

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ALCEDIR JUNIOR DE FREITAS

ANÁLISE DA VIABILIDADE E POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES
PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE
OVINOS E CAPRINOS

Curitiba-PR

2026

ALCEDIR JUNIOR DE FREITAS

ANÁLISE DA VIABILIDADE E POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE BIODIGESTORES
PARA APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE
OVINOS E CAPRINOS

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Especialização em MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dhyogo Miléo Taher

Curitiba-PR

2026

RESUMO

O crescimento constante da atividade agropecuária e a busca por atividades econômicas com um mínimo impacto socioambiental trazem consigo o desafio de uma gestão e manejo mais sustentáveis dos resíduos da produção de proteína animal. Neste contexto, a digestão anaeróbia destes resíduos apresenta-se como alternativa para a transformação destes em subprodutos utilizáveis, como o biogás e o biofertilizante. Ainda, o aproveitamento do potencial energético do biogás para geração e comercialização de eletricidade destaca-se pela necessidade de diversificação da matriz energética. No Brasil, em especial, pelo tamanho do seu rebanho e pelo pioneirismo e liderança em geração de energia limpa, o assunto se torna ainda mais atrativo. Assim sendo, o objetivo deste trabalho foi avaliar, com base na teoria e dados disponíveis acerca da biodigestão anaeróbia, a viabilidade de implantação de processo de aproveitamento de resíduos da produção de carnes nobres e embutidos de uma cooperativa de pequenos produtores do centro-sul do estado do Paraná. Os resultados indicam viabilidade técnica e operacional para as propostas avaliadas. Entretanto, a implantação esbarra, momentaneamente, na viabilidade econômica, prejudicada principalmente por condições específicas do mercado de equipamentos para o atendimento deste tipo de demanda.

Palavras-chave: biodigestão anaeróbia, biogás, dejetos, ovinos, caprinos.

ABSTRACT

The steady agribusiness growths and the pursuit of economic activities with minimal socio-environmental impacts bring the challenge of more sustainable management and handling of animal protein production wastes. In this context, the anaerobic digestion of these residues emerges as an alternative for transforming waste into usable by-products, such as biogas and biofertilizer. Furthermore, harnessing the energy potential of biogas for electricity generation and commercialization stands out due to the need for diversifying the energy matrix. In Brazil, specifically, due to the size of its livestock herd and its pioneering leadership in clean energy generation, the subject becomes even more compelling. Therefore, the objective of this study was to evaluate, based on theory and available data regarding anaerobic biodigestion, the feasibility of implementing a waste recovery system for premium meat and sausage production in a small-scale producers' cooperative in the south-central region of the state of Paraná. The results indicate technical and operational feasibility for the evaluated proposals. However, the implementation of the system currently faces economic hurdles, primarily hindered by specific market conditions for equipment suited to this type of demand.

Keywords: biodigestão anaeróbia, biogás, dejetos, ovinos, caprinos.

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 7 |
| 1.1 Apresentação do cenário local e da motivação do estudo | 7 |
| 1.2 Relevância do aproveitamento energético de resíduos..... | 7 |
| 1.3 Objetivo geral do trabalho | 8 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 9 |
| 2.1 Fundamentos da digestão anaeróbia | 9 |
| 2.2 Tecnologias de biodigestores aplicáveis a pequenas propriedades..... | 9 |
| 2.2.1 Tipos de biodigestores: | 10 |
| 2.2.2 Dimensionamento dos biodigestores: | 11 |
| 2.3 Estudos de caso semelhantes..... | 11 |
| 2.4 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS..... | 11 |
| 2.5 Políticas públicas e incentivos disponíveis | 12 |
| 3 METODOLOGIA..... | 13 |
| 3.1 Quantificação de resíduos Caracterização da cooperativa | 13 |
| 3.1.1 Caracterização da Cooperativa: | 13 |
| 3.1.2 Levantamento de dados | 14 |
| 3.2 Potencial geração de biogás | 14 |
| 3.3 Potencial produção energia..... | 14 |
| 3.4 ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO | 15 |
| 3.4.2 Viabilidade técnica | 17 |
| 3.4.3 Viabilidade operacional | 17 |
| 3.4.4 Viabilidade econômica..... | 18 |
| 3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS | 19 |
| 3.6 PROPOSTAS ALTERNATIVAS | 20 |
| 3.7 POLÍTICAS PÚBLICAS, GARGALOS E OPORTUNIDADES | 20 |
| 3.8 cONSIDERAÇÕES FINAIS | 20 |
| REFERÊNCIAS | 22 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO CENÁRIO LOCAL E DA MOTIVAÇÃO DO ESTUDO

Os históricos e projeções de crescimento da demanda mundial de proteínas animais (carne) são frutos do crescimento populacional constante, associado ao crescimento da urbanização e renda, especialmente em países em desenvolvimento. Neste contexto, a produção mundial de ovinos, por exemplo, tem previsão de atingimento de 19,1 milhões de toneladas em 2025 – um acréscimo de 0,6% em relação a 2024 (FAO ONU, 2025).

No Brasil, conforme dados da EMBRAPA, as maiores populações de ovinos e caprinos estão localizadas na região Nordeste.

No Paraná a produção é dispersa e com a prevalência de pequenos produtores.

Neste contexto, na região centro-oeste do Paraná, diversos pequenos criadores, em maioria famílias de renda e capital insuficientes para investimentos significativos na produção, decidiram se associar em cooperativa para o compartilhamento de recursos (de abate, corte, embalagem, refrigeração e distribuição de sua produção), ganhos de escala na negociação, bem como para a obtenção de incentivos fiscais decorrentes deste tipo de associação.

Dentre as alternativas para a melhoria das condições econômico-financeiras da cooperativa, há o aproveitamento energético dos resíduos da criação e do manejo dos ovinos e caprinos, através da produção de biogás.

1.2 RELEVÂNCIA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS

Os dejetos e resíduos originários da agropecuária são encarregados por 20% das emissões de diversos gases poluentes na atmosfera – quantidade extremamente significativa se equiparada às indústrias, que representam 32% do total dos emissores (Konzen, 2005).

Este potencial poluidor é devido, basicamente, à disposição inadequada do material orgânico (resíduos e dejetos) remanescente da criação e manejo dos animais.

Estes resíduos orgânicos são constituídos de elevada proporção de biomassa, podendo ser definidos como uma mistura de fezes, urina e camas. Sua composição dependerá da espécie animal, da idade e das condições dos animais, da natureza e quantidade de alimento que os mesmos recebem, do tipo de manipulação e conservação do esterco e da composição das camas (Amorim, 2002).

Quando corretamente manejados e utilizados, estes podem ser convertidos em ótimas fontes de nutrientes para os solos agrícolas (Konzen e Alvarenga, 2007) e, através da digestão anaeróbia, em biogás.

Vale ressaltar que a utilização energética de resíduos e efluentes orgânicos provenientes da produção agropecuária, da indústria e de serviços municipais de saneamento (RSU, esgotos e lodos sanitários), por meio da digestão anaeróbica, tem uma importância crescente no Brasil, uma vez que essas tecnologias permitem aliar a produção energética aos serviços de saneamento básico ambiental (Probiogás, 2015).

1.3 OBJETIVO GERAL DO TRABALHO

Assim, este trabalho visa a análise da viabilidade e do potencial uso destes resíduos e, caso aplicável, o apoio na obtenção de recursos em linha de crédito específica para a implantação do projeto no âmbito da Cooperativa dos produtores de Ovinos e Caprinos do Centro-Oeste do Paraná.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS DO TRABALHO

Como objetivos específicos, tem-se:

- Revisão bibliográfica para avaliação da viabilidade técnica do uso dos rejeitos de caprinos e ovinos para a produção de biogás;
- Levantamento da disponibilidade de resíduos decorrentes da produção de carnes de ovinos e caprinos da cooperativa de referência do centro-oeste do Paraná, bem como do seu potencial energético;
- Avaliação das viabilidades operacional, e técnico-econômica da implantação de processo de produção de biogás (biodigestor) a partir do potencial energético identificado;
- Pesquisa mercadológica acerca dos equipamentos disponíveis para a produção e utilização do biogás para a geração de energia;
- Caso concluído como viável, assessoramento à cooperativa para a elaboração de projeto para obtenção de financiamento estatal para a implantação da produção de energia através do biogás gerado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, no qual um consórcio de diferentes tipos de microrganismos interagem estreitamente para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando, principalmente, nos gases metano e dióxido de carbono (Toerien *et al.*, 1969; Mosey, 1983; Novaes, 1986; Foresti *et al.*, 1999, citados por Steil, 2001).

A exploração do potencial energético dos dejetos da agropecuária através da tecnologia do biogás é somente um dos benefícios da biodigestão anaeróbia, sendo capaz também de serem elencados a diminuição de odores, erradicação de patógenos, redução da necessidade bioquímica de oxigênio (DBO), geração de biofertilizante de excelente qualidade, pouca produção de lodo, baixos custos operacionais e de capital investido e viabilidade de estruturas descentralizadas de tratamento de dejetos (Oliveira, 2004).

Todas as tecnologias aqui apresentadas são adequadas para a digestão de resíduos, exigindo em alguns casos complementações e adaptações técnicas (por exemplo, higienização de resíduos críticos) (Probiogás, 2015).

2.2 TECNOLOGIAS DE BIODIGESTORES APLICÁVEIS A PEQUENAS PROPRIEDADES

Biodigestor, ou reator anaeróbio, é um reservatório fechado que reproduz as condições ambientais adequadas para o desenvolvimento de um consórcio de microrganismos anaeróbios capazes de degradar os substratos orgânicos em vários produtos, como por exemplo H_2S , NH_3 , CO_2 , CH_4 .

A função do reator anaeróbio é acelerar o processo de digestão anaeróbia, criando condições favoráveis para manter os micro-organismos anaeróbios ativos em contato direto com o substrato orgânico (resíduo).

Há diversos modelos de configuração dos reatores anaeróbios, podendo ser classificados quanto à forma de operação, agitação do substrato, temperatura do processo, fluxo de alimentação, entre outros.

Cada tipo de biodigestor apresenta vantagens e desvantagens em função das características do material orgânico a ser tratado, da demanda energética e do uso do

biofertilizante produzido. A escolha do tipo do biodigestor adequado deve considerar esses fatores e ser feita de forma criteriosa para garantir a eficiência do processo e a viabilidade econômica e ambiental do sistema.

A utilização dos biodigestores no meio rural tem merecido destaque devido aos aspectos de saneamento e energia, além de estimular a reciclagem orgânica de nutrientes, pois isolam os resíduos dos humanos e dos animais, proporcionando diminuição de moscas e odores, permitindo também a redução de sólidos e tornando mais disponíveis os nutrientes para as plantas (biofertilizante). Além disso, o biogás produzido pode ter o seu conteúdo energético aproveitado na própria atividade (em aquecimento, refrigeração, iluminação, incubadoras etc) e/ou na geração de energia. O biofertilizante deve ser visto como um benefício adicional, e aplicado no solo (Lucas Jr, 2000).

2.2.1 Tipos de biodigestores:

Para o ambiente rural e de resíduos agropecuários, se destacam especificamente os biodigestores dos tipos:

- Batelada: É um biodigestor em que a carga orgânica é adicionada de uma só vez e o processo de digestão ocorre em ciclos de carga e descarga. É mais indicado para pequenas propriedades e para o tratamento de resíduos com alta concentração de sólidos, como esterco animal. É um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional (sem a necessidade de sistemas de agitação, aquecimento e recirculação, por exemplo). Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou uma série de tanques em série.
- Plug Flow: biodigestor em forma de tubo horizontal, em que a carga orgânica é adicionada em uma das extremidades e o processo de digestão ocorre em fluxo unidirecional. É mais indicado para o tratamento de resíduos com alta concentração de sólidos, como resíduos de abatedouros e de suinoculturas.
- CSTR (Continuously Stirred Tank Reactor): biodigestor em forma de tanque agitado, em que a carga orgânica é adicionada e misturada continuamente. É mais indicado para o tratamento de resíduos líquidos com alta concentração de nutrientes, como efluentes de laticínios e de indústrias de alimentos.

- Lagoas anaeróbias cobertas: são de fácil construção e utilizados para o tratamento de efluentes provenientes da agropecuária, da indústria (laticínios, carne e outros) e do tratamento do esgoto sanitário. Geralmente, não são capazes de tratar completa e adequadamente os efluentes e, em muitos casos, não apresentam cobertura eficaz, deixando escapar gás metano para a atmosfera. (Probiogás, 2015).

2.2.2 Dimensionamento dos biodigestores:

Conforme Viegas *et al.*, (2023), uma vez conhecida a carga diária do substrato a ser utilizado no biodigestor (VC), é possível calcular o volume útil do biodigestor (VB) por meio da equação 1 – na qual TRH é o tempo de retenção hidráulica do substrato no biodigestor.

$$VB = VC \times TRH \quad (1)$$

2.3 ESTUDOS DE CASO SEMELHANTES

No quadro 1, apresenta-se resumo de estudos de caso semelhantes, envolvendo a produção de biogás a partir de dejetos de ovinos e caprinos.

QUADRO 1 – ESTUDOS ACERCA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE OVINOS E CAPRINOS

| Referência | Objetivo | Resultados |
|--|--|---|
| Al-Masri (2001), citada por Amorim, 2002 | Comparação de desempenho de dejetos de caprinos e ovinos | Maior consumo de energia e maior redução de sólidos totais e voláteis nos dejetos de ovinos, em relação aos dejetos de caprinos |
| Misi e Forster (2001), citada por Amorim, 2002 | Comparação dos processos de biodigestão anaeróbia com misturas de substratos | Valores de referência para produção de biogás em misturas com 70% de dejetos de ovinos e caprinos |
| Zanato (2014) | Comparativo de produção e qualidade de biogás gerado a partir de dejetos de diferentes tipos de animais | Valores de referência para os dejetos de diferentes animais e influência da separação de sólidos na qualidade do biogás |
| De Andrade, <i>et al.</i> (2016) | Avaliação do potencial de produção de biogás dos dejetos de ovinos submetidos a diferentes pré-tratamentos | Valores de referência para diferentes pré-tratamentos dos dejetos de ovinos |

FONTE: Indicadas

2.4 CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS

Quase todos os substratos com alto teor de matéria orgânica são adequados para utilização energética por meio da produção do biogás. Esses podem ser tanto dejetos líquidos quanto resíduos sólidos (Probiogás, 2015).

Os nutrientes contidos nos dejetos variam significativamente de acordo com a ingestão de alimento, níveis de suplementação e também com as quantidades destes nutrientes que são secretadas no leite (Van Horn, 1994).

Além disso, outros fatores podem estar envolvidos com a quantidade excretada de fezes pelos animais. Entre eles pode-se citar: peso, idade, nível de produção, estado fisiológico (animais prenhes, secas, em lactação, em acabamento), quantidade e qualidade do alimento fornecido aos animais, sistema de produção (pasto, confinamento ou semiconfinamento) e até mesmo a estação do ano.

De modo a tornar a análise de viabilidade deste trabalho prática, utilizaram-se dados de Zanato 2014, conforme tabelas 1 e 2, como referência para os potenciais de produção de biogás a partir de dejetos de ovinos e caprinos.

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO DOS DEJETOS DE ANIMAIS DIVERSOS

| Item | Suínos | Aves | Ovinos | Caprinos | Bovinos de corte | Bovinos de leite |
|---------------------------|--------|-------|--------|----------|------------------|------------------|
| Sólidos totais (%) | 30,95 | 45,78 | 41,42 | 29,88 | 16,53 | 17,03 |

FONTE: Adaptada de Zanato, 2014

TABELA 2 – VALORES MÉDIOS DOS POTENCIAIS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR KG DE SÓLITOS TOTAIS ADICIONADOS (ST), PARA DEJETOS SEM SEPARAÇÃO DE OVINOS E CAPRINOS

| Animal | Potencial médio [m ³ de biogás / kg ST adicionados sem separação] |
|-----------------|---|
| Ovinos | 0,19 |
| Caprinos | 0,15 |

FONTE: Adaptada de Zanato, 2014

2.5 POLÍTICAS PÚBLICAS E INCENTIVOS DISPONÍVEIS

A política nacional do cooperativismo foi estabelecida pelo governo brasileiro em 1971 através da lei nº 5.764. Desde então, por meio do artigo 109 desta lei, há previsão legal para o fornecimento de créditos/financiamentos governamentais específicos para a promoção da atividade cooperativista.

Atualmente, há diversas linhas de financiamento governamental e privado disponíveis para cooperativas agropecuárias, e específicas para a agricultura familiar. Dentre as principais, vale citar:

- Plano Safra/Pronaf: Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar, com financiamento através do Banco Nacional do Desenvolvimento (BNDES) para custeio e investimentos em implantação, ampliação ou modernização da estrutura de produção, beneficiamento,

industrialização e de serviços no estabelecimento rural ou em áreas comunitárias rurais próximas, visando à geração de renda e à melhora do uso da mão de obra familiar;

- Coopera Paraná: Programa de Apoio ao Cooperativismo da Agricultura Familiar do Paraná (Coopera Paraná), com o objetivo de fortalecer as organizações cooperativas como instrumentos para melhorar a competitividade e a renda dos agricultores familiares;
- Prodecoop: Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agropecuária, com financiamento através do BNDES, para a modernização de sistemas produtivos e de comercialização do complexo agroindustrial das cooperativas brasileiras.

3 METODOLOGIA

3.1 QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS CARACTERIZAÇÃO DA COOPERATIVA

3.1.1 Caracterização da Cooperativa:

A cooperativa dos criadores de caprinos e ovinos da região centro-sul do Paraná, Caprivid, nasceu em 2005 e reúne criadores de caprinos e ovinos.

Tem como objetivo a comercialização de cortes nobres e embutidos (linguiça), com sua matriz e loja na cidade de Virmond-PR, e cooperados em 13 municípios da região.

A criação é descentralizada em regime de semiconfinamento com alimentação à base de rações e silagem (principalmente de milho, com menores volumes de sorgo e aveia).

Os cooperados são todos pequenos produtores (máximo de 200 animais e em média menos de 70), trabalhando em estrutura familiar.

A produção é totalmente escoada para o mercado selecionado (região oeste do Paraná), não atendendo a toda a demanda existente – expansão limitada pela falta de mão-de-obra interessada/comprometida com o trabalho no campo.

3.1.2 Levantamento de dados

Através de entrevista com o presidente da Cooperativa, obteve-se informações quanto a quantidade de animais e de resíduos envolvidos no processo produtivo.

As informações dão conta de que o plantel conta atualmente com cerca de 1.400 cabeças caprinas e 2.000 ovinas, que são criados pelos 56 cooperados.

Esta quantidade de animais gera, em média, o abate de 10 animais (400 kg) por dia, com os seguintes volumes de resíduos:

- Dejetos (urina, fezes e cama): 2 kg/animal/dia – 6.800 kg/dia
- Rejeitos do abate (vísceras, cabeça, pé, couro, etc): 55% do peso do animal – 220 kg/dia
- Rejeitos do corte (ossos e sebo): 3% do peso do animal – 12 kg/dia
- Volume total de resíduos: 7.032 kg/dia
- Densidade dos dejetos: 650 kg/m³

Atualmente, os dejetos são utilizados na fertilização de lavouras e os resíduos do abate e corte são descartados (cedidos sem custo ou remuneração para empresa que realiza o processamento para a produção de farinhas e sebo industrial).

3.2 POTENCIAL GERAÇÃO DE BIOGÁS

O potencial de geração de biogás foi levantado com base:

- nos valores de referência levantados no item 2.4 acima, e
- na quantificação dos dejetos realizada no item 3.1.2 acima

Observa-se que, dados os volumes envolvidos, bem como a dificuldade logística envolvida no uso, foram desconsiderados do estudo os volumes de rejeitos dos processos de abate e corte dos animais (cerca de 3% do volume total de resíduos).

3.3 POTENCIAL PRODUÇÃO ENERGIA

Diversos trabalhos apontam valores para o poder calorífico, para o rendimento da transformação em biogás e, por consequência, do potencial energético dos dejetos dos animais.

Segundo Colatto e Langer (2011), o potencial de geração de energia é baseado na produção diária de biogás. Em termos teóricos, 1m³ de biogás seria equivalente à 1,3 kWh e o consumo de biogás em conjuntos moto geradores seria de cerca de 0,646 m³/cv.

Oliveira e Higarashi (2006) apontam que uma produção média de 50 m³ de biogás/dia teria a capacidade teórica de gerar 2.700 KVA/mês, o que equivaleria a aproximadamente 2.160 kWh/mês.

Para Santos (2000), 1 m³ de biogás é equivalente a 6,5 kWh de energia elétrica e a eficiência dos sistemas de cogeração varia entre 30 e 38%, ou seja, 2,0 – 2,5 kWh, o que condiz com os resultados de Coldebella *et al.* (2006), que foram de 32,3% de eficiência e 2,1 kWh.

Para fins de avaliação da viabilidade deste estudo, resolve-se utilizar:

- os valores conservadores indicados por Colatto e Langer (2011) para o consumo de biogás em motogeradores (ampliando os eventuais ganhos caso a prática indique valores superiores),
- em linha com Santos (2000) e Coldebella *et al.* (2006), 32% de eficiência do sistema de conversão do potencial energético do biogás, e
- o potencial energético conservador dos resíduos dos caprinos para o total de animais avaliados (ampliando os eventuais ganhos caso a prática indique valores superiores).

3.4 ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO

Tendo em vista os potenciais acima descritos, bem como as características dos produtores da cooperativa (com coleta dos dejetos realizada, em média, semestralmente) e questões logísticas vinculadas, foram avaliadas as possibilidades de aproveitamento dos resíduos de forma centralizada e descentralizada.

O quadro 2 apresenta um comparativo qualitativo das duas alternativas.

QUADRO 2 – COMPARATIVO DE PROPOSTAS PARA APROVEITAMENTO CENTRALIZADO E DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS

| Item | Centralizada | Descentralizada |
|------------------------------------|--|--|
| Disponibilidade de resíduos | Contínua - escalonada entre os cooperados | Eventual - batelada (volume acumulado em cada propriedade) |
| Logística | Não trivial - requer investimentos em área (terreno), equipamentos e pessoal específico, bem como coordenação para manutenção de fluxo contínuo (de resíduos e biofertilizantes) | Trivial - dentro da propriedade, já previamente estabelecida conforme rotina de limpeza das áreas de criação (semestral) |
| Tecnologia de biodigestão | Fluxo contínuo com pré-tratamento - mais eficiente | Batelada sem pré-tratamento - mais adequada à rotina da propriedade |

| | | |
|--------------------------------|---|--|
| Requisitos operacionais | Não trivial - requer maiores investimentos em equipamentos e equipe qualificada para a operação e manutenção destes | Simplificados - requisitos operacionais mais flexíveis |
| Aplicação considerada | Geração de energia e aquecimento (cocção de produtos industrializados) | Geração de energia e aquecimento (cocção de alimentos e aquecimento de água) |
| Dimensionamento | Vide item 3.4.1 abaixo | Vide item 3.4.1 abaixo |

FONTE: o autor (2026)

3.4.1 Dimensionamento das propostas:

Nas tabelas 3 a 7 apresentam-se dados e valores calculados obtidos conforme descrito na metodologia – itens 3.1 a 3.3 acima – para as possibilidades de aproveitamento dos resíduos de forma centralizada e descentralizada, respectivamente.

TABELA 3 – VALORES DE REFERÊNCIA PARA CÁLCULOS DAS PROPOSTAS

| ST [%] (conforme Tabela 2) | Potencial médio prod. Biogás [m ³ /kg de ST] (conforme Tabela 2) | Potencial geração energia [kWh/m ³] (conforme item 3.3) | Eficiência motores [%] (conforme item 3.3) | Consumo biogás motogerador [m ³ /cv] (conforme item 3.3) | Fator potência motogerador (vide Nota) |
|-------------------------------|--|--|---|--|---|
| 41,4 | 0,15 | 1,3 | 32,0 | 0,646 | 0,8 |

FONTE: Indicadas

NOTA: fator de potência padronizado, disponível nos catálogos dos fabricantes de motogeradores

TABELA 4 – VARIÁVEIS DE ENTRADA PARA CÁLCULOS DA PROPOSTA DE APROVEITAMENTO CENTRALIZADO DE RESÍDUOS

| Qtde de Animais | Produção dejetos [kg/animal/dia] | Cargas/ano | Tempo retenção hidráulica [dias] |
|-----------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|
| 3400 | 2,0 | 12 | 30 |

FONTE: o autor (2026)

TABELA 5 – VARIÁVEIS DE INTERESSE CALCULADAS PARA PROPOSTA DE APROVEITAMENTO CENTRALIZADO DE RESÍDUOS

| Produção total dejetos [kg/dia] | ST [kg/dia] | Potencial produção Biogás [m ³ /dia] | Total resíduos/ano [kg] |
|---------------------------------|--|---|-------------------------------------|
| 6.800,0 | 2.815,2 | 422,3 | 2.482.000,0 |
| Energia gerada [kWh/ano] | Consumo biogás motogerador [m ³ /kWh] | Potência motogerador [cv/kWh] | Potência instalada necessária [kVA] |
| 197.627,0 | 0,769 | 1,19 | 25,4 |

FONTE: o autor (2026)

TABELA 6 – VARIÁVEIS DE ENTRADA PARA CÁLCULOS DA PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS

| Qtde de Animais | Produção dejetos [kg/animal/dia] | Cargas/ano | Tempo retenção hidráulica [dias] |
|------------------------|---|-------------------|---|
| 200 | 2,0 | 2 | 180 |

FONTE: o autor (2026)

TABELA 7 – VARIÁVEIS DE INTERESSE CALCULADAS PARA PROPOSTA DE APROVEITAMENTO DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS

| Produção total dejetos [kg/dia] | ST [kg/dia] | Potencial produção Biogás [m³/dia] | Total resíduos/ano [kg] |
|--|--|---|--|
| 400,0 | 165,6 | 24,8 | 146.000,0 |
| Energia gerada [kWh/ano] | Consumo biogás motogerador [m³/kWh] | Potência motogerador [cv/kWh] | Potência instalada necessária [kVA] |
| 11.625,1 | 0,769 | 1,19 | 1,5 |

FONTE: o autor (2026)

3.4.2 Viabilidade técnica

Para avaliação da viabilidade técnica da aplicação levou-se em conta o histórico de trabalhos registrados similares – uso de dejetos de caprinos e ovinos na produção de biogás.

Os itens 2.3 e 3.3, com as variações naturais dos métodos utilizados, indicam a viabilidade técnica deste processo.

3.4.3 Viabilidade operacional

A viabilidade operacional foi analisada por meio da logística necessária à implantação, operação e manutenção dos biodigestores na sede da cooperativa (centralizada) e nas propriedades rurais (descentralizada), bem como por meio de consultas aos cooperados.

Pela simplicidade do sistema proposto, e pela pequena alteração na rotina das propriedades dos cooperados (não implicando em custos e/ou mão de obra adicionais significativas), a avaliação é positiva quanto à possibilidade de implantação da forma descentralizada.

Já para a proposta de centralização dos resíduos, haveria a necessidade de aquisição de equipamentos (caminhão para o transporte dos resíduos, por exemplo) e de contratação de profissional específico para que a operacionalização fosse possível.

Desde que haja retorno econômico quanto à implantação, a avaliação é também positiva quanto à viabilidade de execução.

3.4.4 Viabilidade econômica

Com base, inicialmente, na potência instalada necessária para o conjunto moto gerador e nos custos operacionais requeridos (não considerando ainda o dimensionamento e custos de implantação do biodigestor), e utilizando o critério do Valor Presente Líquido (VPL) para avaliação da viabilidade econômica das alternativas estudadas, têm-se os resultados indicados na Tabela 8:

TABELA 8 – RESULTADOS DA VIABILIDADE ECONÔMICA DAS PROPOSTAS AVALIADAS

| | Centralizada | Descentralizada |
|--|---|--|
| Investimento inicial | R\$ 500.000,00 (1. Equipamentos para coleta e transporte dos resíduos: R\$ 300.000,00; 2. Equipamentos (moto gerador): R\$ 200.000,00) | R\$ 200.000,00 (Motogerador: R\$ 200.000,00) |
| Custos operacionais mensais estimados | R\$ 6.000,00 (Transporte de resíduos e biofertilizantes + Operação e manutenção equipamentos) | R\$ 0,00 (Sem custo adicional considerado (demanda incorporada pela estrutura atual da propriedade – alteração da rotina insignificante) |
| Receita mensal estimada | R\$ 3.664,32 (Geração de energia) | R\$ 204,64 (Geração de energia) |
| Taxa de desconto (a.a.) | 8% | 8% |
| VPL | -R\$ 701.908,00 | -R\$ 195.195,00 |

FONTE: o autor (2026)

A taxa de desconto considerada foi obtida em entrevista junto ao presidente da cooperativa e tendo em vista as taxas de financiamento obtidas junto a órgãos governamentais (citadas no item 2.5).

Para os cálculos de receita mensal, foram consideradas:

- Receita de R\$ 0,68/kWh inserido na rede da concessionária local (Copel – considerando TUSD + TE);
- Impacto do Fio B: Em 2025, a cobrança sobre o Fio B (uso do sistema de distribuição) atingiu 45%, reduzindo o valor recebido como crédito pelo consumidor-gerador;
- Consumo interno médio cooperados: 300 kWh/mês (descontado da energia total gerada);
- Consumo médio interno Cooperativa: R\$ 4.494 kWh/mês (descontado da energia total gerada).

3.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tendo em vista os valores apresentados na Tabela 8, ainda que desconsiderando os custos de implantação do biodigestor (terreno e equipamentos/construção), resta concluir que, apesar das viabilidades técnicas e operacionais de ambas, nenhuma das propostas resta viável economicamente – VPL altamente negativo para os padrões de faturamento tanto dos cooperados quanto da cooperativa.

Em especial, os seguintes fatores pesam para esta conclusão:

a) Custo dos conjuntos moto geradores:

Para o mercado atual, há modelos padronizados de conjuntos moto geradores com biogás como fonte de combustível apenas para potências iguais ou superiores a 75 kVA – aproximadamente três vezes o potencial total da cooperativa, e 50 vezes a capacidade média das propriedades individuais, conforme valores apresentados nas Tabelas 5 e 7.

Apenas o investimento no conjunto moto gerador (sem se considerar o investimento para a construção do biodigestor) para a produção descentralizada já torna a proposta economicamente proibitiva.

b) Para a proposta de uso centralizado:

- Investimentos totais:

Para além do investimento citado na Tabela 8 acima, há de se considerar, ainda, os investimentos em terreno/área para a construção do biodigestor e, na construção/aquisição em si do biodigestor.

- Custos operacionais/logísticos:

A centralização dos resíduos requereria estrutura logística específica (veículo e empregado) para a coleta dos dejetos nas propriedades, manejo para o biodigestor, ações de operação e manutenção do conjunto biodigestor e moto gerador, coleta e transporte do fertilizante gerado, bem como a sincronização destas etapas frente ao volume e tempo de retenção hidráulica propostos (conforme dimensionamento indicado no item 3.4.1).

Essa logística teria custo mensal estimado de R\$ 6.000,00 (custo obtido por entrevista junto ao presidente da cooperativa).

Comparando-se este custo mensal com a receita estimada total, resta clara também a inviabilidade econômica da proposta (custo superior à possibilidade de receita).

3.6 PROPOSTAS ALTERNATIVAS

A partir da conclusão da inviabilidade econômica das propostas originais deste trabalho, bem como do aprendizado obtido deste estudo, vislumbram-se as seguintes propostas alternativas para estudos futuros:

- Uso descentralizado de biodigestores de lagoa coberta – para aproveitamento do biogás como fonte de aquecimento nas propriedades (aquecimento d'água, cocção de alimentos e secagem de forragens) e geração de biofertilizantes;
- Uso de biodigestores modulares portáteis para compartilhamento entre as propriedades;
- Viabilidade de comercialização de subprodutos do biogás, conforme Probiogás (2015).

3.7 POLÍTICAS PÚBLICAS, GARGALOS E OPORTUNIDADES

A conclusão da inviabilidade das propostas originais deste trabalho traz consigo a reflexão sobre as dificuldades da implantação de projetos agroindustriais de pequena escala relativos à geração renovável de energia.

Os seguintes entraves restam claros:

- a) Carência/indisponibilidade de equipamentos (motogeradores) padronizados de pequena capacidade para atendimento a este mercado;
- b) Falta de apoio técnico especializado para os pequenos produtores – tanto de instituições públicas quanto privadas;
- c) Ausência de políticas governamentais e linhas de crédito específicas para este fim – promovendo e até mesmo subsidiando o mercado de equipamentos de pequena capacidade, a sustentabilidade ambiental e a autonomia das pequenas propriedades e associações cooperativas.

3.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma vez que, conforme dados do censo agropecuário da Embrapa (de 2017), cerca de 77% das propriedades rurais brasileiras (ou 23% da área total produtiva) são pequenas (até 50 hectares), o potencial de eliminação, ou melhor uso, dos resíduos e/ou subprodutos da agropecuária resta imenso.

Entretanto, os resultados deste trabalho indicam claras dificuldades na disseminação de tecnologias que promovam práticas sustentáveis neste meio.

Neste contexto, e vislumbrando-se ganhos ambientais e sociais, entende-se clara a necessidade de apoio e subsídio governamental para que este público disponha de conhecimento e melhores condições para a implantação de tecnologias de aproveitamento de resíduos e geração de energia renovável, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. **Eficiência energética aplicada em propriedade rural com bovinocultura de leite nos Campos Gerais do Paraná**. 32 f. Artigo (MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2024.
- AL-MASRI, M. R. Changes in biogas production due to different ratios of some animal and agricultural wastes. *Bioresource Technology*, v. 77, n.1, p. 97-100, Oxford. 2001.
- AMORIM, A. C. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. Orientador: Jorge de Lucas Júnior. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2002.
- AMORIM, A. C. **Produção e qualidade de biogás e biofertilizante de dejetos de bovinos de corte alimentados com diferentes fontes de lipídeos**. Orientador: Jorge de Lucas Júnior. 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2011.
- BABUGIA, F. P. **Estudo de viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema de tratamento de efluentes para aproveitamento energético de biogás em uma unidade industrial de produção láctea existente**. 19 f. Artigo (MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- BISPO, C. G. **As transformações na estrutura produtiva da agropecuária de Minas Gerais (1996-2017)**. Orientador: Hilton Manoel Dias dos Santos. 2020. 129 f. Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Economia e Relações Internacionais, Programa de Pós-Graduação em Economia, Uberlândia, 2020.
- COLATTO, L.; LANGER, M. **Biodigestor: resíduo sólido pecuário para produção de energia**. *Revista Unoesc & Ciência*, v. 2, n. 2, p. 119-128. Joaçaba, 2011.
- COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Orientador: Samuel Nelson Melegari de Souza. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2006.
- DE ANDRADE, W. R. *et al.* **Produção de biogás por dejetos de ovinos submetidos a três pré-tratamentos químicos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 45., 2016, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: SBEA, 2016. p. 1-7.
- EMBRAPA. **Unidade caprinos e ovinos: produção mundial**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cim-inteligencia-e-mercado-de-caprinos-e-ovinos/producao-mundial>>. Acesso em: outubro de 2025.

EMBRAPA. **Agricultura familiar**: censo agropecuário de 2017. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/tema-agricultura-familiar/sobre-o-tema>>. Acesso em: janeiro de 2026.

ESTEVAM, G. P. **Estudo de caso relativo à implantação de um biodigestor modelo indiano em uma propriedade rural destinada a ordenha de bovinos**. 30 f. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis) – Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Food outlook**: biannual report on global food markets. Rome, 2025.

FERREIRA, M. M. **Avaliação do potencial brasileiro de produção de biogás e da participação dos aterros sanitários**. 17 f. Artigo (MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

FIGUEIRA, W. D. **Potencialização do poder calorífico do biogás através do cultivo de microalgas e aproveitamento da biomassa como coproduto**. 31 f. Artigo (MBA em Gestão Estratégica de Energias Naturais Renováveis) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Cultivo do milho**: fertilidade de solos, adubação orgânica. Embrapa Milho e Sorgo, 3. ed. 2007

LUCAS JR, J.; et al. **Avaliação de biodigestores**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 29, p. 1427-1434. Viçosa, 2000.

MISI, S.N.; FORSTER, C.F. Batch co-digestion of multi-componente agro-wastes. Bioresource Technology, v.80, n.1, p.19-28, Oxford, 2001.

OLIVEIRA, P. A. V. (Coord.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: manual de boas práticas. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia: PNMA II, 2004.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. (Coord.). **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia: PNMA II, 2006.

OLIVEIRA, R. A. B. **Análise de viabilidade econômica de um arranjo produtivo em biogás em uma fazenda beneficiadora de laranjas de pequeno porte**. 29 f. Monografia (MBA em Gestão Estratégica em Energias Renováveis e Biocombustíveis) – Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

PROBIOGÁS. **Guia técnico**: de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Brasília, 2015. 186 f.

PROBIOGÁS. **Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso do biogás**. Brasília, 2015. 87 f.

PROBIOGÁS. **Catálogo**: de tecnologias e empresas de biogás. Brasília, 2015. 190 f.

PROBIOGÁS. **Comercialização**: de subprodutos de uma planta de biogás. Brasília, 2015. 49 f.

REJAILE, R. M. A. **A importância socioambiental do biogás na matriz elétrica brasileira**. 37 f. Artigo (MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023.

ROCHA, C. M. **Proposta de implantação de um biodigestor anaeróbio de resíduos alimentares**. 2016. 61 f. Trabalho Final de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

Santos, P. **Guia técnico de biogás**. 120 f. Monografia (Centro para a Conservação de Energia). Portugal, 2000.

SILVA, S. S. **Análise de viabilidade financeira na implantação de um biodigestor para produção de biogás com resíduos da produção de alimentos de um restaurante de pequeno/médio porte em Maringá - PR**. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Gestão Estratégica em Energias Naturais Renováveis) – Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

SOUZA, L. B.; PECCI, L. **Projeto de implantação de um biodigestor modelo fluxo tubular para a produção de biogás a partir de resíduos sólidos orgânicos do restaurante universitário da UTFPR - Campus Ponta Grossa**. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. Orientador: Jorge de Lucas Júnior. 2001. 108 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, Araraquara, 2001.

VAN HORN, H. H. *et al.* **Components of dairy manure management systems**. Journal Dairy Science, v.77, n. 7, p. 2008-2030, 1994.

VIEGAS, B. K. R. V. *et al.* **Análise da implantação de um biodigestor**: estudo de caso na área central de Itacoatiara/AM. Revista Científica FAEMA, v. 14, n. 1, p. 152–168, 2023.

ZANATO, J. A. F. **Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies animais**. Orientador: Jorge de Lucas Júnior. 2014. 112 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.