

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

SILAS VICTOR SANS ABREU

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS PARA
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SUINOCULTURAS**

VIÇOSA
2020

SILAS VICTOR SANS ABREU

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS PARA
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SUINOCULTURAS**

Monografia que será apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio de Resende.
Co-orientador: Prof. Dr. Rodolpho Vilela Alves Neves.

VIÇOSA
2020

SILAS VICTOR SANS ABREU

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS PARA
GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM SUINOCULTURAS**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 18 de dezembro de 2020.

COMISSÃO EXAMINADORA

José Tarcísio de Resende

Prof. Dr. José Tarcísio de Resende - Orientador
Universidade Federal de Viçosa

Rodolpho Vilela

Prof. Dr. Rodolpho Vilela Alves Neves- Membro
Universidade Federal de Viçosa

Heitor Sampaio Guimarães

Eng. Heitor Sampaio Guimarães - Membro
Universidade Federal de Minas Gerais

“Não é na ciência que está a felicidade, mas na aquisição da ciência”.

(Edgar Allan Poe)

*Dedico a todos que de
alguma forma
participaram da minha
trajetória até aqui.*

Agradecimentos

À minha mãe, por ser o meu maior exemplo de fé em Deus, por acreditar tanto em mim, por nunca desistir, pelas noites de sono perdidas ao meu lado, pelo companheirismo, apoio e amor incondicional;

Ao meu pai, por ser meu esteio, minha proteção e inspiração, por me ensinar que “apesar dos pesares, o sol nasce todo dia”, que “a perfeição está na própria busca”, por ser um exemplo de profissional e de ser humano, sempre disciplinado, forte e dedicado;

À Mariluce, por ser como uma segunda mãe, sempre presente, cuidando, incentivando e torcendo, com energia e bom humor imensuráveis;

Aos meus amados irmãos, pela amizade, paciência, carinho e amor, por cada sorriso e abraço, por serem minha motivação, por despertarem em mim a vontade de ser melhor, tudo o que eu sou e faço, é por vocês;

Aos meus amigos, pelo apoio e incentivo, uma “família em Viçosa”. A Bruna por ser meu ponto de apoio e ser quem compartilhava de perto todas as conquistas e dificuldades.

A DiElétrica, ao Bioenergia e ao Heitor por fazerem parte da minha trajetória acadêmica e contribuírem efetivamente para meu desenvolvimento profissional.

Aos ilustres Professores José Tarcísio de Resende e Rodolpho Vilela Alves Neves, pela atenção e instrução repassada durante a orientação deste trabalho acadêmico, por ser um exemplo de profissionalismo;

E a Deus, pela vida, pelas oportunidades, e por colocar pessoas tão especiais em meu caminho, sem as quais seria impossível chegar até aqui.

Resumo

Este trabalho estuda a viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em suinoculturas para a geração distribuída, com ênfase em suinoculturas que possuem entre 50 e 2800 matrizes. A ideia básica é apresentar diferentes matérias primas para a produção do biogás e a composição do biogás oriundo da fermentação das mesmas.

Além disso, é feita uma comparação dos motogeradores às turbinas para conversão de energia e, também, da análise da viabilidade econômica da geração de energia proveniente do biogás com a energia fotovoltaica. Finalmente são levantados e calculados os indicadores financeiros.

Este trabalho ainda propõe um material de consulta para que o produtor rural possa tomar decisões acerca de investimentos em geração de energia elétrica e para usuários que desejam iniciar um estudo a respeito. A proposta, a princípio, é avaliar a viabilidade econômica da geração distribuída em suinoculturas com determinadas matrizes, verificando assim, qual deve ser o número de matrizes viáveis para um investimento bem sucedido.

Abstract

This work studies the economic feasibility of using biogas produced in pig farms for distributed generation, with an emphasis on pig farms that have between 50 and 2800 breeding stock. The basic idea is to present different raw materials for the production of biogas and the composition of biogas from their fermentation.

In addition, a comparison is made of the motor generators to the turbines for energy conversion and, also, the analysis of the economic viability of the generation of energy from biogas with photovoltaic energy. Finally, financial indicators are raised and calculated.

This work also proposes a consultation material so that the rural producer can make decisions about investments in electricity generation and for users who want to start a study about it. The proposal, in principle, is to assess the economic viability of the generation distributed in pig farms with certain breeding stock, verifying what the number of viable breeding stock must be for a successful investment.

Sumário

1	Introdução.....	9
1.1	Objetivo Geral	12
2	Materiais e métodos.....	13
2.1	Associação de matérias primas com a composição do biogás.....	13
2.2	Métodos para conversão em energia elétrica.....	15
2.2.1	Microturbinas a gás	15
2.2.2	Conjunto motogerador	16
2.3	A Viabilidade econômica	18
2.3.1	Investimentos.....	18
2.3.2.1	Dimensionamento de Biodigestores Canadenses	21
2.3.2	Custos operacionais e variáveis	23
2.3.3	Receitas.....	24
2.3.3.1	Estimativa da produção de biogás e energia elétrica.....	25
2.3.3.1	Tipos de consumidores	26
2.3.3.2	Estrutura tarifária	28
2.3.4	Indicadores econômicos	31
2.3.4.1	Valor Presente Líquido (VPL).....	31
2.3.4.2	Taxa interna de retorno (TIR).....	32
2.3.4.3	Payback Descontado.....	33
2.3.4.4	Análise de sensibilidade	33
2.4	Outros tipos de geração distribuída e o biogás	34
3	Resultados	35
3.1	Investimentos: custos fixos e variáveis	35
3.2	Receitas.....	38
3.3	Indicadores Econômicos.....	39
3.4	Outros investimentos	42
4	Conclusão	44
5	Referências	46

Lista de Figuras

Figura 1 - Sistema de compensação de energia (ANEEL, 2016)	11
Figura 2 - Ciclo Brayton	15
Figura 3 - Turbina a gás (DMAE , 2009)	16
Figura 4 - Custos fixos para geração de energia em suinoculturas	35
Figura 5 - Custos variáveis para geração de energia em suinoculturas	36
Figura 6 - Dimensionamento de biodigestores	37
Figura 7 - Resultado do VPL para investimentos em GD em suinoculturas para um TMA de 12%	39
Figura 8 - Resultado da TIR para investimentos em Geração Distribuída em suinoculturas...	40
Figura 9 - Resultado do Payback Descontado para investimentos em Geração Distribuída em suinoculturas	40

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Comparação de DQO entre dejetos suínos e esgotos domésticos (OLIVEIRA et al, 2003)	9
Tabela 2: Valores de conversão energética para diferentes tipos de substratos (MOTTA, 1986).....	13
Tabela 3 - Produção de dejetos por categoria de suíno (OLIVEIRA, 1993).....	14
Tabela 4: Características e composição típica do biogás (ABIOGÁS, 2019).....	14
Tabela 5: Comparação entre os métodos para conversão de energia (Centro de Conhecimento em Bioenergia, 2018).....	17
Tabela 6: Custos dos grupos geradores (ERBR - Energias Renováveis)	19
Tabela 7: Consumo dos grupos geradores (ERBR - Energias Renováveis).....	19
Tabela 8: Custos para conectar os equipamentos de geração a rede elétrica (ERBR - Energias Renováveis).....	20
Tabela 9 - Relação da quantidade de dejetos produzidos por categoria de suíno (KUNZ, CHIOCHETA, MIELE, GIROTTI, & SANGOI, 2005)	22
Tabela 10 - Relação de dias no ano por categoria de suíno (KUNZ, CHIOCHETA, MIELE, GIROTTI, & SANGOI, 2005)	22
Tabela 11: Custo da planta de geração de energia elétrica.....	23
Tabela 12 - Valores tabelados da metodologia do IPCC para os parâmetros qualitativos (MITO, et al., 2018).....	25
Tabela 13 - Subdivisão dos tipos de consumidores do grupo A.....	27
Tabela 14 - Subdivisão dos tipos de consumidores do grupo B.....	27
Tabela 15 - Sistema de Bandeiras Brasileiro (Agência Nacional de Energia elétrica, 2016) ..	29
Tabela 16 – Valor do kWh para consumidores do grupo B em 2020 (CEMIG).....	30
Tabela 17 - Relação Grupo Gerador por número de matrizes	36
Tabela 18 - Relação da produção de biogás com o peso da matéria prima (BARRERA, 1993)	38
Tabela 19 – Relações de receita mensal	38
Tabela 20 - Estudo da viabilidade econômica de investimentos em energia fotovoltaica	43

1 *Introdução*

O biogás é um gás proveniente da matéria orgânica fermentada em ambiente anaeróbico. Resíduos vegetais e dejetos de animais, como suínos, aves e bovinos de leite, podem ser tratados em biodigestores, produzindo biogás e biofertilizante (subproduto do processo), reduzindo o poder poluente que o despejo dos resíduos causa ao meio ambiente (BARROS, 2016).

O principal componente do biogás é gás metano, que é incolor e altamente colorífico, podendo ser usado como combustível. Graças a esse percentual de metano elevado, o poder calorífico do biogás pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, podendo chegar até a 12.000 kcal por metro cúbico se eliminado todo o gás carbônico da mistura (DEGANUTTI, C.J.P., & ROSSI, 2002). Segundo a Resolução ANP nº 8/2015 o biogás com uma porcentagem de metano acima de 90% é chamado de biometano e pode ser destinado ao uso veicular (GNV).

Além de resolver um problema comum entre os criadores de animais, a poluição, a utilização desses resíduos para a produção do biogás pode ser um excelente investimento. Quando feita de forma supervisionada e adequada, a produção de energia pode superar as expectativas do pecuarista.

É importante retratar a poluição causada pelos dejetos dos suínos. Essa poluição está relacionada com a Demanda Química de Oxigênio – DQO, sendo que quanto maior a DQO mais poluente é o dejetos. A Tabela 1 apresenta uma comparação entre dejetos suínos e esgoto doméstico.

Tabela 1 - Comparação de DQO entre dejetos suínos e esgotos domésticos (OLIVEIRA et al, 2003)

Parâmetro	Suínos	Esgoto Doméstico
DQO mg/l	14000 - 20000	400-800

Observando a Tabela 1, percebe-se que os dejetos dos suínos possuem alto potencial poluidor, chegando a ser 25 vezes mais poluente que o esgoto doméstico.

Além disso, a utilização do biogás para geração de eletricidade é uma atividade onde é possível obter os Certificados de Emissões Reduzidas, os chamados créditos de carbono. Esse fato é mais um indicativo de que a produção de biogás é uma medida adequada para a conservação do meio ambiente. A simples queima do gás metano, mesmo produzindo dióxido de carbono, é válida, pois o metano possui um impacto de efeito estufa cerca de 21 vezes maior do que o dióxido de carbono (RANZI & ANDRADE, 2004). Ainda no âmbito ambiental, com a produção do biogás por meio do reaproveitamento – principalmente de dejetos de animais - o produtor deixa de contaminar lençóis freáticos, rios, açudes e o solo.

Segundo o Plano Dezenal de Energia, desenvolvido pelo Ministério de Minas Energia (MME) e a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o maior potencial de produção de energia a partir do biogás no Brasil é o sucroenergético, mas de modo geral o setor é uma grande promessa. É confirmado que é possível produzir um montante considerável a partir de resíduos de animais e urbanos, como dejetos, esgotos e aterros sanitários. Entretanto, esse potencial ainda não é aproveitado.

Uma pesquisa feita pela ABiogás, Associação Brasileira de Biogás e Biometano, identificou que o país desperdiça por ano mais de uma Itaipu e meia em energia que poderia ser obtida com biogás. Hoje, o país deixa de gerar 115 mil gigawatts-hora de energia com o não aproveitamento dos rejeitos urbanos, da pecuária e da agroindústria. Esse volume aliviaria a pressão sob o que existe no setor elétrico (ABIOGÁS, 2019).

O Programa Paulista de Biogás, Decreto 58.659 de 2012 incentiva a participação de energias renováveis na matriz energética brasileira e estabelece uma porcentagem de mistura em biometano ao gás canalizado no estado. Em 2013, iniciaram incentivos relacionados ao ICMS nos estados de SP, MG, BA, MT e RJ. O primeiro leilão de energia que a ABIOGÁS venceu, em 2016. Dentre outros, esses são exemplos de vitórias, motivos e incentivos da utilização do biogás no Brasil (ABIOGÁS, 2019).

Entretanto, ainda existem muitos obstáculos a serem enfrentados, é necessária uma maior divulgação dos benefícios da geração distribuída a partir do biogás e, também, incentivo por parte das agências reguladoras. A geração distribuída aproxima a geração do consumo e diversifica a matriz energética do país, diminuindo a dependência sobre a hidrelétricas e o risco da influência de fatores climáticos. Além disso, ainda deveria ser mais minuciosa a fiscalização das distribuidoras sobre a disponibilidade de acesso às GDs por meio das agências reguladoras

estaduais e os investimentos em geração distribuída deveriam ser viabilizados e incentivados a partir de agências de financiamento. Hoje, possuímos algumas regulações que regem esse tipo de geração, mas ainda é um tema que deve ser discutido e inserido constantemente na agenda regulatória da ANEEL.

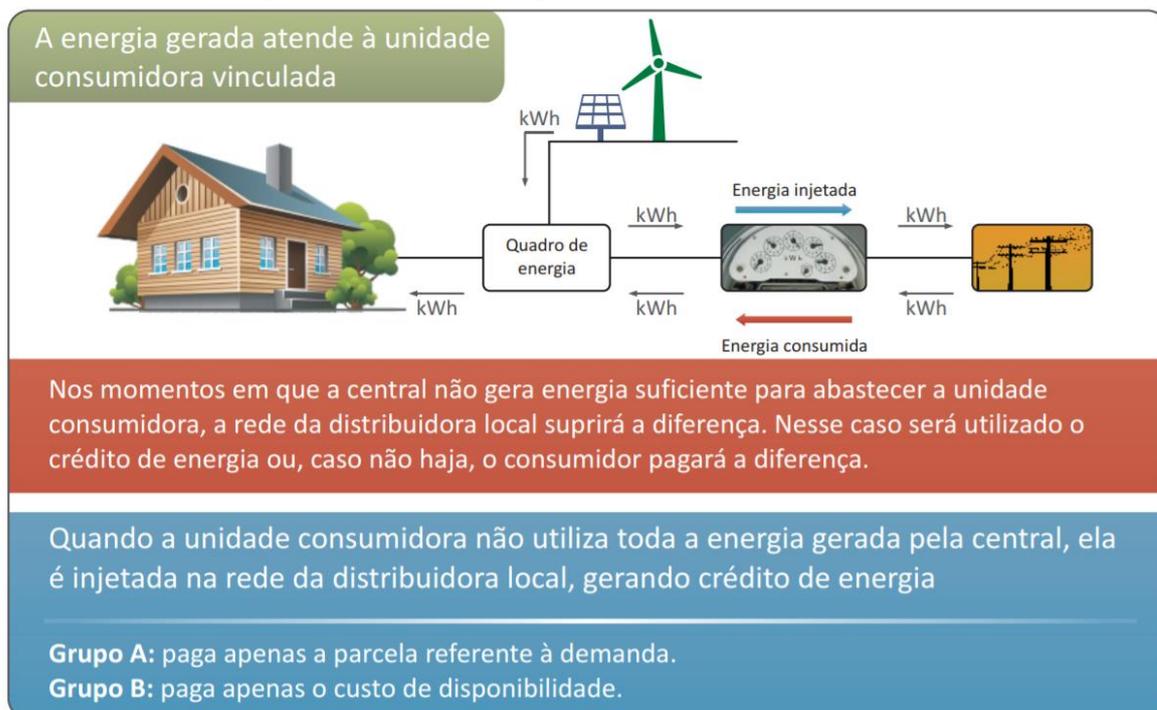
Como foi discutido na Consulta Pública nº 10/2018 da ANEEL, que trata de geração distribuída:

De forma geral, a presença de pequenos geradores próximos às cargas pode proporcionar diversos benefícios para o sistema elétrico, dentre os quais se destacam a postergação de investimentos em expansão no sistema de transmissão; o baixo impacto ambiental; a melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada e a diversificação da matriz energética (ENEL, 2018).

De acordo com a Resolução nº 482/2012, que trata sobre Geração Distribuída, caso a central de geração tenha potência instalada inferior a 75 kW, esta é denominada microgeração distribuída. Caso a central geradora tenha potência entre 75 kW e 5 MW, será denominada Minigeração distribuída. Algumas normas de implementação para a minigeração e microgeração são diferenciadas dependendo da faixa de potência implementada (ANEEL, 2016).

A Figura 1, retirada do Caderno temático da ANEEL sobre geração distribuída (2016), esquematiza e explica o funcionamento do sistema de compensação ao consumidor.

Figura 1 - Sistema de compensação de energia (ANEEL, 2016)



Como mencionado de forma simplificada, o sistema de compensação é baseado na utilização da energia gerada pela unidade consumidora, ao invés da utilização da energia proveniente da rede da concessionária.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é identificar os custos e benefícios do processo de conversão de biogás em energia elétrica e analisar a viabilidade econômica do processo. Pretende-se também que este trabalho seja um material de consulta para que o produtor rural possa tomar decisões acerca de investimentos em geração de energia elétrica e para novos estudos relacionados ao tema. Sendo assim, tem o propósito de incentivar o avanço sustentável do sistema elétrico brasileiro, impulsionando a geração distribuída e diminuindo os impactos ambientais.

Dados os objetivos gerais, têm-se como objetivos específicos:

- Apresentar diferentes matérias primas para a produção do biogás e a composição do biogás oriundo da fermentação das mesmas;
- Levantar os indicadores financeiros para estudar a viabilidade econômica do uso do biogás em geração distribuída;
- Comparar equipamentos utilizados para conversão do biogás em energia elétrica;
- Comparar a geração de energia proveniente do biogás com outros sistemas de geração distribuída;
- Observar a viabilidade econômica da geração distribuída em suinoculturas com diferentes quantidades de suínos;
- Avaliar os resultados obtidos.

2 *Materiais e métodos*

2.1 *Associação de matérias primas com a composição do biogás*

O biogás é um produto da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos e pode ser obtido através de quase todos os substratos com alto teor de matéria orgânica. Esses podem ser dejetos líquidos, resíduos sólidos ou biomassa dedicada unicamente para a geração de energia. Os principais grupos de moléculas orgânicas com potencial de aproveitamento energético são os carboidratos, as proteínas e as gorduras, que são convertidos em biogás através da digestão anaeróbica completa (PROBIOGÁS, 2015).

A composição do biogás pode variar de acordo com a matéria prima, ou seja, com o tipo de biomassa empregada. Além disso, os fatores climáticos, dimensões do biodigestor, pH e temperatura dentro do biodigestor também podem modificar a composição do gás. Quando as condições ambientais para o processamento de dejetos pelos microrganismos são atendidas, o biogás obtido deve ser composto de uma mistura de gases, com cerca de 60% ou 65% do volume total consistindo em metano, enquanto os 35% a 40% restantes consistem, principalmente, de gás carbônico e quantidades menores de outros gases (SEIXAS, FOLLE, & MACHETTI, 1980).

A Tabela 2 exemplifica o fato supracitado, mostrando uma estimativa da quantidade de substrato por dia para cada unidade geradora, da quantidade de biogás por quilograma de substrato e da concentração de metano de acordo com a origem do material.

Tabela 2: Valores de conversão energética para diferentes tipos de substratos (MOTTA, 1986).

Origem do Material	kg de substrato/dia (cada unidade geradora)	kg de Biogás/kg de substrato	Concentração de Metano
Suínos	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%
Equinos	12	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%
Abatedouro	1	0,1	55%
Vinhoto	1	0,018	60%

Note que a concentração de metano do biogás proveniente de suinoculturas é a mais elevada. Esse dado é importante porque a composição do biogás influencia diretamente na geração de energia, já que o poder calorífico do metano é o principal responsável pela conversão. Em termos práticos, esse valor influencia diretamente no consumo de biogás quando utilizado como combustível.

Para calcular a quantidade de biogás produzida em uma suinocultura, é necessário diferenciar a quantidade de dejetos produzidos de acordo com a categoria ou etapa do suíno. A Tabela 3 mostra a quantidade média de produção de esterco, esterco mais urina e dejetos líquidos em quilogramas varia de acordo com as categorias do suíno.

Tabela 3 - Produção de dejetos por categoria de suíno (OLIVEIRA, 1993)

Categoria de suíno	Esterco (kg)	Esterco + Urina (kg)	Dejetos líquidos (L)
25 -100 kg	2,3	4,9	7
Porcas em gestação	3,6	11	16
Porcas em lactação	6,4	18	27
Machos	3	6	9
Leitão desmamado	0,35	0,95	1,4
Média	2,35	5,8	8,6

A partir da Tabela 3 temos o primeiro contato com as divergências entre as etapas do animal na suinocultura e observa-se a importância de levarmos esse fator em consideração em simulações que envolvam a produção de dejetos.

A Tabela 4 apresenta a composição típica em porcentagem de cada constituinte no biogás produzido em biodigestores e compara ao gás produzido em aterros sanitários.

Tabela 4: Características e composição típica do biogás (ABIOGÁS, 2019)

Parâmetro	*Gás de Aterro	**Biogás (digestor anaeróbio)
Poder calorífico inferior (MJ.Nm⁻³)	16	23
Metano (%vol)	35-65	53-70
Dióxido de carbono (% vol)	15-50	30-47
Nitrogênio (% vol)	5-40	-
Ácido Sulfídrico (ppm)	<100	<1000
Amônio (ppm)	5	<100

Conforme a Tabela 4, o principal composto do biogás é o CH₄ (metano), também é constituído de CO₂ (gás carbônico) e baixos teores de outros componentes como N₂, H₂ e H₂S

(gás sulfídrico), este último responsável por conferir ao biogás um odor característico e gerar problemas com corrosão. Devido ao gás sulfídrico ser um componente do biogás é necessário a utilização de um filtro nos processos que serão discutidos a seguir.

É importante ressaltar que a composição pode variar de acordo com o material utilizado na decomposição, eficiência do biodigestor e outros fatores ambientais e operacionais. Pode-se perceber consultando em diferentes bibliografias que os valores dos parâmetros são divergentes, mas possuem uma escala confiável a ser adotada dependendo do interesse do estudo.

2.2 Métodos para conversão em energia elétrica

2.2.1 Microturbinas a gás

As microturbinas são um sistema compacto que combinam duas formas de geração de energia: elétrica e térmica. O sistema contém um compressor, recuperador, câmara de combustão, turbina e um gerador magnético permanente, seu princípio de funcionamento está baseado no ciclo Brayton, ilustrado na Figura 2 e na Figura 3. Primeiramente, o ar é comprimido por um compressor. Ao passar pela câmara de combustão, o ar se expande devido ao fornecimento de calor pelo processo de combustão. Isso ocorre supostamente sob pressão constante. O ar aquecido pela combustão movimenta uma turbina que movimenta um gerador, para transformação da energia mecânica em elétrica.

Figura 2 - Ciclo Brayton

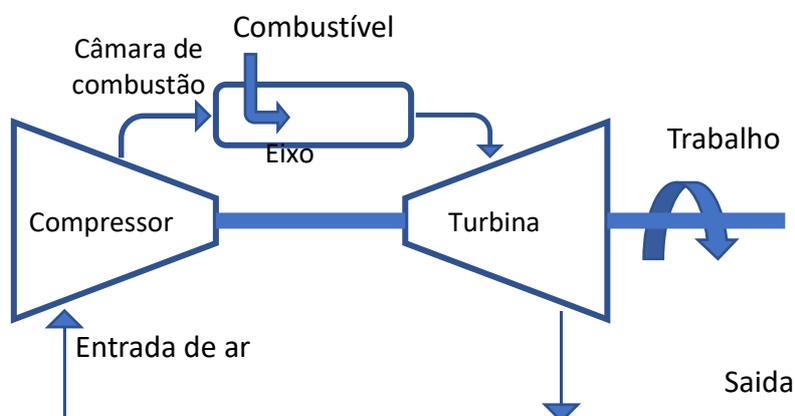
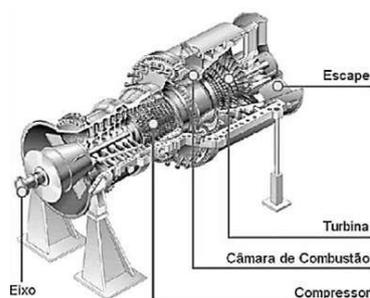


Figura 3 - Turbina a gás (DMAE , 2009)



Já são conhecidas as vantagens e desvantagens da utilização da microturbina. A Tabela 5, aponta algumas características, levantadas pelo Centro de Conhecimento em Bioenergia da Universidade Federal de Viçosa, das microturbinas utilizadas para produção de biogás em comparação ao conjunto motogerador que será apresentado a seguir. Visto que as turbinas são importadas, sabe-se que o custo de aquisição do equipamento em relação ao motogerador é elevado. Além disso, a eficiência dessas turbinas são menores e, apesar de precisarem de menos manutenção, a procura pelo serviço pode ser difícil. Portanto, como o foco desse trabalho é um estudo de viabilidade econômica, um projeto com microturbinas será descartado.

2.2.2 Conjunto motogerador

O conjunto motogerador é um equipamento constituído de um motor a gás quatro tempos Diesel ou ciclo Otto acoplado a um alternador para a geração de energia elétrica. Para que o biogás possa ser utilizado como combustível é necessário identificar sua vazão, composição química e poder calorífico, parâmetros que determinam o real potencial de geração de energia elétrica (COELHO, 2006).

As potências utilizadas nos motogeradores a biogás variam entre 30 kVA e 330 kVA, entretanto, desde que se respeite as condições técnicas necessárias, pode-se operar geradores em paralelo, aumentando a potência de geração. Além disso, existem diferentes modos de operação quando se trata da quantidade de horas que podem operar por dia, sendo o regime permanente quando opera de forma contínua e o regime intermitente quando opera apenas em algumas horas por dia. Quando operados no regime permanente há necessidade de manutenção contínua em um intervalo de tempo menor em relação ao outro modo de operação. Porém, a manutenção é relativamente simples e é fácil encontrar mão de obra capacitada, já que ela se resume em manutenções preventivas, principalmente da parte motor, envolvendo inspeção,

alguns reparos caso seja necessário, a troca de óleo lubrificante, verificação de bateria e outras operações com o intuito de evitar uma possível falha no aparelho.

Os motogeradores encontrados no mercado operam com o biogás com mais de 55% de metano, o que não é um problema para o biogás produzido através de dejetos de suínos. Ademais, eles necessitam de um sistema de filtragem fornecido pelos fabricantes.

A Tabela 5 aponta algumas características levantadas pelo Centro de Conhecimento em Bioenergia dos conjuntos motogeradores utilizados para produção de biogás em comparação às microturbinas a gás.

Tabela 5: Comparação entre os métodos para conversão de energia (Centro de Conhecimento em Bioenergia, 2018)

Métodos para conversão em energia elétrica	
Microturbina a gás	Motogerador
Emissão de gases muito baixas e redução dos gases do efeito estufa	Maior emissão de gases
Mínima manutenção, porém, com maior dificuldade na procura do serviço	Facilidade nos serviços de manutenção
Silencioso	Ruídos do motor
Sem óleos, lubrificantes, gases refrigerantes e sistema de filtragem	Necessidade de óleos lubrificantes e sistema de refrigeração
	Controle do sistema de filtragem e do painel de comando
Custo Elevado	Menor custo de Aquisição
Produto importado	Produto nacional e possibilita a adaptação de motores automotivos
Eficiência entre 24% e 28%	Maior eficiência em relação a outras tecnologias (entre 30% e 40%)
	Diferentes escalas de geração de energia elétrica

Devido às vantagens, principalmente financeiras, do uso do conjunto motogerador a análise de viabilidade econômica levará em conta que a conversão de energia advinda do biogás será realizada por esse tipo de equipamento. Será feito o orçamento considerando

motogeradores específicos para o uso de biogás como combustível, de acordo com os dados que serão apresentados em outro tópico deste texto.

2.3 A Viabilidade econômica

Uma ferramenta de grande importância no gerenciamento de projetos e na tomada de decisão é o estudo de viabilidade econômica e financeira. Através de indicadores financeiros mensura-se o quão viável um negócio será, sendo realizado sempre que for necessário definir se o projeto irá adiante ou não. Isto porque, são feitas projeções orçamentárias e numéricas de investimentos, custos e receitas para que seja encontrada a taxa de retorno e a decisão final sobre o sucesso de tais investimentos de forma eficiente.

Quando deseja-se implantar biodigestores e transformar o potencial do biogás para gerar energia elétrica, é imprescindível avaliar se o alto investimento será compensado pela redução dos custos com energia. Para isso, são estabelecidos indicadores financeiros como o valor presente líquido (VPL), taxa de interna de retorno (TIR), o payback e o payback descontado para que a decisão seja feita adequadamente.

Com o objetivo de fornecer um material de consulta para suinocultores que pretendem expandir seus investimentos no setor de energia, será realizado um estudo de viabilidade econômica para geração distribuída de energia em suinoculturas.

2.3.1 Investimentos

Em termos econômicos, investir significa aplicar um certo capital esperando um benefício futuro. Os investimentos iniciais para as granjas que desejam participar da geração distribuída se baseiam na instalação dos biodigestores, compra dos equipamentos de geração e na conexão destes equipamentos na rede elétrica da concessionária da região.

O kit básico da empresa BG Equipamentos, composto por um biodigestor modelo canadense de 10m³, tubos de instalação, purificador de 4L e medidor de vazão, apresentou custo de construção e de implantação, em torno de R\$8950,00 mais valor de frete variável de acordo com a localidade. O biodigestor comporta cerca de 100-150 kg de dejetos mais 150 L de água. Em termos de retorno, com a instalação, poderia ser produzido em média o equivalente a 5 botijões de GLP (gás liquefeito de petróleo) por mês mais o equivalente a 1 saco de ureia, 1 de

supertriplo e ½ de potássio também por mês (biofertilizantes). Este seria um biodigestor utilizado apenas para suinoculturas de pequeno porte e esse trabalho tem foco em suinocultura com mais de cinquenta matrizes, já que serão utilizados geradores com potências elevadas, se comparada ao consumo desse tipo de unidade consumidora.

Segundo Prati (2010), os custos de implantação de biodigestores ainda maiores, está entre R\$ 150,00 por metro cubico. De forma a atualizar os preços base do ano de 2010 para a referência atual, utilizou-se o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), que reflete a inflação acumulada no período demandado, sendo calculado periodicamente pelo IBGE. Para isso, foi usada a calculadora de correção de valor por índice, chamada calculadora do cidadão e disponível no sítio eletrônico do Banco Central do Brasil.

Apesar da calculadora do cidadão ser um mecanismo que pode ser utilizado para atualização de valores monetários, ela foi utilizada apenas para o investimento em biodigestores. O custo com a aquisição de equipamento de geração de energia que serão utilizados se encontram na Tabela 6 e o consumo dos motogeradores encontram-se na Tabela 7. Esses valores foram extraídos de informações do Centro de Conhecimento em Bioenergia, como foram orçados em um intervalo de tempo menor e, comparando com outros trabalhos, ainda retratam na realidade atual uma perspectiva do investimento, não foram corrigidos.

Tabela 6: Custos dos grupos geradores (ERBR - Energias Renováveis)

Grupos Geradores	Preço	Sistemas de Filtro	Filtro	Painéis de Proteção	Custo da Manutenção (R\$ por hora)
30 kVA	R\$77.597,30	Master 50	R\$10.500,00	R\$56.028,00	1,736
50 kVA	R\$79.923,80	Master 50	R\$10.500,00	R\$56.028,00	1,875
80 kVA	R\$107.561,22	Master 100	R\$15.900,00	R\$56.028,00	2,215
120 kVA	R\$147.787,00	Master 100	R\$15.900,00	R\$56.028,00	3,194
250 kVA	R\$349.280,00	Master 200	R\$22.950,00	R\$67.900,00	8,226
330 kVA	R\$381.500,00	Master 200	R\$22.950,00	R\$67.900,00	8,58

Tabela 7: Consumo dos grupos geradores (ERBR - Energias Renováveis)

Modelo Grupo Gerador	Biogás %CH4	Consumo de gás com 100% de carga (Nm ³ /h)			
		Biogás 20,09MJ/m ³	Biogás 27,2MJ/m ³	Biogás 37,6MJ/m ³	Biogás 4 MJ/m ³
GMWM30	>55%	13	7	5	11
GMWM50	>55%	25	10	8	17
GMWM80	>55%	41	22	17	37
GMWM120	>55%	56	39	30	66
GMWM250	>55%	100	69	50	120
GMWM330	>55%	106	75	58	129

Para maior segurança do processo de análise de viabilidade foi utilizado o valor do biogás 20,09MJ/m³. Esse valor varia de acordo com a composição do biogás, parâmetro esse determinado por fatores variáveis, como o manejo dos dejetos e a eficiência de remoção de DQO do sistema de armazenamento. Como se trata de um estudo de viabilidade, entende-se que utilizando esse valor não existe o risco de levantarmos informações equivocadas a serem utilizadas pelo suinocultor. Desta forma, levando em consideração que a vazão de biogás do biodigestor para o motogerador será a mais elevada, esta seria uma análise pessimista.

Os valores dos equipamentos considerados mais a mão de obra com a ligação dos equipamentos na rede, estão na Tabela 8.

Tabela 8: Custos para conectar os equipamentos de geração a rede elétrica (ERBR - Energias Renováveis)

Potência do Gerador (kVA)	Custo de conexão dos equipamentos de geração
30	R\$60.000,00
60	R\$68.000,00
80	R\$71.000,00
120	R\$76.000,00
250	R\$85.000,00
330	R\$95.000,00

Devido as variações de carga que estão presentes na rede, a regulação de tensão será feita por regulador de tensão eletrônico, garantindo a tensão de saída. Além disso, o gerador é síncrono, de excitação tipo *brushless* (sem escovas), o que diminui custos com manutenção, autoventilado, com quatro polos e ligação em estrela com neutro acessível, fator de potência igual a 0,8 indutivo. A rotação nominal do gerador é de 1800 rpm, garantindo a frequência de 60 Hz.

Para informações relacionadas as normas técnicas de operação do gerador, paralelismo com a rede, com ou sem injeção de potência, sistema de medição e a solicitação de adesão de geração, pode-se consultar o Comunicado Técnico nº 01/2016 da Cemig, Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig – Adesão ao Sistema de Geração Própria, disponível no site da distribuidora. Cabe ressaltar que esses equipamentos podem variar de acordo com a concessionária local. Algumas normas podem ser diferenciadas de acordo com as exigências da concessionária, desde que amparadas pela ANEEL.

2.3.2.1 Dimensionamento de Biodigestores Canadenses

O modelo de Biodigestor Canadense é um dos biodigestores com maior eficiência quando se trata de remoção de DQO, chegando a um valor de 70% de redução. Além disso, ele é um biodigestor de construção relativamente simples, já que o gás fica armazenado em uma lona de PVC (Centro de Conhecimento em Bioenergia, 2019). Assim, este será o modelo de biodigestor dimensionado neste trabalho.

A proporção de comprimento por largura influencia no regime hidráulico do biodigestor. Segundo o Centro de Conhecimento em Bioenergia da UFV, um biodigestor que possui essa relação elevada se aproxima de um “fluxo em pistão”, enquanto os que possuem essa relação próxima da unidade se assemelham ao tipo “mistura completa”. Em um reator de fluxo em pistão as partículas fluem como um êmbolo e saem na mesma ordem em que entram. A concentração de matéria orgânica não é constante em todo do biodigestor, e decresce da entrada do dejetos à saída do biodigestor. Em uma mistura completa a concentração é uniforme ao longo de todo biodigestor. Esse modelo apresenta menor eficiência que o de fluxo em pistão, entretanto tem maior segurança operacional, uma vez que qualquer flutuação brusca no afluente será “diluída” por todo o sistema. Por exemplo, em caso de exposição das bactérias a substâncias tóxicas. Sistemas de tratamento anaeróbios reais operam em sistemas conhecidos como “fluxo disperso”, em condições intermediárias, com uma relação de comprimento/largura de 2 a 3.

Assim, pode-se dimensionar um biodigestor fixando o tempo de retenção hidráulica (TDH) e calculando a vazão diária de dejetos no sistema:

$$TDH = V \cdot Q = 20 \text{ a } 40 \text{ dias}$$

Onde V é o volume do biodigestor e Q é a vazão de dejetos. Por motivo de informação, pode-se calcular o comprimento e largura do biodigestor seguindo as seguintes relações: a altura dos biodigestores (H) é fixada dentro da faixa de três a cinco metros.

Onde o comprimento (L) e a largura (B) usualmente obedecem à relação:

$$\frac{L}{B} = 2 \text{ a } 3$$

Para o cálculo da vazão, primeiro é preciso calcular o número de dias de cada categoria da vida do animal. A partir desse valor, utiliza-se uma média de dejetos diários em cada etapa e calcula-se o total de dejetos em um período de tempo, ou seja, a vazão. O plantel de suínos

pode ser subdividido em categorias ou conforme o sistema de produção (OLIVEIRA, 1993). Quanto às categorias, segundo Oliveira, delimita que as principais são:

- Maternidade ou lactação (matriz fêmea + leitões).
- Leitão em creche.
- Matriz em gestação.
- Matriz macho.
- Crescimentos e terminação.

Para estimarmos a produção de dejetos e dimensionar o sistema de armazenagem, foi desenvolvida uma planilha que, conforme o número de dias que o animal permanece em cada etapa de produção, calcula o volume de dejetos produzidos. Para isso, utilizou-se os dados apresentados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Assim, a produção de dejetos segue a seguinte relação:

Tabela 9 - Relação da quantidade de dejetos produzidos por categoria de suíno (KUNZ, CHIOCHETA, MIELE, GIROTTO, & SANGOI, 2005)

Etapa	Dejetos(m³/dia)
Matriz em lactação	0,027
Matriz em gestação	0,0162
Leitão em Creche	0,0014
Crescimento/Terminação	0,007
Machos	0,009

Ademais, de acordo com a EMBRAPA, cada matriz possui 2,4 partos por ano e 22,5 leitões/terminados por matriz por ano e a proporção do número de machos é de 1 para cada 20 matrizes (KUNZ, CHIOCHETA, MIELE, GIROTTO, & SANGOI, 2005). O tempo de permanência de cada fase de criação é variado de acordo com a Tabela 10 a seguir:

Tabela 10 - Relação de dias no ano por categoria de suíno (KUNZ, CHIOCHETA, MIELE, GIROTTO, & SANGOI, 2005)

Etapa	Dias por ano
Matriz vazia	6
Gestação	114
Lactação	28
Creche	42
Terminação	80
Do nascimento ao abate	150

Conforme resumo apresentado na sequência, primeiramente, calcula-se o número de animais por ano e multiplica-se pelo valor da Tabela 10, obtendo os dias por ano que cada etapa representa. Assim, a vazão total de dejetos produzido em metros cúbicos por ano é calculado pela somatória do número de animais por fase por dia multiplicado pelo volume de dejetos produzidos por animal da Tabela 9. Sendo Q a vazão de dejetos em metros cúbicos por ano, as equações a seguir calculam essa vazão para cada etapa do animal.

$$Q_{GESTAÇÃO} = \text{Número de matrizes} \times 2,4 \frac{\text{partos}}{\text{ano}} \times 120 \text{ dias} \times \frac{0,016 \text{ m}^3}{\text{dia}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right] \quad (1)$$

$$Q_{LACTAÇÃO} = \text{Número de matrizes} \times 2,4 \frac{\text{partos}}{\text{ano}} \times 28 \text{ dias} \times \frac{0,027 \text{ m}^3}{\text{dia}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right] \quad (2)$$

$$Q_{CRECHE} = \text{Número de matrizes} \times 22,5 \frac{\text{leitões}}{\text{matriz.ano}} \times 42 \text{ dias} \times \frac{0,0014 \text{ m}^3}{\text{dia}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right] \quad (3)$$

$$Q_{TERMINAÇÃO} = \text{Número de matrizes} \times 22,5 \frac{\text{terminados}}{\text{matriz.ano}} \times 42 \text{ dias} \times \frac{0,007 \text{ m}^3}{\text{dia}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right] \quad (4)$$

$$Q_{MACHOS} = \text{Número de matrizes} \times 2,4 \frac{\text{partos}}{\text{ano}} \times 120 \text{ dias} \times \frac{0,016 \text{ m}^3}{\text{dia}} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{ano}} \right] \quad (5)$$

2.3.2 Custos operacionais e variáveis

Os custos operacionais estão relacionados às despesas que mantem o negócio em funcionamento, logo o produtor o possui independentemente do valor de sua receita. Enquanto os custos variáveis mudam de acordo com a quantidade de produção, tempo de trabalho, entre outros fatores.

Os custos anuais da geração de energia proveniente do biogás para uma granja são baseados na mão de obra do biodigestor, manutenção do biodigestor e gerador, depreciação dos equipamentos de geração e caso haja alguma emergência, manutenção preventiva da rede que gere desligamentos do gerador.

Tabela 11: Custo da planta de geração de energia elétrica

Custo	Estimativa de total anual
Mão de obra	R\$12.540,00
Manutenção	Tabela 6
Depreciação	10%

Segundo dados da ANEEL (2019) a vida útil do gerador é de 10 anos à uma taxa de depreciação de 10% ao ano. A Tabela 11 resume as informações relacionadas aos custos operacionais e variáveis considerados durante o trabalho.

Os cálculos realizados para os custos com manutenção do gerador, como troca de óleo e peças e retífica do motor, foram apresentados na Tabela 6, em função das horas de funcionamento do maquinário. Já a taxa de manutenção do biodigestor, troca de lona, por exemplo, é estimada em 2,5% ao ano do dispêndio de sua compra e instalação (TINOCO, SCANAVEZ, MARTINS, & MATINS, 2017).

O orçamento da mão de obra do operador do gerador levará em consideração o valor de um salário mínimo mensal do ano de 2020 (R\$ 1.045,00), podendo ser utilizado para pagar um empregado designado a manusear o gerador de energia elétrica e atividades extras envolvendo o biodigestor.

2.3.3 Receitas

A Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, estabelece o sistema de compensação de energia elétrica, assim como regula as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Logo, essa resolução estabelece como será a receita advinda da geração distribuída.

A Resolução nº 482/2012 faz a seguinte definição:

Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; (Resolução Normativa Nº 482, 2012)

Define-se receita como entrada monetária que ocorre em uma entidade ou patrimônio, em geral sob a forma de dinheiro ou de créditos representativos de direitos. Assim, a receita advinda da implantação do projeto de geração distribuída é a economia financeira gerada ao não consumir a energia elétrica da concessionária, ou ainda por fornecer o excedente à rede elétrica. Logo, cada kWh não consumido da concessionária gera uma receita estabelecida de acordo com as normas impostas pela ANEEL e divulgadas pela concessionária da região. O valor do kWh varia de acordo com o consumidor e do período que se consome ou gera energia, conforme será exposto a seguir, possuindo uma tarifa definida na Revisão Tarifária Periódica - RTP e revisada pela ANEEL no Reajuste Tarifário Anual da distribuidora de energia local. Normalmente, a RTP ocorre de quatro em quatro anos.

A receita está diretamente ligada a geração de energia, logo é proporcional a produção de biogás. Dessa forma, será exposto a metodologia utilizada para calcular essa produção e a conversão de energia.

2.3.3.1 Estimativa da produção de biogás e energia elétrica

Alinhado ao objetivo de apresentar essa informação ao suinocultor, foi decidido que é mais maleável e compreensível a informação se convertido o número de porcos de uma suinocultura em receita, para isso é necessário estabelecermos algumas relações. A primeira é a relação da quantidade de suínos com a produção de biogás. Assim, utilizaremos a metodologia proposta pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC* em 2006 e replicada pela EMBRAPA (MITO, et al., 2018, pp. 20, apud IPCC). Estimaremos o número de animais conforme as relações apresentadas no item 2.2.3.1, baseando-se no número de matrizes fêmeas. Apesar desta metodologia ter sido desenvolvida para estimar emissões de metano, utilizou-se a metodologia original e a única adaptação foi a equivalência do resultado final de metano para biogás, considerando que o metano representa 65% do biogás. Assim, da proposta feita pelo IPCC, temos:

$$FEM = SV \times 365 \times 067 \times \frac{FCM}{100} \times SM \quad (6)$$

$$\text{Emissão de metano} \left[\frac{\text{Gg}}{\text{ano}} \right] = \sum \frac{FEM \times \text{Número de animais}}{10^6} \quad (7)$$

Onde os valores tabelados e suas descrições encontram-se na Tabela 12:

Tabela 12 - Valores tabelados da metodologia do IPCC para os parâmetros qualitativos (MITO, et al., 2018).

FEM	16,8079215	Fator de emissão de metano por população/categoria
SV [kg/cab/dia]	0,3	Sólidos voláteis
Bo [m ³ /kg]	0,29	Capacidade de produção de metano pelo dejetos
Densidade [kg/m ³]	0,67	Conversão de m ³ metano para kg
FCM [%]	0,79	Fator de conversão de acordo com o manejo
SM	1	Fator de sistema de gerenciamento dos resíduos
% de metano	0,65	Fator do sistema de gerenciamento dos resíduos

O potencial da suinocultura de produção de energia diário pode ser calculado de acordo com a Equação 8, a seguir:

$$E = Q_i PCI_{CH_4} \eta \eta_g \eta_r 0,2778 \quad (8)$$

Onde:

- E = Energia produzida (kWh/dia)
- Q_i = Vazão metano ($m^3.d^{-1}$)
- PCI_{CH_4} = Poder calorífico do metano (adota-se $35,9 MJ.m^{-3}$)
- η = Eficiência de conversão do combustível (33%)
- η_g = Rendimento do alternador (91,5%) (WAG, 2019).
- η_r = Fator de Potência (80%).

Entretanto, a produção de energia também está limitada ao consumo de biogás do motogerador, já que o fabricante nos oferece a informação de combustível consumido de acordo com o poder calorífico do biogás ou da porcentagem de metano. Assim, foi escolhido utilizar o valor encontrado pela Equação 7 para estimar a produção de biogás e, em seguida, é escolhida a potência do motor de acordo com o consumo de biogás. O motor é operado no maior número de horas possíveis por dia. A receita gerada pode ser obtida multiplicando o valor da energia gerada pelo valor da tarifa de energia definido de acordo com o tipo de consumidor, conforme será estudado nos tópicos seguintes.

De acordo com (GIROTO & TALAMINI, 1998), o consumo médio da energia elétrica por suíno terminado no Brasil, no ano de 1994, era de 2,03 kWh por animal terminado. Além disso, estimam que o consumo de uma granja de suínos é de 150 kWh por matriz alojada (TALAMINI, MARTINS, & ARBOIT, 2006). Com todo o exposto, consideraremos que o biogás produzido através dos dejetos pode ser totalmente convertido em energia elétrica nas suinoculturas e utilizado para gerar receita.

2.3.3.1 Tipos de consumidores

A resolução da ANEEL n° 414/2010 estabelece os sistemas de tarifação e a classificação do consumidor de acordo com as atividades exercidas e com a finalidade da utilização da energia elétrica em suas atividades (ANEEL, 2010). As unidades consumidoras são classificadas em dois grandes grupos: grupo A e grupo B. Os grupos se subdividem em

outros subgrupos. A Tabela 13 e a Tabela 14 classificam os subgrupos do grupo A e do grupo B, respectivamente.

Tabela 13 - Subdivisão dos tipos de consumidores do grupo A

Subgrupo	Classificação
A1	Unidade consumidora com tensão maior ou igual a 230 kV
A2	Unidade consumidora com tensão entre 88 kV e 138 kV
A3	Unidade consumidora com tensão igual a 69 kV
A3a	Unidade consumidora com tensão entre 30 kV e 44 kV
A4	Unidade consumidora com tensão entre 2,3 kV e 25 kV
AS	Unidade consumidora atendida com sistema subterrâneo

Tabela 14 - Subdivisão dos tipos de consumidores do grupo B

Subgrupo	Classificação
B1	Residencial e residencial de baixa renda
B2	Rural
B3	Demais classes
B4	Iluminação pública

No grupo A encontram-se as unidades consumidoras atendidas em tensão igual ou superior a 2,3 kV, denominados consumidores de alta tensão, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo. A tarifa aplicável a este grupo é conhecida como tarifa binômica, na qual o faturamento é realizado considerando uma parcela correspondente ao consumo energético em kWh e outra a demanda contratada em kW. Para os consumidores do grupo A, a tarifa de consumo é aplicada sobre a quantidade de energia ativa consumida, expressa em kWh, medida durante um período médio de 30 dias. A tarifa de demanda é aplicada levando-se em conta a potência que é colocada à disposição do consumidor e as condições contratuais para o fornecimento da energia (COPEL, 2005). Conforme a Tabela 8, o grupo é subdividido em seis subgrupos.

No grupo B enquadram-se os consumidores atendidos em baixa tensão, ou seja, uma tensão inferior a 2,3 kV. A tarifa aplicável ao grupo B se diferencia da tarifa do grupo A pela parcela relacionada a demanda em kW. O grupo B é tarifado apenas de acordo com o consumo em kWh, denominada tarifa monômica. Conforme a Tabela 9, o grupo é subdividido em quatro subgrupos de acordo com o tipo de instalação e a tensão.

2.3.3.2 Estrutura tarifária

Segundo a resolução da ANEEL n° 479/2012, o consumidor tem a opção de contratação da modalidade tarifário dependendo da tensão de atendimento. Para alguns grupos, existe a possibilidade do consumidor ser enquadrado como consumidor livre, onde o comércio de energia é realizado sem a intermediação da concessionária local. Para os consumidores do grupo A, existem algumas duas modalidades a se escolher: a Tarifa Azul e a Tarifa Verde. Já os consumidores do grupo B, podem pertencer a tarifa branca ou convencional monômnia.

O horário de ponta é o período definido pela distribuidora, com duração de três horas diárias, considerando a curva de carga do sistema elétrico. Esse horário é aprovado pela ANEEL e, no caso da CEMIG, encontra-se das dezessete horas às vinte horas, variando em alguns feriados. (CEMIG, 2019). A modalidade tarifária convencional monômnia, pertencente ao grupo B, possui uma única tarifa para os períodos de ponta e fora de ponta. A modalidade horária branca já distingue a tarifação para horários de ponta e para o período intermediário. Os consumidores relativos à iluminação pública e os de baixa renda não tem escolha com relação a estrutura tarifária, a justificativa é que esses consumidores já possuem tarifação diferenciada.

Quando a tensão é inferior à 69 kV os consumidores podem optar entre contratar a modalidade azul ou verde. A modalidade verde possui apenas um único valor de faturamento de demanda para os horários de ponta e fora de ponta, e a demanda a ser utilizada deve ser contratada previamente. Ela possui valores distintos para o consumo dependendo do horário. Já a tarifa azul possui tarifação diferenciada para consumo e, também, para a demanda em horário de ponta. O consumidor paga uma espécie de multa caso exceda a demanda contratada, sendo que o valor do kWh passa a ser muito maior nesses momentos. Durante o horário de ponta, o custo da energia gasta também é maior que em outras horas para os consumidores do grupo A.

Outro sistema interessante e que deve ser estudado é o Sistema de Bandeiras Tarifárias, ele foi implementado no Brasil desde 2015 e ainda se encontra em vigor em quase todo território brasileiro. O sistema possui três bandeiras tarifárias: verde, amarela e vermelha. A bandeira é avaliada e divulgada mensalmente, indicando um acréscimo, decréscimo ou permanência do valor da tarifa energética paga pelo consumidor. Visto que o antigo sistema avaliava a sazonalidade do período úmido e seco e que a tarifação desses períodos era definida anualmente, o sistema de bandeiras tem se mostrado eficiente.

A bandeira é escolhida de acordo com as condições de geração de energia, condições essas monitoradas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A ONS realiza um estudo que antecede a necessidade do acionamento de fontes auxiliares. A previsão do custo com energia determinará a cor vigente, no qual implicará possíveis acréscimos no valor da fatura para o consumidor final (DIEESE, 2014).

A bandeira verde indica condições favoráveis para a geração de energia, a bandeira amarela indica condições menos favoráveis e acarreta um acréscimo no valor da energia. A bandeira vermelha indica o maior custo para geração de energia e é dividida entre patamar 1 e 2, sendo o segundo patamar o pior em termos econômicos. A Tabela 11 estabelece a relação entre o custo da geração, a bandeira tarifária, e o acréscimo de cada bandeira.

Tabela 15 - Sistema de Bandeiras Brasileiro (Agência Nacional de Energia elétrica, 2016)

Bandeira	Custo da geração (MWh)	Acréscimo (R\$/kWh)
Verde	Até R\$ 221,28	Sem acréscimo
Amarela	De R\$ 221,28 até R\$ 422,56	0,015
Vermelha P1	De R\$ 422,56 até R\$ 610,00	0,04
Vermelha P2	Acima de R\$ 610,00	0,06

Agora que já foi discutido sobre a relação entre os tipos de consumidor, a tensão e a estrutura tarifária, observe a Tabela 16. Nela estão referenciados alguns valores para as tarifas do cada subgrupo do grupo B, segundo a distribuidora de energia Cemig no ano de 2020, seguindo as normas descritas anteriormente e sem considerar impostos que serão descritos mais adiante. O valor escolhido pela tarifa impacta diretamente na receita das distribuidoras e também no estudo de viabilidade econômica. As informações podem ser encontradas no site da distribuidora da área de concessão ou em notas técnicas divulgadas pela ANEEL nos resultados de consultas públicas de RTPs. Neste trabalho, por aspectos físicos e ambientais que as suinoculturas estão atreladas, será utilizada o valor do consumo em reais por kWh do subgrupo B2 Rural – Normal.

Tabela 16 – Valor do kWh sem impostos para consumidores do grupo B em 2020 (CEMIG)

B1	Verde (R\$/kWh)	Amarela (R\$/kWh)	Vermelha P1 (R\$/kWh)	Vermelha P2 (R\$/kWh)
Residencial Normal (Consumo R\$/kWh)	0,64463	0,65803	0,68623	0,70703
Baixa renda até 30 kWh (R\$/kWh)	0,19712	0,20181	0,21168	0,21896
Baixa renda entre 31 até 100 kWh (R\$/kWh)	0,33793	0,34597	0,36289	0,37537
Baixa renda entre 101 até 220 kWh (R\$/kWh)	0,50689	0,51895	0,54433	0,56305
Baixa renda superior a 220 kWh (R\$/kWh)	0,56321	0,57661	0,60481	0,62561
B2	Verde (R\$/kWh)	Amarela (R\$/kWh)	Vermelha P1 (R\$/kWh)	Vermelha P2 (R\$/kWh)
Rural - Normal (Consumo R\$/kWh)	0,52859	0,54199	0,57019	0,59099
Rural - Vale Jequitinhonha - (Irrigação noturna) - 73% de desconto (Consumo R\$/kWh)	0,14272	0,14634	0,15395	0,15957
Rural - Demais Regiões - (Irrigação noturna) - 67% de desconto (Consumo R\$/kWh)	0,17443	0,17886	0,18816	0,19503
B3	Verde (R\$/kWh)	Amarela (R\$/kWh)	Vermelha P1 (R\$/kWh)	Vermelha P2 (R\$/kWh)
Demais classes (Consumo R\$/kWh)	0,64463	0,65803	0,68623	0,70703
Tarifa Branca	Verde (R\$/kWh)	Amarela (R\$/kWh)	Vermelha P1 (R\$/kWh)	Vermelha P2 (R\$/kWh)
B1 - Residencial - Ponta	1,24212	1,25552	1,28372	1,30452
B1 - Residencial - Intermediário	0,79678	0,81018	0,83838	0,85918
B1 - residencial - F. Ponta	0,52876	0,54216	0,57036	0,59116
B2 - RURAL - Ponta	1,06673	1,08013	1,10833	1,12913
B2 - RURAL - Intermediário	0,68227	0,69567	0,72387	0,74467
B2 - RURAL - F. Ponta	0,44322	0,45662	0,48482	0,50562
B3 - Demais Classes - Ponta	1,28914	1,30254	1,33074	1,35154
B3 - Demais Classes - Intermediário	0,82499	0,83839	0,86659	0,88739
B3 - Demais Classes - F. Ponta	0,53817	0,55157	0,57977	0,60057

Além das tarifas, ainda existem outros custos embutidos na conta de energia elétrica. Segundo a Superintendência de Regulação Econômica – SER da ANEEL, o ressarcimento de custos relacionados a geração de energia, a transmissão e distribuição de energia e alguns encargos e tributos também estão incluídos na Conta de Luz. Os encargos são definidos por leis aprovadas pelo Congresso Nacional. Existem dez encargos atribuídos ao setor elétrico, cada um com uma função específica. Os tributos são pagamentos repassados para os cofres públicos com o intuito de manter as atividades governamentais em ordem, existem tributos federais (PIS, Cofins), estaduais (ICMS) e municipais (CIP).

O PIS, programa de Integração Social e o Cofins, Contribuição para financiamento da Seguridade Social, são tributos cobrados pela União para manter programas voltados ao trabalhador e programas sociais. Com a edição das Leis nº 10.637/2002, nº 10.833/2003 e nº 10.865/2004, suas alíquotas encontram-se em 1,65% para o PIS e 7,6% para o Cofins. O ICMS, Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços, é previsto no artigo 155 da Constituição Federal de 1988 e é regulamentada pelo código tributário de cada estado. A CIP, Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública, é prevista no artigo 149-A da Constituição Federal de 1988, que prevê a forma de cobrança e a base de cálculo que cada município deve seguir. Como esses valores devem ser pagos por todos os consumidores, mesmo que a quantidade de energia fornecida a rede elétrica em um ponto com geração distribuída seja superior ao consumido pela unidade, o valor a ser pago nesse mês suposto não será nulo. Ou seja, a tributação citada acima independe se a unidade consumidora (UC) possui geração de energia.

2.3.4 Indicadores econômicos

Para a análise de viabilidade são utilizados indicadores econômicos, daí pode-se avaliar se o projeto obterá sucesso e dar início à sua execução. Os indicadores que serão utilizados e suas formas de cálculos são abordados nos tópicos a seguir.

2.3.4.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O indicador mais utilizado durante avaliações e comparações de projetos é o VPL. Ele permite fazer a análise durante todo o período de vida útil do investimento, a partir do tempo

zero, descontando o fluxo de caixa líquido. Ou seja, exprime o somatório dos fluxos de caixa segundo taxas mínimas de atratividade (TMA).

Quando o VPL de um projeto é positivo, significa que ele é viável, caso contrário, ele deve ser rejeitado. Na comparação de projetos alternativos de ciclos de vida iguais, aquele que apresentar maior VPL possui melhor viabilidade (BORGES, 2012).

Entretanto, o cálculo do indicador de acordo com a Equação 9 é feito com uma taxa fixa, o que é uma desvantagem, já que na realidade ocorre uma variação, sendo importante escolher uma taxa adequada.

$$\sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} - Investimento\ Inicial \quad (9)$$

FC = Fluxo de caixa no ano j (R\$);

TMA = taxa mínima de atratividade, ou custo de oportunidade (%); e

n = tempo de vida útil do projeto (anos).

A Taxa Mínima de Retorno (TMA) é a taxa de juros mínima aceitável para que o investimento seja viável. Normalmente ela é determinada pelo investidor e pode ser um parâmetro a ser variado para realizar a análise de sensibilidade, que será abordada a seguir.

Para este trabalho foi adotado um valor de TMA de 12%, sendo considerado um cenário pessimista de acordo com a bibliografia (BIERMAN; SMIDT, 1993). Quando não se define a TMA e iguala-se a zero o VPL, estamos calculando uma taxa denominada Taxa Interna de Retorno (TIR), a avaliação econômica do projeto consiste em comparar a TMA com a TIR.

2.3.4.2 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é o segundo indicador mais utilizado, representando o valor do retorno sobre os investimentos no projeto considerando-se apenas a estimativa de seu fluxo de caixa, sem levar em conta os fatores externos. Assim sendo, é definida como a taxa de desconto “i” que torna nulo o VPL (BORGES, 2012).

O cálculo da taxa é feito por meio da Equação 10:

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (10)$$

Onde TIR é igual a Taxa Interna de Retorno (%).

Os projetos de investimentos que apresentam TIR maior que a TMA, são considerados viáveis (CERVI, 2010). Segundo Rezende & Oliveira (2001), ao se comparar dois projetos mutuamente exclusivos com investimentos iniciais distintos, os resultados da TIR e do VPL podem ser divergentes. Neste caso, é necessário realizar a chamada análise incremental dos projetos, segundo a TIR.

2.3.4.3 Payback Descontado

Também conhecido como tempo de recuperação do capital (TRC), o payback tem o objetivo de determinar o tempo que será necessário para que o somatório do fluxo de caixa seja o mesmo do investimento inicial.

O payback descontado ou econômico, considera que o somatório do fluxo de caixa é descontado a uma taxa mínima de atratividade seja, no mínimo, igual ao investimento inicial (CERVI, 2010). Ou seja, o payback descontado leva em consideração a influência do tempo no valor do capital.

2.3.4.4 Análise de sensibilidade

Para que um estudo de viabilidade esteja completo e o projeto bem planejado e preparado para variações de preços de insumos, como mão de obra, energia, maquinário, entre outros, geralmente são feitas análises de sensibilidade. As análises nada mais são que cenários pessimista, otimistas e esperados do projeto, no qual são estabelecidas novas taxas e valores previamente.

Por exemplo, em um cenário otimista a receita da granja será 10% maior, já no pessimista será 10% menor, em decorrência de manutenções na rede da concessionária ou de um reajuste tarifário. Isto afetará grandemente na viabilidade de implantação do gerador de energia elétrica, podendo levar ao produtor a desistir de realizar tal projeto. Outro fator que pode ser considerado é a bandeira tarifária, que varia de acordo com o preço do custo da geração de energia no país.

Levando em consideração que será utilizado uma TMA igual a 12%, o biogás com poder calorífico de menor valor na Tabela 7 e que a metodologia utilizada pelo IPCC é uma

metodologia que estima de maneira pessimista o potencial de biogás comparado a outras metodologias, este cenário é considerado pessimista. É racional utilizarmos esse cenário, pois, este trabalho tem um objetivo de ser um objeto de consulta para diversas suinoculturas com diferentes quantidades de animais. O estudo com perspectivas otimistas e moderadas pode não ser adequado para algumas faixas estudadas, o que poderia acarretar em um investimento incerto por parte do produtor rural.

Não se sabe se todas as granjas possuem a capacidade para ter sucesso e assim obter um projeto de geração de energia elétrica por meio do biogás viável. Inúmeras variáveis devem ser analisadas, desde a quantidade de animais criados até a quantidade e qualidade do biogás que será produzido. Daí a grande importância de realizar um estudo de viabilidade econômica, evitando investimentos que não trarão o retorno esperado pelo produtor.

2.4 Outros tipos de geração distribuída e o biogás

A resolução Normativa da ANEEL nº 482/2012 de 2012, permite que o consumidor gere energia a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Sendo assim, outras formas de geração de energia devem ser estudadas nesse trabalho. Além disso, o capital investido na geração de energia elétrica a partir do biogás também pode ser investido em outras fontes de energia.

Segundo o Plano Decenal de Expansão de Energia 2027, a fotovoltaica será de grande importância na matriz energética nacional, representado 82% da capacidade instalada das GDs e 55% da energia produzida pelas GDs. Assim, sabe-se que esta fonte de energia está em ascendência no país e que as características climáticas são favoráveis. Logo, é fundamentado o porquê de a energia fotovoltaica ser apresentada e comparada ao biogás nesse trabalho.

A análise econômica da utilização da energia fotovoltaica será realizada pelo EStimate, um software desenvolvido pela Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência (GESEP), um grupo pertencente ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa. Assim, serão inseridos o valor da tarifa para o subgrupo B2 Rural e a energia gerada será igual ao resultado obtido para cada potência de gerador a biogás. O EStimate utiliza dez anos de fluxo de caixa para estimar o valor do VPL, mesmo tempo que será utilizado para a energia proveniente do biogás.

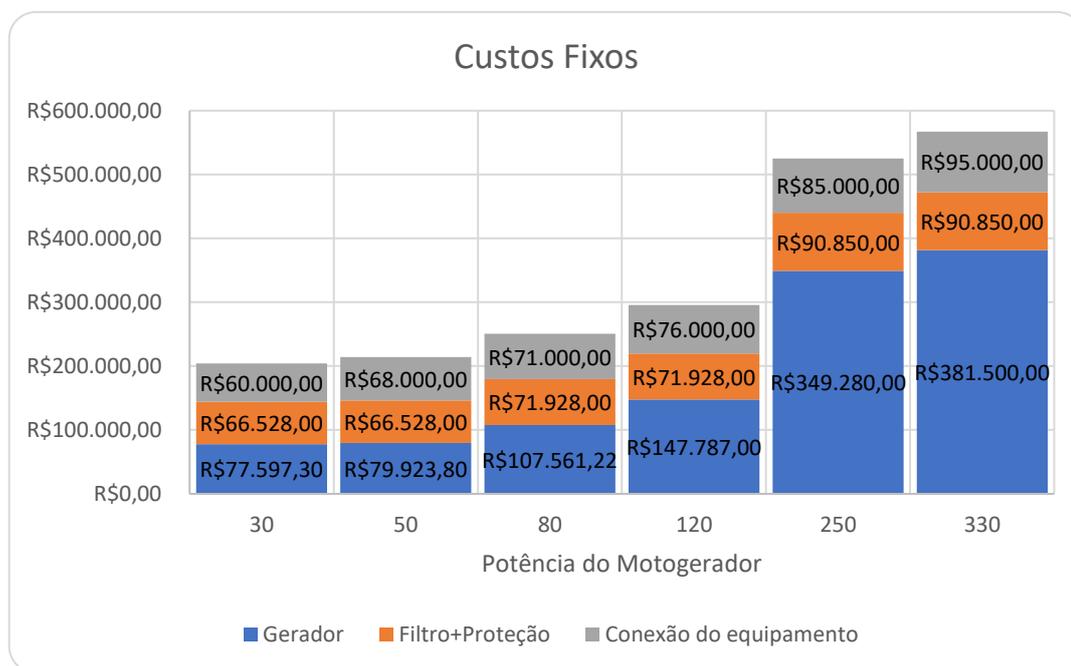
3 Resultados

3.1 Investimentos: custos fixos e variáveis

Deste modo, podemos calcular os valores dos custos fixos e variáveis. Lembrando que os custos fixos estão relacionados a valores que são previsíveis e inalterados, como o capital investido na compra do gerador. Já os custos variáveis podem se alterar com o passar do tempo, como o custo da mão de obra para operar o maquinário necessário para produção de energia através do biogás.

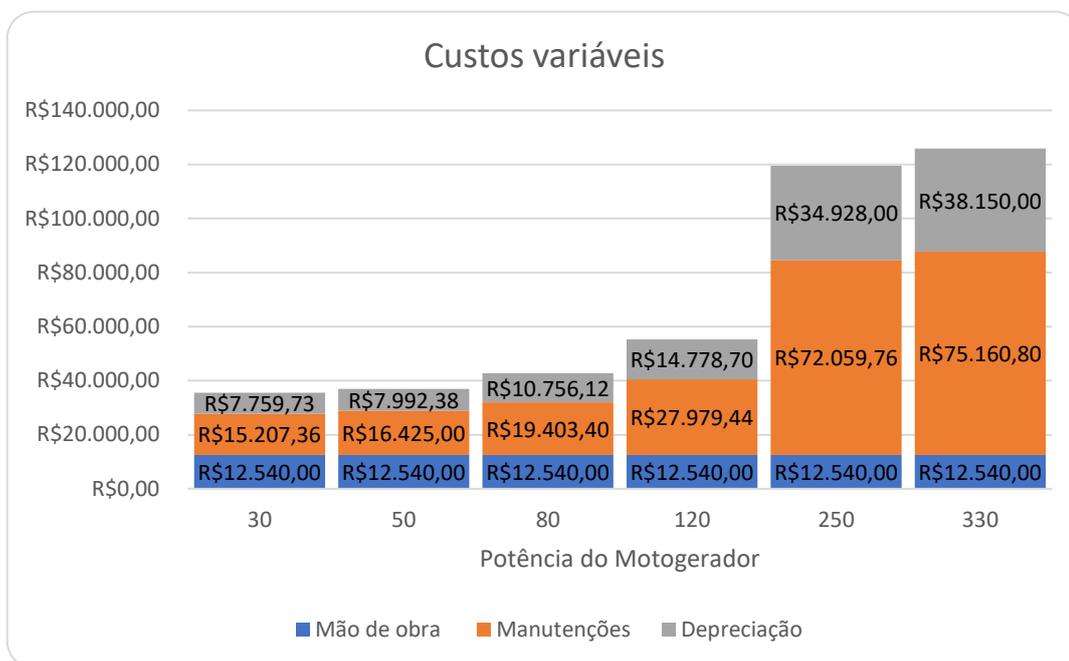
O gráfico a seguir apresenta os valores dos investimentos, segregados pela potência do motogerador comprada, no primeiro ano de aquisição do conjunto.

Figura 4 - Custos fixos para geração de energia em suinoculturas



Já o próximo apresenta o resultado dos valores de custos anuais, segregados pela potência do motogerador comprada.

Figura 5 - Custos variáveis para geração de energia em suinoculturas



É interessante trazermos esse estudo para a realidade do suinocultor, já que esse trabalho está destinado a auxiliá-lo na tomada de decisão. Sendo assim, elaborou-se uma tabela que relaciona a quantidade de matrizes com o motogerador a ser utilizado, conforme Tabela 17. Se relacionarmos o investimento inicial a potência do gerador, percebe-se que, apesar do custo ser maior, a energia gerada cresce mais rapidamente que o preço, ou seja, quanto maior a potência, menor é o preço investido por kVA. Assim, escolhemos o gerador de maior potência, respeitando a quantidade de biogás gerada.

Tabela 17 - Relação Grupo Gerador por número de matrizes

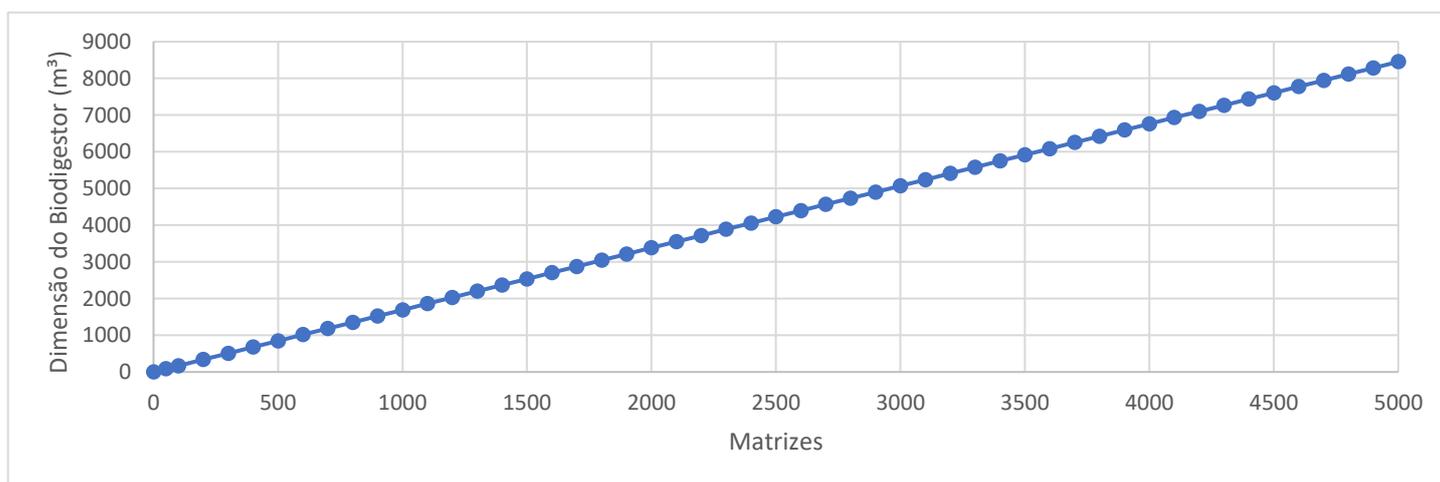
Modelo Grupo Gerador	KVA	Número de matrizes	Regime de operação
GMWM30	30	<300	Intermitente
GMWM30	30	<600	Contínuo
GMWM50	50	<900	Contínuo
GMWM80	80	<1300	Contínuo
GMWM120	120	<2200	Contínuo
GMWM250	250	<2400	Contínuo
GMWM330	330	>2400	Contínuo

Note que limitamos as potências dos geradores às que foram definidas na metodologia. Para granjas com mais de 2800 matrizes, é necessário um estudo de caso para se operar geradores em paralelo. Nesse caso, a produção de biogás supera o valor de 106 m³/hora de tal forma que poderia ser inserido outro gerador operando em paralelo ao GMWM330. A potência do gerador a ser acrescentado pode ser calculada comparando o volume de biogás excedente com o consumo apresentado na Tabela 7.

Para granjas com o número de matrizes inferior a 300 unidades, o tempo de retenção do gás é calculado dividindo-se o consumo do motor, 13 m³/h, pela vazão de biogás em m³/hora. Assim, o valor encontrado representa a quantidade de horas que são necessárias para que o gerador opere em uma hora, gerando 24 kWh.

Além desses custos apresentados, existe o valor relacionado a compra do biodigestor. Conforme as equações da seção 2.3.2.1, calculou-se as seguintes relações de volume de biodigestor por número de matrizes, considerando o tempo de retenção hidráulico de 30 dias. O preço corrigido pela calculadora de correção de valor por índice é de R\$ 268,70 por metro cúbico do biodigestor.

Figura 6 - Dimensionamento de biodigestores



Para validarmos os cálculos da produção de biogás e a produção de dejetos, alinhado com o propósito de apresentar outras matérias primas, apresenta-se a seguir a relação da quantidade de biogás gerado por quilograma de dejetos encontrada por Barrera (1993).

Tabela 18 - Relação da produção de biogás com o peso da matéria prima (BARRERA, 1993)

1 m ³ de Biogás equivale à:	
Esterco fresco de vaca	25 kg
Esterco fresco de galinha	5 kg
Dejetos de porco	12 kg
Plantas ou cascas de cereais	25 kg
Lixo	20 kg

O resultado encontrado nesse trabalho foi de 13,11 metros cúbicos de biogás por quilograma de dejetos suíno, pouco superior aos 12 metros cúbicos por quilograma apresentado na referência. Assim, conclui-se que foi utilizada uma perspectiva pessimista em relação à utilizada por Barrera, mas que pode servir de referência para análises de viabilidade confiáveis já que esse dado é obtido através da divisão dos valores encontrados nos cálculos realizados para a vazão de biogás e para dimensionamento do biodigestor.

3.2 Receitas

A receita calculada está relacionada ao preço da tarifa de energia estipulada, a potência do motogerador e o tempo de operação do mesmo. Para calcular a energia gerada, multiplica-se a potência ativa do motogerador pelo número de horas de operação. Em seguida, calcula-se a receita considerando o valor tarifário do subgrupo B2 Rural.

Mantendo o objetivo de auxiliar o suinocultor na tomada de decisão no que tange aos seus investimentos, foi elaborada uma tabela que relaciona a quantidade de matrizes com a receita média mensal, levando em consideração a potência escolhida pela Tabela 17 para todas as bandeiras tarifárias do subgrupo B2 Rural.

Tabela 19 – Relações de receita mensal

Modelo Grupo Gerador	KVA	Número de matrizes	Energia gerada mensalmente (kWh)	Verde (R\$)	Amarela (R\$)	Vermelha P1 (R\$)	Vermelha P2 (R\$)
GMWM30	30	<300	Variável	-	-	-	-
GMWM30	30	<600	17280	9134,035	9365,587	9852,883	10212,31
GMWM50	50	<900	28800	15223,39	15609,31	16421,47	17020,51
GMWM80	80	<1300	46080	24357,43	24974,9	26274,36	27232,82
GMWM120	120	<2200	69120	36536,14	37462,35	39411,53	40849,23
GMWM250	250	<2400	144000	76116,96	78046,56	82107,36	85102,56
GMWM330	330	>2400	190080	100474,4	103021,5	108381,7	112335,4

Um ponto a ser lembrado, é o fato de que em suinoculturas com baixa produção de biogás, é possível armazená-lo no biodigestor e operar o gerador em regime intermitente. Desta feita, o biodigestor é utilizado para “armazenar essa energia” durante um certo período do dia e o motogerador permanece operando apenas quando lhe for conveniente, de acordo com um estudo específico. Da mesma forma, suinoculturas acima de 2800 matrizes devem ser feito outro estudo, já que podem ser colocados geradores em paralelo ou procurar por potências mais elevadas.

Vale destacar que, para mais uma validação dos cálculos realizados, foi contatada a suinocultura Fazenda Paraíso, localizada no estado de Minas Gerais. Sendo informado que esta possuía 1100 matrizes e que foram gerados 45000 kWh durante o mês de agosto de 2019. Segundo os resultados apresentados na Tabela 19, uma suinocultura desse porte é capaz de produzir 46080 kWh por mês. Comprovamos então que o valor apresentado retrata a realidade deste suinocultor e que um estudo baseado nesse documento poderia ter sido utilizado para estimar essa produção.

3.3 Indicadores Econômicos

Existe um comportamento interessante tanto do VPL quanto da TIR observado nos resultados desse trabalho, conforme Figura 7 e Figura 8.

Figura 7 - Resultado do VPL para investimentos em GD em suinoculturas para um TMA de 12%.

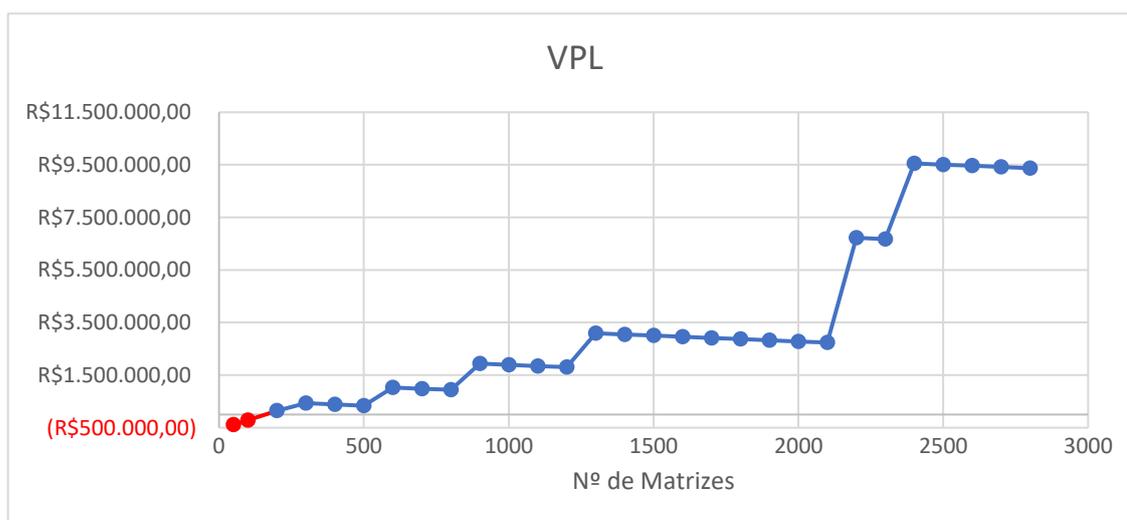
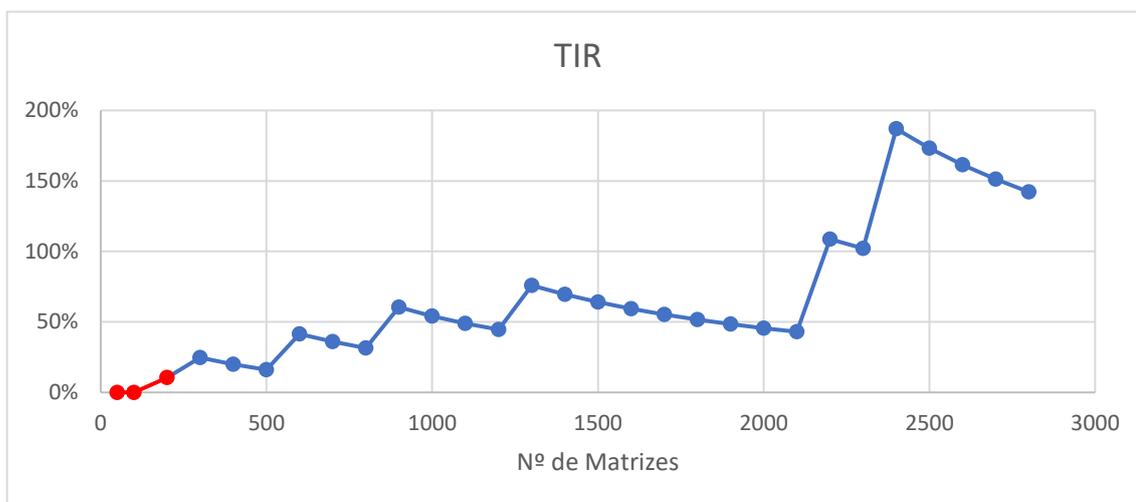


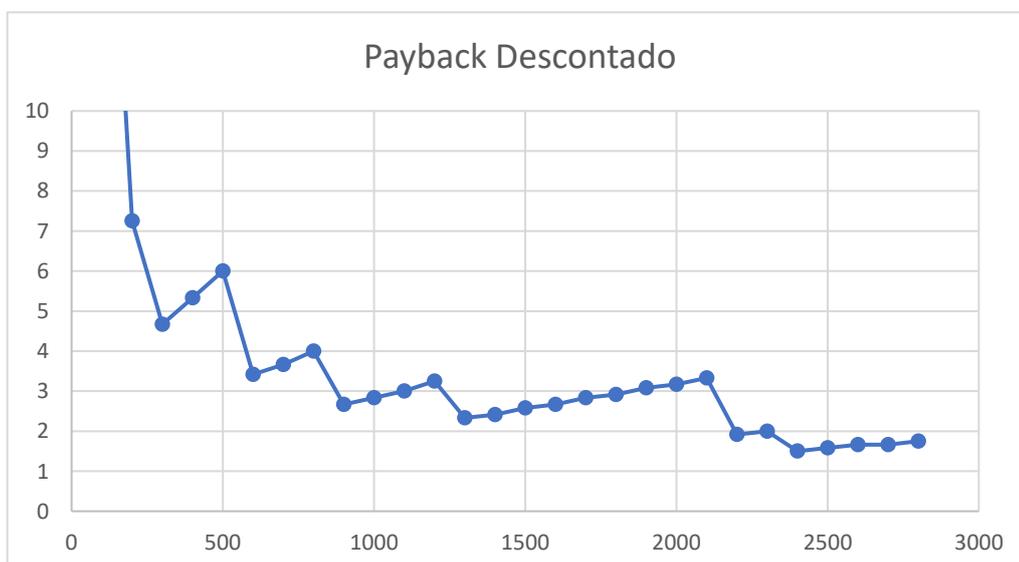
Figura 8 - Resultado da TIR para investimentos em Geração Distribuída em suinoculturas



A curva que relaciona o indicador ao número de animais salta quando se altera o motogerador a ser empregado e então decresce à medida que se aumenta o número de matrizes. Isso se dá pelo valor monetário do motogerador, pela dimensão do biodigestor aumentar e ficar mais dispendioso em granjas de maior porte e por termos considerado que a energia gerada será a mesma, já que é limitada pelo consumo do motogerador. Os valores mostrados a seguir consideraram um ano em que ocorreram apenas bandeiras verdes, mais uma vez um cenário pessimista dadas as sazonalidades climáticas do Brasil.

A Figura 9 ilustra os resultados encontrados para o payback descontado, sendo que a diferença do payback simples para o descontado foi de no máximo três meses.

Figura 9 - Resultado do Payback Descontado para investimentos em Geração Distribuída em suinoculturas



Com relação ao payback, para os investimentos viáveis, o tempo de retorno varia de aproximadamente sete anos até um ano e meio. Quanto maior o investimento, respeitando o comportamento supracitado, menor é o tempo de retorno capital.

Dado os resultados extremamente viáveis nas suinoculturas com porte acima de 200 matrizes, em condições consideradas pessimistas, a análise de sensibilidade se torna desnecessária. Outro ponto a ser observado é que o que tornou o investimento inviável em outras suinoculturas de porte menor a 200 matrizes é o custo operacional relacionado ao gerador de 30 kVA, apresentado pela Figura 5. Nesses casos, a receita gerada pela produção de energia não é superior à soma da depreciação, da manutenção e da mão de obra necessária. Quando a suinocultura apresenta exatamente 200 matrizes, o TIR é menor que a TMA escolhida (12%), assim, o investimento não é viável desde que se mantenha o cenário do nosso estudo.

Pelo comportamento dos gráficos na Figura 7, Figura 8 e Figura 9, podemos afirmar a tendência de a viabilidade econômica aumentar em suinoculturas com porte acima desses apresentados. Isso corre devido à produção de biogás ser elevada, aumentando a potência de geração e a receita adquirida.

É importante reiterar que o retorno financeiro é dado em créditos com a concessionária e que esses créditos retornam como um desconto na conta de luz. Ou seja, o suinocultor deixaria de possuir um percentual da despesa pelo consumo de energia. Além disso, desde de que em conformidade com a Resolução Normativa nº 482/2012, é possível a formação de cooperativas que se caracterizam como um empreendimento com múltiplas unidades consumidoras, ou como geração compartilhada utilizando o autoconsumo remoto.

A Tabela 19 apresenta o resultado dos indicadores, sendo utilizada para confecção dos gráficos acima, e indicando a viabilidade da geração de energia em suinocultura de 50 até 2800 matrizes.

Tabela 19 – Resultado dos indicadores econômicos para suinoculturas de diferentes portes

Matrizes	Investimento Inicial (R\$)	Receita Mensal (R\$)	VPL (R\$)	TIR	Payback Descontado
50	-226836,61	1613,56	-391969	0	-
100	-249547,93	3227,13	-213709	0	-
200	-294970,56	6454,27	142811,3	0,104309	7 anos e 3 meses
300	-340393,19	9134,03	431232,1	0,247881	4 anos e 8 meses
400	-385815,82	9134,03	386259,2	0,19901	5 anos e 4 meses
500	-431238,45	9134,03	341286,3	0,16076	6 anos
600	-486987,58	15223,39	1028639	0,413609	3 anos e 5 meses
700	-532410,21	15223,39	983666,4	0,359359	3 anos e 8 meses
800	-577832,84	15223,39	938693,5	0,31551	4 anos e 0 meses
900	-659292,89	24357,42	1934887	0,603785	2 anos e 8 meses
1000	-704715,52	24357,42	1889914	0,541141	2 anos e 10 meses
1100	-750138,15	24357,42	1844941	0,489346	3 anos e 0 meses
1200	-795560,78	24357,42	1799968	0,445684	3 anos e 3 meses
1300	-886209,19	36536,14	3094772	0,758902	2 anos e 4 meses
1400	-931631,83	36536,14	3049799	0,69495	2 anos e 5 meses
1500	-977054,46	36536,14	3004826	0,640529	2 anos e 7 meses
1600	-1022477,09	36536,14	2959853	0,593592	2 anos e 8 meses
1700	-1067899,72	36536,14	2914880	0,552642	2 anos e 10 meses
1800	-1113322,35	36536,14	2869908	0,516556	2 anos e 11 meses
1900	-1158744,98	36536,14	2824935	0,484474	3 anos e 1 meses
2000	-1204167,61	36536,14	2779962	0,455732	3 anos e 2 meses
2100	-1249590,24	36536,14	2734989	0,429804	3 anos e 4 meses
2200	-1524427,87	76116,96	6721274	1,085983	1 ano e 11 meses
2300	-1569850,50	76116,96	6676301	1,022174	2 anos
2400	-1657493,13	100474,38	9554317	1,869317	1 ano e 6 meses
2500	-1702915,76	100474,38	9509344	1,733013	1 ano e 7 meses
2600	-1748338,40	100474,38	9464371	1,615221	1 ano e 8 meses
2700	-1793761,03	100474,38	9419398	1,512404	1 ano e 8 meses
2800	-1839183,66	100474,38	9374425	1,421871	1 ano e 9 meses

3.4 Outros investimentos

Como já discutido, apresentamos a seguir os resultados obtidos no EStimate, aplicativo disponibilizado por um grupo da Universidade Federal de Viçosa que calcula a viabilidade econômica de investimentos em energia fotovoltaica. Os parâmetros de energia utilizadas foram iguais aos que seriam gerados pelos motogeradores a biogás em regime permanente e a radiação considerada é de 4,896 kWh por metro quadrado por dia, radiação de um município da região da Zona da Mata de Minas Gerais.

Tabela 20 - Estudo da viabilidade econômica de investimentos em energia fotovoltaica

Energia gerada pelo Biogás (kWh)	Energia Fotovoltaica (kWh)	Investimento Inicial (R\$)	VPL [R\$]	TIR (%)	Payback Simples (anos)	Payback Descontado (anos)	Configurações
17.280	17.308,12	338.253,57	196.128,28	15,4	6,1	7,3	Trifásico 220V
28.800	28.846,87	556.342,95	348.351,19	16,18	6	7,1	Trifásico 220V
46.080	46.095,25	893.816,25	541.360,19	15,8	6	7,2	Trifásico 220V
69.120	69.173,02	1.329.995,01	792.036,75	15,7	6	7,2	Trifásico 220V

Para gerar a mesma quantidade de energia que os motogeradores acima de 250 kVA, não foram encontrados pelo aplicativo produtos que atendessem o requisito, entretanto esses dados já nos mostram que tanto o investimento quanto o VPL aumentam de acordo com a quantidade de energia gerada e que o TIR gira em torno de 15,77% e o Payback Descontado em torno de 7 anos para investimentos dessa magnitude.

Com base nesses resultados podemos comparar os investimentos em energia fotovoltaica com a geração distribuída a partir do biogás produzido em suinoculturas e concluir que o biogás é o investimento mais viável. Porém, vale destacar que o investimento em biodigestores também está atrelado com o fator ambiental, uma vez o biodigestor diminui a DQO do substrato e, conseqüentemente, faz um tratamento essencial para despejo do dejetos. Os dejetos suínos se lançados no solo e nos mananciais de água podem causar por exemplo a proliferação de moscas e borrachudos. Servem como fonte nutricional para as larvas e podem matar os peixes (SILVEIRA et al,1998). Dessa forma, o custo atrelado ao tratamento do dejetos já faz parte do dia a dia do suinocultor, sendo que o investimento no biodigestor pode diminuir ou substituir esse custo.

Logo, não basta comparar os indicadores financeiros do investimento em energia fotovoltaica com o investimento em biodigestores e motogeradores, mas sim é necessário acrescentar o impacto financeiro de outras metodologias de manejo de dejetos. Essas metodologias possuem o objetivo de atender a legislação ambiental e seriam utilizadas caso o biodigestor não fosse adquirido. Para conhecimento e comparação, em uma suinocultura de pequeno porte, os custos de implementação de uma esterqueira para dejetos suínos e uma lagoa

de tratamento, ambas de 900m³, são de aproximadamente R\$15.000,00 e R\$29.000,00, respectivamente (KUNZ, CHIOCHETA, MIELE, GIROTTO, & SANGOI, 2005).

4 Conclusão

A geração de energia a partir do biogás, em termos econômicos, faz parte de um desenvolvimento sustentável. É um modelo de economia circular, que tem como objetivo o aproveitamento máximo do produto e se opõem ou descarte de materiais que geram desequilíbrios ambientais. Diferente de outros tipos de geração de energia, o biogás, além de ser uma fonte de energia renovável, ele realiza o tratamento dos dejetos para o despejo no meio ambiente e estimula a economia local com geração de renda e emprego na venda dos insumos e na manutenção do equipamento. Além dos argumentos já levantados, devido as características nutritivas do biofertilizante produzido pelo tratamento dos dejetos, existe a possibilidade de aproveitá-lo na própria propriedade, ou ainda ser comercializado para atividades agrícolas, gerando mais um tipo de receita para o investimento.

Diversas matérias primas que podem ser aproveitadas na produção de biogás com o intuito de geração de energia. Cada uma dessas matérias gerará o biogás com uma composição específica. No caso da suinocultura, é necessário ressaltar que os fatores determinantes para a produção de metano são influenciados pelo manejo dos dejetos e tipo de instalações da granja. Estas condições influenciam na qualidade e quantidade, sendo que o aumento no volume de efluentes resultantes da diluição destes não significa índices maiores de geração de biogás, pois, encontra-se vinculada ao teor de sólidos voláteis do efluente.

Este trabalho confirmou a viabilidade de investimentos em geração distribuída utilizando motogeradores específicos para biogás em suinocultura com mais de duzentas matrizes e elencou o ganho financeiro de acordo com o número de matrizes de cada suinocultura. De certa forma, a viabilidade econômica do investimento aumenta proporcionalmente ao porte da suinocultura.

No caso de suinoculturas com exatamente duzentas matrizes, o investimento não é aconselhado quando considerado uma taxa mínima de atratividade de 12%. Mas se utilizamos uma TMA igual a 10% de forma mais otimista, o investimento se torna viável. Vale destacar

que a não viabilidade em suinoculturas de pequeno porte pode ser convertida pela alteração dos valores de custos operacionais, por exemplo, se o suinocultor já tiver um funcionário com conhecimento para realizar a manutenção. Além disso, o investimento pode diminuir se não for utilizado o motogerador sugerido e sim uma adaptação do maquinário, sendo necessário outro estudo de caso. Ademais, se incluirmos a produção de biofertilizante para venda ou utilização na propriedade, a tendência é que o investimento se torne ainda mais viável.

Com relação a comparação da produção de energia através do aproveitamento do biogás e da energia fotovoltaica, o biogás se mostrou mais viável. Apesar de possuir números que podem ser considerados para projeto, quando se trata de dejetos suínos que poluem a natureza, o biodigestor, além da eficiência energética, trata também do problema ambiental. Não é uma comparação sadia por uma ser uma tecnologia de conversão energética por meio de resíduos agropecuários e outra pela utilização da energia solar. Além do que, os suinocultores podem já possuir o biodigestor, investimento significativo, desse modo só precisariam despende dos outros gastos elencados nesse trabalho.

Em outro trabalho pode ser estudado a viabilidade do motogerador operar apenas nos horários de ponta, alterando a classe do consumidor, também, pode-se estudar a utilização do biogás para produzir energia térmica e não apenas elétrica e verificar a melhora do processo de manejo dos dejetos com o intuito de garantir um biogás com maior porcentagem de metano em suinoculturas de menor porte, podem ser realizados estudos de caso, dentre outras pesquisas.

Com todo o exposto, consolida-se um material de consulta para que o produtor rural possa tomar decisões acerca de investimentos em geração de energia elétrica e para novos estudos relacionados ao tema.

5 Referências

- Agência Nacional de Energia elétrica. (2016). *Por dentro da conta de luz: informação de utilidade pública* (7 ed.). Brasília, DF: ANEEL. Fonte: ANEEL: <https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Por+dentro+da+conta+de+luz/9b8bd858-809d-478d-b4c4-42ae2e10b514?version=1.0>
- ANEEL. (2016). Cadernos Temáticos Micro e Minigeração Distribuída - Sistema de Compensação de Energia. (2ª Edição).
- Associação Brasileira de Biogás e de Biometano (Abiogás). (2019). *ABiogás*. Acesso em 2019 de 03 de 09, disponível em <https://www.abiogas.org.br/setor-no-brasil>
- BARRERA, P. (1993). Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a. 11.
- Barros, T. D. (2016). *EMBRAPA*. Acesso em 2019, disponível em Ageitec: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vn101wx5eo0sawqe3qf9d0sy.html>
- Borges, L. (2012). Como e por que fazer um estudo de viabilidade econômica e financeira. Fonte: <http://blog.luz.vc/financas/como-e-por-que-fazerum-estudo-de-viabilidadeeconomica-e-financeira>
- Centro de Conhecimento em Bioenergia. (2018). BIODIGESTORES: APROVEITAMENTO INTEGRADO DOS SEUS SUBPRODUTOS.
- Centro de Conhecimento em Bioenergia. (2019). *Biodigestores: aproveitamento integrado dos seus subprodutos (biogás e biofertilizantes)*. Universidade Federal de Viçosa.
- Cervi, R. G. (2010). Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica.
- Coelho, S. e. (16 a 19 de Agosto de 2006). Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. *XI Congresso Brasileiro de Energia (CBE)*.
- Deganutti, R., C.J.P., P. M., & ROSSI, M. (2002). Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. *ENCONTRO D ENERGIA NO MEIO RURAL, Anais Eletrônicos*, 4. Acesso em 2019, disponível em http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100031&lng=pt&nrm=abn.
- DMAE . (2009). Projeto Executivo da 1ª etapa. *Departamento Municipal de Água e Esgotos*.
- ENEL. (Julho de 2018). Contribuições para consulta pública CP 10/2018: Aprimoramento das Regras Aplicáveis à micro e minigeração distribuída - Resolução normativa 482/2012 ANEEL. Brasil.
- ERBR - Energias Renováveis. (Janeiro de 2014). Orçamento Motogerador.
- Giroto, A., & Talamini, D. (1998). Administração da propriedade suinícola. (J. (Sobestiansky, Ed.) *Suinocultura intensiva: Produção manejo e saúde do rebanho*.
- Kunz, A., Chiocheta, O., Miele, M., Giroto, A., & Sangoi, V. (2005). Comparativo de custos de Implantação de diferentes tecnologias de armazenagem/tratamento e distribuição de dejetos de suínos. *Circular Técnica - EMBRAPA*, 42.
- Mito, J., Kerkhoff, S., Silva, J., Vendrame, M., Steinmetz, R., & Kunz, A. (2018). Metodologia para estimar o potencial. *Embrapa Suínos e Aves*.
- MME/EPE. (2018). Plano Dezenal de Expansão de Energia 2027. Acesso em 03 de 03 de 2019, disponível em http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/PDE%202027_aprovado_OFICIAL.pdf
- Motta, F. S. (1986). Produza sua energia - biodigestores anaeróbios. *Editora Recife Gráfica*.
- OLIVEIRA, P. A. (1993). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. *Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, EMBRAPA-CNPSA. Documentos*, 27.
- Oliveira, P. A., & Higarashi, M. M. (2006). Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Embrapa Suínos e Aves.

- PROBIOGÁS. Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. (2015). Tecnologias de digestão anaeróbia com relevância para o Brasil: substratos, digestores e uso de biogás. *Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ)*.
- RANZI, T., & ANDRADE, M. (2004). Estudo de viabilidade de transformação de esterqueiras e bioesterqueiras para dejetos de suínos em biodigestores rurais visando o aproveitamento do biofertilizante e do biogás. (U. E. Campinas, Ed.) *ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL E GERAÇÃO DISTRIBUÍDA*, p. 5.
- Resolução Normativa Nº 482 (17 de abril de 2012).
- RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482 (17 de Abril de 2012). Fonte: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>
- SEIXAS, J., FOLLE, S., & MACHETTI, D. (1980). Construção e funcionamento de biodigestores. (p. 60). Brasília: Embrapa-DID, Embrapa-CPAC.
- TALAMINI, D., MARTINS, F., & ARBOIT, C. W. (2006). Custos agregados da. *Custos e agronegócios online*, 2. Fonte: <<http://custoseagrpneciosonline.com.br>>
- Tinoco, C., Scanavez, P., Martins, J., & Matins, L. (2017). Análise de viabilidade econômica da geração de energia elétrica por biomassa provinda de propriedades rurais. Uberlândia, MG: UFU.
- OLIVEIRA, M.C.; ALMEIDA, C.V.; ANDRADE, D.O.; RODRIGUES, S.M.M. Teor de matéria seca, pH e amônia volatilizada da cama de frango tratada ou não com diferentes aditivos. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.32, n.4, p.951-954, 2003.
- SILVEIRA, Paulo R. S.; SOBESTIANSKY, Júri j; WENTZ, Ivo; SESTI, Luiz A. C. *Produção, Manejo e Saúde do Rebanho*. EMBRAPA, 1998.