

ANÁLISE ECONÔMICA DE TEMPO DE RETORNO DE UMA PLANTA PRODUTORA DE BIOGÁS EM AVIÁRIOS DE MÉDIO PORTE

EDUARDO FIORESE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

CAROLINE RODRIGUES VAZ

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

MAYARA ROHENKOHL RICCI

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC

COSME POLESE BORGES

Introdução

O aumento na demanda energética em todo o mundo tem motivado a busca por novas fontes de energia renovável. O biogás enquadra-se como uma potencial fonte de energia limpa, sendo produzido através da biodigestão anaeróbica da matéria orgânica obtida de resíduos. Na região sul do Brasil, a produção do biogás está fortemente relacionada à agropecuária devido aos grandes números da produção de animais.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal, os estados do Sul do Brasil abatem 64,08% de toda produção de aves do país. Ainda assim, a produção de biogás nos estabelecimentos produtores de aves é praticamente inexistente. Segundo Abouelenien et al. (2010), a disposição inadequada dos resíduos da avicultura compromete o meio ambiente. Portanto, a pergunta de pesquisa que se pretende responder neste trabalho é: qual a viabilidade econômica para a produção de biogás em pequenas propriedades produtoras de aves de corte na região Sul do Brasil?

Fundamentação Teórica

A cama de aviário é todo o material usado para cobrir o piso do galpão que vai alojar as aves. A cama é utilizada durante diversos lotes de produção, o que dificulta a manutenção do seu potencial de produção de biogás (KUNZ et al., 2022). Os biodigestores contínuos e por batelada apresentam características distintas e podem ser utilizados com a cama de aviário. A análise econômica destes tipos de biodigestores é escassa na literatura, formando assim uma área promissora para investigação científica.

Metodologia

A metodologia é baseada em um estudo de caso. Mas é considerada mista pois combina entrevistas semi-estruturadas e um exercício de modelagem econômica (CASAROTTO & KOPITKE, 2010). Incluindo Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Taxa mínima de atratividade (TMA) e Retorno de investimento (Payback), com dados obtidos a partir de orçamentos e de uma visita técnica. Devido à natureza dos dados e ao método de modelagem, são desenvolvidos quatro cenários de investimento para o estudo de caso.

Análise dos Resultados

O consumo de energia estimado de um ciclo de produção da propriedade foi de 80.475 kWh. Sendo assim, pôde-se estimar que a produção de biogás suprirá 92,12% da necessidade energética. Com dados da Cooperativa Regional de Desenvolvimento Teutônia (Certel), distribuidora de energia da região, a tarifa de energia elétrica cobrada para produtores rurais é de R\$0,52140/kWh. Logo, a produção de biogás utilizando sistema de biodigestão resultaria em uma economia aproximada de R\$38.652,00 por ciclo. Isto em um cenário extremamente otimista, onde não foram consideradas diversas perdas.

Conclusão

Ao se considerar as perdas e os indicadores econômicos, constatou-se a inviabilidade econômica da instalação de biodigestores em propriedades de pequenos produtores, devido aos altos custos de aquisição e implementação do sistema. O cenário mais promissor indica a necessidade de criação de cooperativas de resíduos, que manteriam o funcionamento do biodigestor de forma contínua. Necessitando grande coordenação entre os produtores, a fim de conferir os retornos necessários, viabilizando a comercialização de créditos de carbono, sem os quais nenhum cenário atingiria retorno financeiro.

Referências Bibliográficas

ABOUELENIEN, F. et al. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. *Bioresource technology*, Elsevier, v. 101, n. 16, p. 6368–6373, 2010. CASAROTTO FILHO, N.; KOPITKE, B.H. *Investment Analysis: Financial Mathematics, Economic Engineering*. Decision Making, Business Strategy, 2010. KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C.; *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento da digestão*. Concordia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2022.

Palavras Chave

Biogás, Viabilidade Econômica, Cama de Aviário

ANÁLISE ECONÔMICA DE TEMPO DE RETORNO DE UMA PLANTA PRODUTORA DE BIOGÁS EM AVIÁRIOS DE MÉDIO PORTE

1. INTRODUÇÃO

O aumento na demanda energética em todo o mundo tem motivado a busca por novas fontes de energia renovável. O biogás enquadra-se como uma potencial fonte de energia limpa, sendo produzido através da biodigestão anaeróbica da matéria orgânica obtida de resíduos domésticos, industriais ou agropecuários, e pode ser produzido em pequena, média ou grande escala. O potencial energético do biogás é relacionado a grande quantidade de gás metano presente no biogás, cerca de 60%, deste gás, é o mesmo que compõe o gás natural, portanto suas aplicações são muito parecidas. O biogás pode ser utilizado para produção de energia térmica, luminosa ou elétrica (KUNZ et al., 2022).

Devido a expressiva produção agropecuária do Brasil e também de grandes centros urbanos, Zanette (2009) estimou que existe um potencial de produção de biogás equivalente a 50 milhões de m³ de metano por dia (CH₄/d). Segundo dados da União Nacional da Bioenergia (UDOP) de 2023, a expectativa para a produção de biogás no Brasil no ano de 2022 é de 2,8 bilhões de m³, um aumento de 33% em comparação ao ano de 2020, a expectativa é que em 2030 a produção alcance 30 bilhões de m³.

Na região sul do Brasil, a produção do biogás está fortemente relacionada à agropecuária devido aos grandes números da produção de animais. A produção que mais se destaca na região é a avicultura com 914 milhões de frangos abatidos, seguido pela suinocultura com 9,3 milhões de suínos abatidos (IBGE, 2021). Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2021), os estados do Sul do Brasil abatem 64,08% de toda produção de aves do país, com destaque para o Paraná representando 35,54% de toda produção nacional, seguido pelo Rio Grande do Sul com cerca de 14%. Segundo Abouelenien et al. (2010), a disposição inadequada dos resíduos da avicultura, tais como cama de frango, dejetos de galinhas poedeiras, carcaças de aves, entre outros, compromete a qualidade do solo, do ar e dos corpos d'água, resultando em contaminação dos mananciais por microrganismos, toxicidade para animais e plantas, e depreciação do produto. No entanto, tais impactos só são percebidos em médio e longo prazo.

Considerando esta expressiva produção e as consequências de contaminação, há uma lacuna em investigar: *“Por que os produtores de aves não se tornam também produtores de biogás?”*. Dessa forma, a discrepância se torna mais notável quando se busca por pesquisas relacionadas a casos em pequenas propriedades familiares. Essa disparidade possivelmente decorre da menor quantidade de resíduos disponíveis e da falta de recursos financeiros para investir tanto em tecnologias de produção de biogás quanto no gerenciamento de resíduos, bem como em pesquisas de viabilidade econômica. Assim, a pergunta de pesquisa que este trabalho busca responder é: Qual é a viabilidade econômica da produção de biogás em pequenas propriedades de criação de aves de corte na região Sul do Brasil?

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No setor de produção de aves de corte no sistema integrado, existe uma grande necessidade de utilização de recursos naturais. Segundo Palhares (2013) a produção de aves impacta o ambiente de diversas maneiras, citando como exemplo a utilização de grandes quantidades de água, contaminação do solo pelos resíduos, produção de gases, emissão de poeira e odores no ar. Uma alternativa para minimizar esses impactos seria a produção de biogás através de biodigestores, que além de fornecer energia e biofertilizantes, reduzem significativamente a demanda de oxigênio dos efluentes e promove uma redução da emissão do gás metano (CH₄).

Aires (2022) corrobora expondo um caso de sucesso no Brasil com produção de biogás, o empreendimento "3Gs Família de Paula". Trata-se de uma planta de biogás instalada em 2017 na cidade de Boa Esperança do Iguçu - PR. Com investimento de 2,3 milhões de reais nas plantas e capacidade de processar o equivalente a 1000 toneladas de resíduos por ano (equivalente a 4 aviários), o empreendimento gera energia, gás para aquecimento e biofertilizante para as lavouras da propriedade. Neste caso nota-se que se trata de um empreendimento de grande porte, que devido a alta quantidade de resíduos, justifica o valor alto do investimento. O resíduo dos animais é obtido já misturado com a cama de aviário e então utilizado como substrato no biodigestor.

2.1 Cama de aviário

A cama de aviário é todo o material usado para cobrir o piso do galpão que vai alojar as aves. Os materiais mais utilizados para compor uma cama são: a casca de arroz, maravalha (descarte de serrarias de madeira), sabugo de milho picado, capim, entre outros materiais. Esta cama é muito importante para a produção das aves por garantir conforto térmico, funcionando como isolamento das baixas temperaturas do solo do galpão (PASCHOAL, 2015). Geralmente ao final de um ciclo de produção a cama é composta pelos excrementos e penas das aves, restos de ração e o próprio material da cama. Além disso, a cama é essencial para garantir boas condições sanitárias do lote.

Estudos que buscam comparar a eficiência da casca de arroz e da maravalha, quando comparados os dois substratos em diversos critérios de avaliação, por exemplo, de peso ao abate, consumo de ração, mortalidade e bem-estar animal, observam que não há diferença significativa dos resultados que justificasse o uso de um substrato em específico. A cama de aviário apresenta grande quantidade de resíduos, que varia com o número de lotes que passam pelo galpão antes da realização da troca da cama, ou seja, a quantidade de reuso dessa cobertura. Após esses reusos, a cama é substituída, essa cama retirada é uma ótima fonte de nutrientes para o solo, como nitrogênio, e quando utilizado da forma correta possibilita a substituição parcial da demanda de fertilizantes e adubos químicos. Este material também melhora as características físicas do solo, como a capacidade de retenção de água e redução de erosão (DE AVILA; MAZZUCO; FIGUEIREDO, 1992). A cama de aviário é considerada um material de baixo custo, que pode gerar bons retornos a produção quando utilizada como adubo, sendo um dos métodos de reutilização de cama mais aceita pelos agricultores, pois traz maiores benefícios a produção além de diminuir os efeitos agressivos de adubos químicos (COSTA et al., 2008).

2.2 Produção de biogás

A produção de biogás se dá a partir da digestão anaeróbia da biomassa, essa digestão envolve e requer uma condição anaeróbia e processos complexos para transformação de matéria orgânica em dióxido de carbono e metano. O processo de biodigestão é dividido em quatro fases principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). O biogás resultante é composto por diversos gases e sua composição depende da biomassa utilizada. No entanto, existem dois gases que se apresentam com maior concentração, esses gases são o metano (CH₄), compondo 65% do biogás, e o dióxido de carbono (CO₂) (MARCHIORO, 2017). O biodigestor é onde toda reação irá ocorrer, e o ponto principal de um sistema que irá produzir biogás é o biodigestor utilizado, por esse motivo deve-se entender quais são os tipos de biodigestores existentes e quais suas diferenças, a fim de selecionar o equipamento correto. Segundo Minas e Energia (2007) biodigestores podem ser divididos quanto a sua forma de carregamento, os contínuos e os descontínuos (por batelada), definidos no Quadro 1.

Quadro 1- Descrição e apresentação do processo contínuo e batelada.

Processo	Ilustração/Descrição.
Contínuo	O São construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado.
Descontínuo (batelada)	Biodigestor de batelada é um tanque de alvenaria, metal ou fibra de vidro que é carregado e fechado. Após 15 a 20 dias de fermentação, o biogás começa a ser produzido. Depois de utilizar o gás, o biodigestor é aberto, descarregado, limpo e recarregado para iniciar o processo novamente.

Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

O modelo mais comum de biodigestor é o Balão de Lagoa Coberta (BLC), usualmente conhecido como "biodigestor de lona "ou "modelo canadense", é um tanque escavado no solo, impermeabilizado e coberto por materiais geossintéticos, como o PVC e o PEAD. O BLC é o que apresenta menor nível tecnológico e é o mais utilizado no meio rural pela facilidade de construção e manutenção, além de ser o com menor custo (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). Um aspecto importante sobre este tipo de biodigestor é a necessidade maiores Tempos de Retenção Hidráulica (TRH), quando comparado aos outros modelos, fazendo o BLC requerer uma área maior para sua instalação. Por ser menos tecnológico, o BLC geralmente não apresenta sistemas de aquecimento do substrato, que implica em uma grande variabilidade na produção de biogás. Portanto, nestes sistemas, em regiões com inverno rigoroso a produção é bastante reduzida. Este modelo de biodigestor é recomendado para tratamento de resíduos com baixa concentração de sólidos, até 3% (m.v-1), e baixa carga orgânica volumétrica (MARCHIORO, 2017).

Outro modelo de biodigestor é o Reator de Fluxo Ascendente (do inglês, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket [UASB]*). O reator UASB tem como características principais o fluxo ascendente do resíduo até o topo do biodigestor, onde possui um separador trifásico, a alta capacidade de retenção de biomassa e um baixo tempo de retenção hidráulica. Um ponto negativo que este biodigestor apresenta é que seu efluente deve possuir baixa concentração de

sólidos totais (< 2%), devido a questões hidrodinâmicas, fazendo com que seu uso para biomassa de origem animal precise passar por um pré-tratamento (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

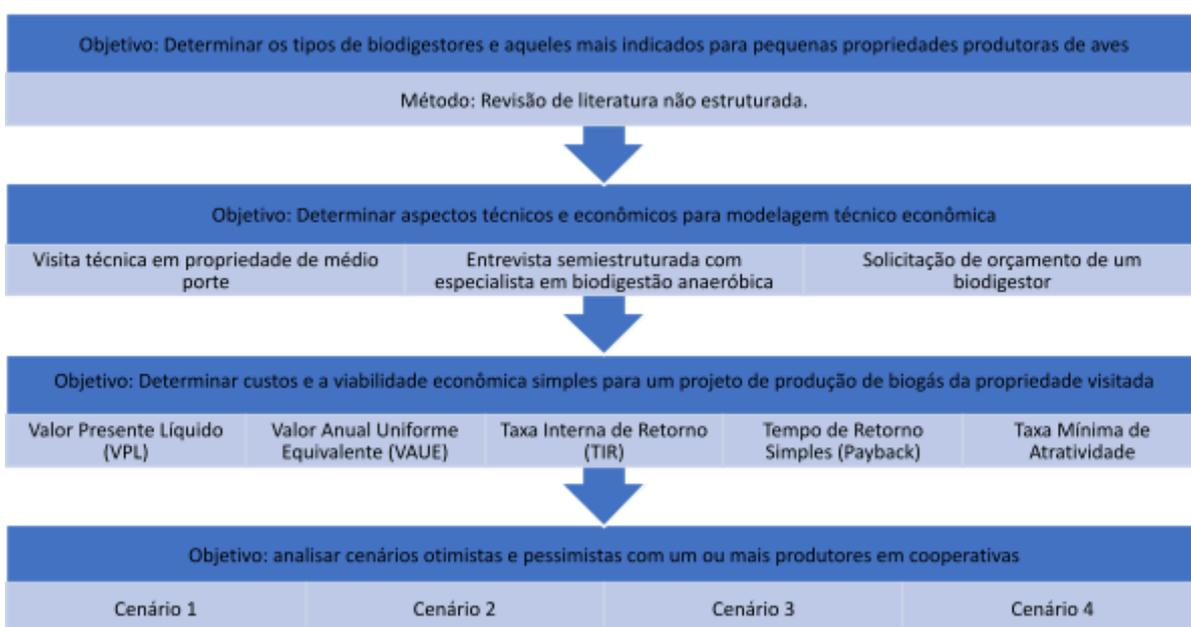
Os biodigestores do tipo Tanque de Agitação Contínua (do inglês, *Continuous Stirred Tank Reactor [CSTR]*), são os mais utilizados na Europa, representando cerca de 90% dos reatores do continente. É um dos modelos mais tecnológicos e devido ao sistema de agitação, seu conteúdo é totalmente homogêneo, fazendo com que suporte altas cargas orgânicas volumétricas e concentração de sólidos totais até 10%. O maior nível tecnológico, que inclui, por exemplo, o sistema de agitação, elevam o custo de implementação e manutenção, em contrapartida há uma melhor transferência de calor, o que garante maior capacidade de produção de biogás (KUNZ et al., 2022).

Os biodigestores em fase sólida são usados quando há resíduos contendo de 20% a 40% de sólidos. Devido à baixa quantidade de água, estes reatores são os que apresentam menor volume. Estes biodigestores apresentam algumas características em comparação aos demais, como: produz de 15% a 40% menos biogás, alimentação descontínua, precisa ser aberto para preenchimento e/ou esvaziamento (KUNZ et al., 2022). Cada modelo de biodigestor abrange necessidades e especificidades do que se procura como requisito na hora de conceber um projeto e efetuar uma análise econômica. Há, portanto, de se definir qual a tecnologia mais adequada para cada estudo de caso.

3. METODOLOGIA

A metodologia empregada é mista, mas baseada em um estudo de caso. Ela é mista pois combina entrevistas semi-estruturadas com especialistas e um exercício de modelagem econômica com dados obtidos a partir de orçamentos e de uma visita técnica em uma pequena/média propriedade produtora de aves. A tabela 2 detalha a forma com que este método foi realizado.

Tabela 2 - Descrição da metodologia adotada.



Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

3.1 Revisão de literatura não-estruturada

Esta etapa teve o objetivo de adquirir informações sobre os biodigestores, e encontrar casos que relatasse a experiência de produtores de aves que possuísem biodigestores. A revisão não estruturada é a base do referencial teórico apresentado. O método foi realizado com levantamento na literatura de forma parcialmente estruturada (VAZ; MALDONADO, 2017). A análise foi feita de forma parcial, pois já atenderia ao objetivo. O método de pesquisa estruturado completo para revisão da literatura que emprega análises quantitativas e qualitativas. Ele consiste em cinco fases: (1) Construção da coleção de artigos; (2) Processo de filtragens; (3) Análise centimétrica; (4) Análise de conteúdo e, (5) Construção das lacunas/oportunidades de pesquisa. Mas neste trabalho foram realizadas integralmente apenas a primeira e a quarta fase.

A pesquisa foi realizada em dezembro de 2022, sendo a parte bibliográfica feita em base internacional e nacional utilizando as combinações das palavras-chave: “*biogas production, poultry farming, chicken manure wastes e chicken droppings*”. Foram encontrados sete artigos na base internacional e seis na base nacional. Os materiais nacionais foram usados para revisão e análise de viabilidade, incluindo (AIRES, 2012; SOMER, 2021; MEDINA, 2021; AIRES, 2022; ZANETTE, 2009; PASCHOAL, 2015). Os internacionais não estavam relacionados diretamente com o tema de viabilidade econômica e foram excluídos da pesquisa.

3.2 Levantamento de dados com agentes do setor

Esta etapa foi realizada antes da análise econômica, uma vez que buscou dados com pessoas, a partir de suas experiências. Foram realizados três contatos, especificados nas subseções seguintes. O objetivo desta parte do método foi aprimorar as estimativas realizadas sobre a produção teórica de biogás da propriedade analisada e buscar por oportunidades e desafios energéticos dos pequenos produtores de aves.

3.2.1 Visita técnica

A pesquisa foi conduzida na cidade de Teutônia-RS, no período de janeiro de 2023, com área de aproximadamente 31 hectares, sendo caracterizada como pequena propriedade familiar, onde reside apenas a família. Desde 2019 a propriedade substituiu sua principal atividade econômica, que até então era produção de grãos como soja e milho, para a produção de frangos de corte no sistema integrado, a produção atualmente é formada por um único galpão no estilo *dark house*, este sistema de criação consiste na automatização do controle de luminosidade e temperatura do aviário, sem interferência das condições ambientais externas. O objetivo é investigar a produção de biogás.

3.2.2 Entrevista

A entrevista foi realizada em março de 2023 de forma semi-estruturada, onde foi indagado o especialista da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária sobre a viabilidade da produção de biogás com cama de aviário feita de casca de arroz. Foi pedido ao especialista para destacar aspectos técnicos e econômicos que viabilizem ou não este tipo de produção.

3.2.3 Solicitação de orçamento

Os investimentos necessários para instalação de um sistema de biodigestão anaeróbia na propriedade estudada foi obtido por meio de orçamento fornecido por uma empresa especializada em implementação de sistemas de biodigestão, no mês de novembro de 2022.

3.3 Análise de indicadores de investimentos

A análise econômica serve para avaliar se um investimento proposto é economicamente viável, ou seja, se vai trazer retornos significativos que justifiquem o investimento necessário. Os custos e despesas de uma empresa estão ligados a saída de caixa, ou seja, ambos são gastos necessários para que uma empresa mantenha seu funcionamento. Os custos são caracterizados como valores gastos ligados direta e indiretamente para produção e/ou comercialização de algum produto. Em geral o custo é inversamente proporcional ao lucro, ou seja, quanto menor o custo maior será o lucro (POMPERMAYER; LIMA, J. E. P., 2002). Os principais tipos de custos estão ligados a matérias-primas, embalagens, materiais auxiliares, mão-de-obra e energia elétrica. Diferente dos custos, as despesas estão ligadas diretamente como um gasto para obtenção de receitas (PASCHOAL, 2015). Ambos os gastos podem ser classificados como fixos ou variáveis, os fixos são os que não variam conforme a quantidade de produção (e.g., aluguéis, salários e entre outros). Já os gastos variáveis são o contrário, dependem totalmente da quantidade de produtos que será produzido, ou seja, um dado aumento percentual na produção, resultará em um aumento nos gastos (GITMAN et al., 2010).

Os investimentos são gastos utilizados para aquisição de bens que irão gerar receitas, como o caso de compra de terrenos, maquinários e implementos (OLIVO; BOSCHILIA, 2012). Investimentos são realizados com o objetivo de serem recuperados no futuro, o valor inicial pode ser proveniente de terceiros, como financiamentos e empréstimos, ou ser proveniente de recursos próprios (dinheiro do proprietário). Sempre que houver retorno do investimento e esse valor superar o custo de capital ou o custo de oportunidade, há criação de valor ou riqueza (ASSAF NETO, 2020). A análise econômica é uma etapa fundamental para determinar a capacidade de um projeto gerar lucros e/ou reduzir custos para os produtores, para isso existem diversas maneiras de fazer essa análise.

3.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

VPL é uma técnica de orçamento de capital, que consiste em considerar o valor do dinheiro no tempo. O VPL é encontrado subtraindo o valor inicial de um projeto dos valores de entrada de caixa. Se o VPL for maior que zero, significa que o retorno do investimento é maior que o custo capital, mostrando que o investimento é viável e aumentará a riqueza do proprietário (GITMAN et al., 2010). O VPL representa o retorno atualizado líquido gerado por um projeto, permitindo a análise de sua viabilidade econômica em longo prazo, podendo ser obtido utilizando a Equação (1).

$$VPL = -\Pi + \sum_{j=1}^n \frac{FE_j}{(1+r)^j} \quad (1)$$

3.3.2 Valor Anual Uniforme Equivalente (VAUE)

VAUE consiste em determinar a "série uniforme anual equivalente" de um fluxo de caixa, levando em consideração a taxa de juros como a taxa mínima de atratividade. Ao tomar uma decisão, é importante considerar que a alternativa mais adequada é aquela que apresenta um saldo positivo superior em relação às outras opções disponíveis (CASAROTTO FILHO; KOPITTKKE, 2010). Para obter o VAUE, faz-se o uso da Equação (2).

$$VAUE = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} * \left[\frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (2)$$

3.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

TIR é uma das técnicas de orçamento de capital mais utilizadas. Ela consiste em encontrar a taxa que faça o VPL se igualar a zero, e serve como estimativa do desempenho do investimento. Se a TIR for menor que o custo capital, ou menor que a Taxa Mínima de Atratividade, o indicado é não fazer o investimento (GITMAN et al., 2010). Essa abordagem garante que a empresa obtenha um retorno de investimento igual ou superior ao mínimo exigido por ela. Isso ajuda a garantir a rentabilidade e a eficiência dos investimentos da empresa (ARAÚJO, 2010).

3.3.4 Retorno de investimento (Payback)

Payback simples é o prazo necessário para que um investidor recupere o valor inicial do investimento, calculado com base nas entradas de caixa. O objetivo do *payback* é mais intuitivo e não possui ligação com a maximização do capital que o investidor vai obter (GITMAN et al., 2010). Ao utilizar este método, se o período de *payback* do projeto for menor do que o máximo aceitável, o projeto é considerado viável. É importante ressaltar que o período de *payback* máximo é uma escolha subjetiva e pode variar de acordo com critérios estabelecidos, o que acaba sendo um dos desafios associados a esse método de avaliação (ARAÚJO, 2010).

3.3.5 Taxa mínima de atratividade (TMA)

TMA é o montante mínimo de lucro ou benefício que um investidor espera obter ao realizar um projeto. Essa medida serve como critério para avaliar a viabilidade do projeto, pois se o retorno não alcançar ou ultrapassar essa exigência, torna-se inviável prosseguir com o empreendimento. Portanto, ao iniciar um projeto, é indispensável considerar o retorno exigido como um parâmetro fundamental para garantir a efetividade e o êxito do empreendimento (ARAÚJO, 2010).

3.4 Elaboração de cenários

A viabilidade de um projeto depende do equilíbrio entre custos e benefícios, e a análise de cenários é fundamental para identificar quando ele se torna viável. Após uma entrevista com um especialista, foi constatado que a implantação de biodigestores em apenas um aviário pode não ser economicamente viável. Portanto, para validar tal informação serão analisados quatro cenários:

- Cenário 1 - O primeiro cenário avalia a viabilidade de um biodigestor em um único aviário atualmente em funcionamento, considerando os custos de implementação em relação à geração de receita para determinar a viabilidade do projeto.
- Cenário 2 - No segundo cenário, serão considerados os mesmos custos de implementação do biodigestor, porém, será levado em conta a utilização de dois aviários com as mesmas características do cenário anterior.
- Cenário 3 - O terceiro cenário envolve o uso da biomassa produzida por três aviários. Essa análise visa verificar se a produção de biogás proveniente de três aviários seria capaz de equilibrar os custos e determinar se o projeto se torna econômica e financeiramente atrativo.
- Cenário 4 - O quarto cenário é considerado pessimista, com uma capacidade de conversão de biogás em energia menor do que nos cenários anteriores. Nesse caso, será utilizada a quantidade de produção de energia de 4,2 kWh por metro cúbico de biogás produzido. Essa análise utiliza o melhor dos três cenários otimistas.

Esses cenários são escolhidos com base na capacidade dos equipamentos e geradores para atender à demanda de até três aviários. A análise de cenários proporcionará uma visão abrangente das implicações financeiras, ajudando na tomada de decisões fundamentadas para garantir a viabilidade do projeto.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Esta discussão está estruturada pelas estimativas de produção baseada na visita técnica, orçamento e indicações da entrevista. Em seguida, a análise econômica é propriamente apresentada, com os cinco indicadores previamente selecionados.

4.1 Estimativa da Produção de Biogás da Propriedade

Estudo teve início com a estimativa da temperatura adequada para a produção eficiente de biogás, onde foi constatado que a utilização do biogás para o aquecimento das granjas não é viável na região Sul do país. A temperatura média da região durante o inverno situa-se abaixo ou próxima de 15°C. Consequentemente, assume-se que toda a produção de biogás na propriedade seria direcionada exclusivamente para a geração de energia, em vez de ser utilizada para o aquecimento.

Utilizando os dados fornecidos pelo proprietário referentes à produção do último ciclo de 8 lotes da propriedade, cujo ciclo contemplou o período de dezembro de 2020 a março de 2022 (17 meses). Foi realizado um cálculo aproximado referente ao potencial de geração de biogás de 1 aviário com dimensões de 150x16m (comprimento x largura), totalizando 2400m², com capacidade de alojar até 35 mil aves por lote (Como ilustra a Figura 1). Este valor aproximado considera que todo o potencial da cama é mantido ao longo dos 17 meses. O valor obtido é de uma produção de 13.400 m³ de biogás/ciclo de produção, ou 26 m³ por dia. Levando em conta a proposta de Oliver et al. (2008), que estima a produção de energia em 5,5kWh por metro cúbico de biogás, pode-se estimar a produção de energia em 74.131,2kWh por ciclo de produção.

Figura 1 Ilustrações da propriedade analisada.



Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

O consumo de energia neste ciclo foi de 80.475 kWh. Sendo assim, pode-se admitir que a produção de biogás suprirá 92,12% da necessidade energética, sendo a propriedade quase autossuficiente. Ainda, com dados da Cooperativa Regional de Desenvolvimento Teutônia (Certel), distribuidora de energia da região, a tarifa de energia elétrica cobrada para produtores rurais é de R\$0,52140/kWh. Logo, em termos monetários, a produção de biogás utilizando sistema de biodigestão resulta em uma economia aproximada de R\$38.652,00 por ciclo.

4.2 Orçamento da Instalação do Biodigestor

O investimento necessário é de R\$637.657,41, deve-se destacar que de acordo com a empresa especializada, no orçamento estão inclusos todos os encargos desde a contratação até a instalação de todos os equipamentos necessários para a geração da energia, incluído a mão-de-obra especializada que irá fazer a instalação. A empresa ainda se compromete com uma garantia de 10 a 15 anos dependendo do equipamento, como exemplo, o gerador possui uma garantia de 15 anos e o biodigestor 10 anos.

Para o caso foi considerado um motogerador com potência nominal de 13kW, que possui capacidade de trabalhar com vazão de 3,6 m³/h de biogás, o que representa três vezes da capacidade necessária para o atual cenário, onde a vazão está em aproximadamente 1,26 m³/h, isso se dá, pois é um dos menores geradores a gás encontrados no mercado.

Foi realizado a estimativa de custos de manutenção do sistema de produção de biogás, utilizando como base o estudo realizado por Aires (2012), foi levado em consideração custos com gerador (troca de óleo, rolamentos, sistema de refrigeração, alternador e sistema de combustível), troca da lona do biodigestor, manutenção no sistema de canalização do biogás, limpeza e reforma do sistema de coleta de água, reforma nos tanques de agitação, peneiras e soprador de biogás. Com isso o custo foi calculado em R\$8.333,77 ao ano.

4.3 Resultado da entrevista

Durante uma entrevista com o especialista, foi possível aprofundar o conhecimento sobre esse processo sustentável que é a produção de biogás. A conversa revelou uma série de

informações valiosas que demonstram o potencial dessa tecnologia inovadora para promover a geração de energia limpa e contribuir para a gestão ambiental.

Um ponto importante discutido na entrevista foi a tecnologia utilizada para a produção de biogás com cama de aviário de casca de arroz. Sistemas avançados de digestão anaeróbica e de coleta de biogás foram destacados como elementos essenciais para maximizar a eficiência desse processo. Foi enfatizada a importância do monitoramento constante das condições do sistema para garantir um desempenho ideal e uma produção contínua de biogás.

Além disso, ficou claro que a produção de biogás a partir da cama de aviário não é apenas benéfica do ponto de vista ambiental, mas também pode ser uma fonte de renda adicional para os produtores de aves. Uma vez que o metano gerado vai ser convertido em eletricidade, calor ou combustível para veículos, proporcionando uma fonte de energia renovável e, potencialmente, uma receita adicional para os produtores.

4.4 Análise de Viabilidade Econômica

Para a análise de viabilidade econômica os demais custos relacionados à produção de frangos, como os custos de operação e financiamento do aviário, não foram incluídos nas despesas consideradas. Os custos operacionais incluíram a mão-de-obra do produtor, pois foi considerado que todas as atividades relacionadas à operação do biodigestor, como abastecimento, limpeza e tarefas diárias necessárias para garantir o seu bom funcionamento, são realizadas pelo próprio produtor que o salário recebido por ele para operação do biodigestor é de R\$6.400,00 por ciclo, este valor se deve ao fato de ser um trabalho esporádico, não exigindo muito tempo diário do mesmo. Essa abordagem permitiu reduzir os custos operacionais envolvidos no processo.

Atribuiu-se um horizonte de 10 ciclos de produção para o cálculo do fluxo de caixa, pois esse prazo é próximo aos prazos de financiamentos rurais e a vida útil do biodigestor.

Para a TMA, foi utilizado o método WACC, onde é considerada a taxa de financiamento do banco, uma vez que não existe utilização de capital próprio. Sendo assim, foi feita uma simulação de financiamento junto a cooperativa de crédito, onde constatou que o programa que a implementação do biodigestor se enquadra é o Inova-agro, que possui taxa de juros de 10,5% ao ano.

Foi encontrada a taxa de juros real, a partir da taxa de juros nominal do financiamento, utilizando inflação igual a 5,8%. A taxa de juros real encontrada foi de 4,44% ao ano. Como um ciclo de produção refere-se a 16 meses, ou 8 lotes de produção, é necessário fazer a conversão da taxa de anos para o ciclo, para isso converte-se a taxa anual em mensal, obtendo uma taxa mensal de 0,36%. Por fim foi encontrada a taxa de juros, para o período de 16 meses, igual a 5,92%. Portanto assume-se esta como a TMA.

4.4.1 Cenário 1

Foi realizado o fluxo de caixa com intervalo de 10 ciclos, levando em consideração as despesas e receitas atribuídas acima. Após analisar o fluxo de caixa no cenário atual com 1 aviário, pode-se concluir que o investimento não é viável, uma vez que o valor investido não é recuperado dentro dos 10 ciclos de produção analisados, conforme observado no *Payback*.

Ao analisar o VPL, verifica-se que o investimento não é viável, pois o seu valor é negativo, ficando em -R\$392.449,90. Essa constatação reforça a inviabilidade econômica do projeto. Da mesma forma, o VAUE também indica a inviabilidade do investimento, mostrando que a cada ano o produtor teria um prejuízo de R\$53.114,82. Essa evidência reforça a falta de viabilidade financeira do projeto. Além disso, a TIR apresenta um valor abaixo da taxa mínima de atratividade, chegando a ser negativa, -11,59%. Isso indica que o retorno esperado do investimento não é satisfatório em relação ao custo de oportunidade do capital.

4.4.2 Cenário 2

Na segunda análise, foi considerado um cenário hipotético em que o produtor possui um aviário adicional com as mesmas características. Nesse contexto, o custo de implementação do sistema foi mantido inalterado, enquanto os custos de produção e as receitas foram multiplicados por 2, com base nisso foi elaborado um novo fluxo de caixa atualizado.

O primeiro aspecto que pode ser observado é que não ocorre o *Payback* dentro dos 10 ciclos analisados. Além disso, ao examinar o VPL, nota-se que os resultados continuam apresentando valores negativos, chegando a um total de -R\$78.964,53 ao final do décimo ciclo. Essa constatação evidencia que o projeto ainda não se mostra viável do ponto de vista econômico, uma vez que os retornos esperados não são suficientes para cobrir os custos iniciais do empreendimento.

Outro indicador que reforça a inviabilidade econômica do projeto é o VAUE, que revela um prejuízo de -R\$10.688,12 por ciclo ou um montante total de -R\$106.881,22 ao longo do período de dez ciclos. Por fim, a análise da TIR reafirma a falta de atratividade do investimento, pois seu valor de 3,23% fica abaixo da taxa mínima de atratividade estabelecida.

4.4.3 Cenário 3

Conforme mencionado anteriormente, verificou-se que o orçamento fornecido pela empresa é suficiente para cobrir a produção de biogás de três aviários. Portanto, procedeu-se à análise considerando um cenário em que o produtor possui três aviários com características semelhantes às do aviário em estudo.

Da mesma forma que foi feito anteriormente, optou-se por manter o custo de implementação do sistema, enquanto os custos de produção e as receitas foram multiplicados por 3, levando em conta o número de aviários envolvidos. Com base nesse cenário expandido, foi elaborado um novo fluxo de caixa.

Ao analisar o novo fluxo de caixa, é evidente que os resultados diferem significativamente dos dois primeiros cenários examinados. Observa-se que o *Payback* descontado ocorre a partir de 7,5 ciclos de produção. Além disso, neste novo cenário, é possível constatar que o VPL passa a apresentar resultados positivos, totalizando R\$254.808,93 ao final do décimo ciclo. Essa mudança indica que o investimento se tornou economicamente viável, com o retorno esperado superando os custos iniciais e gerando ganhos financeiros.

Por sua vez, a análise do VAUE também confirma a viabilidade econômica do projeto, revelando um lucro de R\$34.489,27 por ciclo ou um total de R\$344.892,70 ao final do período de dez ciclos. Essa métrica demonstra que o projeto é capaz de gerar retornos financeiros consistentes e favoráveis ao longo do tempo.

Por fim, ao examinar a TIR, constata-se que a atratividade do investimento é significativa, uma vez que sua taxa supera em quase três vezes a taxa mínima de atratividade, alcançando 13,70%. Essa evidência ressalta que o projeto apresenta um retorno satisfatório em relação ao custo de oportunidade do capital, tornando-o financeiramente atrativo e promissor.

4.4.4 Cenário 4

Conforme mencionado anteriormente, verificou-se que o melhor cenário foi com 3 aviários, por isso, o cenário pessimista vai ser feito com base no fluxo de caixa do mesmo. Da mesma forma que foi feito anteriormente, optou-se por manter o mesmo custo de implementação do sistema, enquanto os custos de produção e as receitas foram alterados para a produção de energia equivalente a 4,2 kWh por metro cúbico de biogás, o que resultou num valor de receita com energia de R\$ 88.548,24.

Ao analisar o novo fluxo de caixa, é evidente que os resultados diferem significativamente dos dois primeiros cenários examinados. Observa-se que o Payback ocorre após 9,8 ciclos de produção. Além disso, neste novo cenário, é possível constatar que o VPL mantém resultados positivos, totalizando R\$53.378,60 ao final do décimo ciclo. Esse valor indica que o investimento não deixa de se tornar economicamente viável, mesmo com uma queda significativa na geração de energia.

Por sua vez, a análise do VAUE também confirma a viabilidade econômica do projeto, revelando um lucro de R\$7.089,01 por ciclo ou um total de R\$70.890,10 ao final do período de dez ciclos. Essa métrica demonstra que o projeto é capaz de gerar retornos financeiros consistentes e favoráveis ao longo do tempo.

Adicionalmente, ao examinar a TIR, constata-se que a atratividade do investimento é significativa, uma vez que sua taxa continua a superar a TMA, alcançando 7,62%. Com base nas análises realizadas, chega-se à conclusão de que o projeto se mostra viável ao ser implementado em três aviários, mesmo considerando um cenário pessimista, que pode representar fatores que possam a vir a prejudicar a produção de biogás, como frios muito intensos ou perda de capacidade de geração da biomassa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo corrobora com a literatura onde Aires (2012) aponta que existe uma clara necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para reciclar os resíduos gerados na avicultura, aproveitando toda a energia e nutrientes existentes na cama de frango de maneira adequada, com o objetivo de mitigar os danos ao meio ambiente. Conforme abordado neste estudo, é notável a inviabilidade econômica da instalação de biodigestores em propriedades de pequenos produtores, devido aos altos custos de aquisição e implementação do sistema.

No entanto, sugere-se a criação de uma cooperativa de energia renovável, onde os produtores rurais próximos, especialmente aqueles com granjas de criação de aves, poderiam

contribuir com seus resíduos orgânicos para um biodigestor central. Dessa forma, o biogás gerado poderia ser utilizado para produzir eletricidade, proporcionando maior autonomia energética às propriedades e possibilitando a redução das contas de energia com o auxílio do *net-metering*, um sistema de compensação de energia, que se mostra essencial para se adaptar às variações de demanda de energia nas granjas. Além disso, em uma possível consolidação da produção, os produtores teriam a opção de alugar o sistema gerador, garantindo um fluxo ainda mais estável de energia.

A proposta da cooperativa de energia, baseada na produção de biogás, traria benefícios significativos tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico. Ao converter os resíduos orgânicos em energia limpa, os produtores rurais poderiam reduzir seus custos com eletricidade, aumentar sua independência energética e diversificar suas fontes de renda, enquanto contribuem para a mitigação do impacto ambiental decorrente desses resíduos.



Fonte: elaborado pelos autores, (2023).

Além disso, a cooperativa fortaleceria a comunidade rural, promovendo a cooperação e o desenvolvimento sustentável. A troca de experiências e conhecimentos entre os produtores poderia estimular a adoção de práticas mais sustentáveis em outras áreas da produção agropecuária. A criação da cooperativa abriria oportunidades para novos negócios rentáveis, como o comércio de biofertilizantes sólidos, a produção de biometano para uso nos veículos das propriedades e a co-digestão de biomassa com os resíduos orgânicos municipais. Adicionalmente, a cooperativa seria uma solução para evitar o acúmulo de resíduos de cama, especialmente se os ciclos de produção fossem intercalados, proporcionando uma vantagem adicional para a produção de biogás.

6. REFERÊNCIAS

ABOUELENIEN, F. et al. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. **Bioresource technology**, Elsevier, v. 101, n. 16, p. 6368–6373, 2010.

AIRES, A. M. Desenvolvimento de um sistema para o pré-processamento da cama de frangos de corte destinada a biodigestor anaeróbia e compostagem in-vessel. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2012.

AIRES, A. M. Desenvolvimento de planta de biogás para cadeia avícola: Caso 3Gs Família De Paula. **Bioenergy Solution**, n.a., 2022.

ARAUJO, D.F. Análise de viabilidade econômica de novos projetos. Universidade Candido Mendes - UCAM, 2010.

ASSAF NETO, A.; Estrutura e análise de balanços: um enfoque econômico-financeiro, 2020.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B.H. Investment Analysis: Financial Mathematics, Economic Engineering. Decision Making, **Business Strategy**, 2010.

DE AVILA, V. S.; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P.; Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. Concordia: EMBRAPA-CNPSA, 1992.

GITMAN, L. J. et al. Princípios de administração financeira. Pearson Education do Brasil, 2010.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C.; Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento da digestão. Concordia: **Sbera: Embrapa Suínos e Aves**, 2022.

MARCHIORO, V. Digestão anaeróbia em estado solido de cama de aviário a diferentes razoes de substrato/inoculo e intervalos de recirculação. Universidade Federal da Fronteira Sul, 2017.

MINAS E ENERGIA, Ministério. Serie Energias Renováveis - Biomassa. 1. ed. Brasília: [s.n.], 2007.

OLIVO, A. M.; BOSCHILIA, L. Contabilidade geral e gerencial: conceitos introdutórios para os cursos superiores de tecnologia. Florianópolis: IF-SC, 2012.

PALHARES, J. C. P. Impacto ambiental na produção de frangos de corte: revisão do cenário brasileiro. **Manejo Ambiental na Avicultura**. v. 9, n. 05, 2013.

PASCHOAL, F. A. Produção de biogás a partir de resíduos da avicultura: um estudo de caso no município de Tambora. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

POMPERMAYER, C. B.; LIMA, J. E. P.; Gestão de custos. Finanças empresariais. Curitiba: Associação Franciscana de Ensino Senhor Bom Jesus. **Coleção Gestão Empresarial**, n. 4, p. 49–68, 2002.

SOMER, J. G et al. Produção de biogás a partir da codigestão de cama de frango e efluente de suinocultura. 2021. Dissertação. (Mestrado).

VAZ, C. R.; URIONA MALDONADO, M. Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (*Scientometric and Systematic Yielding Mapping Process*). **Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos da Engenharia de Produção**, UFSC Florianópolis, Brasil, v. 1, p. 21–42, 2017.

ZANETTE, A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

UDOP (São Paulo). **Produção de Biogás Aumenta 21,3% no Brasil em 2022**. 2023. Elaborado por Carla Aranha. Disponível em: <https://www.udop.com.br/noticia/2023/01/12/producao-de-biogas-aumenta-21-3-no-brasil-em-2022.html>. Acesso em: 20 jun. 2023.

SÃO PAULO. Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). **Relatório Anual 2021**. 2022. Disponível em: <https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2023/01/abpa-relatorio-anual-2021.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2022.

COSTA, C. A. F.; AVILA, V. S.; OLIVEIRA, U.; FIGUEIREDO, E. A. P.; ABREU, V. M. N.; ROSA, P. S. **Avaliação de materiais alternativos em substituição à maravalha como cama de aviário**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, [S.L.], v. 37, n. 2, p. 273-277, fev. 2008. UNIFESP (SciELO).