

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS**

TIAGO BROETTO

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS EM
UMA GRANDE PROPRIEDADE RURAL**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

MEDIANEIRA

2019

TIAGO BROETTO

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS EM
UMA GRANDE PROPRIEDADE RURAL**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR - Campus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Airton Kunz

MEDIANEIRA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE SUÍNOS EM UMA GRANDE PROPRIEDADE RURAL

Tiago Broetto

Esta monografia foi apresentada às 14 h, do dia 03 de maio de 2019, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista no Curso de Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Airton Kunz
UTFPR - Campus Medianeira (Orientador)

Prof^a. Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa
UTFPR - Campus Medianeira

Prof. Dr. Felipe Martins Damaceno
UTFPR - Campus Medianeira

Prof^a. Dr. Simone Spohr Vezon
UTFPR - Campus Medianeira

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -.

Dedico essa monografia a minha esposa,
pelo apoio e incentivo incondicional
que tem me dado em todos os
momentos da nossa vida

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, pela amizade, companheirismo, dedicação e incentivo durante o curso de pós-graduação e durante toda minha vida.

Ao meu orientador professor Dr. Airton Kunz pelas orientações ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Ao proprietário e líderes da Fazenda Córrego Azul pela possibilidade de realização da pesquisa na propriedade.

Aos colaboradores da Catena Planejamento Territorial, (Pedro, Glauco e Wellington) pelo apoio na realização da pós-graduação e ajuda ao longo de todo o percurso.

Agradeço aos professores do curso de Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás pelos conhecimentos repassados.

Agradeço a tutora presencial e a distância que nos auxiliou no decorrer da pós-graduação.

Enfim, sou grato a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para realização desta monografia.

RESUMO

BROETTO, Tiago. Produção de biogás a partir de dejetos de suínos em uma grande propriedade rural. 2019. 44 folhas. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

A biodigestão anaeróbia é uma forma usual de tratamento dos dejetos de suínos e, esse processo, resulta na produção de biogás. O biogás é um produto versátil que pode ser usado para geração de energia elétrica, aquecimento e combustível. Porém, as tecnologias da cadeia produtiva do biogás ainda são muito caras e o projeto de uma planta de biogás precisa ter um estudo de viabilidade econômica antes de ser implantado. No estudo de viabilidade, a estimativa da produção de biogás, muitas vezes, não é acertada, por desconsiderar a realidade rotineira da propriedade suinícola. Sendo assim, hipotetiza-se: os dados de produção de biogás estimados são semelhantes aos dados medidos; os fatores que afetam a produção de biogás podem ser trabalhados para aumentar a produção de biogás; produtos comerciais aumentam a produção de biogás. Para testar essas hipóteses, objetivou-se analisar se os dados de produção de biogás medidos em escala real são semelhantes aos dados estimados; identificar e estudar os principais fatores que influenciam a produção de biogás; analisar se a adição de um produto comercial, com bactérias, no interior de biodigestores, tem efeito positivo e viável economicamente na produção de biogás. A pesquisa foi realizada na Fazenda Córrego Azul, localizada em Brasilândia, MS. A fazenda produz suínos em ciclo completo sendo que, atualmente, possui 6 granjas suinícolas, 5.000 matrizes e 45.000 animais em terminação. Todas as granjas possuem 1 biodigestor e 2 lagoas de decantação. A produção diária de biogás de cada biodigestor vem sendo monitorada desde agosto de 2018. Um produto comercial rico em bactérias benéficas para a digestão anaeróbia foi adicionado em dois biodigestores para verificar as alterações na produção de biogás. Os dados utilizados nesse estudo foram coletados diariamente até o dia 31 de dezembro de 2018. A análise dos dados focou na interpretação geral dos resultados obtidos, com o uso de estatística básica descritiva, análises de correlação e comparação relativa. Os fatores manejo dos dejetos e da água nas granjas, idade e fase animal, temperatura ambiente e tempo de retenção hidráulica foram considerados para o cálculo do potencial de produção de biogás e foram utilizados para correlacionar com a média quinzenal de produção de biogás em cada biodigestor. A produção real de biogás da fazenda está cerca de 35% menor do que a produção estimada. Os principais fatores que afetam a produção de biogás na fazenda Córrego Azul são: temperatura ambiente, manejo da água e idade dos animais. O produto comercial não apresentou resultados significativos na produção de biogás.

Palavras-chave: Digestão anaeróbia. Suinocultura. Energia elétrica.

ABSTRACT

BROETTO, Tiago. Production of biogas from swine manure in a large rural property. 2019. 44 folhas. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

Anaerobic biodigestion is an usual form of treatment of swine manure, and this process results in the production of biogas. Biogas is a versatile product that can be used for power generation, heating and fuel. However, technologies in the biogas production chain are still very expensive and the design of a biogas plant must have an economic feasibility study before it can be implemented. In the feasibility study, the estimation of biogas production is often not correct because it disregards the routine reality of pig production. Thus, it is hypothesized: the estimated biogas production data are similar to the measured data; the factors affecting biogas production can be handled to increase biogas production; commercial products increase biogas production. To test these hypotheses, the objective was to analyze if the biogas production data measured in real scale are similar to the estimated data; identify and study the main factors that influence biogas production; to analyze whether the addition of a commercial product with bacteria inside biodigestors has a positive and economically viable effect on the production of biogas. The research was carried out at Fazenda Córrego Azul, located in Brasilândia, MS. The farm produces pigs in complete cycle and currently has 6 pig farms, 5,000 matrices and 45,000 animals in finishing. All farms have 1 biodigester and 2 settling ponds. The daily production of biogas from each biodigester has been monitored since August 2018. A commercial product rich in bacteria, beneficial to anaerobic biodigestion, was added in two biodigesters to verify the changes in biogas production. The data used in this study were collected daily until December 31, 2018. Data analysis focused on the general interpretation of the results obtained, using basic descriptive statistics, correlation analysis and relative comparison. The management factors of manure and water in the farms, age and animal phase, ambient temperature and hydraulic retention time were considered for the calculation of biogas production potential and were used to correlate with the biweekly average biogas production in each biodigester. The actual biogas production of the farm is about 35% lower than the estimated production. The main factors that affect the biogas production in the Córrego Azul farm are: ambient temperature, water management and age of the animals. The commercial product did not present significant results in biogas production.

Keywords: Anaerobic Biodigestion. Swine breeding. Electricity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Resumo das Possibilidades para Aproveitamento do Biogás	15
Figura 2 - Etapas do Processo de Produção de Biogás	16
Figura 3 - Localização da Fazenda Córrego Azul.	19
Figura 4 - Rede de Gasodutos de Transporte de Biogás Interligando as Granjas Suinícolas da Fazenda Córrego Azul e a Mini Central Termelétrica a Biogás.	22
Figura 5 - Potencial de Produção de Biogás Utilizando Diferentes Metodologias e a Medição Real em Três Diferentes Sistemas de Produção de Suínos. A) “ <i>Wean to finish</i> ”; B) Unidade de produção de leitões; C) Terminação.	26
Figura 6 - Regressão Linear entre Produção de Biogás e Temperatura Máxima Diária para o Sistema “ <i>Wean to Finish</i> ”.....	30
Figura 7 - Comparação entre a Produção de Biogás e o Consumo de Água por Animal para as Granjas Suinícolas da Fazenda Córrego Azul.....	33
Figura 8 - Produção de Biogás e Idade dos Animais nas Granjas Acácia 2 e Paredão 1.	34
Figura 9 - Biodigestor Assoreado.....	36
Figura 10 - Produção de Biogás em Três Biodigestores com Diferentes Sistemas de Produção Suinícola.	37
Figura 11 - Lagoa 1 da Granja Paredão 1 Antes e Depois de Aplicar Produto Comercial com Bactérias no Biodigestor.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensionamento dos Biodigestores da Fazenda Córrego Azul, Brasilândia, MS.	21
Tabela 2 - Vazão Média Estimada de Produção de Dejetos para os Biodigestores e Tempo de Retenção Hidráulica.	21
Tabela 3 - Comparação Relativa entre os Resultados Obtidos pelos Métodos Teóricos para Determinar o Potencial de Produção de Biogás e os Resultados Medidos.	25
Tabela 4 - Correlações entre Produção de Biogás e Fatores que Influenciam na Produção de Biogás em Três Sistemas de Produção Diferentes.	29
Tabela 5 - Consumo Médio de Água por Animal por Dia nas Granjas Suinícolas da Fazenda Córrego Azul, Brasilândia, MS, em 2018.	31
Tabela 6 - Volume de Dejetos Produzidos, de Acordo com o Tipo de Granja e Nível de Diluição.	31

LISTA DE SIGLAS

COP15 – Décima quinta Conferência das Partes.

ABPA – Associação Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

IMASUL – Instituto de Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul.

CH₄ – Metano.

CO₂ – Gás carbônico.

N₂ – Nitrogênio gasoso.

H₂S – Sulfeto de Hidrogênio.

ABCM – Associação Brasileira de Carvão Mineral.

VPL – Valor Presente Líquido.

TIR – Taxa Interna de Retorno.

FCA – Fazenda Córrego Azul.

UPL – Unidade de Produção de Leitões.

PEAD – Polietileno de Alta Densidade.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change.

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	Contexto produtivo e ambiental da suinocultura	14
2.2	Utilização do biogás como fonte energética.....	15
2.3	Eficiência na conversão de biogás em energia elétrica	17
2.4	Produtos comerciais para aumentar a produção de biogás	17
2.5	Estudo de viabilidade econômica.....	18
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	19
3.1	Caracterização do local de estudo	19
3.2	Levantamento de dados.....	21
3.3	Análise dos dados.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1	Potencial de produção de biogás x produção real	25
4.2	Principais fatores que influenciam a produção de biogás da FCA	28
4.3	Outros fatores que interferem na produção de biogás	35
4.4	Aplicação de produto comercial nos biodigestores para aumentar a produção de biogás.....	37
4.5	Estratégias para aumentar a produção de biogás na FCA.....	39
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
6	REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

As reduções das emissões de gases de efeito estufa tem sido alvo constante de projetos do governo federal desde a reunião das mudanças climáticas em Copenhague, 15ª Conferência da Partes (COP15), no ano de 2009, onde o Brasil assumiu, voluntariamente, o compromisso de reduzir de 36,1 a 38,9% de suas emissões até 2020.

Por conta disso, ao longo dos anos, investimentos em inovação tecnológica tem permitido que atividades antes tidas como prejudiciais ao meio ambiente, se adequassem, e atingissem melhores índices produtivos e de qualidade ambiental. A melhoria de técnicas de tratamento e destinação dos resíduos de suinocultura vem contribuindo para que esse subproduto da produção de suínos vire insumo para outras finalidades, atribuindo-o valor econômico e reduzindo os danos ambientais oriundos da atividade.

Uma das formas mais comuns de tratamentos de efluente da suinocultura é o uso de um biodigestor e duas lagoas de decantação. O biogás é um subproduto da biodigestão anaeróbia que possui alto poder calorífico e energético, podendo ser utilizado para a geração de energia elétrica pela sua queima em grupos moto geradores a combustão.

A energia elétrica gerada a partir do biogás é considerada energia limpa e renovável, que contribui para o Brasil atingir as suas metas de reduções das emissões de gases de efeito estufa, assim como, possibilita a descentralização do fornecimento de energia elétrica, reduzindo a sobrecarga das redes de distribuição, melhorando a qualidade da energia e aumentando a estabilidade da mesma.

A demanda por energia elétrica está crescendo no Brasil e, o uso de fontes renováveis de energia, diversificando a matriz energética brasileira, é extremamente importante para evitar apagões de energia elétrica em todo o país, o que já ocorreu várias vezes nos últimos 20 anos. Além disso, ainda existe muita precariedade de fornecimento de energia no meio rural, tanto em qualidade como quantidade, o que inviabiliza a modernização e crescimento do agronegócio e, muitas vezes, resulta em grandes prejuízos pela falta de energia elétrica. Portanto, novas plantas de biogás para geração de energia são fundamentais para atender essa demanda

energética brasileira e maximizar as reduções de emissões de gases de efeito estufa pelo Brasil, de forma que consigam contribuir para que o país alcance as suas metas de reduções de emissões desses gases.

Apesar do crescimento recente de investimentos governamentais e privados na cadeia produtiva do biogás, esta já vem sendo estudada a décadas, principalmente, no exterior, mas, no Brasil também. A Embrapa Suínos e Aves possui estudos com mais de 15 anos assim como outras instituições de pesquisa, como universidades. Por conta disso, há na literatura diversos métodos de cálculos para estimar o potencial de produção de biogás em um biodigestor de granjas suinícolas. Esses métodos são reconhecidos mundialmente e auxiliam produtores rurais e investidores a estimar o potencial de produção de biogás da sua granja suinícola ou de uma granja que se almeja construir, sendo um fator muito importante, que vai refletir nas estimativas de receitas, fluxo de caixa e na viabilidade econômica do projeto de geração de energia a partir do biogás.

Porém, esses métodos foram elaborados a partir de condições específicas e controladas, em experimentos de pesquisa, principalmente, em escala de laboratórios e, apesar de reconhecidos e validados, eles apresentam o potencial de produção de biogás de determinado resíduo, mas não levam em consideração as dificuldades da rotina diária do suinocultor para atingir esse potencial. Portanto, a produção de biogás em escala real de propriedade rural, pode não refletir os resultados estimados pelos métodos teóricos, possibilitando inesperados prejuízos ou dificuldades de comprovação da viabilidade econômica de um projeto de geração de energia a partir do biogás.

Sendo assim, resultados de produção de biogás obtidos em escala real de propriedades rurais, onde as condições de avaliação não são controladas, são escassos na literatura e seriam muito úteis para a tomada de decisão de investimentos em uma planta de biogás. Isso nos leva a formular as seguintes hipóteses: os dados de produção de biogás, em termos quantitativos e em escala real de uma grande propriedade rural, são semelhantes aos dados de produção de biogás estimados por métodos normalmente disponibilizados na literatura científica; os principais fatores que afetam a produção de biogás podem ser trabalhados para aumentar a produção de biogás; produtos comerciais aumentam a produção de biogás em biodigestores e são viáveis economicamente.

Para verificar essas hipóteses, objetivou-se analisar se os dados de produção de biogás medidos em escala real são semelhantes aos dados obtidos por meio de diferentes metodologias teóricas; identificar e estudar os principais fatores que influenciam a produção de biogás; analisar se a adição de um produto comercial, com bactérias, no interior de biodigestores, tem efeito positivo e viável economicamente na produção de biogás e, a partir dos resultados obtidos, propor estratégias para melhorar a produção de biogás em biodigestores.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTEXTO PRODUTIVO E AMBIENTAL DA SUINOCULTURA

O Brasil é o quarto maior produtor de suínos do mundo (ABPA, 2017) e tem aumentado continuamente a produção dessa proteína. A partir dos dados divulgados pela Associação Brasileira de Proteína Animal em 2017, do ano de 2000 até 2016, a produção cresceu cerca de 46%, alcançando 3.731.000 toneladas de carne suína produzidas (ABPA, 2017). E as perspectivas é que esse crescimento continue ocorrendo em acompanhamento ao crescimento populacional mundial e, conseqüentemente, aumento da demanda por alimentos.

Da mesma forma que ocorre o crescimento da produção de suínos ocorre o aumento da produção de dejetos, os quais são um passivo ambiental da atividade. A produção de dejetos por um suíno pode variar de 1,4 a 27 L.dia⁻¹, dependendo da fase e do tipo de criação (DARTORA et al., 1998). Esse resíduo normalmente é aplicado no solo de áreas agrícolas, e deve ser tratado antes disso, para evitar contaminação de cursos hídricos pelo escoamento superficial (ALLEN E MALLARINO, 2008).

Existem muitas formas de tratamento de dejetos (HIGARASHI et al., 2007), sendo que, a mais comum a ser utilizada é a com duas lagoas de estabilização, devido ao menor custo e fácil manejo. No entanto, há alguns estados brasileiros, como no Mato Grosso do Sul, em que o órgão ambiental (Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul - IMASUL), exige dos suinocultores, além das lagoas de estabilização, o uso de um biodigestor para tratamento dos dejetos antes desses alcançarem as lagoas de estabilização.

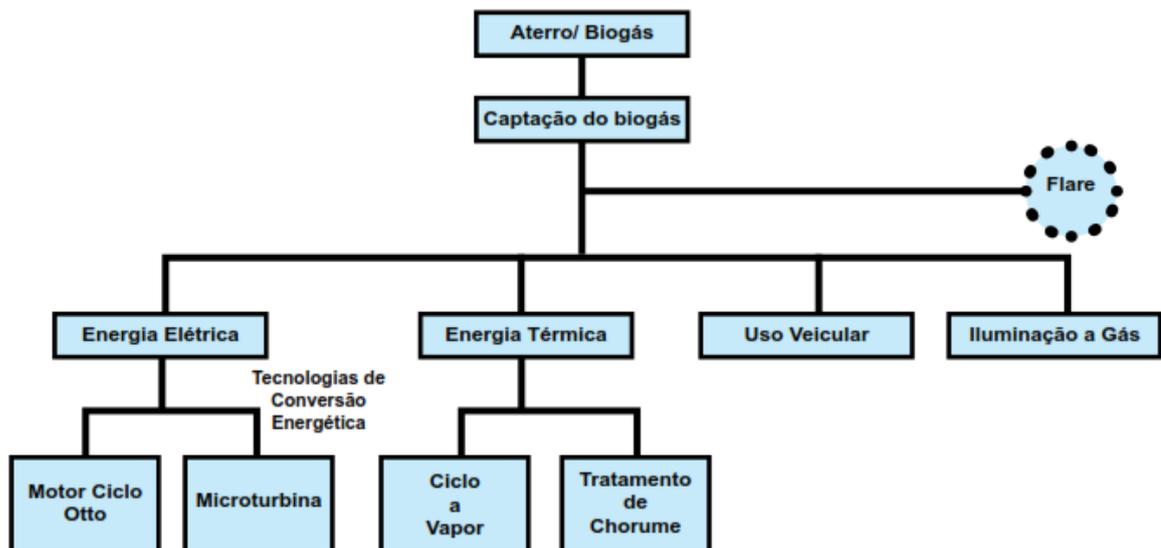
O biodigestor é um método caro de tratamento ambiental, porém que resulta em um produto que pode ter utilidade versátil, o biogás. O biogás possui na sua composição predominantemente o metano (CH₄), (cerca de 50 a 70%), mas, também, o gás carbônico (CO₂) (cerca de 30 a 40%), nitrogênio (N₂) (cerca de 0 a 10%), sulfeto de hidrogênio (H₂S) (cerca de 0 a 1%), vapor de água (cerca de 0,3%) entre outros (OLIVER et al., 2008).

2.2 UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS COMO FONTE ENERGÉTICA

O Biogás tem alto poder de aquecimento global, especialmente devido a sua composição predominante de CH_4 , que pode ser até a 25 vezes mais agressivo do que o CO_2 em termos de aquecimento global (ABCM, 2013). Porém, esse gás pode ter um destino mais nobre e ambientalmente correto do que ser lançado na atmosfera, entre os quais podemos citar, geração de energia elétrica, combustível veicular e aquecimento (WEITHÄUSER et al., 2010).

A Figura 1 resume as possibilidades do uso do biogás. O primeiro e mais tradicional uso sempre foi a queima do biogás num flare, pois, com isso, há a conversão de CH_4 em CO_2 e a redução do potencial de aquecimento global. Essa prática é considerada ambientalmente correta, porém, existem tecnologias que possibilitam utilizar esse biogás para a geração de energia elétrica, térmica, combustível e iluminação.

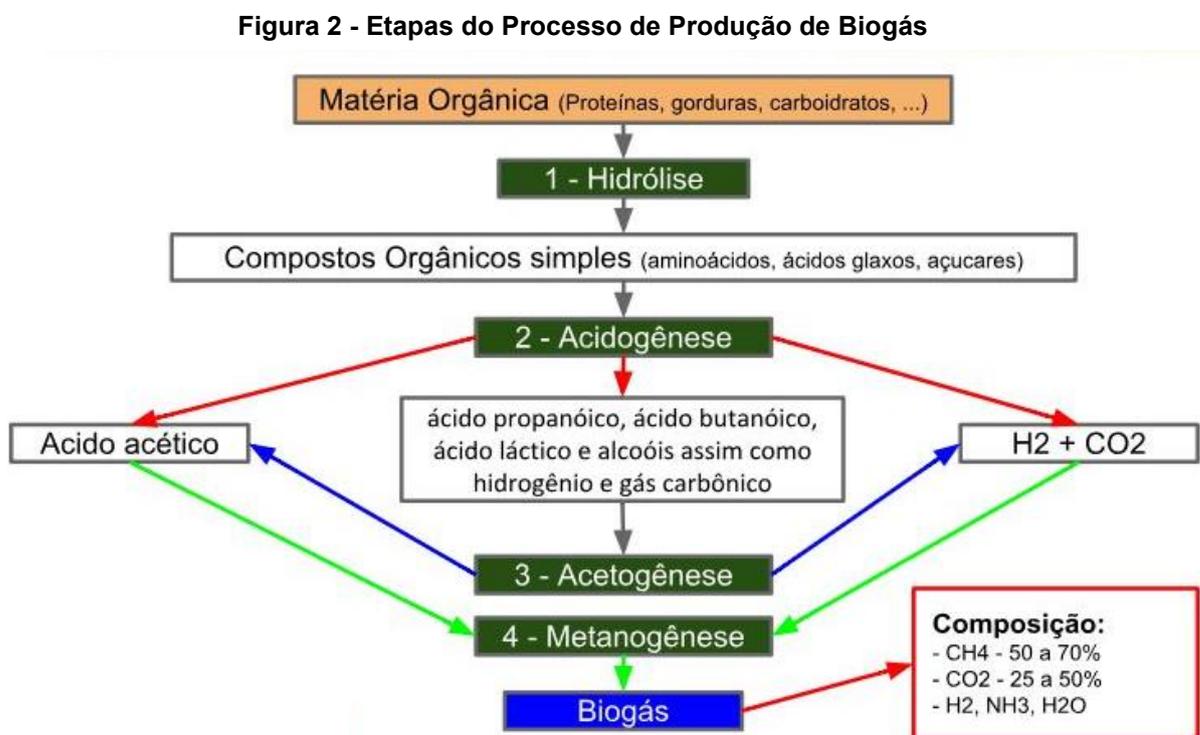
Figura 1 - Resumo das Possibilidades para Aproveitamento do Biogás



Fonte: Instituto Agir Sustentável apud ICLEI (2009)

2.2.1 Eficiência na Produção de Biogás e Metano

A produção de biogás e de metano passa por várias etapas desde antes da entrada dos resíduos nos biodigestores até a produção de biogás propriamente dita (Figura 2). A condição ideal para cada etapa é variável e a compreensão dos fatores que afetam a produção de biogás em cada uma das etapas é crucial para se adotar estratégias de manejo dos biodigestores para se obter a máxima eficiência de produção de biogás.



Fonte: Adaptado de Portal do Biogás, 2019.

A produção de biogás e a sua composição é dependente dos seguintes fatores: pH, temperatura, concentração de nutrientes, relação carbono/nitrogênio (C:N), presença de oxigênio, presença de inibidores, composição bioquímica dos materiais orgânicos utilizados, tempo de retenção hidráulica dos resíduos no biodigestor e diluição do material utilizado (BOUALLAGUI et al., 2003).

Outros fatores importantes são: grau de assoreamento dos biodigestores, dimensionamento dos biodigestores, idade dos animais, manejo da água, manejo

dos dejetos, homogeneidade da massa de dejetos que alcança o biodigestor, que quanto mais homogênea melhor será a produção de biogás, assim como, a sua diluição, que quanto maior, menor será a produção de biogás. Este último, afeta diretamente o tempo de retenção hidráulica dos dejetos nos biodigestores e conseqüentemente a eficiência da produção de biogás (Kunz e Steinmetz, 2019).

2.3 EFICIÊNCIA NA CONVERSÃO DE BIOGÁS EM ENERGIA ELÉTRICA

O biogás poderá interferir de duas formas na produção de energia elétrica: quantidade de biogás disponível e qualidade do biogás disponível. A partir de dados da literatura, costuma-se utilizar um fator de conversão de 1,4 kWh por m³ de biogás (Ferraz e Marriel, 1980), sendo que, atualmente, os geradores de energia são mais eficientes e chegam a produzir até 2 kWh por m³ de biogás. Do ponto de vista qualitativo, quanto maior o teor de metano, melhor a qualidade do biogás para gerar energia, pois, maior poder calorífico estará disponível para combustão nos motores. O teor mínimo de metano para uma boa combustão é 55% na composição do biogás.

2.4 PRODUTOS COMERCIAIS PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Existem empresas que comercializam bactérias inativas em embalagens de 1kg, as quais estão presentes em grande quantidade e diversidade. Entre as bactérias presentes existem algumas do grupo das metanogênicas entre outras que atuam em todas as etapas do processo de digestão anaeróbia. A promessa desses produtos são de que, ao aplica-los no biodigestor, haverá incremento na produção de biogás e da concentração de metano no biogás, em função do aumento da atividade microbiana e degradação do material orgânico.

Estudos de viabilidade econômica podem confirmar se esses produtos contribuem positivamente para aumento de biogás e receitas na forma de energia, ou não.

2.5 ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA

O estudo de viabilidade econômica é uma ferramenta útil para auxiliar na tomada de decisão sobre o investimento em um novo projeto. Essa análise permite o investidor saber qual será o valor do investimento, as despesas de operação e manutenção do empreendimento, a receita líquida e se o negócio será viável. Com isso, será possível tomar a decisão de continuar com o projeto ou desistir do mesmo.

Alguns indicadores econômicos utilizados em uma análise de viabilidade são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), tempo de retorno (payback), fluxo de caixa médio, margem operacional.

- VPL é a diferença do valor presente das receitas menos o valor presente dos custos (SILVA e FONTES, 2005), descontado a taxa de juros determinada pelo mercado ou mesmo aquela implementada pelo governo com taxas subsidiadas. Quando o VPL for negativo, o investimento não é atrativo, quando for positivo o negócio é viável.

- TIR é a taxa de desconto que iguala o valor atual das receitas futuras ao valor atual dos custos futuros do projeto, constituindo uma medida relativa que reflete o aumento no valor do investimento ao longo do tempo, com base nos recursos requeridos para produzir o fluxo de receitas (SILVA et al., 2002). Matematicamente, a TIR é a taxa (j^*) que torna o VPL do projeto igual a zero (LAPPONI, 2000). Portanto, para o negócio ser viável, o valor da TIR tem que ser maior que o valor da taxa de juros utilizada.

- Tempo de retorno ou payback é o tempo necessário para o investimento retornar ao investidor.

- Fluxo de caixa médio representa a relação entre as entradas e saídas ao longo do período considerado para o projeto e o seu saldo. O fluxo de caixa positivo indica que o projeto é viável, um fluxo de caixa negativo indica a inviabilidade do mesmo.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

3.1.1 Localização

A pesquisa foi realizada na Fazenda Córrego Azul (FCA), que é uma grande propriedade suinícola localizada em Brasilândia, MS (Figura 3) e distante, aproximadamente, 350 km da capital do estado, Campo Grande, e 730 km de São Paulo, SP. A área atinge um total de 11 mil ha.

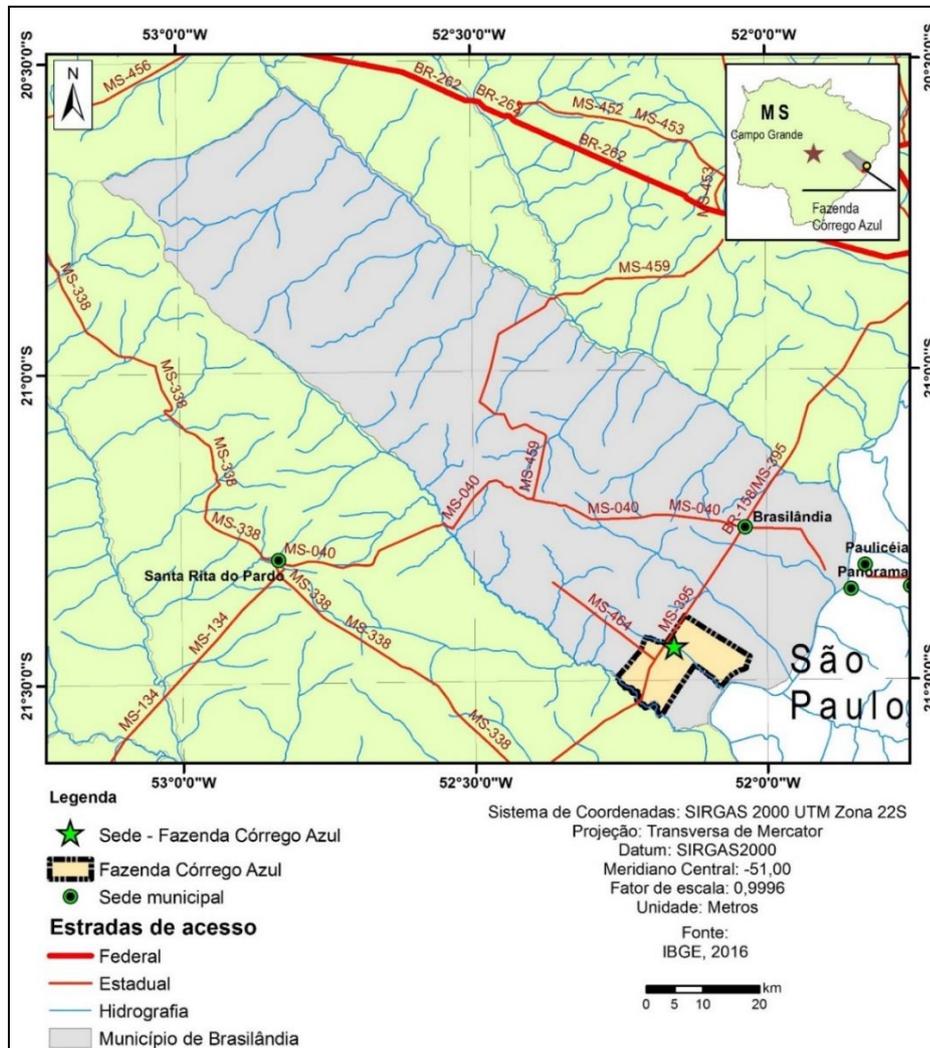


Figura 3 - Localização da Fazenda Córrego Azul.
Fonte: Autoria Própria, 2019.

3.1.2 Clima

O clima local, de acordo com a classificação de Köppen, é denominado como Aw, isto é, clima tropical do Brasil central com um a três meses secos (MENDONÇA & DANNI-OLIVEIRA, 2007). O total de precipitação pluviométrica é de aproximadamente 1350 mm por ano. Os três meses menos chuvosos do ano são junho, julho e agosto (média de 35 mm por mês), ao passo que a maior concentração de chuvas ocorre de outubro a março. A temperatura média anual é superior a 18°C.

3.1.3 Solos

A área de estudo localiza-se sobre a grande estrutura da Bacia Fanerozóica do Paraná e sobre a unidade do relevo dos Planaltos e Chapadas da bacia do Paraná, com uma altitude média de 350 m (ROSS, 2008). Os solos, em geral, são classificados como Latossolos Vermelhos (LEPSCH, 2002). Em campo, nota-se também a presença de Neossolos Quartzarênicos.

3.1.4 Vegetação

A vegetação natural é classificada como Cerrado (CONTI & FURLAN, 2008). A vegetação remanescente é a do cerradão, mas verifica-se em alguns locais faixas de transição de mata atlântica, assim como constatado por Ab'Sáber (2003).

3.1.5 Granjas suinícolas

A FCA produz suínos em ciclo completo sendo que, atualmente, possui 6 granjas suinícolas, 5.000 matrizes e 45.000 animais em terminação. Todas as granjas possuem 1 biodigestor e 2 lagoas de decantação. Em maio de 2018 iniciou-se a geração de energia a partir do biogás de 4 dessas granjas suinícolas, sendo uma delas, uma unidade de produção de leitões (UPL) com 2.350 matrizes (Granja São José), outra granja adotando o sistema "*wean to finish*" (Acácia 2) e as demais, de terminação (Paredão 1 e Paredão 2), totalizando 35.000 animais. De todas essas granjas, a Paredão 2 não foi considerada nesse estudo, pois, durante o período de avaliações, o biodigestor estava em manutenção.

3.1.6 Biodigestores

Os biodigestores envolvidos no projeto da geração de energia são denominados conforme os nomes das granjas, sendo: Acácia 2, São José, Paredão 1. A Tabela 1 apresenta o dimensionamento de cada biodigestor e a Tabela 2 as suas respectivas vazões estimadas de dejetos e tempo de retenção hidráulica, sendo que, todos apresentam tamanho relativamente semelhante entre 1990 e 2500 m³.

Tabela 1 - Dimensionamento dos Biodigestores da Fazenda Córrego Azul, Brasilândia, MS.

Granja	Largura	Comprimento	Largura fundo	Comprimento fundo	Profundidade	Volume
	----- m -----					m ³
São José	12,6	50,7	8,0	46,1	4,0	1.991
Paredão 1	13,4	45,6	7,6	39,8	5,0	2.238
Acácia 2	16,0	48,0	11,4	43,4	4,0	2.506

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

Tabela 2 - Vazão Média Estimada de Produção de Dejetos para os Biodigestores e Tempo de Retenção Hidráulica.

Granja	- Potencial de produção de dejetos -			Tempo de retenção hidráulica médio
	Dia	Mês	Ano	
	----- m ³ -----			Dias
São José	48	1.440	69.120	42
Paredão 1	94	2.820	34.310	24
Acácia 2	64	1.920	23.360	42

Fonte: Aatoria Própria, 2019.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

3.2.1 Produção de Biogás

Todo o biogás produzido nos biodigestores é transportado por uma tubulação de polietileno de alta densidade (PEAD), a qual tem 10 km de extensão, até a central geradora de energia (Figura 4).

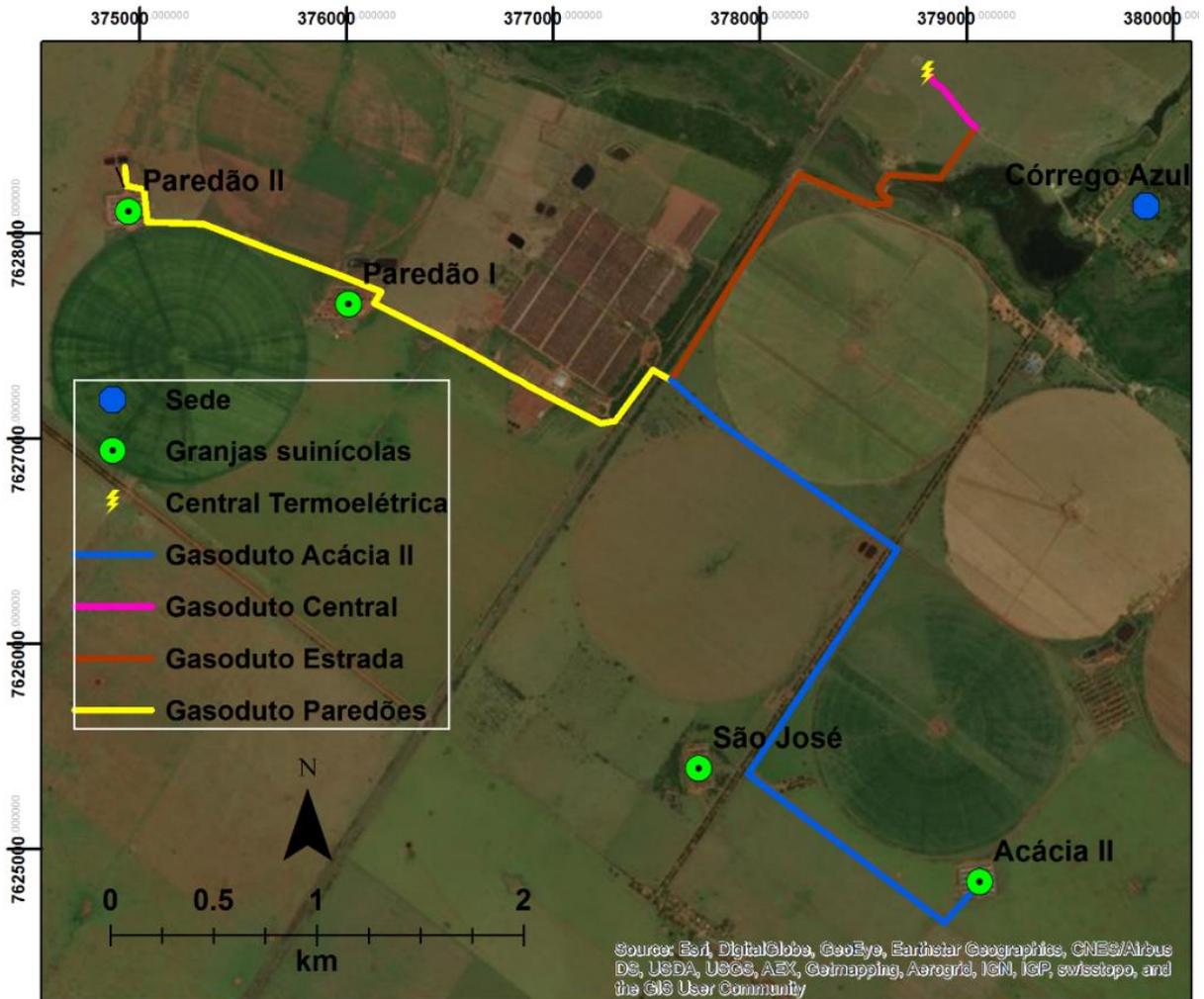


Figura 4 - Rede de Gasodutos de Transporte de Biogás Interligando as Granjas Suinícolas da Fazenda Córrego Azul e a Mini Central Termelétrica a Biogás.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

O biogás é armazenado em um gasômetro com 380 m³ de volume e depois é impulsionado para os geradores. A vazão de biogás é medida na saída dos biodigestores por medidores de vazão de gás tipo turbina com faixa de medição entre 17 e 343 m³ por hora. Antes do gasômetro há um medidor tipo termal que mede o biogás total de todas as granjas.

A produção mensal de cada biodigestor vem sendo monitorada desde o início do projeto de geração de energia da FCA e, a partir de agosto de 2018, a produção tem sido monitorada todos os dias ao amanhecer do dia, em horários variando das 6:00 até as 8:00, eventualmente, até as 9:00.

3.2.2 Manejo dos Dejetos e Dados Meteorológicos

O manejo dos dejetos e do uso da água das granjas suinícolas foram monitorados desde julho de 2018. Em todas as granjas há hidrômetros que permitiram quantificar a quantidade de água que foi utilizada nas instalações diariamente. As limpezas das instalações também foram monitoradas (frequência e produtos utilizados).

Os dados meteorológicos foram obtidos de uma estação meteorológica automática instalada no município do estudo, distante cerca de 25 km da FCA.

3.2.3 Produto Comercial com Bactérias

Um produto comercial rico em bactérias benéficas ao processo de digestão anaeróbia, foi aplicado nos biodigestores Acácia 2 e Paredão 1, desde 07 de agosto, para aumentar a produção e qualidade do biogás.

O produto foi aplicado na dose de 1 kg a cada 50 m³ de dejetos no biodigestor Acácia 2, uma vez por mês. No biodigestor Paredão 1, foi aplicado ½ kg por 50 m³ de dejetos a cada 15 dias, de modo que obteve-se a dose cheia mensalmente. O biodigestor São José não recebeu o produto e foi o biodigestor testemunha. O levantamento de dados para o experimento com adição de bactérias foi até o dia 05 de dezembro de 2018.

3.3 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados utilizados nesse estudo foram coletados diariamente até o dia 31 de dezembro de 2018. A análise dos dados focou na interpretação geral dos resultados obtidos, com o uso de estatística básica descritiva, análises de correlação e comparação relativa.

O potencial de produção de biogás foi estimado a partir de 3 métodos teóricos encontrados na literatura (MITO et. al., 2018). Os métodos selecionados foram: Chen (1983); IPCC (2006) e Kunz e Oliveira (2006). Posteriormente, os dados reais das granjas suinícolas da FCA foram relativizados com os dados potenciais para verificar a diferença entre os dados estimados e os dados medidos.

Os fatores manejo dos dejetos e da água nas granjas, idade e fase animal, temperatura ambiente e tempo de retenção hidráulica foram considerados para o

cálculo do potencial de produção de biogás e foram utilizados para correlacionar com a média quinzenal de produção de biogás em cada biodigestor.

A análise dos dados de produção de biogás dos biodigestores que receberam produto comercial foi realizada por meio da comparação com os dados de produção de biogás antes e depois da aplicação desse produto no mesmo biodigestor e por meio da comparação dos resultados entre os biodigestores com o produto (Acácia 2 e Paredão 1) e sem o produto, ou seja, o biodigestor testemunha (São José). As comparações também levaram em consideração as alterações de manejo das granjas, a idade e fase animal, precipitação pluviométrica e a temperatura ambiente. Registros fotográficos e observações dos operadores das granjas também foram consideradas. As médias quinzenais de produção do biogás foram relativizadas com a produção média da quinzena anterior, de modo a analisar se as diferenças dos biodigestores com produto comercial se assemelhavam com as diferenças do biodigestor testemunha.

A análise de viabilidade econômica para o produto comercial não foi realizada, pois os dados obtidos não foram satisfatórios para atender os requisitos dessa análise.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS X PRODUÇÃO REAL

As 3 metodologias selecionadas para estimativa do potencial de produção de biogás foram aplicadas para as granjas suinícolas da FCA e os resultados obtidos foram relativizados com os dados reais medidos diariamente (Tabela 3).

Tabela 3 - Comparação Relativa entre os Resultados Obtidos pelos Métodos Teóricos para Determinar o Potencial de Produção de Biogás e os Resultados Medidos.

Métodos/Granjas	Relação entre os métodos e a medição real		
	Acácia 2	São José	Paredão 1
	----- % -----		
IPCC	173	111	209
CHEN	132	322	200
KUNZ	138	283	218
REAL	100	100	100

Fonte: Autoria Própria, 2019.

As estimativas de produção potencial de biogás para os 3 métodos sempre foram superiores às medições reais nas granjas, independente do sistema de criação. As melhores aproximações entre as estimativas e as medições reais foram no sistema “*wean to finish*”, em que os métodos Chen (1983) e Kunz e Oliveira (2006) foram 32% e 38% maiores respectivamente. Nos demais sistemas de criação, as estimativas foram mais do que o dobro das medições reais, chegando a alcançar o triplo no caso da UPL considerando o modelo Chen (1983). Porém, a metodologia do IPCC (2006) apresentou estimativas semelhantes aos dados medidos para a UPL estudada.

A Figura 5 apresenta os dados de produção diária obtidos nos meses de julho de 2018 a dezembro de 2018. Na granja Acácia 2, em que o sistema de criação utilizado é o “*wean to finish*”, a média anual dos 3 métodos foi de 1.375 m³ por dia, ou seja, 33% a mais do que a média real. Nesse sistema de produção, o método do IPCC destoou dos demais, sendo que a diferença para os dados medidos foi de 43%.

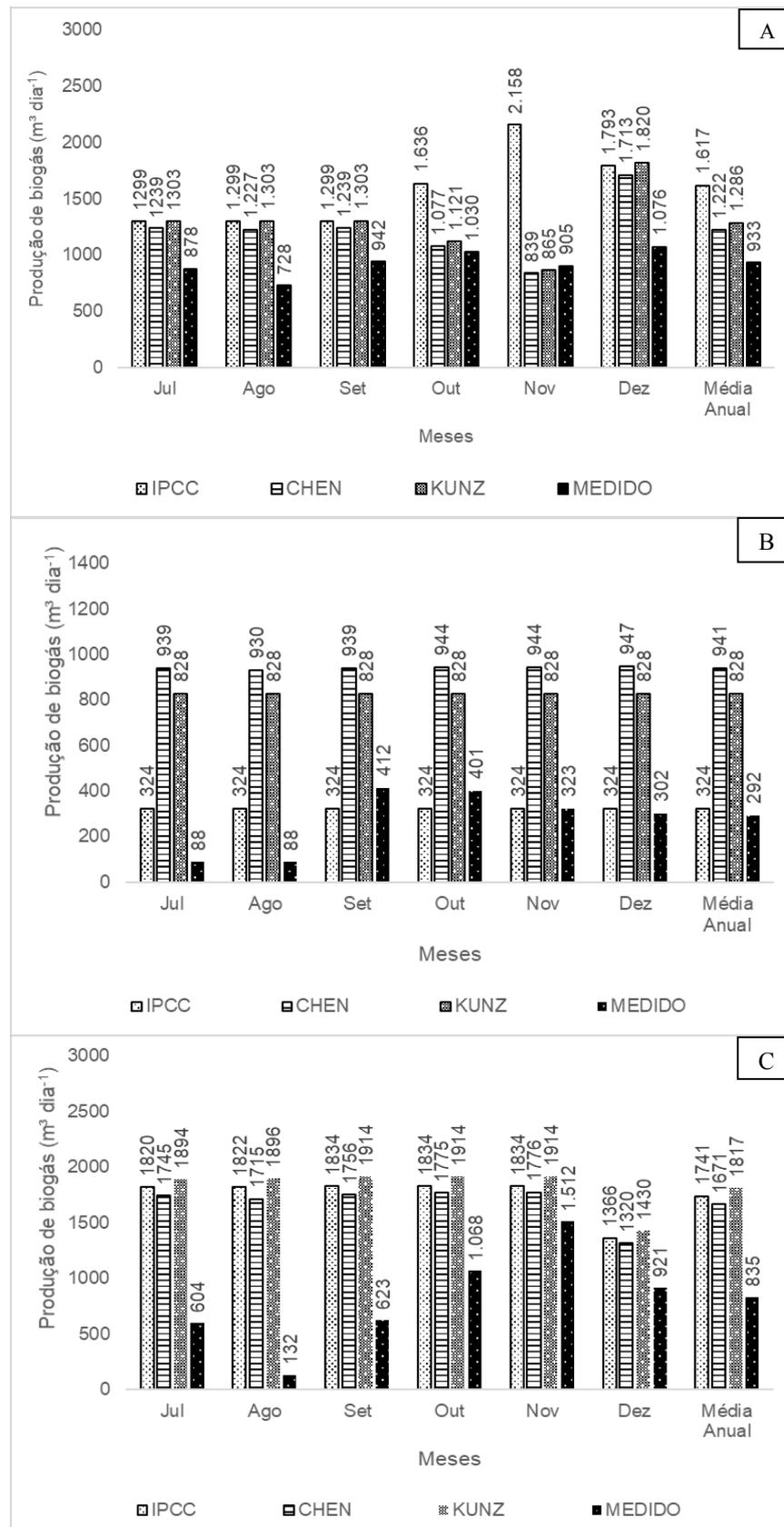


Figura 5 - Potencial de Produção de Biogás Utilizando Diferentes Metodologias e a Medição Real em Três Diferentes Sistemas de Produção de Suínos. A) "Wean to finish"; B) Unidade de produção de leitões; C) Terminação.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

No caso da granja São José, que é uma unidade de produção de leitões (UPL), a média anual dos 3 métodos foi de 698 m³ dia, ou seja, 59% a mais do que a média real. Neste caso, o método do IPCC (2006) foi o que mais se ajustou e os demais é que destoaram em mais de 65%. Por fim, na granja Paredão 1, cujo sistema de criação é a terminação, todos os modelos estimaram aproximadamente o dobro da média medida.

Os métodos avaliados, apesar de algumas semelhanças entre si, possuem particularidades e princípios diferentes, o que resultou em grandes diferenças entre um método e outro para determinado sistema de produção.

O método do IPCC apresenta uma série de variáveis qualitativas pré-determinadas para a realização do cálculo de potencial de produção de biogás para suínos, sendo dependente da quantidade de sólidos voláteis produzidos por suíno por dia e por categoria animal. Como essa informação nem sempre está disponível, pode-se usar o valor médio indicado pelo IPCC (2006) de 0,30 kg_{SV} cabeça⁻¹ dia⁻¹, o que foi adotado nesse estudo. Esse método apresentou resultados muito semelhantes aos resultados medidos no sistema produtivo de UPL, o que, provavelmente, tem relação com os fatos de o número de animais e o sistema de produção permanecerem constantes o ano inteiro e os valores de referência utilizados pelo método se ajustarem bem a contexto da UPL.

O método de Chen (1983) apresentou resultados mais próximos as médias reais para as granjas Acácia 2 e Paredão 1 (*Wean to finish* e Terminação). Esse método é reconhecido e muito utilizado mundialmente. Ele é o único que considera a temperatura como um fator que afeta a produção do biogás, assim como leva em consideração características inerentes ao biodigestor, como tempo de retenção hidráulica (TRH) e volume do biodigestor, além da concentração de sólidos voláteis dos dejetos, que é comum para todos os métodos. Porém, nesse estudo, ele não apresentou resultados satisfatórios para a UPL. Isso ocorreu porque a concentração de sólidos voláteis foi considerada a mesma para todos os métodos (35,38 g_{SV} L⁻¹ de dejetos e 0,32 m³_{CH4} kg_{SV}⁻¹, MITO et al., 2018) e, por isso, os dados de dimensionamento do biodigestor, foram mais importantes para discriminar os resultados entre os métodos, especialmente, para UPL, superestimando os valores em mais de 200%. Espera-se que, com dados reais de sólidos voláteis, esse método apresente melhores resultados para UPL e demais sistemas de produção.

O método Kunz e Oliveira (2006) é um método muito parecido com o método Chen (1983) e, por isso, apresentou resultados parecidos. Porém, ao invés de considerar as características do biodigestor, como volume e TRH, ele considera a vazão diária de dejetos, e não considera a temperatura.

É preciso chamar a atenção que, nesse estudo, não estavam disponíveis todos os dados necessários para a correta estimativa de cada método. Por exemplo, a concentração de sólidos voláteis nos dejetos é uma informação comum para todos os métodos, e o dado utilizado, foi o valor médio apresentado por Mito et al. (2018). Essa é a realidade de quase a totalidade dos suinocultores brasileiros, ou seja, não há dados reais da propriedade para a determinação do potencial de produção de biogás e as estimativas são feitas sobre dados médios disponíveis na literatura. Como resultado se obtém superestimativas de potencial de produção de biogás que levam a cálculos errôneos de potencial de geração de energia e, conseqüentemente, investimentos em projetos que irão demorar um tempo muito maior do que o esperado para dar retorno, ou, às vezes, indicarão que um projeto é viável economicamente, sendo que não é.

No caso da FCA, a partir dos dados da Figura 5, a produção real de biogás está cerca de 35% menor do que a produção estimada e deve-se trabalhar no manejo dos dejetos nas granjas, no manejo e manutenção dos biodigestores, entre outros fatores, para conseguir potencializar a produção de biogás.

A partir desses resultados, sugere-se que, em projetos de planta de biogás que utilizem metodologias teóricas para estimar o potencial de produção de biogás e, posteriormente, utilizem esse dado num estudo de viabilidade econômica do projeto, o potencial de recuperação de biogás a ser utilizado seja em torno de 65% do potencial de geração da planta. Dessa forma, a produção estimada para fins de projeto será mais condizente com a realidade da atividade, assim como, possibilitará um estudo de viabilidade econômica mais assertivo.

4.2 PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE BIOGÁS DA FCA

As médias diárias de produção de biogás foram analisadas em períodos quinzenais. As correlações realizadas foram coerentes com os fenômenos físicos do processo de produção de biogás, sendo que a temperatura ambiente, o consumo de

água e a idade dos animais, foram os fatores primordiais para a determinação da produção de biogás na FCA.

4.2.1 Temperatura Ambiente

A Tabela 4 apresenta os resultados das correlações entre as médias quinzenais de produção de biogás e os principais fatores que afetam a produção de biogás. A temperatura ambiente é o principal fator associado a produção de biogás nos biodigestores avaliados. Nos três sistemas de produção avaliados, a correlação com a temperatura ambiente variou de 0,54 à 0,86.

Tabela 4 - Correlações entre Produção de Biogás e Fatores que Influenciam na Produção de Biogás em Três Sistemas de Produção Diferentes.

Fator correlacionado	Produção de biogás (m³ dia⁻¹)
----- Granja Acácia 2 (Wean to finish) -----	
Consumo de água (m ³ dia)	0,32
Número de animais (u)	0,26
Idade dos animais (dias)	0,59
Consumo de água por animal (m ³ dia)	0,77
Produção de dejetos (m ³ dia ⁻¹)	0,32
Tempo de retenção Hidráulica do biodigestor (dias)	-0,21
Temperatura diária (°C)	0,85
Temperatura mínima diária (°C)	0,85
Temperatura máxima diária (°C)	0,86
---- Granja São José (Unidade de produção de leitões) ----	
Consumo de água (m ³ dia)	0,32
Número de animais (u)	-
Idade dos animais (dias)	-
Consumo de água por animal (m ³ dia)	0,32
Produção de dejetos Acácia 2 (m ³ dia ⁻¹)	-
Tempo de retenção Hidráulica do biodigestor (dias)	-
Temperatura diária (°C)	0,53
Temperatura mínima diária (°C)	0,54
Temperatura máxima diária (°C)	0,53
----- Paredão 1 (Terminação) -----	
Consumo de água (m ³ dia)	0,29
Idade dos animais (dias)	0,59
Consumo de água por animal (m ³ dia)	-0,51
Número de animais (u)	0,12
Produção de dejetos (m ³ dia ⁻¹)	0,08
Tempo de retenção Hidráulica do biodigestor (dias)	-0,13
Temperatura diária (°C)	0,67
Temperatura mínima diária (°C)	0,68
Temperatura máxima diária (°C)	0,66

Obs: resultados obtidos a partir de médias quinzenais.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

As correlações com a temperatura foram positivas, ou seja, quanto maior a temperatura maior a produção do biogás. No caso da granja Acácia 2, que apresentou a melhor correlação, foi possível determinar uma equação linear, a qual apresentou um coeficiente de determinação de 0,74, que pode ser considerado como um bom ajuste (Figura 6).

Porém, é necessário considerar que, para poder utiliza-la, os demais fatores que afetam a produção de biogás na FCA devem estar semelhantes as condições que originaram esses resultados, especialmente, o número de animais na granja. A temperatura média durante o experimento foi 24,1 °C, a temperatura máxima foi, em média, 24,9 °C e a temperatura mínima foi, em média, 23,3 °C.

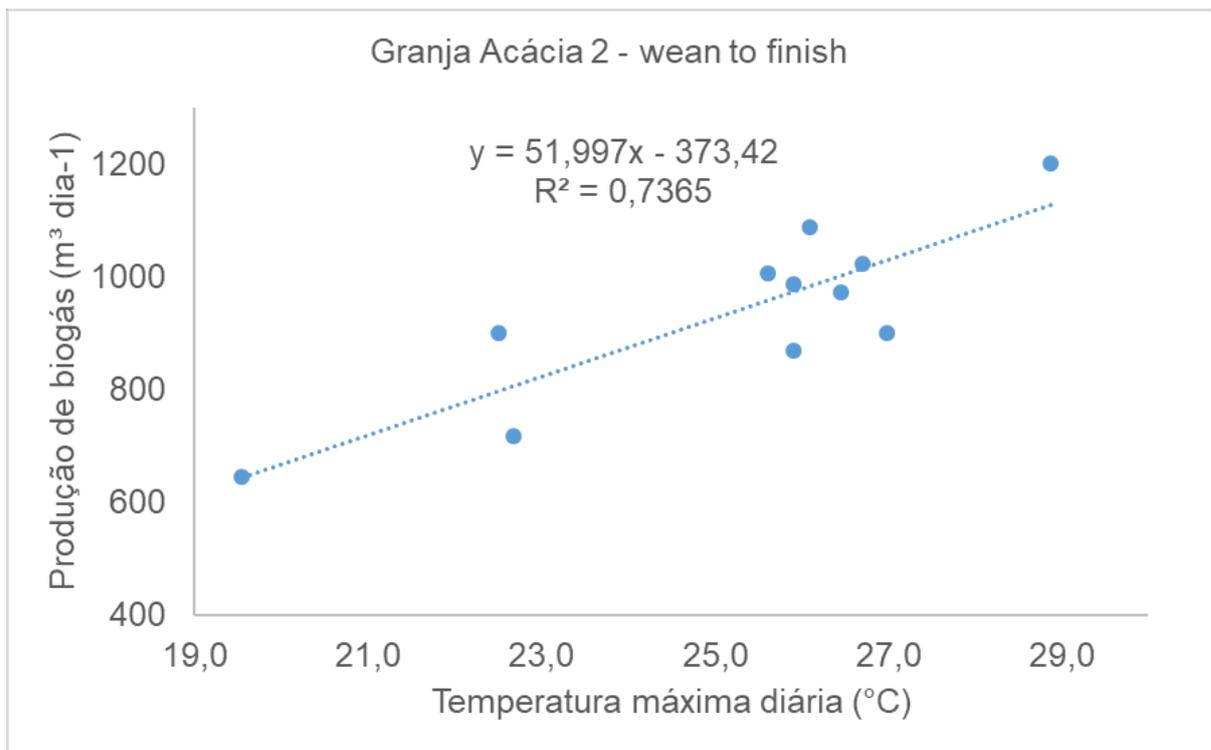


Figura 6 - Regressão Linear entre Produção de Biogás e Temperatura Máxima Diária para o Sistema "Wean to Finish".

Fonte: Autoria Própria, 2019.

As demais variáveis, apesar de não apresentarem bons ajustes como para a temperatura ambiente, são muito importantes para a produção de biogás e, ao analisar os dados, é possível identificar alguns fenômenos importantes.

4.2.2 Manejo da Água

O consumo de água por suínos é, em média, de 8 a 12 L animal⁻¹ dia⁻¹ na fase de crescimento e terminação e de 22 a 27 L animal⁻¹ dia⁻¹ para matrizes (PALHARES et al., 2005), porém, sem considerar os dados de consumo de água para limpeza das instalações. Segundo Palhares (2011), o consumo médio de água para a limpeza das instalações é muito variável e dependente do tipo de instalações entre outros fatores. Um consumo médio de água para a limpeza das instalações é de 5,5 L animal⁻¹ dia⁻¹.

A Tabela 5 apresenta os dados de consumo médio de água por animal durante o período de levantamento de dados para esse estudo. Considerando o sistema de criação adotado e a soma da água consumida para dessedentação animal e limpeza das instalações, as granjas Acácia 2 e Paredão 1 apresentam consumo elevado de água. O consumo excessivo de água pode resultar na diluição da carga orgânica e ou sólidos voláteis que alcançam o biodigestor e isso pode resultar na redução da produção de biogás (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006).

Perdomo et al. (1999) apresentaram uma Tabela de níveis de diluição do dejetos conforme o tipo de criação (Tabela 6). A partir dessa Tabela, pode-se inferir que os dejetos das granjas Acácia 2 e Paredão 1 estão muito diluídos e o dejetos da granja São José está pouco diluído.

Tabela 5 - Consumo Médio de Água por Animal por Dia nas Granjas Suinícolas da Fazenda Córrego Azul, Brasilândia, MS, em 2018.

Granjas / Sistema de produção	Consumo de água por animal
	L cabeça ⁻¹ dia ⁻¹
Acácia 2 / wean to finish	23
São José / UPL	64
Paredão 1 / Terminação	20

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Tabela 6 - Volume de Dejetos Produzidos, de acordo com o Tipo de Granja e Nível de Diluição.

Tipo de granja	Nível de diluição		
	Pouca	Média	Muita
Ciclo completo (L / matriz)	100	150	200
UPL (L / matriz)	60	90	120
UT (L / animal)	7,5	11,2	15

Fonte: PERDOMO et al. (1999).

A Figura 7 apresenta os dados médios quinzenais de produção de biogás e consumo de água para cada granja avaliada. De maneira geral, observa-se uma tendência de aumento da produção de biogás com o aumento do consumo de água por animal. Nas granjas Acácia 2 e Paredão 1, cujos sistemas são de crescimento e terminação, conforme os animais crescem e se aproximam da idade do abate, aumentam significativamente a produção de dejetos líquidos de suínos, com aumento da carga orgânica que ingressa nos biodigestores, ao mesmo tempo que aumentam o consumo de água para atender as suas necessidades fisiológicas. O manejo da água também se altera nas granjas a partir dos 100 dias de vida dos animais, pois, eles começam a ficar muito grandes. Desse momento em diante é necessário acionar chuveirinhos sob os animais para melhorar o ambiente e reduzir a temperatura interna no barracão e, com isso, reduzir a taxa de mortalidade, principalmente, por problemas respiratórios e calor.

Na granja São José, que é UPL, existem 6 barracões, 2 para maternidade, 2 para gestação com piso ripado e 2 para leitoas de reposição com lâmina de água. Como o número de matrizes em gestação e lactação é sempre constante, as variações de produção de biogás nessa granja acompanhando o consumo de água podem estar relacionados a idade dos animais de reposição. Conforme eles crescem e se aproximam da idade de reprodução, também aumenta o seu consumo de água e a produção de dejetos que vai virar biogás.

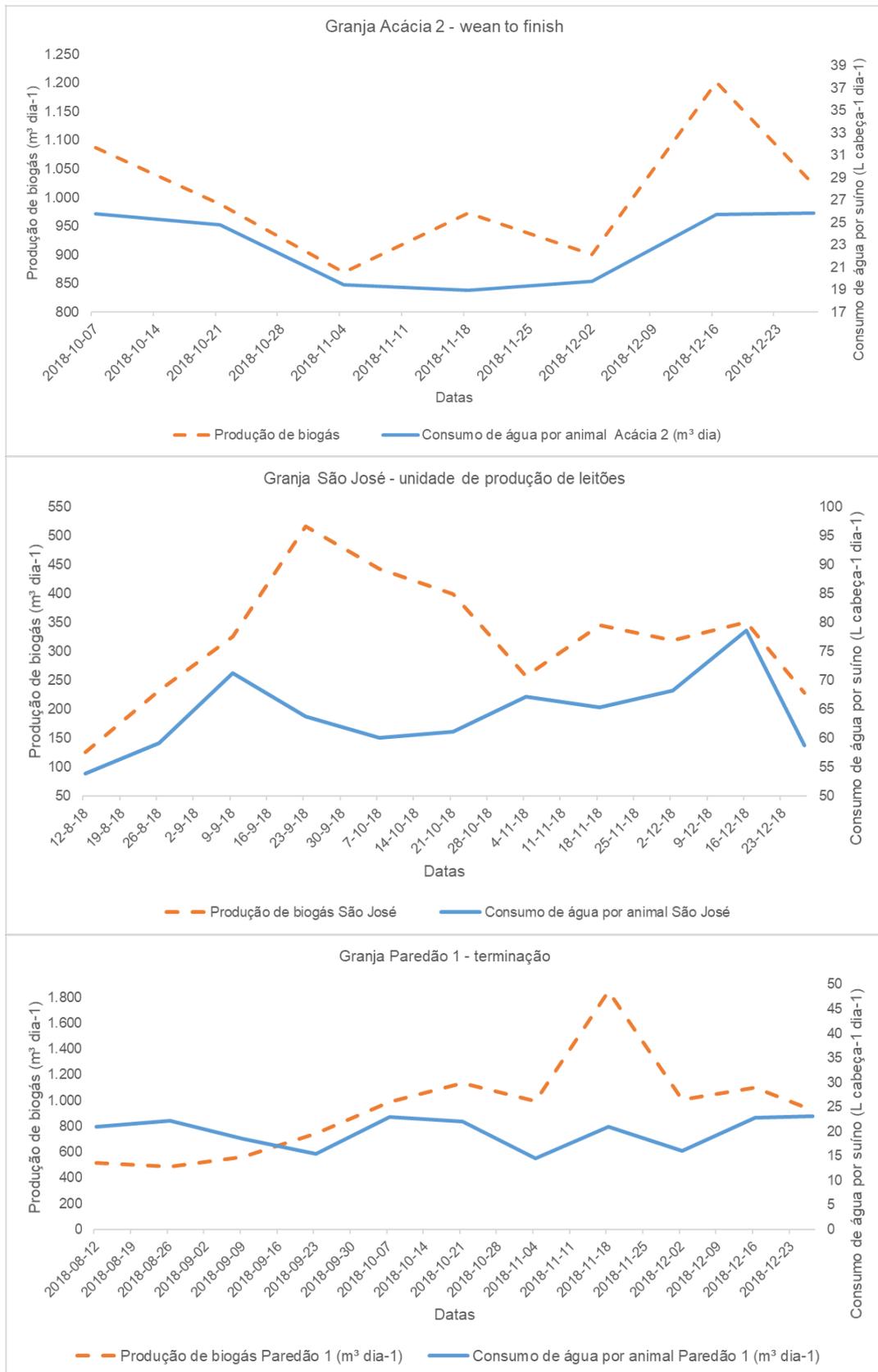


Figura 7 - Comparação entre a Produção de Biogás e o Consumo de Água por Animal para as Granjas Suinícolas da Fazenda Córrego Azul.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

4.2.3 Idade dos Animais

A idade dos animais é um fator muito importante para a produção de biogás. De maneira geral, quanto mais velhos são os animais, maiores eles serão e maior será a produção de biogás. Isso ocorre, devido ao aumento da produção de dejetos e carga orgânica que irá para o biodigestor e será transformado em biogás. Em média, a produção de resíduos sólidos pelos suínos varia com o peso vivo, que está em função da idade, na faixa de 8,5 a 4,9% de seu peso.dia⁻¹, considerando-se a faixa dos 15 aos 100 kg de peso vivo (OLIVEIRA, 1993).

A Figura 8 apresenta a produção de biogás e a idade dos animais para as granjas Acácia 2 e Paredão 1. Nota-se que, à medida que os animais crescem a produção de biogás também tende a aumentar, apesar de haver variações, as quais devem estar relacionados a outros fatores que afetam a produção de biogás.

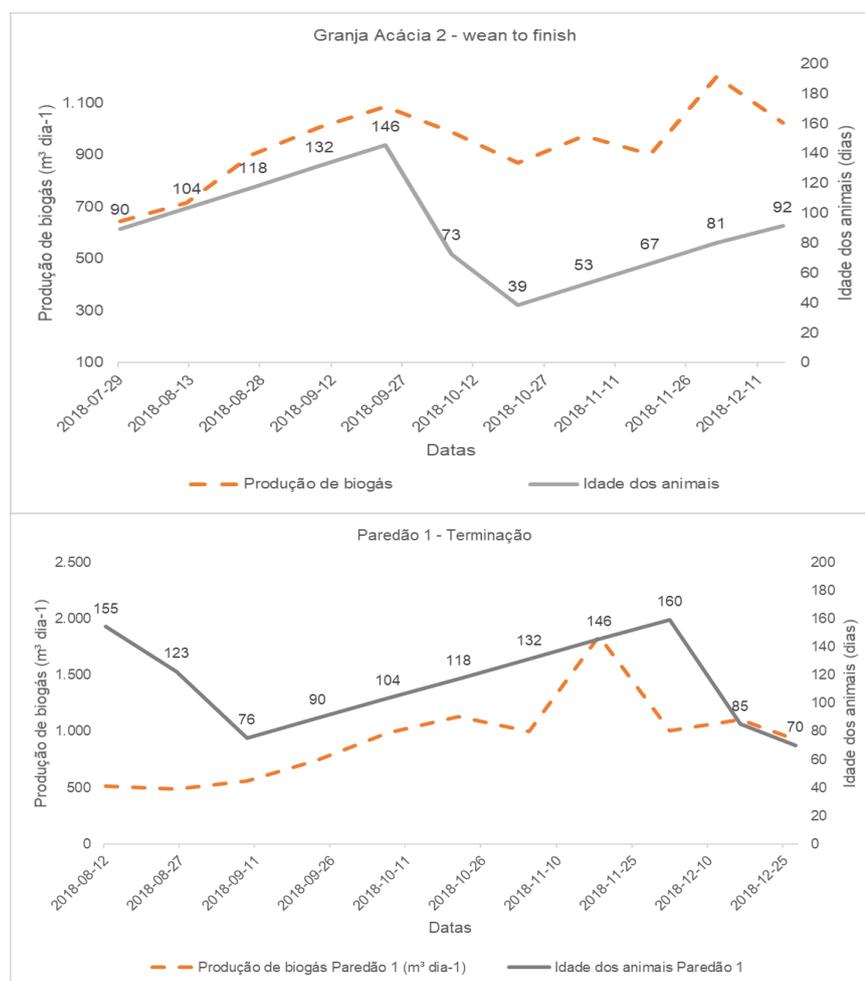


Figura 8 - Produção de Biogás e Idade dos Animais nas Granjas Acácia 2 e Paredão 1.
 Fonte: Autoria Própria, 2019.

4.3 OUTROS FATORES QUE INTERFEREM NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

4.3.1 Dimensionamento do Biodigestor

A FCA possui um biodigestor que não foi incluído nesse estudo porque estava subdimensionado e descaracterizaria as análises que foram realizadas, e possivelmente, não seria possível identificar as relações com o uso da água, idade dos animais e temperatura.

Esse biodigestor possui um TRH de 8 dias, considerando o potencial de produção de dejetos da granja com o número atual de animais da granja. Essa granja é muito parecida com a granja Paredão 1, porém, o biodigestor tem 40% do tamanho que deveria ter, sendo que a sua capacidade de armazenamento é de 750 m³.

Nessa granja, o potencial de produção de biogás é muito parecido com o potencial da granja Paredão 1, em torno de 1700 m³ por dia, mas a produção máxima que já foi alcançada foi 1200 m³ no melhor dia, sendo que a média fica em torno de 500 m³ por dia.

Portanto, o dimensionamento adequado do biodigestor, em torno de 30 dias de tempo de retenção hidráulica, é extremamente importante para obter-se produções satisfatórias e esperadas de biogás.

4.3.2 Assoreamento do Biodigestor

O biodigestor subdimensionado citado no item 4.4.1 também apresentou um estado severo de assoreamento (Figura 9). E isso, além de contribuir para a redução da produção de biogás, também impactou severamente na qualidade do biogás que era produzido. Antes de limpar este biodigestor o teor de metano do biogás era de 38% e os geradores de energia não funcionavam com um biogás de tão baixa qualidade. Após a limpeza do biodigestor, o teor de metano passou para 58% e os geradores de energia passaram a funcionar muito bem.

Além disso, antes da limpeza do biodigestor, a produção média de biogás por dia era de 250 m³, depois da limpeza, essa produção passou para 500 m³ dia em média. A condição de assoreamento reduz ainda mais o TRH e, no caso desse biodigestor, acredita-se que o TRH era de 1 a 2 dias antes da limpeza, o que explica

a maior proporção de gás carbônico do que de metano no biogás, visto que é necessário no mínimo 12 dias de TRH para o resíduo passar por todas as etapas de produção de metano (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. No estudo de Souza e Campos (2007) o TRH entre 25 e 30 dias apresentou as maiores produções de biogás em relação a TRH menores.



Figura 9 - Biodigestor Assoreado.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

4.3.3 Manejo dos Dejetos

O manejo dos dejetos é extremamente importante para a produção de biogás, em quantidade e qualidade. O ideal é haver um abastecimento contínuo de dejetos para dentro do biodigestor e com carga orgânica (sólidos voláteis) suficiente para a produção de biogás. Na granja Paredão 1, nos meses de julho e agosto, houve uma queda brusca na qualidade do biogás, sendo que o teor de metano medido no mês de agosto foi de 48%.

Uma investigação foi realizada na granja e identificou-se um problema de manejo dos dejetos. Quando os animais atingiam os 100 dias de idade, as baias não eram mais raspadas para as lâminas de água e começava-se a usar os chuveirinhos

para melhorar o ambiente e reduzir a temperatura. Como consequência desse manejo, o dejetos que chegava no biodigestor era muito diluído, com carga orgânica muito baixa, o que resultou na produção de biogás com baixa qualidade.

Após constatado esse problema de manejo, uma proposta de alteração foi sugerida e aceita. As baias passaram a ser raspadas 3 vezes por semana, e em 3 semanas a produção de biogás e a qualidade de biogás melhorou muito, e o teor de metano chegou a 57%.

4.4 APLICAÇÃO DE PRODUTO COMERCIAL NOS BIODIGESTORES PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

As produções de biogás dos 3 biodigestores apresentaram uma tendência semelhante ao longo do tempo (Figura 10). Na maioria do período do experimento, quando o biodigestor São José, que não recebeu aplicação do produto comercial, reduziu a produção de biogás, o mesmo também ocorreu nos biodigestores Acácia 2 e Paredão 1, os quais receberam tal produto. Da mesma forma, quando a produção do biogás aumentou no biodigestor São José, também aumentou nos demais biodigestores com adição do produto comercial.

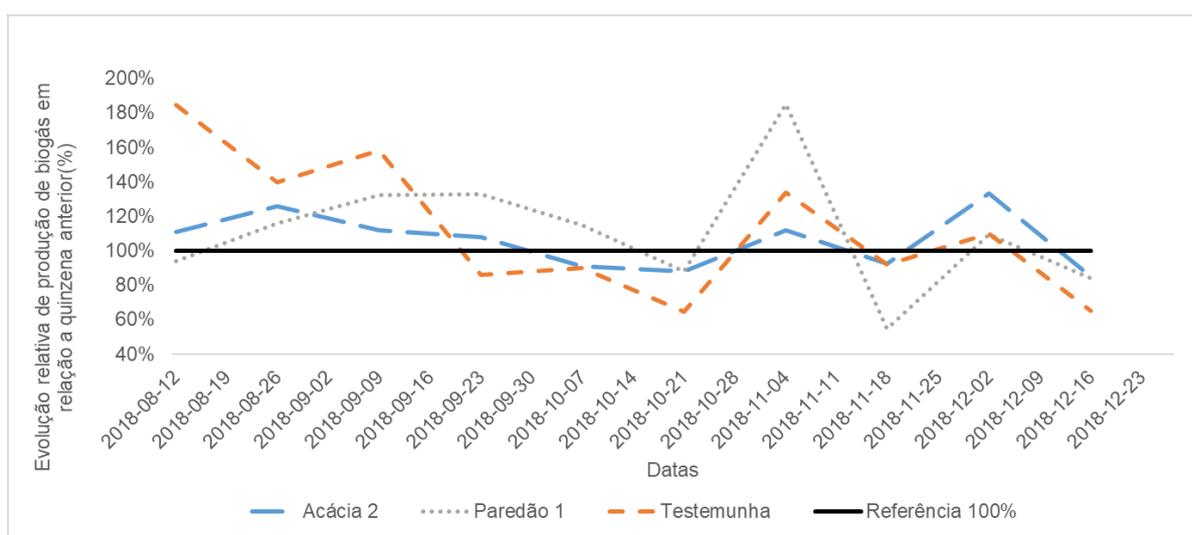


Figura 10 - Produção de Biogás em Três Biodigestores com Diferentes Sistemas de Produção Suinícola.

Fonte: Autoria Própria, 2019.

Além disso, as diferenças de produção de um período para o outro foram bastante variáveis, sendo que, hora um biodigestor apresentou amplitude maior hora o outro. Portanto, não foi possível identificar um padrão ou tendência que mostrasse resultados significativos na produção de biogás devido a aplicação de bactérias no biodigestor.

Apesar de não ter sido observado aumento da produção de biogás, notou-se nos primeiros dias após a aplicação deste produto, que uma crosta superficial se formou na lagoa 1 após o biodigestor (Figura 11). Esse fenômeno era esperado segundo o fornecedor, e era um indicativo de que o produto estava agindo no biodigestor.



Figura 11 - Lagoa 1 da Granja Paredão 1 Antes e Depois de Aplicar Produto Comercial com Bactérias no Biodigestor.

Fonte: Autoria própria, 2019.

4.5 ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A PRODUÇÃO DE BIOGÁS NA FCA

Diversos fatores afetam a produção de biogás da FCA, com destaque para aqueles externos ao processo e de difícil controle, como a temperatura ambiental. Porém, outros fatores também têm grande importância no processo e podem ser trabalhados, como por exemplo, o manejo da água e dos dejetos, o assoreamento e dimensionamento dos biodigestores.

Na busca por aumentar a produção de biogás uma sequência lógica de trabalho seria:

1) Manejo da água nas granjas

- Reduzir o consumo de água das granjas Acácia 2, Paredão 1 e das demais granjas de terminação e *wean to finish* da fazenda para 15 L animal⁻¹ dia⁻¹.
- Reduzir o consumo de água da granja São José e das demais UPL da fazenda para 35 L animal⁻¹ dia⁻¹.

2) Manejo dos dejetos

- Manter um fluxo contínuo de dejetos para os biodigestores ao invés de um fluxo rápido de todo o material uma vez ao dia.
- Fazer raspagens diárias das baias ou o mais frequente possível.
- Evitar deixar dejetos na rede de esgoto por um período maior que dois dias.

3) Assoreamento dos biodigestores

- Limpar os biodigestores uma vez a cada 4 anos ou quando estes demonstrarem redução significativa da produção de biogás.
- Para o contexto atual, recomenda-se limpar o biodigestor da granja São José, que está severamente assoreado e com produção de biogás muito abaixo do seu potencial

4) Dimensionamento dos biodigestores

- A FCA possui biodigestores que são subdimensionados, o que inviabilizou a inclusão dos mesmos nesse estudo. Para aumentar a produção de biogás da propriedade, recomenda-se a construção de novos biodigestores nas granjas com esse problema, considerando o plantel atual e possíveis ampliações.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O potencial teórico de produção de biogás de granjas suinícolas, geralmente, superestima a produção real e pode comprometer as análises de viabilidade econômica em projetos de plantas de biogás para a geração de energia. Portanto, sugere-se a redução de, pelo menos, 35% das estimativas teóricas para estudos de novos projetos. Porém, o método do IPCC se ajustou muito bem para UPL, podendo vir a ser utilizado para estimativa do potencial de produção de biogás para esse tipo de produção de suínos, sem a necessidade de redução percentual do potencial teórico de produção de biogás.

A temperatura ambiente, idade dos animais e consumo de água por animal mostraram-se como fatores determinantes na produção de biogás da Fazenda Córrego Azul.

O manejo da água, o manejo dos dejetos, o dimensionamento e a manutenção do sistema de produção de biogás são fatores que podem ser manejados para aumentar a produção de biogás.

O produto aplicado nos biodigestores da fazenda Córrego Azul para aumentar a produção de biogás não demonstrou esse resultado.

6 REFERÊNCIAS

ABCM. **Estudo comparativo de emissões de gases de efeito estufa**. Disponível em: <http://www.carvaomineral.com.br/arquivos/Estudo_Comparativo_GEE_final.pdf>, 2013.

ABPA. **Relatório Anual**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_red_uzido.pdf>, 2017.

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. São ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS Paulo: Ateliê, 2003.

ALLEN, B. L.; MALLARINO, A. P. **Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff**. *Journal Environmental Quality*, Madison, v. 37, p. 125-137, 2008.

BOUALLAGUI, H.; BEN CHEIKH, R.; MAROUANI, L.; HAMDÍ, M. **Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester**. *Bioresource Technology*. V. 86, p. 85–89, 2003.

CHEN, Y. R. **Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implications**. *Agricultural Wastes*, v. 8, n. 2, p. 65-81, 1983.

CONTI, J. B.; FURLAN, S. A. **Geoeologia: o clima, os solos e a biota**. In: ROSS, J. L. S. (org). *Geografia do Brasil*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

DARTORA, V.; PERDOMO, C. C.; TUMELERO, I. L. **Manejo de dejetos suínos**. *Concórdia*: Embrapa Suínos e Aves, 1998. p. 32. (Boletim informativo de pesquisa, 11).

FERRAZ, J. M. G., MARIEL, I. E. **Biogás uma fonte Alternativa de Energia**. Brasil, 27p., 1980.

HIGARASHI, M. M; KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Redução da carga poluente: sistemas de tratamento.** In: SEGANFREDO, M. A. Gestão ambiental na suinocultura. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 119-148.

ICLEI. **Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários.** ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, 2009.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Emissions from livestock and manure management.** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, v. 4, c. 10. 2006.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás.** Revista de Política Agrícola, ano 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R. **Cuidados com os biodigestores para estabilidade e qualidade na geração de biogás.** Suinocultura Industrial. Ed. 287, nº 2, 2019. Pag. 12-17.

LAPIONI, J.C. **Projetos de investimento: construção e avaliação do fluxo de caixa – modelos em Excel.** São Paulo, Lapioni, 2000.378p.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de textos, 2007.

MITO, J. Y. L.; KERKHOFF, S.; SILVA, J. L. G.; VENDRAME; M. G.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil.** Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2018. 52 p.; 21 cm. (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 01016245; 196).

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos.** Brasília, DF: Embrapa Suínos e Aves, 1993. (Circular técnica, 27).

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidades de produção de biogás**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. Documentos, 115.

OLIVER, A. P. M.; NETO, A. A. S.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. 2008.

PALHARES, J. C. P.; MONTICELLI, J. C.; CÂMERA, I. Z. P.; KUNZ, A.; ABREU, P. **Estimando o consumo de água de suínos, aves e bovinos em uma propriedade**. Dez., 2005.

PALHARES, J. C. P. **Manejo hídrico na produção de suínos**. 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/905188/1/Aguasuinos.pdf>. Acesso em: 23 Fev. 2019.

PERDOMO, C. C.; COSTA, R. R. H.; MEDRI, W.; MIRANDA, C. R. **Dimensionamento e sistemas de tratamento (decantador de lagoas) e utilização de dejetos de suínos**. Comunicado técnico, 234. Embrapa Suínos e Aves. Abril, 1999. P 1-5.

PORTAL DO BIOGÁS. **Biodigestão anaeróbia**. 2013. Disponível em: < <https://www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/> >. Acessado em: 08 abr. 2018.

ROSS, J. L. S. **Os fundamentos da Geografia da natureza**. In: ROSS, J. L. S. (org). Geografia do Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 178 p.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. **Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra**. R. Árvore, Viçosa/MG, v. 29, n.6, p. 931-936, 2005.

SOUZA, C. F.; CAMPOS, J. A. **Avaliação do tempo de retenção hidráulica, agitação e temperatura em biodigestores operando com dejetos de suínos**. Rev. Bras. Agroecologia, v.2, n.1, fev. 2007.

WEITHÄUSER, M.; SCHOLWIN, F.; FISCHER, E. R.; GROPE, J.; WEIDELE, T.; GATTERMANN, H. **Tratamento do biogás e opções de utilização**. In:

ROHSTOFFE, F. N. **Guia Prático do Biogás** – Tratamento e Utilização. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, 5ª edição, p. 115 – 141, 2010.