

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ARTHUR HOFFMANN PEZENTE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE BIODIGESTOR DE DEJETOS EM
GRANJA DE SUÍNOS EM FRANCISCO BELTRÃO-PR: UM ESTUDO DE CASO**

DOIS VIZINHOS

2023

ARTHUR HOFFMANN PEZENTE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE BIODIGESTOR DE DEJETOS EM
GRANJA DE SUÍNOS EM FRANCISCO BELTRÃO-PR: UM ESTUDO DE CASO**

**Economic viability analysis of waste biodigester on a pig farm in Francisco
Beltrão-PR: a case study**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Sergio Luiz Kuhn

DOIS VIZINHOS

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ARTHUR HOFFMANN PEZENTE

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE BIODIGESTOR DE DEJETOS EM
GRANJA DE SUÍNOS EM FRANCISCO BELTRÃO-PR: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Agronomia da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 07/dezembro/2023

Sérgio Luiz Kuhn
Doutorado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(Orientador)

Serinei César Grigolo
Doutorado em Extensão Rural
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Carlos Alberto Casali
Doutorado em Ciência do Solo
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

DOIS VIZINHOS

2023

AGRADECIMENTOS

Fica aqui o meu sincero agradecimento ao meu orientador Professor Sergio Kuhn que de todas as maneiras tentou me indicar o melhor caminho para desenvolver este trabalho e ainda, pelas conversas e conselhos ao longo da jornada.

Gostaria de agradecer a todos os meus colegas de sala, especialmente aos mais próximos. Saibam que a amizade de vocês foi um dos maiores motivadores para que este trabalho ganhasse vida.

Agradecer a todos os professores que durante esta passagem pela universidade estiveram a disposição para contribuir com a formação e contribuir positivamente para a construção de novos profissionais.

E por fim, agradecer a minha família, que sempre me apoiou durante esta jornada da graduação. Possibilitando que o conhecimento adquirido ao longo do caminho fosse devidamente aplicado. Permitindo que eu focasse ao máximo no aprendizado.

Enfim, ficam aqui meus mais sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para meu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

RESUMO

O Brasil a cada ano vem aumentando o tamanho do seu rebanho de suínos, o que justifica o crescimento no mercado interno e nas suas exportações de carne. A criação intensiva de animais gera o aumento na produção de resíduos e dejetos, cenário que tem sido preocupante do ponto de vista econômico e ambiental. Assim, o tratamento desses resíduos por meio do biodigestor é uma forma de reduzir o impacto ambiental causado por estes materiais, possibilitando um aumento sustentável dos rebanhos e também resolver o passivo ambiental. Entretanto, por se tratar de uma tecnologia ainda com pouca informação e alto custo de implantação, o presente trabalho buscou descrever o funcionamento destes empreendimentos e ainda, analisar a sua viabilidade econômica, entendendo se sua instalação é viável economicamente. Para isso, foi necessário realizar um estudo de caso, com o levantamento completo dos custos de produção e ainda, das receitas obtidas com a atividade, precificando os subprodutos obtidos nos biodigestores, bem como o biofertilizante líquido (digestato), o biofertilizante sólido e a produção de energia a partir do biogás. Para análise da viabilidade do projeto, foram levados em consideração o VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e Payback descontado. Demonstrando que na propriedade rural estudada, da forma que vem sendo conduzido hoje, o investimento neste tipo de biodigestor não é viável economicamente. Entretanto, com a adequação de algumas etapas do processo, o investimento poderia ter um aumento de viabilidade. Além disso, fica evidente que este é um equipamento necessário para a continuidade a atividade suinícola, possibilitando que o dejetos produzido nas instalações seja devidamente tratado.

Palavras-chave: Biodigestor; Suínos; Geração distribuída; Biofertilizante.

ABSTRACT

Brazil has been increasing the size of its pig herd every year, which justifies the growth in the domestic market and in its meat exports. Intensive animal husbandry generates an increase in the production of waste and residues, a scenario that has been worrying from an economic and environmental point of view. Therefore, treating this waste through a biodigester is a way of reducing the environmental impact caused by these materials, enabling a sustainable increase in livestock numbers and also resolving environmental liabilities. However, as it is a technology with little information and high implementation costs, this work sought to describe the operation of these projects and also analyze their economic forecast, understanding whether their installation is economically viable. To achieve this, it was necessary to carry out a case study, with a complete survey of production costs and also the revenues obtained from the activity, pricing the by-products obtained in the biodigesters, as well as the liquid biofertilizer (digestate), the solid biofertilizer and the energy production from biogas. To analyze the project forecast, the NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return) and discounted payback were taken into account. Demonstrating that on scientific rural properties, as it has been extended today, investment in this type of biodigester is not economically viable. However, with the adaptation of some stages of the process, the investment could have an increase in options. Furthermore, it is clear that this is necessary equipment for the continuity of pig farming activities, enabling the project produced in the facilities to be properly treated.

Keywords: Biodigester; Pigs; Distributed generation; Biofertilizer.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	Problema de pesquisa	8
1.2	Objetivos	9
1.2.1	Objetivo Geral.....	9
1.2.2	Objetivos específicos.....	9
1.3	Justificativa de estudo	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1	Produção da Suinocultura brasileira	10
2.2	Impactos ambientais da atividade de suínos	10
2.3	Biodigestor	11
2.3.1	Volume do biodigestor.....	13
2.3.2	Geração de Biogás.....	15
2.3.3	Motogerador	16
2.3.4	Biofertilizante líquido	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	Descrição da Propriedade Rural pesquisada	20
3.1.1	Biodigestor da propriedade	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	Custo de instalação do biodigestor	26
4.1.1	Custos anuais.....	26
4.2	Receitas	28
4.2.1	Receita por meio da geração distribuída	28
4.2.2	Receita do biofertilizante líquido ou digestato	28
4.2.3	Receita do biofertilizante sólido	32
4.2.4	Receita Total gerada	32
4.3	Índices econômicos	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	38
	ANEXO A - Análise de Solo	41

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o aumento da produção de carnes vem sendo gradativo, impulsionando assim também a sua demanda, o que ocorre com a carne suína, que passou a ser mais procurada, revelando entre os anos de 1995 a 2015 um aumento de 80% no consumo da mesma nos países em desenvolvimento. Neste mesmo período, o consumo interno anual no Brasil sofreu um aumento de 113%, de modo a fazer com que o país passasse a ser o sexto maior consumidor do mundo (ABCS, 2016).

Atualmente o Brasil é o quarto maior exportador mundial de carne suína, chegando a vender de 15 a 18% de sua produção para o mercado externo (ABCS,2016). O crescimento na suinocultura brasileira entre os anos 2006 e 2017 aconteceu tanto no número de granjas, como no rebanho total. Além disso, o número médio de animais por granja passou de 1.700 cabeças, para 2.249, um aumento de 32%, sendo a região Sul a responsável por mais da metade do aumento do rebanho (MIELE & ALMEIDA, 2023).

O crescimento do rebanho nacional de suínos, leva ao aumento proporcional dos efluentes, como fezes, urina e água residuária (MAPA, 2016), para o qual é importante que sejam realizadas iniciativas para o tratamento e manejo deste dejetos, de modo a reduzir o potencial contaminante e maximizar o poder fertilizante que o material possui (ROSSI *et al.*,2022).

A tecnologia que tem se difundido no Brasil para o tratamento dos dejetos suínos é o biodigestor, que possibilita armazenar e estabilizar dejetos líquidos, pois é um sistema semelhante a esterqueira convencional, por contar com um revestimento impermeabilizante para evitar infiltração dos dejetos no solo. Entretanto, é um sistema fechado com uma lona, para que assim ocorra o processo anaeróbico nesta biomassa (SOUZA *et al.*, 2019).

As bactérias presentes dentro do biodigestor realizam a decomposição da matéria orgânica do dejetos e promovem a liberação do biogás, o qual então é purificado e desumidificado, além de ser queimado, processo este que transforma o metano em gás carbônico, que tem potencial de aquecimento global 20 vezes menor que o metano (CH₄) (SILVA & OLIVEIRA, 2014). Além disso, a partir dele é possível obter alguns subprodutos, como é caso do biogás, utilizado na produção de energia e

os biofertilizantes, que podem ser usados para a adubação do solo, o que possibilita novos ganhos econômicos aos produtores (MIELE *et al.*, 2011).

A região Sudoeste do Paraná tem um grande potencial para a produção de energia limpa através de biodigestores. Uma vez que, a região conta com um grande rebanho de animais confinados e que os mesmos tem alto potencial de produção de biogás por meio de seus dejetos (MATOS & DE PRÁ, 2023).

O uso de dejetos de suínos como biofertilizante acaba sendo uma alternativa para o desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável e conservacionista. Visto que, tende a melhorar as características do solo e reduzir a aplicação de adubações minerais. E ainda, dar um destino correto para o dejetos, que se mal manejado conta com um alto potencial poluente (KICKOW, 2016). A aplicação dos biofertilizantes traz inúmeros benefícios, entretanto, para isso, devem ser realizados cálculos da dose de aplicação e concentração dos nutrientes (BARROS *et al.*, 2019).

Vale ressaltar que a demanda pelo biofertilizante depende do custo de transporte da área de produção até a lavoura, quando comparado ao preço da adubação mineral, de modo que, com o aumento dos preços dos fertilizantes minerais, a utilização dos biofertilizantes acaba se tornando uma opção mais viável (SANDI *et al.*, 2011). Ou seja, por mais que o biofertilizante seja um produto de baixo custo ao produtor, o seu preço acaba se baseando no valor despendido para o seu transporte.

Deste modo, o atual trabalho analisou a viabilidade econômica de um biodigestor instalado em uma propriedade em Francisco Beltrão, Sudoeste do Paraná, na qual o digestato produzido nas suas instalações é destinado para a produção de energia e para adubação do solo como biofertilizante, bem como a comercialização do resíduo sólido.

1.1 Problema de pesquisa

O destino adequado para os efluentes da produção animal tem sido debatido, em vista de seu perigo de contaminação do ambiente e, ao mesmo tempo, do potencial de geração de renda a partir de seu tratamento e uso. Desta forma, os biodigestores aparecem como uma solução para reduzir o poder contaminante do dejetos produzido nas propriedades e ainda, possibilitar uma nova receita para os produtores rurais de suínos e outros animais. Em contrapartida, precisam de altos investimentos, bem como, seguir normativas ambientais para a sua instalação, diante do qual se questiona: A instalação de um biodigestor é viável economicamente para

o tratamento de dejetos suínos, mesmo com seu alto custo de implantação e operação?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho buscou avaliar a viabilidade econômica da instalação de uma planta de biodigestor em uma granja produtora de suínos, como forma de tratar os efluentes provenientes da atividade, reduzir seus impactos ambientais e proporcionar novas fontes de renda ao produtor rural por meio dos subprodutos do biodigestor.

1.2.2 Objetivos específicos

Descrever os componentes e o funcionamento de um biodigestor, visto que, ainda é um equipamento pouco conhecido e difundido entre os produtores rurais.

Estimar a geração de energia elétrica produzida por meio do biogás e as receitas provenientes desta atividade. E ainda, avaliar a quantidade de biofertilizante líquido e sólido produzido, bem como sua receita para o produtor rural.

Avaliar a viabilidade econômica de um biodigestor, entendendo ainda, se seus subprodutos realmente possuem um valor de mercado considerável.

Analisar oportunidades para melhorar a rentabilidade da atividade suinícola, bem como, as dificuldades da propriedade rural estudada, propondo medidas para aumentar a viabilidade do projeto.

1.3 Justificativa de estudo

O presente estudo se justifica face ao aumento cada vez maior dos rebanhos de suínos e também dos dejetos produzidos por eles, o que tem se tornado a cada dia uma dor de cabeça na vida dos produtores rurais. Entretanto, a partir do tratamento correto destes resíduos animais, os mesmos podem desempenhar um importante papel de contribuição da renda rural.

Assim, o presente trabalho justifica-se por demonstrar como a instalação de um biodigestor em uma granja de suínos pode fazer com o suinocultor passe a obter outras fontes de renda por meio dos subprodutos do biodigestor. E ainda, facilitar o tratamento correto dos efluentes e outros, reduzindo seu impacto ambiental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta fundamentação aborda um panorama sobre a suinocultura, impactos ambientais da atividade suinícola, descrição dos biodigestores, motogeradores e biofertilizantes.

2.1 Produção da Suinocultura brasileira

O Brasil é o quarto maior produtor de carne suína do mundo, no ano de 2022 a produção ficou na casa dos 4,983 milhões de toneladas, um aumento de 46% nos últimos 10 anos. O estado do Paraná representa 19% do abate nacional, ficando atrás apenas de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, respectivamente (EMBRAPA, 2023).

A suinocultura tem operado por meio do sistema Integrado de produção, que geralmente se desenvolve entre uma empresa privada e o suinocultor. A empresa fica responsável por coordenar e providenciar os insumos necessários para produção, como a alimentação, medicamentos, assistência técnica e animais. Em contrapartida, o produtor passa a prestar serviço, se especializando em um tipo de granja, e ainda, salvaguardando os animais (ABCS, 2016).

2.2 Impactos ambientais da atividade de suínos

O dejetos líquido suíno (DLS) é composto por fezes, urina, ração, água e outros materiais, como sangue e poeiras. Conta com uma coloração escura e um odor desagradável. A composição química dele pode variar conforme a composição da ração, o aproveitamento realizado no sistema digestivo dos animais e a quantidade de água usada ao longo do ciclo produtivo (BARROS *et al.*, 2019).

Estes dejetos quando não tratados de forma correta promovem um grande impacto ambiental, tendo potencial poluidor do solo, água e ainda proliferando doenças, ou seja, contaminando o ambiente como um todo (SANTOS & SILVA, 2018). Seu efeito pode ser principalmente percebido sob recursos hídricos, onde causa impacto na qualidade das águas superficiais (KUNZ; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2005).

Somado a isso, os efluentes suínos são responsáveis pela emissão de vários gases com impacto direto na atmosfera, como o NH₃ (amônia) e os responsáveis pelo efeito estufa, CH₄ e dióxido de carbono (CO₂). Fatores como a nutrição animal, os manejos usados na produção e ainda, o manejo feito nos resíduos podem alterar tanto a quantidade, como a qualidade dos gases emitidos (HIGARASHI *et al.*, 2010).

Uma das possíveis destinações para estes dejetos é o uso agrícola, conforme a Resolução do Sedest Nº 015/2020, podendo ser aplicado nas lavouras tanto fresco (sem tratamento), como tratado. Quando utilizado em sua forma fresca, conta com uma carga poluente tanto de patógenos, como de alguns nutrientes que tendem a se acumular no solo (fósforo, cobre e zinco), o que acaba limitando sua aplicação (CORDOVIL, 2009).

Uma opção para reduzir este efeito contaminante seria a partir do tratamento em biodigestores. Que se apresentam como uma forma de agregar valor a este material (dejeito suíno), possibilitando ao produtor uma nova fonte de renda (KUNZ; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2005).

Também é possível minimizar a emissão de gases do efeito estufa, reduzindo os impactos sobre as mudanças climáticas (COSER *et al.*, 2015). Características estas que acabam coincidindo com a agenda governamental, que busca a redução do impacto de atividades agropecuárias nas mudanças climáticas. Desta forma, a produção suinícola acaba se tornando uma atividade mais sustentável (MIELE *et al.*, 2013).

Além disso, é possível reduzir a dependência das propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e na produção de energia. Possibilitando uma redução na poluição e na emissão de gases do efeito estufa, quando comparado ao sistema vigente de armazenamento de dejetos em esterqueiras ou lagoas (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

2.3 Biodigestor

O processo realizado dentro de um biodigestor consiste basicamente na fermentação anaeróbia, ou seja, sem a presença de oxigênio, da matéria orgânica presente nos efluentes. Ele é realizado dentro de estruturas que são projetadas especificamente com esta finalidade, e normalmente são dimensionadas com base no volume de dejetos produzidos na granja. Como subproduto desta atividade obtém-se tanto o biogás, como o biofertilizante orgânico em forma líquida e sólida (MAPA, 2016).

O biodigestor do tipo canadense é o que mais tem se difundido em meio a suinocultura. Devido seu baixo custo, facilidade e agilidade de implantação (KUNZ; OLIVEIRA; HIGARASHI, 2005). Eles são definidos como Biodigestor de Lagoa Coberta (BLC) e consistem em um tanque escavado no solo, e recoberto por uma manta impermeabilizante, conhecido como geomembrana. Podendo ou não contar

com um sistema de aquecimento interno ou de agitação (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Figura 1 – Ilustração biodigestor



Fonte: Kunz; Steinmetz e Amaral (2022)

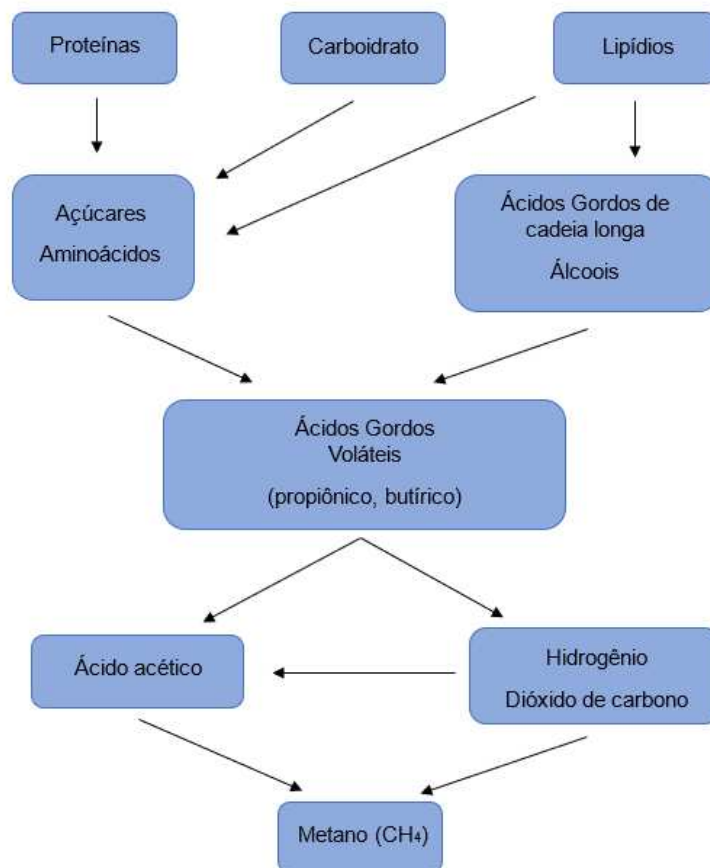
Além da ausência de oxigênio, que é essencial para que as bactérias metanogênicas consigam produzir o metano, a digestão anaeróbica necessita de alta carga orgânica do substrato; a temperatura deve ser mantida constante; faixa de pH ideal, embora varie ao longo de cada fase da digestão anaeróbica (SOBCZAK, 2021).

O processo da digestão anaeróbica conta com quatro fases (Figura 2), a qual inicia-se com a hidrólise, onde as bactérias decompõem os substratos orgânicos, transformando as proteínas, lipídios e hidratos de carbono em aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. Posterior a isso, ocorre a acidogênese, onde há a fermentação de aminoácidos e açúcares, e a oxidação anaeróbica de ácidos gordos de cadeia longa e álcoois. Depois, inicia-se a acetogênese, onde há a oxidação anaeróbica de ácidos gordos voláteis (exceto ácido acético) e a conversão de CO_2 e H_2 em ácido acético. E por fim, ocorre a metanogênese, onde é realizada a conversão de H_2 e ácido acético em CH_4 (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

Os microrganismos responsáveis pela produção de metano são sensíveis a variação de temperatura. Segundo Oliveira (2005), para que haja uma produção mais elevada de biogás a temperatura da biomassa no interior do biodigestor deve ficar entre 35 a 40°C.

Por isso, a temperatura da biomassa deve ser mantida o mais estável possível, tanto por meio do aquecimento do material, como pelo isolamento térmico da câmara de digestão, principalmente nos meses de inverno (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006). Além do sistema de aquecimento, pode ser instalado ao biodigestor um motor para a realização de agitação da biomassa. Visto que, com uma agitação correta, há um aumento de distribuição de substratos, nutrientes, enzimas e microrganismos na biomassa. Além de facilitar a liberação de biogás, o que pode impactar em um aumento de 15 a 30% na produtividade do biodigestor (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Figura 2 – Processo da digestão anaeróbica



Fonte: Adaptado de Oliveira e Higashi (2006)

2.3.1 Volume do biodigestor

O tamanho do biodigestor instalado na propriedade depende diretamente do volume de dejetos produzidos dentro das instalações. Pontos como o manejo empregado e a quantidade de água usada dentro dos galpões influenciam de maneira

significativa na produção dos DLS. Além disso, outro ponto interessante para se ressaltar, diz respeito a variação da densidade dos dejetos, que se altera conforme o sistema de produção empregado na propriedade, como terminação, creche, ciclo completo (CORRÊA *et al.*, 2011).

A água é um importante fator dentro do sistema produtivo, por isso, deve ser bem manejada. Segundo Palhares (2016), inicialmente o valor adotado como referência para a quantidade de DLS produzido nas Unidades de Terminação eram de 7 L/suíno/dia. Posteriormente, com o manejo adequado e boas práticas de gestão de água, o valor referencial passou a ser de 4,5 L/suíno/dia (Tabela 1). Demonstrando o quanto a água pode impactar dentro do sistema.

Tabela 1 – Consumo de água e produção de dejetos por animal

Sistema de produção	Unidade	Consumo de Água (diário)	Produção de Dejetos (diária)
Terminação	Suíno	8,3	4,5
Creche	Leitão	2,7	1,6
Unidade de Produção de Desmamados (UPD)	Matriz	19,3	11,4
Unidade de Produção de Leitões (UPL)	Matriz	26,5	15,6
Ciclo Completo	Matriz	92,0	50,6

Fonte: Adaptado de IMA (2021)

Além disso, outro fator que é levado em consideração no momento da projeção do volume do biodigestor é o Tempo de Retenção Hidráulico (TRH). Que nada mais é do que o tempo médio de permanência deste dejetos dentro do biodigestor, até sua saída (PROBIOGÁS, 2010).

Atualmente os valores de TRH praticados variam na faixa de 22 a 30 dias de permanência (OLIVEIRA, 2005). De modo que, se este tempo for menor do que o indicado, os microrganismos não tem tempo suficiente para decompor o efluente base, o que causa uma redução no rendimento de biogás produzido (PROBIOGÁS, 2010).

O TRH pode ser calculado com base na equação abaixo (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Onde:

TRH= Tempo de retenção hidráulica

V= Volume do biodigestor (m³)

Q= Vazão de alimentação

2.3.2 Geração de Biogás

O biogás é um dos subprodutos da fermentação anaeróbica, sendo constituído principalmente por CH₄, CO₂ e sulfeto de hidrogênio (H₂S). É considerado uma fonte de energia renovável, podendo ser usado na produção de energia elétrica, térmica e mecânica. Além de ser um combustível seguro e não tóxico, visto que se dissipa de forma rápida no ambiente, evitando explosões (SILVA & OLIVEIRA, 2014).

Como a maior parte do biogás é constituído de CH₄ podendo variar em uma faixa de 54 a 80% de sua composição (Tabela 2). Pode-se afirmar que, a construção de biodigestores tem um potencial enorme na mitigação de gases do efeito estufa (MAPA, 2016), o que tende a contribuir para o desenvolvimento de uma suinocultura de baixa emissão de carbono.

Tabela 2 – Composição do biogás

Composição	Percentual (%)
CH ₄	54 – 80
CO ₂	20 – 45
H ₂ S	Traços – 3
N ₂	Traços – 3

Fonte: Adaptado de MAPA (2016)

O biogás produzido pode ser queimado ou ainda, ser utilizado para produção de energia térmica ou produção de energia elétrica, por meio de geradores específicos. Entretanto, para que seja possível transformar o biogás em energia elétrica, é necessária a instalação de um motogerador na propriedade, no qual o produtor produz energia para consumo próprio ou ainda, para injetar na rede (MAPA, 2016). Isso tem sido uma alternativa necessária e viável devido à alta dos preços da kW/h da energia elétrica.

Vale ressaltar que, para utilizar o biogás para a produção de energia, o mesmo deve passar por um processo de tratamento. Uma das etapas, é conhecida como dessulfurização, que consiste na retirada do H₂S presente no gás. Este processo é realizado dentro do biodigestor e ocorre a partir da injeção direta de ar. Visto que, na presença de oxigênio ocorre um estímulo no crescimento de bactérias que oxidam o H₂S, realizando o processo biológico de dessulfurização, onde o mesmo é transformado em enxofre elementar. O H₂S presente no biogás causa desgaste e corrosão no motor, portanto quanto menor sua concentração, melhor (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

O outro processo é a remoção da água ou secagem do gás, já que ao sair do biodigestor o biogás está saturado de umidade. Para que não cause desgastes ou

danos ao sistema motogerador é preciso que o vapor d'água seja removido. Um dos métodos mais utilizados para isso é por meio da secagem por condensação. Ela ocorre dentro da tubulação de transporte do gás até o motogerador, entretanto os canos devem ser instalados a uma certa inclinação, possibilitando que a água saia por uma espécie de sifão. Além disso, se o encanamento estiver enterrado, o resfriamento do gás ocorre mais facilmente, permitindo uma melhor condensação (PROBIOGÁS, 2010).

A eficiência da produção de biogás depende de vários fatores, sendo eles: a qualidade de construção do biodigestor e seus equipamentos; manejo correto nestes equipamentos; a gestão de água; manejo alimentar correto na granja; e o percentual de matéria seca do dejetos (COSER *et al.*, 2015). De modo que, se manejado da forma correta o biodigestor pode chegar a produzir 0,35 a 0,60 m³ de biogás para cada m³ de biomassa inserida no sistema (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

2.3.3 Motogerador

O motogerador é um equipamento que transforma a energia química, na forma do biogás, em energia mecânica. Esta energia mecânica passa pelo alternador e então é transformada em energia elétrica (BRANDT, 2019).

O motogerador é um motor a combustão adaptado para o uso de biogás como combustível. Acoplado a ele há um motor de corrente alternada, responsável por gerar energia ao ser conectado à rede de energia elétrica. Vale ressaltar que para que a energia seja produzida o gerador deve estar conectado à rede (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006). Em caso de qualquer perturbação ou acidentes elétricos há um Painel de Proteção e Seccionamento (PPS) que desconecta o motor da rede imediatamente, evitando acidentes.

Existem vários fatores que podem alterar a produção de energia de uma usina. Entre os principais, estão os componentes do motor, como velas, óleo e filtros, que estão sujeitos a desgaste. Por isso, devem ser constantemente substituídos (PROBIOGÁS, 2010). Sendo que, a capacidade de geração pode variar conforme o estado dos componentes e a qualidade do gás produzido dentro do biodigestor. Por isso, devem ser preconizadas manutenções preventivas. (BRANDT, 2019)

2.3.4 Biofertilizante líquido

Além do biogás, o outro subproduto do biodigestor é o biofertilizante líquido, um efluente rico em matéria orgânica e nutrientes. Que pode ser empregado na adubação de culturas agrícolas, por meio de sua aplicação no solo. Além disso, seu uso tem cada vez mais se demonstrado viável devido aos altos custos da adubação mineral solúvel, podendo substituí-la de forma parcial ou até mesmo, totalmente (MAPA, 2016).

Os diferentes materiais usados na alimentação do biodigestor afetam diretamente sobre a composição de nutrientes do biodigestato. Deste modo, o produtor deve estar consciente sobre os compostos colocados dentro do sistema. Além disso, análises específicas devem ser realizadas para averiguar a quantidade correta de nutrientes, para que assim possam ser usados como fertilizantes (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Os dejetos suínos possuem uma boa concentração de nitrogênio, fósforo e potássio, que são justamente os três principais componentes dos adubos minerais formulados (BARROS *et al.*, 2019). Contudo, a concentração de nutrientes deste tipo de adubo orgânico é mais baixa ao ser comparada a adubos minerais, necessitando de uma dose maior para que seja suprida a mesma quantidade de nutrientes (SBCS, 2016).

O uso de biofertilizantes tende a proporcionar grandes produtividades agrícolas, podendo ser usado nas lavouras, fruticultura, pastagem e reflorestamento. Entretanto, para que estes ganhos aconteçam, deve ser bem posicionada, por um profissional qualificado. Caso contrário, pode inclusive contribuir para redução de produção e comprometer a qualidade do meio ambiente (CORRÊA *et al.*, 2011).

Além de funcionar como adubo, o biofertilizante é também responsável pela adição de matéria orgânica (MO) ao solo (CORDOVIL, 2009). O que impacta diretamente em uma melhora nas estruturas físico-químicas, na atividade microbiológica, na infiltração e retenção de água, na capacidade de trocas catiônicas (CTC) e ainda, possibilita que o solo se torne um armazenador de carbono (SHIMAMOTO, 2019).

Um dos principais desafios no uso racional do digestato diz respeito ao ajuste da dosagem correta de nutrientes demandada pela cultura. Visto que, nem sempre a proporção dos nutrientes dos dejetos coincide com a necessária para determinadas

plantas. Enquanto os adubos minerais estão disponíveis nas mais variadas formulações e proporções, os adubos orgânicos não. Sendo assim, como uma forma de contornar este problema, é necessário a aplicação suplementar de adubos minerais (PALHARES, 2019).

A quantidade de nutrientes excretada pelos animais é bem uniforme, entretanto a variação na quantidade de água usada no sistema produtivo altera concentração de nutrientes presentes no dejetos. Assim, quanto melhor a gestão de água, maior a concentração dos nutrientes. Além disso, o teor de matéria seca (MS) dos dejetos é um importante índice, que reflete a quantidade de nutrientes presentes no DLS. De modo que, o excesso de água causa a diminuição da MS e conseqüentemente aumenta a diluição dos nutrientes, despendendo um custo maior de transporte do efluente (BARROS *et al.*, 2019). Vale ressaltar que, pela Tabela 3, constata-se que quanto maior o volume de Matéria Seca (MS), o mesmo é acompanhado pelos níveis de NPK.

Tabela 3 - Relação entre matéria seca (MS) e concentração de nutrientes

M.S do dejetos (%)	N (kg)	P2O5 (kg)	K2O
2,1	2,21	1,75	1,25
3,0	2,83	2,37	1,50
3,9	3,44	2,99	1,75
5,1	4,21	3,75	2,06

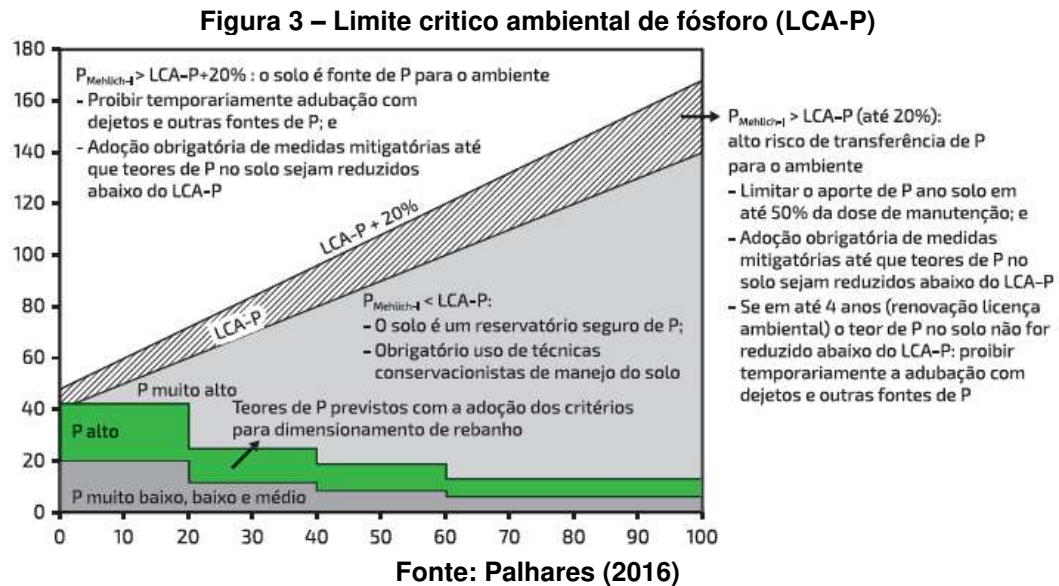
Fonte: Adaptado de Barros *et al.* (2019)

Deste modo, fatores como as características do resíduo orgânico, composição química do biofertilizante e ainda, produtividade esperada, devem ser levadas em consideração na hora do planejamento e posicionamento correto destes adubos. Outro ponto importante é a realização periódica de análise de solo na área aplicada, para acompanhar e constatar possíveis teores altos de nutrientes, o que pode inclusive prejudicar o desenvolvimento da cultura (CORRÊA *et al.*, 2011).

O uso indiscriminado de dejetos suínos pode contribuir para a poluição ambiental com doses excessivas de P. O fosforo é normalmente perdido por escorrimento superficial e por erosão. Este nutriente acaba sendo levado até aos corpos de água, onde sua concentração aumenta drasticamente. Este processo recebe o nome de eutrofização e acaba por propiciar um rápido crescimento de algas, além de transformar a água imprópria para os seus principais usos (BARROS *et al.*, 2019).

Na Figura 3 é possível acompanhar os valores do Limite Crítico Ambiental de P (LCA-P), que diz respeito ao teor de fósforo no solo em que o risco ambiental passa

a ser maior, visto que o nutriente começa a ser liberado de forma mais intensa nos corpos hídricos. Além do teor de P, que pode ser obtido via análise de solo, é necessário que seja realizada a determinação da porcentagem de argila do solo. Sendo assim, com estes dois valores, é possível determinar a medida necessária para a área analisada (PALHARES, 2016).



Além do teor de P, a utilização de biofertilizantes de suínos deve respeitar também os teores limites de Zn e Cu no solo, estabelecidos na Resolução n. 420, de 28 de dezembro de 2009 do Conama. De modo que, se os níveis estiverem iguais ou superiores aos teores estabelecidos na Tabela 4 a aplicação de biofertilizantes de suínos fica proibida. Isso porque, o excesso destes nutrientes pode causar toxidez para as plantas que estão se desenvolvendo na área (PALHARES, 2019).

Tabela 4 – Valores máximos de Zn e Cu no solo

Elemento	Teor de atenção (mg kg^{-1})	Teor limite no solo (mg kg^{-1})
Zn	300	450
Cu	60	250

Fonte: Adaptado de Corrêa et al. (2011)

Solos argilosos com baixa fertilidade tem uma maior capacidade para reter nutrientes, ao serem comparados a solos arenosos. Entretanto, a aplicação destes dejetos suínos deve ser baseada na instrução normativa de cada estado, para que assim, os nutrientes presentes no solo não fiquem saturados e por consequência, sejam liberados para o ambiente, se tornando poluentes (PALHARES, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Descrição da Propriedade Rural pesquisada

O estudo foi desenvolvido em uma granja de suínos localizada em Francisco Beltrão, região Sudoeste do Paraná (Fotografia 1). A propriedade conta com sete galpões de suínos, sendo três deles de terminação e os outros quatro, em sistema de creche (Tabela 5).

Fotografia 1 – Visão aérea da propriedade rural



Fonte: Google Earth (2023)

Os crechários ou Unidade Produtora de Leitões (UPL) são granjas especializadas em receber leitões desmamados e a partir disso, cuidar dos animais até que atinjam de 22 a 26 kg, estando então prontos para serem destinados as unidades de terminação (UT) (ABCS, 2016).

As Unidades Terminadoras (UT) são responsáveis por finalizar o ciclo de produção animal. É conhecida comumente como a fase de engorda, visto que os animais iniciam esta fase pesando em média 25kg e ao final do período da terminação saem pesando algo em torno de 120 kg (MITO *et al.*, 2018).

Tabela 5 – Número total de animais na granja

Regime de produção	Instalação	Número de animais	Número total de animais
Terminação	Galpão 1	1000	1.890
	Galpão 2	530	
	Galpão 3	360	
Crechário	Galpão 4	3500	14.000
	Galpão 5	3500	
	Galpão 6	3500	
	Galpão 7	3500	
TOTAL			15.890

Fonte: Autoria própria (2023)

Atualmente todos os efluentes produzidos (Tabela 6) dentro das sete instalações são destinados ao mesmo biodigestor, seguindo um cronograma desenvolvido pelo produtor, havendo alimentação diária do biodigestor com efluentes, permitindo uma produção de biogás mais constante.

Tabela 6 - Produção de dejetos estimada

Sistema de produção	Número de animais	Produção diária de dejetos/animal (litros)	Total/dia (m ³)	Total/ano (m ³)
Creche	14.000	1,6*	22,4	8.176
Terminação	1.890	4,5*	8,5	3.102
TOTAL	15.890	-	30,9	11.278

*valores retirados da Tabela 1

Fonte: IMA (2021)

3.1.1 Biodigestor da propriedade

O biodigestor instalado na propriedade é do tipo CSTR, sendo em formato redondo, com um diâmetro de 32m e 5m de profundidade. Contando com uma capacidade de armazenamento de cerca de 2.700m³ de biomassa (Fotografia 2).

Fotografia 2 – Biodigestor CSTR

Fonte: Autoria própria (2023)

Todo o DLS produzido na granja passa por um decantador (Fotografia 3) antes de entrar no biodigestor, retirando as partes sólidas mais pesadas do material,

impedindo que as mesmas passem a se depositar nas paredes internas do reservatório, o que evita o assoreamento interno do biodigestor.

Fotografia 3 – Decantador de sólidos



Fonte: Autoria própria (2023)

A biomassa fica retida dentro do biodigestor onde ocorrem os processos de fermentação. A partir disso, o biogás produzido ali é transportado até o grupo motorizador através de tubulações, que conta com um sifão, para a remoção da água que se forma dentro destes canos, devido ao transporte do gás.

Antes de chegar até o motor o gás passa por um Secador de biogás (Fotografia 4), onde ele é desumidificado, retirando o máximo da umidade, para que assim, o motorizador não sofra nenhuma possível avaria.

Fotografia 4 – Secador de biogás



Fonte: Autoria própria (2023)

Para a redução na formação de H_2S , injeta-se ar dentro do biodigestor por meio de um equipamento chamado de Dessulfurizador (Fotografia 5).

Fotografia 5 - Dessulfurizador



Fonte: Autoria própria (2023)

Na Fotografia 6 é possível visualizar a presença de um sistema de escape, cujo objetivo é impedir que a lona seja danificada por um armazenamento muito grande de biogás, ou seja, acabe rompendo por excesso de gás armazenado.

Fotografia 6 – Sistema de escape de biogás



Fonte: Autoria própria (2023)

Esta planta de biogás conta com um sistema de agitação (Fotografia 7), que funciona a partir de um timer. A cada 6 horas o motor liga por cerca de 15 minutos, permitindo assim que ocorra uma homogeneização da biomassa presente dentro do biodigestor.

Fotografia 7 – Agitador para homogeneização de biomassa



Fonte: Aatoria própria (2023)

Além disso, por estar situada em uma região mais fria, a planta conta com um sistema de aquecimento (Fotografia 8), formado por várias mangueiras cheias de água, instaladas na parede do reservatório, que são aquecidas por um equipamento que realiza a troca de calor entre a água que vem destas mangueiras e a água do radiador do motor, permitindo assim que a biomassa fique com uma temperatura mais constante.

Fotografia 8 – Sistema de aquecimento



Fonte: Aatoria própria (2023)

O biodigestato que sai do biodigestor fica armazenado em uma antiga esterqueira que a propriedade já possuía. Ou seja, a mesma já contava com um

reservatório impermeabilizado para o armazenamento do material pronto para ser aplicado nas áreas agrícolas.

A energia produzida via motogerador é totalmente comercializada, visto que o consumo de energia na propriedade fica bem abaixo dos valores produzidos. Deste modo, o produtor acabou se associando a uma cooperativa de geração compartilhada, a qual passou a titularidade da Unidade Consumidora (UC) de energia. A partir disso, é firmado um contrato entre o produtor e a cooperativa, onde o mesmo passa a receber um valor fixo pelo kW/h produzido.

A geração de energia na propriedade se define como Microgeração Distribuída, isso porque a central geradora, neste caso o motogerador, conta com uma potência instalada de 75 quilowatts (kW) (ANEEL, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Custo de instalação do biodigestor

Na Tabela 7 foram listados todos os custos e despesas envolvendo a construção e aquisição de todas as máquinas e equipamentos para o devido funcionamento do biodigestor.

Tabela 7 – Custos de aquisição e instalação do biodigestor

Item	Descrição	Custo (R\$)
Escavação	- Terraplanagem	24.877,90
	- Escavação Biodigestor	
	- Escavação encanamentos	
Mão de obra	- Construção Casa de Maquinas	23.722,66
	- Construção decantador	
	- Instalação de parte elétrica	
	- Construção Casa Aquecimento	
Motogerador	- Motogerador 120KVA/ 77kW/h em regime contínuo	290.652,00
	- Projeto de geração distribuída	
	- Painéis de segurança	
Biodigestor	- Biodigestor de Mistura Completa 2700m ³ (32x5)	332.027,00
	- Tratamento de biogás	
	- Dessorizador	
Rede elétrica	- Sistema de Aquecimento	58.355,50
	- Instalação de Rede Trifásica	
Construção	- Padrão de energia	43.540,24
	- Decantador	
	- Casa de máquina	
	- Casa aquecimento	
Bomba	- Base agitador	14.664,00
Despesas Bancárias		78.638,17
TOTAL		866.477,47

Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.1 Custos anuais

Além dos custos despendidos para a instalação de todo sistema de biodigestão, foi necessário a realização dos cálculos dos custos fixos e variáveis, além das despesas envolvendo a operação do motogerador, uma vez que estas variáveis seriam necessárias para a realização dos cálculos de viabilidade econômica e financeira do empreendimento.

Sendo assim, vale ressaltar que a manutenção e substituição de peças é baseado nas horas técnicas trabalhadas, que afetam diretamente os cálculos atrelados ao funcionamento do motor, conforme pode ser visualizado na Tabela 8, no qual, quanto mais horas trabalhadas, maior será o gasto com a manutenção.

Tabela 8 – Substituição de peças do motor em horas de funcionamento do motor

Item	Substituição a cada (horas)
Óleo	500
Filtro de óleo	500
Velas (4 unidades)	1000
Cabos de vela (4 unidades)	1000
Filtro de ar	1500
Fluído do radiador	1500

Fonte: Aatoria própria (2023)

Além disso, como o biodigestor se encontra em início de operação, foi estipulado um valor médio de funcionamento diário de 12 horas, para que assim fosse possível descobrir a cada quantos dias de operação seriam necessárias as suas manutenções. O custo anual com cada peça a ser substituída pode ser visualizado na Tabela 9.

Além do custo de peças a serem substituídas, há ainda um gasto mensal de internet de R\$ 70,00, para a operação e acompanhamento da planta de forma remota.

Contabilizou-se R\$ 300,00 mensais em hora máquina de trator, para que seja feita a limpeza do decantador, retirando as partes sólidas que ficam ali retidas e ainda, para revolvimento dos materiais sólidos que são colocados em leiras.

Com relação a mão de obra para operação e funcionamento do motogerador foi considerado o pagamento de um valor de R\$ 1.320,00 mensal, visto que, são necessárias substituições periódicas de peças.

Quanto a depreciação do empreendimento, segundo a Instrução Normativa SRF Nº 162, a qual versa sobre a taxa de depreciação de bens, os itens, Grupo Motogerador, Biodigestor, Rede Elétrica, Construção e Bomba, que estão presentes na Tabela 7 sofrem uma depreciação de 10% ao ano, com prazo de vida útil de 10 anos. Fazendo com que a depreciação anual da usina fique no valor de R\$ 73.923,87.

Tabela 9 – Custos anuais

Descrição	Valor anual (R\$)
Óleo	3.663,00
Filtro de Óleo	531,00
Velas (conjunto)	563,00
Cabos de vela (conjunto)	1.760,00
Filtro de ar	540,00
Fluído de radiador	996,00
Internet	840,00
Hora máquina do trator	3.600,00
Mão de obra	15.840,00
Depreciação	73.923,87
TOTAL	R\$ 102.256,87

Fonte: Aatoria própria (2023)

4.2 Receitas

4.2.1 Receita por meio da geração distribuída

Como já citado anteriormente, o biodigestor está em início de operação, sendo assim, a sua produção de biogás vem passando por alterações, devido a diferentes métodos de manejo que vem sendo empregados. E ainda, o sistema de aquecimento e agitação do biodigestor foram recém instalados. Por isso, houve um aumento considerável na geração de energia com biogás, para o qual foi considerado uma operação média diária de 12 horas.

Além disso, o motogerador tem capacidade de produção de até 75 kW/h, entretanto a sua produção também depende da tensão da rede. Assim sendo, o motor pode operar até 232V, em momentos de tensão da rede mais elevada, o motor acaba tendo que funcionar com uma capacidade de produção reduzida, para o qual será usado o valor médio de funcionamento de 55kW/h, levando em consideração as perturbações que podem ocorrer na rede.

Nestas condições, a média diária de produção fica por volta dos 660 kW e uma média mensal de produção de 19.800 kW. Além disso, utilizou-se um valor médio de remuneração por kW/mês gerado de R\$ 0,45, contando que assim não haja nenhuma superestimação de valores pagos, nem uma subestimação.

Desta forma, a remuneração anual obtida por meio da geração de energia via motogerador seria de R\$ 106.920,00.

Além disso, por meio da instalação da rede trifásica no projeto, a propriedade passou a ter uma economia mensal de energia de cerca de R\$ 500,00. Uma vez que novos equipamentos e fiações foram instalados.

4.2.2 Receita do biofertilizante líquido ou digestato

A produção diária de dejetos nesta granja é de 11.278 m³/ano. Para saber a quantidade de nutrientes presente neste digestato, foi utilizando um densímetro, obtendo a densidade do material. Com o resultado médio da densidade, recorreu-se a Tabela 10, na qual constam os valores aproximados dos teores dos nutrientes, conforme:

Tabela 10 – Relação entre densidade e nutrientes presente no biofertilizante suíno líquido

Densidade	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		Kg/m ³	
1000	0,37	0,00	0,38
1001	0,52	0,11	0,51
1002	0,68	0,22	0,63
1003	0,83	0,37	0,69
1004	0,98	0,52	0,75
1005	1,13	0,67	0,80
1006	1,29	0,83	0,88
1007	1,44	0,98	0,94
1008	1,60	1,14	1,00
1009	1,75	1,29	1,06
1010	1,91	1,45	1,13

Fonte: Adaptado de SBCS (2016)

Foram coletadas quinze amostras em diferentes pontos da lagoa (pós biodigestor), a partir das quais foi obtido um valor de densidade de 1008, representando valores de 1,6, 1,14 e 1,00 respectivamente para os teores de N, P₂O₅ e K₂O.

Caso fosse comparado a um adubo 15-15-15, seria necessário a aplicação de 132 m³ de digestato para igualar uma tonelada (t) do formulado. Sendo assim, a produção anual de digestato equivale a uma produção de 85,4 t de 15-15-15, que custa em média R\$ 2.700,00, o que representa um ganho anual de R\$ 230.580,00. Valor este referente ao potencial de receita que o biodigestor estudado poderia gerar, através da economia com aquisição de fertilizantes.

Para exemplificar as etapas relacionadas a um posicionamento correto de adubação e os cálculos envolvidos, foi escolhida uma área de 30 ha (hectares) de Tifton (*Cynodon spp.*), para a produção de pré-secado. A propriedade fica a cerca de 3,2 km de distância da planta do biodigestor (Fotografia 9).

A maior parte das aplicações de biofertilizante são realizadas com caminhões tanque. Sendo assim, a distância para o destino final de aplicação dos efluentes é muito relevante.

Fotografia 9 – Rota entre o biodigestor e a área de adubação com biodigestato



Fonte: Google Earth (2023)

Para obter o valor de transporte e aplicação do biofertilizante líquido buscou-se o valor médio praticado por três empresas que realizam este tipo de serviço na região. O tamanho mais comum dos tanques destes caminhões é de 15 mil litros, com um valor por carga de transporte de R\$ 150,00. Além disso, a partir da distância de 2km é cobrado um adicional de R\$ 7,50/km. Deste modo, o valor por carga aplicada (15 mil litros) até a propriedade rural selecionada, seria de R\$ 159,00 ou então, R\$ 10,60 por m³ de biofertilizante.

Para estimar de forma mais correta a adubação, foi realizado uma análise de solo na área (Anexo A), para ter uma melhor quantificação da necessidade de biofertilizante e os ganhos financeiros comparativos.

Com base nos dados presentes na análise de solo, foi possível constatar que a concentração de fósforo no solo, de 31,43 mg/dm³, é “Muito Alta” baseando-se no LCA-P (Figura 3). Entretanto, ainda não há restrição de aplicação deste nutriente, sendo assim, o biofertilizante pode servir como uma fonte de adubação de manutenção para a cultura. Vale ressaltar que, analisou-se o P, por ser justamente o nutriente com maior risco de contaminação ao meio ambiente.

Para a quantificação correta de biofertilizante líquido (digestato) é preciso levar em consideração a produtividade esperada de matéria seca da forrageira (MS)

(t ha⁻¹). De modo que, neste cenário foi estipulada uma produtividade em torno de 16 a 20 t ha⁻¹.

Com base nestas informações, a dose de aplicação de P₂O₅ em kg/ha ficaria em valores entre 71-100 (Tabela 11), optando então pelo uso de 100 kg/ha.

Tabela 11 – Adubação de P₂O₅ de manutenção para *Cynodon spp.*

P no solo	Produtividade de matéria seca esperada (t ha ⁻¹)			
	<10	10-15	16-20	>20
	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
Muito baixo	131-160	161-190	191-220	Inviável
Baixo	101-130	131-160	161-190	191-220
Médio	71-100	101-130	131-160	161-190
Alto	41-70	71-100	101-130	131-160
Muito alto	20-40	41-70	71-100	101-130
Condição a evitar	0	0	0	0

Fonte: SBCS (2017)

Levando em consideração que o biodigestato possui uma concentração de 1,14 kg/m³ de P₂O₅ e a área precisaria de uma adubação de 100 kg/ha de P₂O₅, foi preciso uma aplicação de 88m³ deste biofertilizante, ou neste caso, seis viagens de caminhão por hectare, totalizando 90m³ de material e 144 kg de N, 102,6 de P₂O₅ e 90 kg de K₂O.

As seis viagens de retirada e aplicação do biofertilizante líquido teriam o valor de R\$ 954,00/ha, para aplicação da área total (30ha), este valor seria então de R\$ 28.620,00. Vale ainda ressaltar, que os 90 m³ seriam fracionados conforme o número de cortes, com uma aplicação média de 15 m³/ha realizada sempre após o corte da espécie forrageira.

Caso a adubação fosse realizada com um fertilizante mineral solúvel, seriam necessários 667 kg/ha de adubo de formulação 15-15-15 para atingir os 100 kg/ha de P₂O₅ demandados pela cultura. Além disso, também seria adicionado 100kg de N e 100 kg de K₂O. O valor médio do fertilizante é de de R\$ 2.700,00, totalizando R\$ 1.800,00/ha e para área completa (30 ha) R\$ 54.000,00. Assim, o produtor de pré-secado teria uma economia com o uso do biofertilizante de R\$ 846,00/ha, totalizando em 30 ha um valor de R\$ 25.380,00.

Tendo como exemplo o uso do biofertilizante em produção de pré-secado, considera-se um valor de receita por aplicação na área total da propriedade a partir da diferença dos custos entre a adubação com o biofertilizante líquido e com a adubação mineral.

4.2.3 Receita do biofertilizante sólido

A parte sólida oriunda da decantação dos dejetos antes de entrar no biodigestor é retirada com auxílio de um trator e amontoada em leiras, onde é misturada a serragem de madeira, através da qual realiza-se um processo de compostagem destes materiais, para que assim possa ser posteriormente utilizada como adubo. Este composto passa então a ser molhado com certa constância e revolvido semanalmente, intensificando o processo de sua compostagem.

A quantidade produzida de sólidos depende de vários fatores, como a fase de criação dos animais e o aproveitamento de ração dos mesmos. Por isso, estipulou-se um valor de produção de 500kg mensais de biofertilizante sólido.

Para realizar a precificação do material, foi levado em consideração o preço médio de compostos orgânicos ensacados de origem animal variado, encontrado a venda na região. Sendo assim, será considerado o valor de R\$ 0,60/kg de composto. O que representa um valor de R\$ 300,00 mensais, ou R\$ 3.600,00 anual.

Fotografia 10 – Leira de compostagem do biofertilizante



Fonte: Aatoria própria (2023)

4.2.4 Receita Total gerada

Somando todas as receitas provenientes dos subprodutos gerados pelo biodigestor, foi possível confeccionar a Tabela 12. Onde os valores são calculados de forma anual. Chegando a uma receita por volta dos R\$ 347.100,00.

Tabela 12 – Receitas totais provenientes do biodigestor

Descrição	Valor anual (R\$)
Geração distribuída	106.920,00
Energia	6.000,00
Biofertilizante líquido	230.580,00
Biofertilizante sólido	3.600,00
TOTAL	347.100,00

Fonte: Aatoria própria (2023)

4.3 Índices econômicos

Como forma de buscar respostas sobre a viabilidade econômica do projeto, buscou-se aplicar três indicadores econômicos. Primeiramente, foram levantados dados sobre o investimento inicial do projeto, os custos e as receitas, a taxa de juros e ainda, o prazo de pagamento do biodigestor. Posteriormente, foram realizados os cálculos do VPL, TIR e Payback descontado.

Entretanto, vale ressaltar que com relação ao biofertilizante líquido, o valor de R\$ 230.580,00 representa o potencial de produção máxima, caso houvesse o uso total do digestato produzido na área. Por isso, será levado consideração um aumento de 10% anual de receita, se baseando no valor máximo. Para que até o ano 10 do investimento, o produtor consiga obter a maior receita possível com a produção de dejetos que tem hoje (Tabela 13).

Tabela 13 – Valor de receitas anuais com acréscimo de 10% a.a. do biofertilizante líquido

Ano	Geração distribuída (R\$)	Energia (R\$)	Biofertilizante sólido (R\$)	Biofertilizante líquido (R\$)	TOTAL (R\$)
1	106.920,00	6.000,00	3.600,00	23.058,00	139.578,00
2	106.920,00	6.000,00	3.600,00	46.116,00	162.636,00
3	106.920,00	6.000,00	3.600,00	69.174,00	185.694,00
4	106.920,00	6.000,00	3.600,00	92.232,00	208.752,00
5	106.920,00	6.000,00	3.600,00	115.290,00	231.810,00
6	106.920,00	6.000,00	3.600,00	138.348,00	254.868,00
7	106.920,00	6.000,00	3.600,00	161.406,00	277.926,00
8	106.920,00	6.000,00	3.600,00	184.464,00	300.984,00
9	106.920,00	6.000,00	3.600,00	207.522,00	324.042,00
10	106.920,00	6.000,00	3.600,00	230.580,00	347.100,00

Fonte: Autoria própria (2023)

O Valor Presente Líquido ou VPL diz respeito a soma dos fluxos de caixas futuros, descontados a uma taxa de juros estipulada. Este indicador apresenta o resultado se o projeto em questão possibilitará um retorno mínimo esperado, condição em que o VPL seja acima de zero (MARQUEZAN & BRONDANI, 2006). Deste modo, quando o valor for maior que zero, o projeto é viável, visto que há lucro com o investimento.

$$V_{PL} = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_{C_t}}{(1+i)^n}$$

Onde:

V_{PL} : Valor Presente Líquido;

F_c : fluxo de caixa;

t : momento em que o fluxo de caixa ocorreu;

i : taxa de desconto (ou taxa mínima de atratividade);

n : período de tempo.

Para o cálculo do VPL utilizou-se uma taxa mínima de atratividade de 10% a.a. Visto que, esta foi a taxa de juros do financiamento realizado para quitar as dívidas advindas do biodigestor. Levando isso em consideração, o VPL para este investimento foi de R\$ -109.326,72, ou seja, não é um investimento viável, visto que seu valor foi negativo.

Além disso, foi realizado o cálculo para a determinação da Taxa Interna de Retorno ou TIR, que é um índice que representa qual a taxa de juros retornará o VPL de um investimento com valor inicial zero (MARQUEZAN & BRONDANI, 2006). Podendo ser relacionada a taxa percentual do retorno do capital investido.

A TIR foi de 7,66%, ou seja, teve um retorno menor do que a taxa de juros paga no financiamento do biodigestor, que foi de 10%. Deste modo, o investimento não se pagaria.

Tabela 14 – Fluxo de caixa do empreendimento e cálculo do VPL

Ano	Receitas (R\$)	Custos (R\$)	Investimento(R\$)	Fluxo de Caixa (R\$)	VPL (10%)
0			866.477,47	-866.477,47	
1	139.578,00	102.257,87	-	37.321,13	33.928,30
2	162.636,00	102.257,87	-	60.379,13	49.900,11
3	185.694,00	102.257,87	-	83.437,13	62.687,55
4	208.752,00	102.257,87	-	106.495,13	72.737,61
5	231.810,00	102.257,87	-	129.553,13	80.442,30
6	254.868,00	102.257,87	-	152.611,13	86.145,00
7	277.926,00	102.257,87	-	175.669,13	90.146,04
8	300.984,00	102.257,87	-	198.727,13	92.707,67
9	324.042,00	102.257,87	-	221.785,13	94.058,55
10	347.100,00	102.257,87	-	244.843,13	94.387,63
TOTAL	2.433.390,00	1.022.578,70	-	1.410.821,30	757.150,75

Fonte: Autoria própria (2023)

Além destes dois índices, foi realizado o cálculo para saber quanto tempo o investimento demoraria para ser pago, para isso foi aplicado o Payback descontado no investimento, a qual produziu os valores presentes na Tabela 15.

Assim, é possível visualizar que na coluna “Saldo”, onde o valor do investimento (R\$ 866.477,47) é diminuído pelo fluxo de caixa descontado de cada ano respectivamente, o valor torna-se positivo apenas no ano 12, obtendo um payback descontado de 11,3 anos. Valor superior aos 10 anos necessários para que o financiamento fosse quitado.

Tabela 15 – Payback descontado

Ano	Fluxo de caixa (R\$)	Fluxo descontado (R\$)	Saldo (R\$)
0	-866.477,47	-866.477,47	-866.477,47
1	37.321,13	33.928,30	-832.549,17
2	60.379,13	49.900,11	-782.649,06
3	83.437,13	62.687,55	-719.961,51
4	106.495,13	72.737,61	-647.223,91
5	129.553,13	80.442,30	-566.781,60
6	152.611,13	86.145,00	-480.636,60
7	175.669,13	90.146,04	-390.490,56
8	198.727,13	92.707,67	-297.782,89
9	221.785,13	94.058,55	-203.724,34
10	244.843,13	94.397,63	-109.326,72
11	244.843,13	85.816,02	-23.510,69
12	244.843,13	78.014,57	54.503,87

Fonte: Autoria própria (2023)

Sendo assim, da maneira como vem sendo conduzido hoje, o projeto não é viável no âmbito econômico e financeiro. Ou seja, o investimento não conseguiria gerar renda o suficiente para que conseguisse quitar o valor de instalação e manutenção do equipamento. Entretanto, é importante ressaltar que este é um investimento que tem se tornado cada vez mais necessário para a continuidade da atividade suinícola. Já que a maioria das granjas tem sofrido para manter o número de animais presentes em seus plantéis ou ainda, aumentar seus rebanhos, e tudo isso por conta da geração excessiva de passivos ambientais.

Deste modo, para assegurar o futuro da suinocultura e ainda, aumento do número de animais, a instalação de um biodigestor tem se demonstrado indispensável e um investimento necessário para manutenção da atividade rural.

Vale ainda ressaltar que, embora o projeto não seja viável, poderiam ser tomadas inúmeras outras medidas com intuito de aumentar as receitas deste projeto, tornando-o ainda mais atrativo para o produtor rural.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de todas as informações coletas junto a propriedade rural, foi possível compreender um pouco mais sobre os componentes de funcionamento e operação presentes dentro de uma planta industrial de biodigestor, possibilitando um melhor entendimento sobre o assunto.

Para que fosse possível a determinação dos valores gerados por cada subproduto do biodigestor, primeiramente foi necessária a determinação da concentração de nutrientes presente no biofertilizante líquido (digestato). Fator determinante para o cálculo de adubação e assim, poder concluir que a adubação orgânica pode ser um substitutivo a adubação mineral, principalmente ao se comparar o custo de aplicação.

Além do mais, foi possível constatar que a produção de energia a partir do biogás pode se tornar uma importante fonte de renda ao produtor rural, sendo mais lucrativa ao passo que haja um aumento do valor pago por kW/h.

O biofertilizante sólido é um uma oportunidade de negócio que ainda pode ser melhor explorada, pois atualmente é uma renda obtida apenas pela limpeza do decantador do biodigestor.

Através dos levantamentos de receitas, custos, e dos indicadores econômicos da VPL, TIR e Payback descontado conclui-se que o investimento não é viável economicamente. Entretanto, vale observar que este é um investimento que tem se tornado cada vez mais necessário, em vista da continuidade na produção animal, neste caso, os suínos. Já que o aumento de animais resulta em mais dejetos e mais impactos ao meio ambiente, o biodigestor acaba sendo indispensável para que a atividade suinícola, assim como outras, continuem se desenvolvendo.

Além disso, a partir de algumas medidas, o projeto poderia passar a ter ainda outras receitas, o que possibilitaria com que o mesmo passasse a ter uma melhora considerável de VPL, TIR e redução de tempo de payback. Entre uma destas medidas, está o melhor manejo de água no sistema, visto que, somente com algumas medidas de economia de água, o biofertilizante final poderia ter uma densidade maior do que os 1008 obtido, ficando menos diluído. O que poderia fazer com que o volume de biofertilizante aplicado por hectare diminuísse.

Além disso, poderia ser realizada uma filtragem mais eficiente do material sólido pré-entrada no biodigestor, o que possibilitaria um aumento na quantidade de

material sólido captado e por consequência, um aumento na produção de biofertilizante. Entretanto, seria necessária a realização de um estudo mais amplo de viabilidade para este projeto, visto que, seria preciso ainda mais recursos financeiros.

Outra fonte de receita para o projeto poderia advir da comercialização dos créditos de carbono, atualmente o produtor não tem um projeto voltado para isso. Mas em vista ao grande poder redutor do impacto ambiental da emissão de gases do efeito estufa, o biodigestor é uma grande ferramenta na geração deste tipo de créditos, podendo ser uma alternativa para aumentar a rentabilidade do investimento.

Enfim, há inúmeras medidas que poderiam ser tomadas para aumentar a rentabilidade do projeto, mas, para isso seriam necessários mais estudos na área, visto que, uma boa parte das soluções exigiriam algum investimento a mais do que os estudados neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ABCS. **Mapeamento da suinocultura brasileira**. 1. ed. Brasília: SEBRAE, 2016.
- ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>>. Acessado em: 20 de novembro de 2023.
- BARROS, E. C.; *et al.* **Potencial agrônômico dos dejetos suínos**. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019.
- BRANDT, L. S. **Análise de rendimento para grupos motogeradores movidos a biogás de fabricação nacional**. 2019. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeira Produtiva do Biogás) – Universidade Tecnológica federal do Paraná, Medianeira, 2019.
- BRASIL. **Instrução Normativa SRF Nº 162, de 31 de dezembro de 1998**. Estabelece a quota de depreciação a ser registrada na escrituração da pessoa jurídica. Brasília: Receita Federal, 1999. Disponível em: <<http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?naoPublicado=&idAto=15004&visao=original>> Acessado em: 20 de novembro de 2023.
- CORDOVIL, C. M. D. Efeito comparativo da aplicação ao solo de diversas formas de chorume de suínos fresco ou tratado, na produção de cereais. *In*: I SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS. 2009, Florianópolis. p. 394-399.
- CORRÊA, J. C.; *et al.* **Crítérios técnicos para recomendação de biofertilizante de origem animal em sistemas de produção agrícolas e florestais**. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011.
- COSER, F.; *et al.* Potencial para a geração de energia elétrica, com o uso do biogás gerado, na suinocultura brasileira. *In*: XVII CONGRESSO ABRAVES. 2015, Campinas. p. 500-502.
- EMBRAPA. Central de Inteligência de Aves e Suínos (CIAS). **Estatísticas**. Brasília. 23 de maio de 2023. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.
- HIGARASHI, M. M.; *et al.* **Metodologia para medir a emissão de CH₄, CO₂ E H₂S em compostagem de dejetos suínos**. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2010.
- IMA. **Instrução Normativa Nº 11, de agosto de 2021**. Define documentação necessária para licenciamento ambiental da suinocultura. Florianópolis: IMA, 2021.
- KICKOW, H. **Dejeto líquido suíno associado a adubação nitrogenada na produção de pré-secado de aveia**. 2016. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2016.

- KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Biodigestor para tratamento de dejetos suínos**: Influência da temperatura ambiente. 1. ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2005.
- KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento digestivo**. 2. ed. Concórdia: Sbera: Embrapa suínos e aves, 2022.
- MAPA. **Suinocultura de baixa emissão de carbono**. 1. ed. Brasília: MAPA, 2016.
- MARQUEZAN, L. H. F.; BRONDANI, G. Análise de investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, Santa Maria, v. 3, n. 11, jan-jun. 2006.
- MATOS, G. S.; DE PRÁ, M. C. Monitoramento e diagnóstico de plantas de biogás no sudoeste do Paraná, **Revista Técnico-Científica do Crea-PR**, Edição Especial, p. 1-15, ago. 2023.
- MIELE, M.; ALMEIDA, M. M. T. B. **Caracterização da suinocultura no Brasil a partir do censo agropecuário 2017 do IBGE**. 1. ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2023.
- MIELE, M.; *et al.* Impacto econômico de um sistema de tratamento dos efluentes de biodigestores. *In*: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 2011, Cuiabá.
- MIELE, M.; *et al.* **Avaliação técnica-econômica das rotas de tratamento dos efluentes de uma usina de biogás no município de Tupandi, Rio Grande do Sul**. 1. ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2013.
- MITO, J. Y. L.; *et al.* **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. 1. ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2018.
- OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos**. 1. ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2006.
- OLIVEIRA, P. A. V. **Projeto de biodigestor e estimativa da produção de biogás em sistema de produção**. 1. ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves, 2005.
- PALHARES, J. C. P. **Produção animal e recursos hídricos**: Volume 1. São Carlos: Editora Cubo, 2016.
- PALHARES, J. C. P. **Produção animal e recursos hídricos**: Tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2019.
- PARANÁ. **Resolução Sedest Nº 015/2020**. Estabelece condições e dota outras provicências, para o licenciamento ambiental de Empreendimentos de Suinocultura no Estado do Paraná. Curitiba: Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo, 2020.
- PROBIOGÁS. **Guia prático do biogás**: Geração e utilização. 5. ed. Gülzow: FNR, 2010.

ROSSI, A. R.; *et al.* Manejo do dejetos líquido de suínos (DLS) em áreas agrícolas na bacia do lajeado são francisco – município de Presidente Castello Branco, SC. *In: A CONFERÊNCIA DA TERRA – FORUM INTERNACIONAL DO MEIO AMBIENTE. 2022, Evento Virtual. TERRA: Paisagens & Sociobiodiversidade.* Ituiutaba: Editora Barlavento, 2023.

SANDI, A. J.; *et al.* Levantamento do custo de transporte e distribuição de dejetos de suínos: um estudo de caso das associações de produtores nos municípios do Alto Uruguai Catarinense. *In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA.* 2011, Belém.

SANTOS, D. T.; SILVA, V. M. A suinocultura e os impactos ao meio ambiente, **CIENTEC**, Cruz Alta, v. 2, n. 2, p. 43-48, dez. 2018.

SBCS. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná.** Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná, 2017.

SBCS. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.** 11. ed. RS/SC: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2016.

SHIMAMOTO, G. F. **Modelagem matemática da matéria orgânica do solo em sistema silvipastoril biofertilizado com água residuária da suinocultura.** 2019. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

SILVA, E. S.; OLIVEIRA, G. S. **Biodigestor:** uma proposta de aproveitamento do lixo orgânico no município de Santarém. Santarém, 2014.

SOBCZAK, J. C. **Produção de biofertilizante com resíduos da suinocultura:** avaliação da influência da economia circular nas dimensões da sustentabilidade no agronegócio brasileiro. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

SOUZA, M. V. N.; *et al.* Avaliação econômica de tecnologias para tratamento dos resíduos líquidos da suinocultura e valoração dos nutrientes reciclados. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS.* 2019, Florianópolis. p. 497-500.

ANEXO A - Análise de Solo



Av. Rocha Pombo, 170 - Jd. Gramado
 Cascavel - PR CEP 85.816-540
 Telefone / Fax: 45 3227 1020
 CNPJ: 85.473.338/0001-13
 E-mail: solanalise@solanalise.com.br
 Home Page: www.solanalise.com.br



Cliente:
 Nome: ARTHUR PEZENTE
 Município: FRANCISCO BELTRAO - PR

Data Entrega: 30/10/2023

Data Coleta: 30/10/2023

Profundidade física: 0-40

Amostra: 1

Área total:

Controle: 23428 / 2023

Resultado de Análise de Solos			INTERPRETAÇÃO		
ELEMENTOS	mg/dm ³	Cmol _c /dm ³	BAIXO	MÉDIO	ALTO
Cálcio	Ca	6,34			■■■■
Magnésio	Mg	1,94			■■■■
Potássio	K	358,80			■■■■
Alumínio	Al	0,11	■■■■		
H + Alumínio	H + Al	7,20			■■■■
Soma de bases	S	9,20			■■■■
C T C pH 7.0	T	16,40			■■■■
C T C efetiva	t	9,31			■■■■
	%	g/dm ³			
Carbono	C	27,38			■■■■
M. Orgânica	MO	4,71			■■■■
	%				
Sat. Alumínio	Al	1,18	■■■■		
Sat. Bases	V	56,10		■■■■	
Argila	Arg				
	mg/dm ³				
Boro	B				
Enxofre	S				
Ferro	Fe	55,10		■■■■	
Manganês	Mn	27,30			■■■■
Cobre	Cu	10,10			■■■■
Zinco	Zn	5,00			■■■■
pH Água					
pH SMP					
pH CaCl ₂		4,80			

Observação:

GRANULOMETRIA %	
Areia:	13,75
Silte:	17,50
Argila:	68,75
Classificação do Solo, Tipo:	3
Água disponível:	0,96 mm/cm AD4
FÓSFORO mg/dm ³	
Fósforo	P 31,43
Fósforo Rem.	
Nível Crítico de Fósforo	NCP
Fósforo Relativo	PR

RELAÇÕES Cmol _c /dm ³				
Ca / Mg	Ca / K	Mg / K	K/√Ca+Mg ¹	
3,27	6,89	2,11	0,32	
K%	Ca%	Mg%	H%	Al%
5,61	38,66	11,83	43,23	0,67

Cascavel, 01 de Novembro de 2023

Dejo Carlos Zocoler
 Químico Responsável
 CRQ 09100089 - 9ª Região

Daniel Florio Zocoler
 Químico Industrial
 CRQ 09202405 - 9ª Região

Confira a autenticidade deste laudo em www.solanalise.com.br com a chave MjAyM3wyMzQyOAA==

Extrator Mehlich 1: K - P - Fe - Mn - Cu e Zn, Extrator KCl: Ca - Mg - Al, Extrator HCl 0,05 N: S, Extrator Fosfato de Cálcio: S, Extrator Dicromato de sódio: Carbono

NESTE LAUDO NÃO CONSTA RECOMENDAÇÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS