	Painel de recorte (mm)	186*141
	Condição de trabalho	temperatura: (-25 ~ 70) °c; umidade: (20 ~ 90) %
	Peso	0.56kg

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Figura 4 representa o motogerador descrito no mercado.

Figura 4 - Grupo motogerador



Fonte: Alibaba, 2021.

A energia elétrica disponível para cada ano foi calculada por meio da Equação 5.

$$E = P_{\text{disp}} * t \quad (5)$$

onde,

E [kWh] = energia elétrica disponível;

P_{disp} [kW] = potência disponível e

t [h] = tempo de operação da planta de aproveitamento energético em um ano.

Foi adotado o tempo de operação de 7.884 horas para o cálculo da energia elétrica disponível. Esse tempo foi determinado mediante a subtração dos tempos de parada para manutenção da planta de aproveitamento energético, correspondente a 10% do total de horas em um ano (8.760 horas) (DE BRITO, 2021)

3.5 ESTIMATIVA DA POTÊNCIA ELÉTRICA INSTALADA

A estimativa da potência elétrica instalada foi calculada por meio de dados obtidos do grupo motogerador pesquisado no mercado (Tabela 4). Os custos de equipamentos são específicos por cada fabricante.

3.6 EMISSÕES DE CO_{2eq} EVITADAS

As estimativas de emissões de CO_{2eq} evitadas foram aferidas a partir da relação em massa de CO₂ e CH₄. Considerou-se o PAG do CH₄ em relação ao CO₂ no valor de 28 kg de CO₂ por 1 kg de CH₄, conforme Equação 6. (AYODELE; ALAO; OGUNJUYIGBE, 2020).

$$\text{CO}_{2\text{eq}} = \text{CH}_4 \times 28 \quad (6)$$

3.7 VIABILIDADE ECONÔMICA E FINANCEIRA

Para a avaliação da viabilidade econômica do aproveitamento energético do esterco, foram considerados os custos de um sistema moto gerador, sem incluir os investimentos necessários para o biodigestor. Primeiramente, foi calculado o VLP a partir da Equação 7 (SANTOS, 2021).

$$VLP = -I_i + \frac{S_1}{(1-t_d)^1} + \frac{S_2}{(1-t_d)^2} + \frac{S_3}{(1-t_d)^3} + \frac{S_n}{(1-t_d)^n} + \frac{VR_n}{(1-t_d)^n} \quad (7)$$

onde,

VLP = o valor presente líquido;

I_i = o investimento inicial;

$S_{1+...+n}$ = os futuros saldos operacionais de caixa;

n = o número de períodos, geralmente em anos;

VR_n = o valor residual do negócio no fim do período n ;

t_d = a taxa de desconto, composta da taxa de juros sem risco mais o prêmio pelo risco do negócio, correspondente a remuneração adequada para o novo negócio.

O tempo para recuperação do investimento ou *Payback* foi calculado pela Equação 8 (SANTOS, 2021).

$$T_{RI} = \frac{I_T}{S_{OM}} \quad (8)$$

onde,

T_{RI} = o tempo para recuperação do investimento ou *Payback*;

I_T = o investimento total ou a máxima necessidade de investimento e

S_{OM} = o saldo operacional de caixa médio, que é calculado como a média dos saldos operacionais de caixa $S_{1+...+N}$, estimados para N períodos.

A tecnologia de conversão térmica da energia contida no CH_4 em energia elétrica foi definida a partir da identificação no mercado de um conjunto motogerador que atendesse às características da planta de biogás da propriedade em termos de vazão e potência, sendo o mesmo já descrito na Seção 3.4.

Os custos de operação e manutenção, incluindo limpeza de gás, foi estimado a partir de instalações similares existentes, com um valor próximo de 10% do investimento inicial com base em dados disponíveis na literatura (CHACARTEGUI et al, 2015).

O Custo Nivelado de Energia (LCOE) foi calculado de acordo com a Equação 9 (SANTOS, 2021).

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O\&M}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (9)$$

onde,

LCOE = o custo nivelado de energia [USD/kWh];

T = o tempo de operação da instalação [anos];

I = o investimento e reinvestimento [USD];

O&M = o custo de operação e manutenção [USD];

E = a energia gerada [kWh];

i = a taxa mínima de atratividade.

Para cálculo das receitas do projeto, foram consideradas as alternativas: i) A compensação de energia no âmbito da Resolução Normativa nº 687/2015 (BRASIL, 2015) e ii) Valores obtidos com a economia de energia deixada de ser comprada da concessionária devido à autoprodução de energia.

Para a conversão de moeda estrangeira, foi utilizado o índice de referência apurado em 21/05/2021 junto ao Banco Central do Brasil no valor USD 1.00 equivalente a R\$ 5,30.

Para o presente trabalho, a análise financeira considerou que os fluxos de caixa são do tipo operacional, ou seja, não foi levado em conta o financiamento do projeto por capital de terceiros.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PRODUÇÃO DE DEJETOS NA PROPRIEDADE EM ESTUDO

A geração dos dejetos bovinos depende das variáveis de manejo, devendo ser mensuradas e dimensionadas para cada situação.

Na presente pesquisa, considerou-se que a quantidade de dejetos produzidos é constante e essa depende do número de animais em lactação e do tempo de confinamento. Os resultados obtidos neste estudo apontaram que a produção diária de dejetos (PDDDB), com duas horas de confinamento, foi de 0,0683 m³. Considerando-se a densidade de 933 kg/m³ para o esterco a 86% de umidade, obteve-se o valor de 63,72 kg de dejetos por dia. Em termos anuais, obteve-se um valor de 24,95 m³ de dejetos.

Pereira (2018) determinou o volume equivalente produzido numa propriedade com criação de gado bovino leiteiro (30 cabeças de gado leiteiro da raça Jersey, com peso aproximado de 350 kg por animal e confinamento de cerca 2 horas por dia). O volume produzido a cada 15 dias foi de, aproximadamente, 1,75 m³ de dejetos (mistura de esterco e urina).

4.2 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

A partir da produção diária de dejetos, obteve-se uma estimativa de produção de 0,5 m³ de biogás por quilograma de dejetos. Com base nesses resultados, foi estimada a produção diária de biogás, cujo valor obtido foi de 0,695 m³cabeça.dia⁻¹, o que corresponde a um total de 35,43 m³.dia⁻¹ considerando todo o plantel. Por fim, obteve-se o valor anual de biogás equivalente a 12.942,9 m³.

Na literatura, Coldebella (2006a; 2006b) encontrou resultados de uma propriedade de produção leiteira, cujos animais apresentaram o peso médio de 600 kg, sendo estimada uma produção de 0,28 m³ de biogás por kg de dejetos e uma produção diária de metano de 0,980 m³cabeça.dia⁻¹.

4.3 POTENCIAL ENERGÉTICO

Para o cálculo do potencial energético disponível, foram considerados, primeiramente, os valores obtidos para a produção diária de biogás. Com base nesta produção, foi possível estimar a produção de metano, equivalente a $24,63 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Considerando-se o poder calorífico do CH_4 equivalente a $35.530,00 \text{ KJ} \cdot \text{m}^3$, foi possível estimar o potencial energético disponível, obtendo-se um valor de $8,75 \text{ kW}$.

Considerando-se a produção diária de biogás de $35,43 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$, foi possível obter a energia elétrica disponível de $188,98 \text{ kWh}$ diários, o que corresponde $68.978,19 \text{ kWh}$ anual. Isso corresponde a uma produção diária de $5,33 \text{ kWh}$ por m^3 biogás.

Em trabalho da literatura foi obtido um valor de $6,5 \text{ kWh}$ por m^3 cúbico de biogás (SANTOS, 2000). Yaqoob e colaboradores (2021) encontraram uma equivalência de $2,5 \text{ kWh}$ por m^3 de biogás.

Com base nessa estimativa do potencial energético disponível na propriedade em estudo, pode ser empregado um conjunto motogerador com a potência nominal de 10 kW .

4.4 EMISSÕES EVITADAS DE $\text{CO}_{2\text{eq}}$

Para a estimativa das emissões evitadas de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, inicialmente, levou-se em consideração a potência disponível e o poder calorífico. Por meio da Equação 3, calculou-se o volume de CH_4 produzido anualmente. Com base nos valores encontrados e levando-se em consideração a densidade do metano ($0,657 \text{ kg/m}^3$), foi possível calcular a massa de CH_4 , cujo valor estimado foi de $5.102,09 \text{ kg}$ por ano.

O grupo motogerador converte o CH_4 em CO_2 biogênico, conforme a potência e os tempos de disponibilidade. Utilizou-se a Equação 6 para essa conversão, com aplicação do potencial de aquecimento global (PAG) de 28 kg de CO_2 para cada 1 kg de CH_4 . Isso resultou no valor de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ de $142,86$ toneladas por ano e de $2.857,17$ toneladas durante os 20 anos de operação do sistema.

Segundo Schenini e colaboradores (2006), a produção de energia elétrica no Brasil emite $0,45 \text{ kg}$ de CO_2 por MW de energia elétrica gerada. Assim, a produção dessa energia a partir dos dejetos permitiria evitar a emissão de 2.114 toneladas de CO_2 .

O resultado chama a atenção para importância da utilização de sistemas de produção de biocombustíveis para mitigação dos problemas relacionados ao aquecimento global, visto que, segundo o IPCC (2019), a pecuária é responsável por 13% das emissões globais anuais de CH₄.

4.5 VIABILIDADE FINANCEIRA

Os indicadores econômicos e financeiros da presente pesquisa foram calculados, a fim de identificar a viabilidade de implantação de um conjunto motogerador para aproveitamento energético do biogás. Os resultados indicaram a viabilidade, sendo que seus indicadores estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Indicadores econômicos e financeiros

INDICADORES	VALOR
VLP [R\$]	15.567,37
TIR [%]	9,16%
Payback [anos]	6
LCOE [R\$/kWh]	0,32

Fonte: Elaboração do autor (2022).

Para essa análise foram considerados valores no mercado para um sistema de motogerador com a potência nominal aproximada de 10 kW. O valor do equipamento que supre a quantidade de energia disponível no sistema teve custo orçado em USD 5.000,00 equivalente a 28.683,00 (data da cotação em 21/12/2021 obtido pela USD-BRL) no valor de R\$ 5,30.

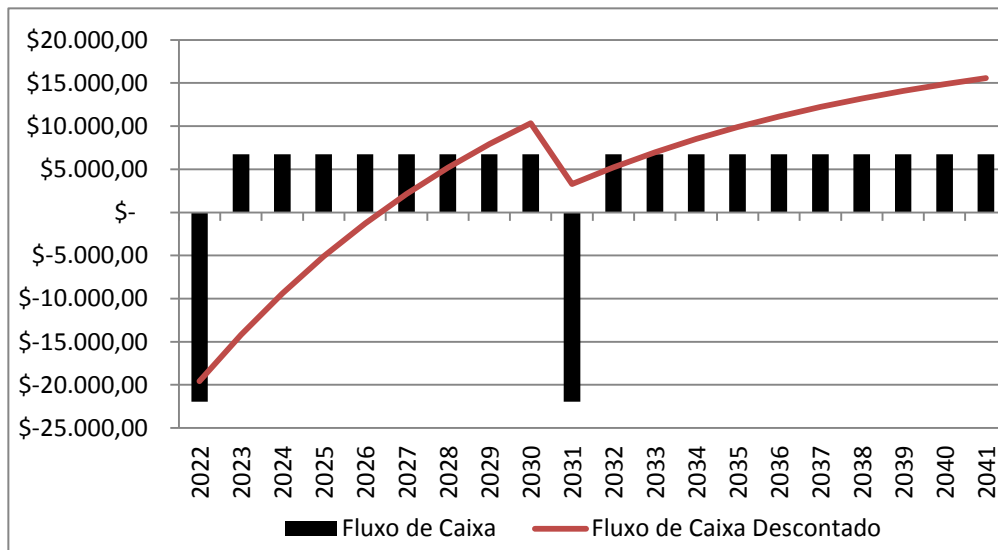
Os distintos custos envolvidos na instalação e manutenção de grupos motogeradores são muito peculiares e de conhecimento de empresas e profissionais especializados, que possuem conhecimento e experiência para poder elaborar propostas mais próximas da realidade. Para que o presente estudo ficasse de acordo com as normas vigentes e com preços atuais de mercado, todos os custos com operação e manutenção dos equipamentos e serviços necessários foram calculados como sendo 10% sobre o valor

do investimento (CHACARTEGUI et al, 2015). Os resultados estimados foram de R\$ 2.868,35.

O horizonte de tempo do planejamento do fluxo de caixa correspondeu ao período de 2022 até 2041. O período é o comumente utilizado em planos de negócio de aproveitamento energético de baixo custo. O horizonte adotado possibilitou a obtenção de uma perspectiva fixa e realista para realização e recuperação do investimento.

Os resultados da Figura 5 demonstram que no ano de 2022 entrou-se com um investimento no valor de R\$ 28.683,00 e notadamente verificou-se fluxo de caixa descontado negativo e que se estende até 2026. A partir do ano 2027, verificou-se uma inversão do fluxo de caixa negativo para positivo, com sucessivos aportes, havendo retorno de investimento no projeto (*Payback*). No ano de 2031, com um reinvestimento no sistema de geração de energia, o fluxo de caixa descontado diminuiu. Entretanto, esse continuou positivo e a partir desse ano os valores aumentaram. A TIR apresentou rendimentos de 9,16% e VPL positivo de R\$ 15.567,37.

Figura 5-Fluxo de caixa do empreendimento



Fonte: Elaboração do autor (2022).

Oliveira e colaboradores (2007) analisaram a viabilidade econômica para três sistemas produtivos 1, 2 e 3 com 15, 34 e 52 vacas em lactação, respectivamente, no município em Piracanjuba-GO. Os indicadores de rentabilidade utilizados foram: valor presente líquido e taxa interna de retorno, com taxa mínima de atratividade de 6% para

desconto financeiro dos fluxos líquidos e parâmetro de avaliação dos projetos no período de 15 anos. O referido estudo constatou que o sistema 1 apresentou VPL negativo em torno de R\$ 7.861,00. Conseqüentemente, esse sistema não apresentou viabilidade econômica. O sistema 2 apresentou-se com valor de 0,9243 no VPL, portanto viável e lucrativo na taxa preestabelecida. O sistema 3, de acordo com a avaliação, foi tido como viável economicamente, pois apresentou VPL positivo de R\$ 102.531,00.

Mediante os dados obtidos, do ponto de vista econômico, o investimento no sistema moto gerador seria benéfico ao proprietário da área de estudo, pois, obteria lucros com o investimento e pagaria valor menor pelo kWh gerado, levando-se em consideração o valor de 0,32 de custo nivelado de energia (LCOE). Além disso, o aproveitamento energético de dejetos contribui para a geração de renda aos trabalhadores do campo.

Do ponto de vista ambiental, é possível criar gado leiteiro em escala comercial investindo em tecnologias para produção de energia elétrica que reduzem as emissões de gases de efeito estufa, protegendo, dessa forma, o meio ambiente para presentes e futuras gerações.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho propôs o aproveitamento energético do biogás gerado a partir de dejetos da bovinocultura leiteira.

A partir dos resultados, conclui-se que o gado leiteiro pertencente à propriedade em estudo produz quantidade de dejetos que tem potencial para geração de biogás e posterior conversão em energia elétrica.

Também foi possível concluir que esse aproveitamento energético é capaz de reduzir expressivamente a emissão de CO_{2eq} na atmosfera, contribuindo para preservação do meio ambiente.

Por fim, conclui-se que a instalação de um sistema moto gerador se mostra economicamente viável, o que poderia reduzir os custos operacionais da propriedade em estudo.

Pesquisas complementares podem ser propostas, dentre as quais, destacam-se: análise da viabilidade técnica e econômica, considerando os custos com a planta de biogás (biodigestor e sistema moto gerador), além de outros modelos de negócios; estimativa do

potencial energético dos dejetos de todo o plantel do município em estudo; análise das possibilidades de parcerias público-privado para o fomento de projetos de biogás.

REFERÊNCIAS

ALIBABA. Gerador de gás metano 10 kW, 2022. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/methane-gas-generator-10kw-60800814676.html>. Acesso em: 14 mar. 2022.

ANTUNES, Mauricio Zanon. Viabilidade da produção de biogás a partir de dejetos animais. 2019. 61.TCC. Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, 2019.

AYODELE, T. R.; ALAO, M. A.; OGUNJUYIGBE, A. S. O. Effect of collection efficiency and oxidation factor on greenhouse gas emission and life cycle cost of landfill distributed energy generation. *Sustainable Cities and Society*, v. 52, n. September 2019, 2020.

BRASIL. Aneel. **Resolução Normativa ANEEL Nº 482 DE 17/04/2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providência, Brasília, DF, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76, maio 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Gado de Leite: O produtor pergunta, a Embrapa responde. 3. ed. rev. e ampl. –Brasília, DF : Embrapa, 311 p, 2012.

BRASIL. Aneel. **Resolução Normativa ANEEL nº 687, de 24 de novembro de 2015**.. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST, Brasília, DF, nov. 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **BEN 2021** | Relatório Síntese, 2021. 73 slides. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

CHACARTEGUI, Ricardo et al. Analysis of a CHP plant in a municipal solid waste landfill in the South of Spain. **Applied Thermal Engineering**. n. 91, p. 706-717, 2015.

COLDEBELLA, Anderson ANTUNES, Mauricio Zanon. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2019. 61.TCC. Engenharia Mecânica Universidade Estadual do Oeste do Paraná., Cascavel, 2006.
74. Dissertação. Engenharia Agrícola, 2006.

COLDEBELLA, Anderson et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. **Proceedings online. Disponível em:**

<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022006000200053&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 10 mar. 2022.

CORTEZ, Luis Augusto Barbosa; LORA, Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgard Olivares. **Biomassa para energia**. Editora da Unicamp: Campinas, 2008. EPE. Resenha Mensal.

DEGEN, R. J. O empreendedor: empreender como opção de carreira. 4^a ed. São Paulo: Pearson, 2009.

DORTZBACH, Denilson. Estimativa das emissões de gases de efeito estufa do setor agropecuário de Santa Catarina, Brasil. **Agroindustrial Science**, v. 11, n.3, p. 303-311, 2021.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Um novo olhar sobre as emissões da pecuária brasileira**, 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18798638/um-novo-olhar-sobre-as-emissoes-da-pecuaria-brasileira>. Acesso em: 14 mar. 2022.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2019-2020**, 2021. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepa/publicacoes/Sintese_2019_20.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

EPAGRI - EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA. Ainfo Consulta, 2022. Disponível em: <https://biblioteca.epagri.sc.gov.br/>. Acesso em: 14 mar. 2022.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Fontes de Energia**, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia>. Acesso em: 10 mar. 2022.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético 2021**, ano base 2020, 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2021>. Acesso em: 10 mar. 2022.

FREITAS, Flavio The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 146-157, 2018.

FRIGO, Kesia Damares de Azevedo. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Actas Iguazu**, v.4, n.1, p. 57-65, 2015.

GUTH, Maria Cristina. **Cooperativismo e políticas públicas de incentivo ao uso energético de biogás gerado a partir de dejetos da bovinocultura leiteira: um estudo no município de Meleiro/SC**, 2021. 93 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Pecuária Municipal, 2019. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2019_v47_br_informativo.pdf. Acesso em: 10 mar. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: Meleiro, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/meleiro/panorama> . Acesso em: 10 mar. 2022.

JUNGES, Alexandre Luis et al. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências de Ensino de Ciências**, v.13, n.5, 2018.

KARLSSON, Tommy et al. Manual Básico do Biogás. 1. ed. Lajeado: Univates, 2014.

KONRAD, Odorico et al. **Atlas das biomassas do Rio Grande do Sul para produção de biogás e biometano**. 1. ed. Lajeado: Univates, 2016.

LUCAS, Jorge; SILVA, F. M. **Biogás, produção e utilização**. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, 2005, 8p.

MACIEL-SILVA, Francisco. Integration of subcritical water pretreatment and anaerobic digestion technologies for valorization of açai processing industries residues. **Journal of Cleaner Production**, v. 4, n.362, 2019.

OLIVEIRA, Elis Regina et al. Estudo de viabilidade econômica e risco para sistemas de bovinocultura de leite em Piracanjuba, GO. **Revista de Política Agropecuária**, n. 3, p. 85-98, 2007

OSHIRO, Cymara Regina. **Disponibilidade potencial de esterco da bovinocultura leiteira para energia em cooperativa**. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente. Anais. São Paulo, 2016, p. 1-8.

PASALARI, Hasan. Perspectives on microbial community in anaerobic digestion with emphasis on environmental parameters: A systematic review. **Chemosphere**, v. 270, 2021

QIAN, Yong. Review of the state-of-the-art of biogas combustion mechanisms and applications in internal combustion engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 50-58 2017.

RESENDE, Juliana de Alves et al. Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica. Juiz de Fora - MG: **Embrapa**, p. 1-5, set. 2015.

SANTOS, Gustavo Henrique Araújo. **Metodologia de previsão de potência elétrica de grupos geradores para aproveitamento do metano gerado em aterro sanitário de região com sazonalidade**, 2021. 147 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Energia e Sustentabilidade, 2021.

SEEG - BRASIL. **Emissões**, 2021. Disponível em: <http://seeg.eco.br/>. Acesso em: 10 mar. 2022.

SCHENINI, P.C. et al. O mecanismo de desenvolvimento limpo como atrativo ao investimento ambiental: estudo de caso em um frigorífico de bovinos. In: SEGeT, 3. –

SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2006, Resende RJ – Anais.do SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA. Resende RJ , 2006.12 p.

SILVA, T. R. et al. Methodology for the determination of optimum power of a Thermal Power Plant (TPP) by biogas from sanitary landfill. *Waste Management*, v. 65, p. 75–91, 2017.

SILVEIRA, Victor Cardoso et al. **Estudo da temática de viabilidade econômica: avaliação das publicações apresentadas através do periódicos Capes entre os anos 2007 a 2016.** In: Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação. Anais. Naviraí - MS, 2017.

SOUZA, Nelson. Electric energy micro-production in a rural property using biogas as primary source. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2021.

SUNGYUP, Jung. Upgrading biogas into syngas through dry reforming. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2021

VAN HORN, H.H. et al. Components of Dairy Manure Management Systems. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n 7, p 2008-2030, 1994.

VIANA, Natália Lima; MARISCO, Gabriele. A importância da conscientização ambiental sobre o descarte de resíduos animais em trabalhos científicos e nos espaços educacionais. **Scientia Amazonia**, v. 8, n. 3, p. 1-8, 2019.

VICENTINI, Luciene Soares; CARVALHO, Kelen; RICHTER, Ana Siimone. Utilização de microorganismos eficazes no preparo da compostagem. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n.2, 2009.

YAQOOB, HASEEB et al. The potential of sustainable biogas production from biomass waste for power generation in Pakistan. **Journal of Cleaner Production**, 2021.