

ADRIANO DA SILVA ANTONIO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A
PARTIR DO BIOGÁS DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

A635v
2016 Antonio, Adriano da Silva, 1989-
Viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás de produção de suínos de Minas Gerais / Adriano da Silva Antonio. - Viçosa, MG, 2016.
xi, 69f. : il. ; 29 cm.

Orientador : Delly Oliveira Filho.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Biogás. 2. Energia - Fontes alternativas - Minas Gerais. 3. Suíno. 4. Geração distribuída de energia elétrica. 5. Energia elétrica - Produção. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22 ed. 665.776

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

ADRIANO DA SILVA ANTONIO

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A
PARTIR DO BIOGÁS DE PRODUÇÃO DE SUÍNOS DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 14 de julho de 2016.

Francisco Javier Rey Martinez

José Roberto Camacho
(Coorientador)

Ronaldo Perez

Aziz Galvão da Silva Júnior

Delly Oliveira Filho
(Orientador)

A minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por ter colocado as pessoas certas em meu caminho, o que me faz a cada dia acreditar mais em meu sonho.

Entre essas pessoas destaco com imenso prazer a minha mãe Maria Rita da Silva, pessoa no qual me ensinou que para a realização de um sonho, necessita-se de muito trabalho, honestidade e que não se pode “abaixar a cabeça” para as pequenas derrotas, pois são elas que fazem as nossas vitórias serem mais significativas.

Não posso deixar também de falar dos meus sobrinhos, André Victor e Raissa, e a minha namorada Samara de Carvalho Martins, pois, os primeiros me dão força para não desistir, são eles que me fazem ter responsabilidade e me mostram que preciso ser exemplo, a segunda sempre me compreende nos momentos que preciso e me faz feliz.

As escolas pelas quais eu estudei deixo meu imenso obrigado, são elas: E. M. Pedro Gomide Filho, E.M. Ministro Edmundo Lins, Colégio Equipe e o Colégio de Aplicação Universitário – Coluni, onde considero ter sido o “passo” mais importante em minha vida.

Aos meus estagiários Samuel, Desiree, Amanda, Thiago Bernardo, Edinei e Túlio que foram essenciais na construção deste trabalho, no qual tive a honra de ser orientado pelo Prof. Dr. Delly Oliveira Filho, professor que preocupa em obter projetos para inserir os seus alunos na realidade do cotidiano fora dos centros acadêmicos.

Finalizo agradecendo a minha segunda mãe, Inês Molica Vitarelli, que sempre acreditou em mim e sempre me trouxe confiança, pois, foi mais uma guerreira para lutar ao meu lado durante essa grande trajetória.

BIOGRAFIA

Adriano da Silva Antonio nasceu na cidade de Viçosa-MG, filho de Maria Rita da Silva Antonio e José Antonio.

Estudou no Colégio Universitário, Coluni da Universidade Federal de Viçosa - UFV, e ingressou no curso de graduação de Engenharia Elétrica da mesma instituição no ano de 2008. No intervalo de Setembro de 2011 a Julho de 2012 fez intercâmbio no *Institut National Polytechnique de Lorraine*, na cidade de Nancy – França, retornando posteriormente para a UFV, onde finalizou a sua graduação em janeiro de 2014.

Em agosto de 2014 ingressou no Programa de Pós – Graduação, em nível de mestrado, pelo Departamento de Engenharia Agrícola, na área de Energia, submetendo-se à defesa da dissertação em julho de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Energia renovável.....	1
1.2. Biomassa da suinocultura.....	3
1.3. Cadeia produtiva de suínos no Brasil e no mundo	4
1.4. Biogás.....	8
1.5. Panorama energético brasileiro	9
1.5.1. Geração distribuída no Brasil.....	11
2. OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo geral.....	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Formas de economizar nos gastos com energia elétrica.....	15
3.1.1. Economia devido à contratação de demanda ótima	15
3.1.2. Economia devido à correção de fator de potência	17
3.1.3. Economia devido à autoprodução de energia elétrica	18
3.2. Tecnologias utilizadas para a conversão de energia	19
3.3. Coleta de dados.....	22
3.3.1. Características das propriedades visitadas	23
3.3.2. Avaliação do potencial de produção de biogás produzido por resíduos da suinocultura	25
3.4. Viabilidade econômica	26
3.4.1. Receita financeira	26
3.4.2. Investimentos.....	27
3.4.3. Custos operacionais	29
3.4.4. Indicadores econômicos VPL, TIR, RBC, RLT e TRC	29
3.4.5. Análise de sensibilidade	32
4. RESULTADOS	34
4.1. Dimensionamento dos grupos geradores	34
4.2. Estimativa da produção e consumo de biogás	35
4.2.1. Análise das granjas que não são autossuficientes	37
4.2.2. Excedente de energia elétrica gerada nas granjas autossuficientes	38
4.3. Viabilidade econômica	39
4.3.1. Investimentos.....	39

4.3.2. Custos operacionais	40
4.3.3. Receita.....	42
4.3.4. Indicadores econômicos	43
4.3.5. Análise de sensibilidade	46
4.4. Potencial dos projetos no estado de Minas Gerais	59
4.4.1. Potencial dos projetos de energização rural com biogás em Minas Gerais	60
5. CONCLUSÕES.....	62
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	64
7. BIBLIOGRAFIA.....	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Emissão anual de metano de origem de dejetos animal.....	3
Quadro 2 – Rebanho suíno mineiro em função do número de matrizes	7
Quadro 3 – Rebanho suíno nas regiões de Minas Gerais	7
Quadro 4 – Composição volumétrica típica do biogás da suinocultura	8
Quadro 5 – Equivalência energética do biogás comparada com outras fontes de energia segundo alguns autores	9
Quadro 6 – Localização das propriedades selecionadas no estado de Minas Gerais	22
Quadro 7 – Caracterização das granjas de suínos estudadas.....	23
Quadro 8 – Número de animais existentes nas granjas por região do estado de Minas Gerais	24
Quadro 9 – Consumo máximo observado de energia elétrica das granjas estudos no período de um ano.....	25
Quadro 10 – Produção diária de dejetos de suínos por ciclo de produção	26
Quadro 11 – Tarifas de energia elétrica praticadas ou passíveis de serem praticadas pelas granjas de suinocultores estudadas por modalidade do grupo A4 e B2	27
Quadro 12 – Custos dos grupos geradores	28
Quadro 13 – Consumo de grupos geradores estudados	28
Quadro 14 – Custos de conexão dos equipamentos de geração.....	28
Quadro 15 – Dimensionamento dos geradores indicados para as granjas	35
Quadro 16 – Estimativa da produção e consumo de biogás nas granjas	36
Quadro 17 – Estimativa do potencial de geração de energia elétrica das granjas que não são autossuficientes.....	37
Quadro 18 – Excedente de energia elétrica gerada nas granjas autossuficientes	38
Quadro 19 – Investimento necessário para a geração distribuída das granjas autossuficientes	40
Quadro 20 – Custos operacionais da planta de geração de energia elétrica um ano após a implantação	41
Quadro 21 – Receita esperada para cada granja autossuficiente no período de um ano	42
Quadro 22 – Fluxo de caixa da granja 1 durante os 10 anos de vida útil do projeto	44
Quadro 23 – Indicadores econômicos para investimento na geração distribuída de energia elétrica para taxa mínima de atratividade igual a 8,75% ao ano	45
Quadro 24 – Indicadores econômicos para investimento na geração distribuída de energia elétrica em função da taxa mínima de atratividade	47
Quadro 25 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 80% dos atuais preços praticados	48
Quadro 26 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 90% dos atuais preços praticados	49
Quadro 27 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 110% dos atuais preços praticados	50
Quadro 28 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 120% dos atuais preços praticados	51

Quadro 29 – Indicadores econômicos considerando decréscimo nos custos de operação em 20%	52
Quadro 30 – Indicadores econômicos considerando decréscimo nos custos de operação em 10%	53
Quadro 31 – Indicadores econômicos considerando acréscimo nos custos de operação em 10%	54
Quadro 32 – Indicadores econômicos considerando acréscimo nos custos de operação em 20%	55
Quadro 33 – Indicadores econômicos considerando a redução nos custos de energia elétrica em 10%	56
Quadro 34 – Indicadores econômicos considerando redução nos custos de energia elétrica em 5%	57
Quadro 35 – Indicadores econômicos considerando elevação nos custos de energia elétrica em 5%	58
Quadro 36 – Indicadores econômicos considerando elevação nos custos de energia elétrica em 10%	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biodigestor do tipo indiano.....	2
Figura 2 – Produção mundial de carne suína.....	5
Figura 3 – Consumo de carne suína nos países os maiores consumidores <i>per capita</i> do mundo, em 2009.....	5
Figura 4 – Consumo <i>per capita</i> de carne suína por regiões do mundo.....	6
Figura 5 – Evolução percentual da tarifa de energia elétrica no Brasil.	10
Figura 6 – Representação esquemática de uma suinocultura com biodigestores e geração distribuída de energia elétrica.	12
Figura 7 – Turbina a gás.	19
Figura 8 – Turbina a vapor.....	20
Figura 9 – Etapas do ciclo de funcionamento do motor a combustão interna..	21

RESUMO

ANTONIO, Adriano da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2016. **Viabilidade econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás de produção de suínos de Minas Gerais.** Orientador: Delly Oliveira Filho. Coorientadores: José Márcio Costa e José Roberto Camacho.

No presente trabalho foi analisada a viabilidade da utilização do biogás produzido em suinoculturas do estado de Minas Gerais para a geração de energia elétrica. Para isso avaliou-se o potencial de produção do biogás e a geração de energia elétrica no setor suinícola, onde foi possível estimar os impactos econômicos em nível estadual e no setor agropecuário ao utilizar a micro e minigeração de energia elétrica permitida por lei no Brasil mediante a resolução normativa da ANEEL sobre geração distribuída de energia elétrica.

Foram avaliadas as tecnologias de micro e minigeração para a geração de energia elétrica a partir do biogás, quanto ao rendimento e vida útil dos equipamentos, o que é de fundamental importância para o dimensionamento dos equipamentos, para as análises de viabilidade econômica e estimação dos impactos ambientais do empreendimento.

O levantamento de dados foi feito em 22 suinoculturas em diferentes regiões do estado de Minas Gerais e com diferentes tipos de ciclo de produção de animais. A partir destes dados foi possível expandir os resultados para todas as suinoculturas do estado e analisar o impacto do empreendimento em nível estadual, em relação a viabilidade do investimento e diminuição de emissão de poluentes de efeito estufa.

Enumeras sugestões, nas áreas de políticas públicas, podem ser listadas e justificadas a partir dos resultados encontrados neste trabalho, visto que o setor de geração de energia elétrica nacional passa por fortes oscilações, e a economia nos gastos com a produção de animais pode deixar o setor suinícola ainda mais competitivo no mercado.

ABSTRACT

ANTONIO, Adriano da Silva, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Economic feasibility of electric power generation from biogas of swine production farms of Minas Gerais State.** Adviser: Delly Oliveira Filho. Co-advisers: José Márcio Costa and José Roberto Camacho.

In this work, is made the feasibility analysis of using the biogas generated in swine production farms in Minas Gerais State for electricity generation. Assessing the biogas generation potential of electricity in swine sector, where it was possible estimate the economic impact at the State level and in the agricultural sector to use the micro and minigeneration of electricity permitted by the Brazilian regulation regarding dispersed generation.

We evaluated the micro and minigeneration technologies to generate electricity from biogas, as the equipment's efficiency and lifetime. This was essential to scale the results, to analyze the economic feasibility and estimate the environmental impacts of the project at State level.

The data acquired was done in 22 swine production farms in different regions of the State with different types of animal production cycle. With such data it was possible to expand the results for all swine production sector in the State and analyze the project impact at State level.

Suggestions for public policies were listed and justified from the results found in this work, since the electricity generation sector undergoes strong fluctuations in Brazil and saving costs on animal production can make the swine sector still more competitive on the market.

1. INTRODUÇÃO

1.1. Energia renovável

A energia elétrica gerada por fontes renováveis no mundo representou 22,6% do total de energia gerada em 2013, o que significou 5.095 TWh, das quais a hidroeletricidade, a energia eólica e a biomassa foram as principais fontes (USDE, 2014).

Diferente da matriz elétrica mundial, no Brasil, as fontes de energia para a geração de eletricidade são predominantemente renováveis, já que em 2014, elas representaram 74,6% da oferta interna de energia elétrica (BEN, 2015). O que se deve, principalmente, as fontes hídricas, que representaram 65,2% de toda a matriz energética nacional na geração de energia elétrica, totalizando 89.648.797 kW de capacidade de potência instalada com 1170 usinas, gerando em média 2.437,96 kWh hab⁻¹ ano⁻¹ (BIG, 2015).

Por outro lado, a participação nacional da geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis diminuiu em 2014, pois, no ano anterior, essas fontes representaram 76,7% do total de energia elétrica, com produção de 571 TWh (BEN, 2015).

Dentre as fontes renováveis de geração de energia elétrica, a biomassa é uma importante alternativa. Ela já vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, incluindo, em sistemas de cogeração, que é o aproveitamento simultâneo de energia térmica e elétrica (Marconato, et al., 2008).

Além disso, as projeções para o final do século 21, é que a biomassa representará de 10 a 20 % do total da energia consumida pela humanidade (Goldemberg, 2009). Em 2014 a biomassa representou 7,3% de todas as fontes que foram utilizadas para a geração de eletricidade no país (BEN, 2015), destacando-se, o bagaço de cana, a lenha e seus subprodutos, incluindo o carvão vegetal, resíduos da produção animal, dentre outros.

Os resíduos da produção da suinocultura também podem ser utilizados como fonte energética e de fertilizantes. Para tal utiliza-se de diferentes tipos de digestores anaeróbicos como exemplificado na Figura 1.

Os biodigestores colaboram para diminuir impactos ambientais, como emissões de poluentes atmosféricos e a poluição em mananciais. Os biodigestores têm a função de permitir o aproveitamento dos efluentes como biofertilizantes, que em geral é viável economicamente quando a concentração de nutrientes no efluente for superior a 5 kg m^{-3} (Diesel, et al., 2002). Além do mais os biodigestores produzem biogás, um gás rico em energia, por meio da ação, principalmente de bactérias metanogênicas (Moser, 2003).

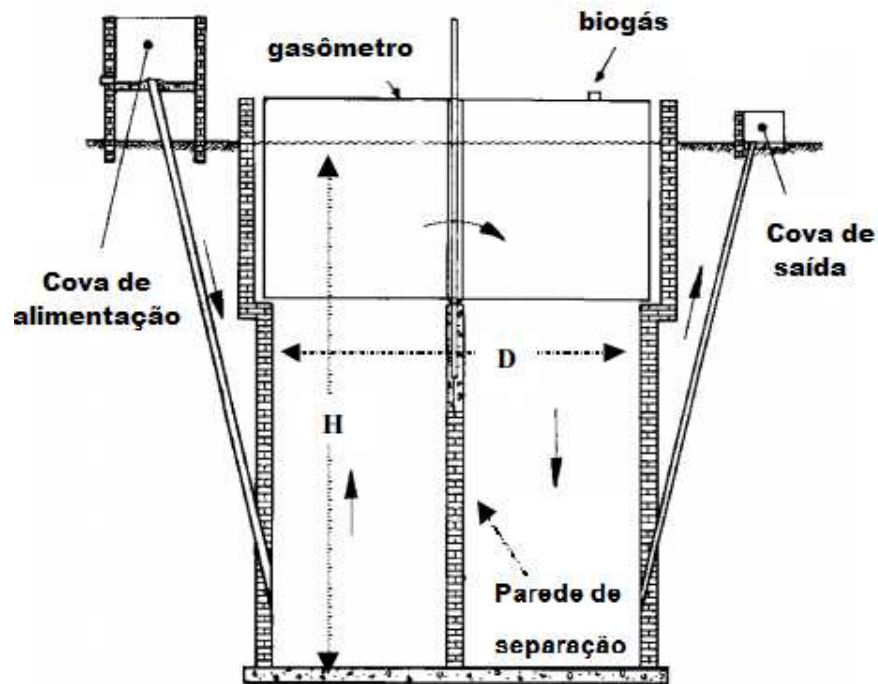


Figura 1 – Biodigestor do tipo indiano.

Fonte: (Florentino, 2003).

Para o dimensionamento da lagoa anaeróbica, deve-se levar em consideração o tempo de retenção hídrico que será utilizado na planta e o volume diário de resíduos da suinocultura produzidos, onde segundo (Oliveira, 1993), geralmente, o tempo ótimo é de 22 dias, já que este valor está em função do tipo de material contido na lagoa anaeróbica, como se segue na Equação (1):

$$V_{bd} = T_{rh} D_{pd} \quad (1)$$

em que:

- V_{bd} = Volume da lagoa anaeróbia do biodigestor (m^3);
 T_{rh} = Tempo de retenção hídrico da lagoa de sedimentação (dia); e
 D_{pd} = Quantidade de dejetos produzidos diariamente ($m^3 \text{ dia}^{-1}$).

1.2. Biomassa da suinocultura

A suinocultura é uma atividade com grande importância econômica e com grande potencial de poluição ao meio ambiente (Falcão, et al., 2008), se destacando pela contaminação da água, do solo e da atmosfera, que são consequências do manejo inadequado dos dejetos dos animais (Oliveira; Higarashi, 2006). A poluição atmosférica desta atividade se deve principalmente aos gases metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e o sulfeto de hidrogênio (H_2S), onde os dois primeiros são os principais causadores do efeito estufa e encontrados em maior proporção no biogás, resultante da digestão anaeróbica dos dejetos dos animais (Pinto, 2006).

A produção do biogás de forma natural também ocorre devido ao acúmulo do lixo orgânico e resíduos industriais de origem vegetal em geral. Já a forma artificial é obtida com o uso de um reator químico-biológico conhecido como biodigestor anaeróbico (Roya, et al., 2011).

O metano, principal substância encontrada no biogás, é um gás de efeito estufa (GEE) que é vinte e uma vezes mais nocivo que o dióxido de carbono, sendo responsável por 20% do aquecimento global (EPA, 2002). No Quadro 1 está apresentado um estudo com os valores de metano emitido anualmente de dejetos de alguns animais:

Quadro 1 – Emissão anual de metano de origem de dejetos animal

	CH ₄ de Dejetos Animais 10 ³ ton ano ⁻¹			
	Aves	Suínos	Bovinos	Soma
Mundo	970,0	8.380,0	7.490,0	16.840,0
Brasil	56,2	292,8	1.012,7	1.361,7
Brasil/Mundo	6%	3%	14%	8%

Fonte: (Cardoso, 2012).

Por outro lado, a presença do metano no biogás, agrega valor ao biocombustível, já que dá a ele a característica de fonte energética (Sacher, et

al., 2014), com poder calorífico variando de 20.900 a 29.260 kJ m⁻³, chegando a 50.160 kJ m⁻³, se for totalmente purificado (Santos, et al., 2013). Ou seja, com o biogás é possível produzir energia abundante, de origem de resíduos, contribuindo para ao se cumprir a legislação ambiental por meio do uso de biodigestores, se tenha possibilidade de aproveitamento do biogás e do biofertilizante.

Em vista disso, a produção de biogás também agrega valor à atividade, já que, dependendo da capacidade de produção de biogás, os suinocultores podem se tornar autossustentáveis energeticamente, por meio da geração de energia elétrica e/ou térmica, além de obter biofertilizante (Oliveira, 2004).

Várias tecnologias para gerar eletricidade a partir do biogás estão disponíveis. Nessas tecnologias, inicialmente a energia química do combustível gasoso é convertida em energia térmica e mecânica em um sistema de combustão controlada por um motor estacionário. Então energia cinética é convertida num alternador em energia elétrica. As máquinas mais comumente utilizadas para a conversão de energia do biogás são os motores a combustão e as turbinas a gás (Sacher, et al., 2014). Além destas existem as turbinas a vapor e as turbinas de ciclo combinado.

Neste contexto, é interessante conhecer a atual situação da suinocultura no mundo e no Brasil, para que se possa detalhar e entender a importância da utilização do biogás nas propriedades e o potencial de geração de energia elétrica. Além do mais, precisa-se avaliar a situação energética do Brasil em relação: ao cenário micro e macro econômico, políticas públicas relacionadas ao setor energético e a realidade do setor da suinocultura.

1.3. Cadeia produtiva de suínos no Brasil e no mundo

A carne suína é a fonte de proteína animal mais consumida no mundo, o seu consumo chega a ser o dobro da carne bovina (SEAB , 2013). Segundo (USDA, 2013), em 2012 foram produzidas 104,63 milhões de toneladas de carne suína, onde aproximadamente 50% desse total foram produzidas na China, liderando o mercado mundial, acompanhada pela União Europeia e Estados Unidos. Os dados referentes à produção de carne suína no mundo, estão detalhados na Figura 2.

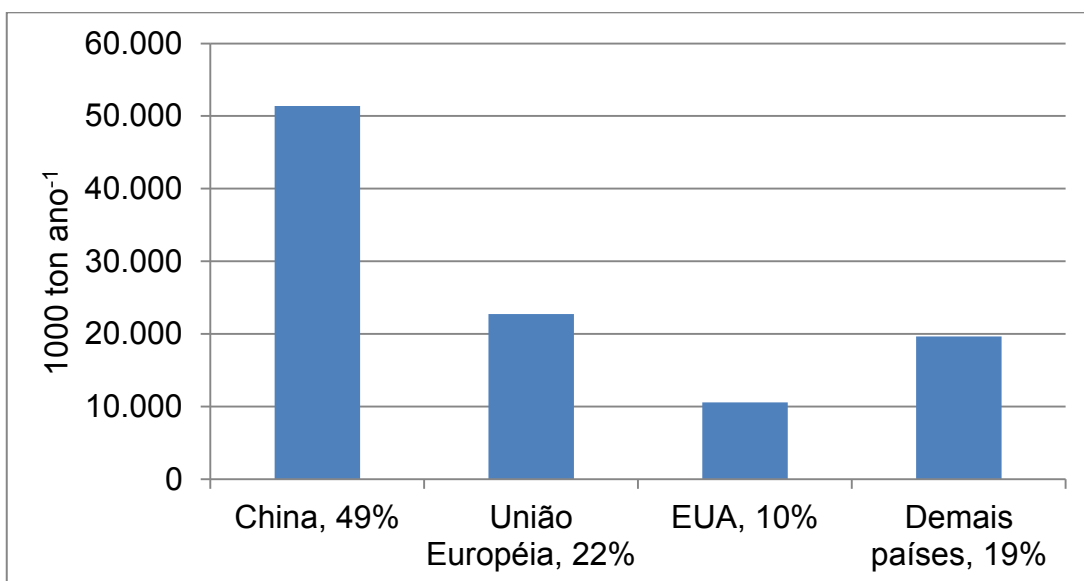


Figura 2 – Produção mundial de carne suína.

Fonte: (USDA, 2013).

A Figura 3 apresenta o consumo de carne suína nos países que foram os maiores consumidores *per capita* do mundo, em 2009.

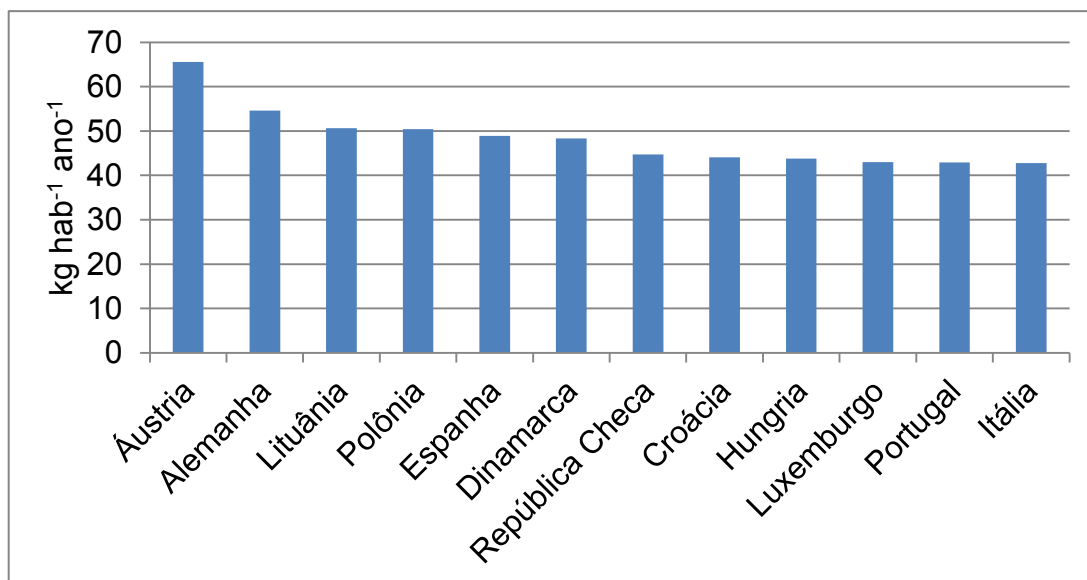


Figura 3 – Consumo de carne suína nos países os maiores consumidores *per capita* do mundo, em 2009.

Fonte: (FAO, 2009).

Nota-se pela Figura 4 o consumo *per capita* e o consumo relativo mundial das regiões de carne de origem suína, levando-se em consideração a população destas regiões. Nota-se que o mercado asiático é o maior consumidor de carne suína no mundo, sendo acompanhado pela União Europeia e América do Norte.

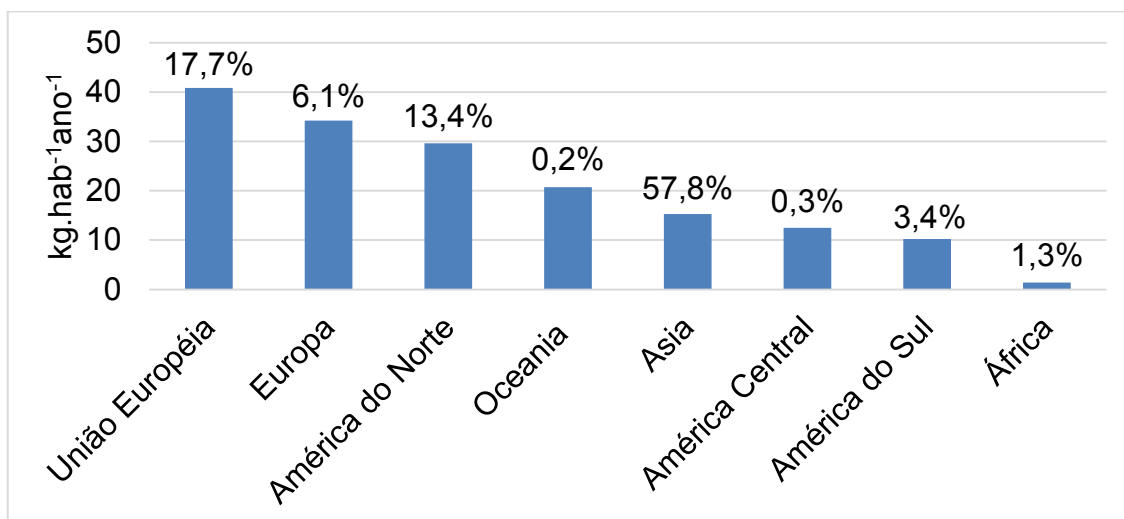


Figura 4 – Consumo *per capita* de carne suína por regiões do mundo.

Fonte: (FAO, 2009).

Ainda segundo (USDA, 2013), em 2012, para atender toda essa demanda, existiam 797,6 milhões de cabeças no rebanho suíno mundial, o que representou uma redução de 0,4 % em relação ao ano anterior, causada pela retração de 1,5 % na produção da União Europeia e 0,8 % na China. Por outro lado, o mercado brasileiro, quarto maior mercado produtor com 38,9 milhões de cabeças e 3,1 % da produção de carne suína consumida no mundo, se destacou pelo avanço de 4,6 % na produção, acompanhando os Estados Unidos que incrementou sua produção em 2,2 %.

Na região sul do Brasil, a suinocultura é uma das atividades agro industriais econômicas mais importantes, representando quase 50 % de toda a produção animal do país. Minas Gerais é o primeiro estado maior produtor fora da região sul, com 12,7% do rebanho nacional (IBGE, 2011), onde o rebanho pode ser estimado em função do número de matrizes produtivas por granja, onde cada matriz suína produz em média 9,8 leitões/ninhada. A gestação dura aproximadamente quatro meses, ocorrendo duas vezes por ano (Gonçalves, et

al., 2006). O rebanho suíno mineiro em função do número de matrizes por estrato é apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Rebanho suíno mineiro em função do número de matrizes

Estratos (nº de matrizes)	Granjas		Matrizes		Matrizes/ Granjas	Nº de animais
	nº	%	nº	%		
A (1 a 25)	472	34,5	5.065	2,1	10,73	49.637
B (26 a 50)	171	12,5	6.399	2,6	37,42	62.710
C (51 a 100)	143	10,4	10.929	4,5	76,43	107.104
D (101 a 500)	201	14,7	51.070	21	254,08	500.486
E (> 500)	114	8,3	169.868	69,8	1.490,07	1.664.706
Terminação	256	18,7	-	-	-	129.299
Total	1.357		243.331		221	2.513.942

Fonte: (Garcia, et al., 2010), adaptado.

A atividade suinícola concentra-se em granjas de grande porte (Estrato E), apenas 8,3% das granjas detêm 69,8% das matrizes, com média de 1.490 matrizes/granja. A distribuição regional do rebanho mineiro de suínos é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 – Rebanho suíno nas regiões de Minas Gerais

Estratos (nº de matrizes)	Nº de matrizes por mesorregião					
	Zona da Mata	Triângulo	Metropolitana de BH	Sul/ Sudoeste	Oeste	Outros
A (1 a 25)	649	934	703	1.298	315	1.166
B (26 a 50)	1.249	933	1.032	1.620	433	1.132
C (51 a 100)	2.471	1052	2.015	2.528	1.290	1.573
D (101 a 500)	15.282	7.049	11.704	6.198	3.109	7.688
E (> 500)	40.749	85.538	12.740	4.774	12.811	13.526
Terminação	-	-	-	-	-	-
Total	60.400	95.506	28.194	16.418	17.958	25.085

Fonte: (Garcia, et al., 2010), adaptado.

A produção suinícola em Minas Gerais concentra-se em três regiões, Triângulo Mineiro, Zona da Mata e Metropolitana Belo Horizonte com 39,2 %, 24,8 % e 11,6 %, respectivamente do total do rebanho.

Do total de granjas existentes em Minas Gerais, 1.018 são do tipo Unidades Ciclo Completo, UCC (75%), onde são contempladas todas as etapas de produção de suínos, desde a aquisição do material genético até a entrega dos suínos de abate na plataforma do frigorífico, 83 são Unidades de Produção de Leitões, UPL (6,1%), que produzem leitões até a saída da creche e 256 são Unidades de Recria e Terminação ou Creches, UT (18,9%), que recebem os leitões de uma Unidade de Produção de Leitões e onde são executados as fases de crescimento e terminação (Garcia, et al., 2010) (Lottermann, et al., 2014). O abate desses animais é realizado geralmente entre 5 a 6 meses de idade, com peso entre 80 a 120 kg.

1.4. Biogás

O biogás é um biocombustível gasoso, inflamável, com alto conteúdo energético e muito semelhante ao gás natural (Gomes, et al., 2013). Este biocombustível pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, e é composto por uma mistura de gases que tem sua concentração determinada pelas características do resíduo e as condições do processo de digestão. É constituído principalmente por metano (CH₄), aproximadamente 65% da composição volumétrica do gás, e o restante composto, na maior parte, por dióxido de carbono e alguns outros gases, porém, em menores concentrações, como está detalhado no Quadro 4.

Quadro 4 – Composição volumétrica típica do biogás da suinocultura

Gás	Fórmula	Concentração (%)
Metano	CH ₄	50 – 80
Dióxido de carbono	CO ₂	20 – 40
Hidrogênio	H ₂	1 – 3
Nitrogênio	N ₂	0,5 – 3
Gás sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃ , H ₂ O	1 - 5

Fonte: (Coldebella, et al., 2008).

A utilização do biogás como combustível, quando purificado, ou seja, sem outras substâncias químicas além do metano, nas condições normais de temperatura (0°C) e de pressão (1 atm) tem um poder calorífico inferior (PCI)

de cerca 36,0 MJ m⁻³. Já o biogás com um teor de metano entre 50 e 80% tem um poder calorífico inferior entre 17,8 e 28,5 MJ m⁻³ (Coldebella, et al., 2008). O Quadro 5 relaciona a equivalência energética de 1 m³ do biogás com outros combustíveis.

Quadro 5 – Equivalência energética do biogás comparada com outras fontes de energia segundo alguns autores

Energético	Ferraz & Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene(L)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,80	-
Carvão M. (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,5	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

Portanto, a utilização do biogás também agrega valor aos produtos oferecidos pelos suinocultores, pois eles podem se tornar autossuficientes em energia, por meio da geração de energia elétrica ou térmica, além da produção suinícola.

1.5. Panorama energético brasileiro

As despesas com energia elétrica não são as principais fontes de gastos na produção suinícola, já que as despesas com a alimentação dos animais significam cerca de 75 % dos custos de produção (SEAB, 2013). Por outro lado, variações nos custos de energia elétrica e as incertezas quanto a sua disponibilidade e qualidade podem tornar a atividade menos lucrativa e com menor capacidade de concorrência nos mercados nacionais e internacional.

Estas incertezas podem ser agravadas pela característica do Brasil de utilizar predominantemente seus recursos hídricos para a geração de energia elétrica, que por um lado proporciona ao país uma fonte de energia elétrica renovável e de baixo custo, mas o torna mais vulnerável às condições hidrológicas (Kelman, 2008). A escassez de chuvas colabora para a

necessidade de acionamento de usinas termelétricas, onde a geração de energia elétrica é de custo mais elevado, ocasionando o aumento das tarifas, dos produtos e dos serviços para o suinocultor.

Os aumentos das tarifas de energia elétrica têm ocorrido, com maior intensidade, desde o início do ano de 2014, gerando maiores custos de produção para o setor industrial e agroindustrial nacional, como pode ser observado na Figura 5.

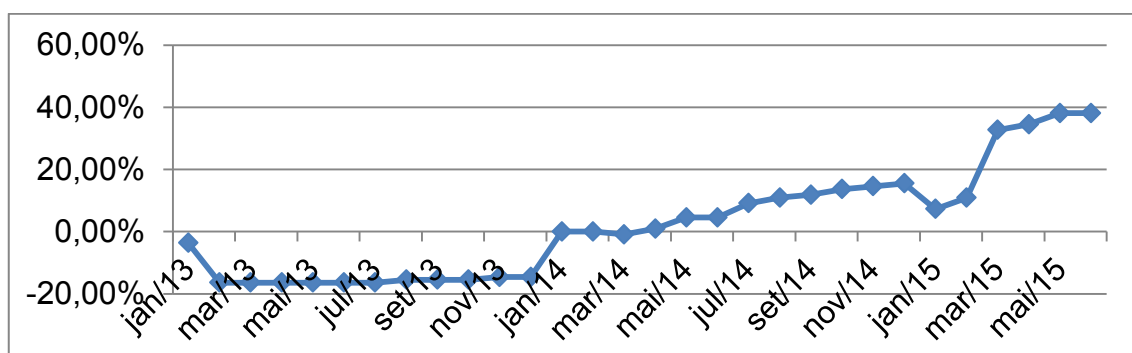


Figura 5 – Evolução percentual da tarifa de energia elétrica no Brasil.

Fonte: (Dieese, 2015).

Observa-se que em 2013, as tarifas ficaram mais baratas devido a renovação antecipada das concessões nos segmentos de geração e transmissão, além da redução de alguns encargos setoriais. Nos dois anos seguintes, as tarifas aumentaram e pressionaram a inflação, em decorrência da crise hídrica e do consequente uso bem mais intensivo das termoelétricas, além da adoção de bandeiras tarifárias e da revisão extraordinária das tarifas nas concessionárias distribuidoras em 2015 (Dieese, 2015).

Devido a esses aumentos, encontrar formas de reduzir os custos com energia elétrica tem se tornado cada vez mais significativos, seja ela por novas metodologias no processo de produção de animais ou na adoção de fontes de energia renováveis como complementação das técnicas já utilizadas, pois com a redução dos custos de produção a atividade pode se tornar mais competitiva no mercado.

1.5.1. Geração distribuída no Brasil

Com a necessidade de renovar a matriz energética no país, o governo federal vem implantando políticas e programas para promover a expansão da bioenergia, com foco no etanol e biodiesel, por meio de programas e leis: Programa Nacional do Álcool (PROÁLCOOL, Decreto nº 76.593/75), a Lei da Inovação (Lei 10.973/04), a Lei do Biodiesel (Lei 11.097/05), o Plano Nacional de Agroenergia (PNA 2006-2011), Programa de Agricultura de Baixo Carbono (Programa ABC), Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA, Decreto 5.025/2004) e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), para estimular a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional (Durães, 2008). O Brasil tem condições para liderar a produção mundial de bioenergia, devido à extensão de terras propícias a agricultura e condições geoclimáticas, mas parte destes recursos não é explorado ou é subaproveitado (Goes, et al., 2010).

Para estimular o uso de fontes de energia renováveis, também foi implementado por meio de lei federal no Brasil, em abril de 2012 e modificado em março de 2016, o sistema de compensação de energia elétrica, por meio da Resolução Normativa 482. Segundo esta resolução, toda a energia ativa injetada por unidade consumidora, utilizando fontes do tipo renováveis, com microgeração distribuída (potência instalada menor ou igual a 75 kW) ou minigeração distribuída (potência instalada maior que 75 kW e menor que 5 MW) é compensada.

A compensação é feita com o consumo de energia elétrica ativa gerada e a consumida, dessa mesma unidade ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ), junto ao Ministério da Fazenda. Além do mais, as propriedades devem estar na mesma área de concessão da concessionária distribuidora de energia elétrica e os créditos ainda sejam válidos, já que eles expiram após 60 meses desde a sua criação (ANEEL, 2016).

Esse tipo de tarifação conhecida como *net-metering* é uma forma de tarifação menos atrativa do que as *feed-in tariffs*, nas quais se paga efetivamente pelo excedente de energia inserido na rede, geralmente a um

preço maior, chamado de *premium*, do que o preço da energia da rede elétrica (ANEEL, 2016).

Mesmo não sendo muito atrativa no Brasil, a resolução RN 482 possibilita aos suinocultores, que geram energia elétrica de forma distribuída, uma maior credibilidade quanto à disponibilidade de energia elétrica para o sistema produtivo e economia nos gastos de energia na produção.

Além disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) prevê que até 2024, cerca de 1,2 milhão de unidades consumidoras passem a gerar sua própria energia, totalizando cerca de 4,5 gigawatts (GW) de potência instalada, sendo que desde a publicação da Resolução em 2012 até outubro de 2015, já haviam sido instaladas 1.285 centrais geradoras, sendo 1.233 (96%) com a fonte solar fotovoltaica, 31 eólicas, 13 híbridas (solar/eólica), 6 movidas a biogás, uma a biomassa e uma hidráulica (ANEEL, 2016).

Um exemplo de como pode ser realizada essa adesão à geração distribuída em suinoculturas está representado na Figura 6. Note que o motor gerador atende à demanda de energia elétrica da propriedade e o excedente de energia é enviado para a rede da concessionária, sendo essa energia transmitida para outros consumidores. Além disso, o efluente é aproveitado como biofertilizante.

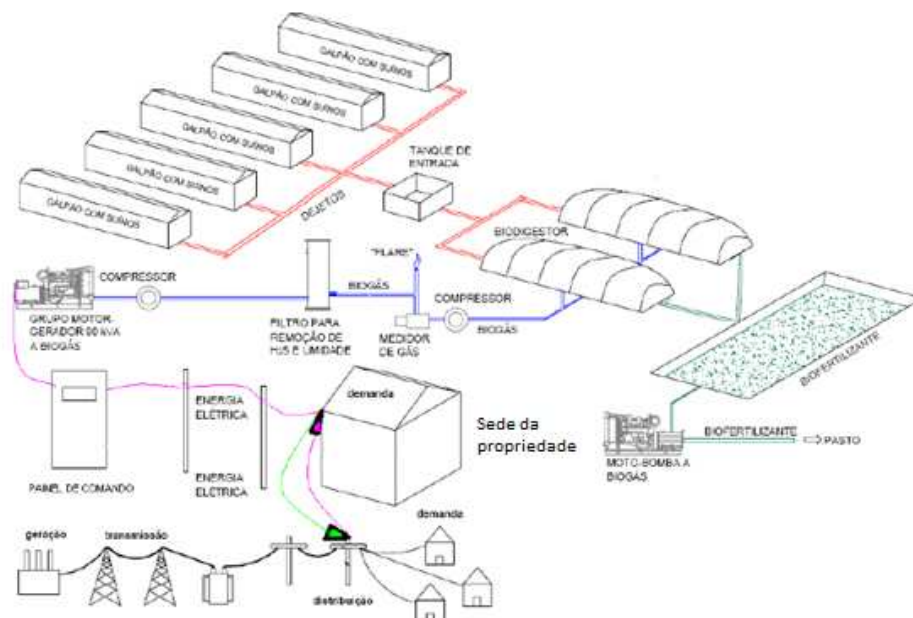


Figura 6 – Representação esquemática de uma suinocultura com biodigestores e geração distribuída de energia elétrica.

Fonte: (Marques, 2012).

Segundo dados da ANEEL, atualmente existem apenas três conexões de biogás de origem da suinocultura enquadradas na Resolução 482, duas no Paraná, com potências de 30 e 80 kW, e uma em Minas Gerais, na Fazenda Recanto na região do Triângulo Mineiro, que tem a capacidade de gerar 202 kW, tornando-se a maior do gênero em todo o país (ANEEL, 2016).

Nesta mesma propriedade, já foi comissionado o sistema fotovoltaico de 11 kWp, que poderá operar em paralelo com a usina de biogás. Esta situação é inédita no Brasil, visto ser a primeira usina híbrida do país, utilizando energia solar e resíduos da suinocultura para geração de energia elétrica.

Ressalta-se que as principais dificuldades de se usar o biogás no Brasil para a geração de energia elétrica são os altos investimentos iniciais necessários para implantar uma planta de geração de biogás, poucas pesquisas na área de digestão anaeróbica e a falta de um plano nacional de biogás com incentivo do governo federal (Salomon, 2009).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho visa avaliar o potencial de produção de biogás em suinoculturas do estado de Minas Gerais, bem como a sua utilização como combustível para a geração de energia elétrica.

2.2. Objetivos específicos

- i. Avaliar algumas metodologias possíveis para a redução nos custos de energia elétrica no meio suinícola;
- ii. Avaliar as tecnologias de micro e minigeração para a geração de energia elétrica a partir do biogás, quanto ao rendimento e vida útil;
- iii. Avaliar o potencial de produção de biogás e geração de energia elétrica em unidades suinícolas do estado de Minas Gerais, a partir das coletas de dados realizadas; e
- iv. Realizar estudos de viabilidade econômica do empreendimento, e com isso, estimar o impacto econômico em nível estadual e no setor agropecuário ao utilizar à micro e a minigeração.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Formas de economizar nos gastos com energia elétrica

Para se economizar nos gastos com energia elétrica em uma suinocultura, diferentes metodologias podem ser aplicadas, além da melhoria na forma de manejo dos animais, alguns exemplos são apresentados a seguir.

3.1.1. Economia devido à contratação de demanda ótima

Até o início da década de 1980, o sistema tarifário brasileiro foi baseado apenas na tarifação do consumo. Independentemente do mês ou horas de utilização, os preços eram os mesmos. A partir de 1982, o custo da energia elétrica mudou, foi quando as tarifas horo sazonais passaram a ser praticadas, introduzindo então a racionalização do consumo de energia elétrica para os grandes consumidores, tendo em vista que a energia elétrica passou a ser cobrada em função não somente do consumo, mas também da demanda, da época do ano e do horário do dia (Oliveira, et al., 2006).

Em 29 de novembro de 2000, a resolução 456 da ANEEL (ANEEL, 2000), no seu artigo 3º, definiu a obrigatoriedade da assinatura do contrato de fornecimento de energia com todos os consumidores unidades do grupo A (consumidores conectado em redes de distribuição com tensão superior a 2,3 kV). Para celebrar o contrato é necessário definir a modalidade de tarifa (convencional, azul ou verde) e a demanda específica de acordo com cada modalidade e época do ano (úmido ou seco) para estes consumidores.

O contrato prevê que a tarifa de eletricidade deve ser baseada nos custos de energia consumida e potência demandada, como apresentado na equação (2) (Oliveira, et al., 2006):

$$I = I_E + I_D \quad (2)$$

em que:

- I = Custo da energia elétrica (R\$ mês⁻¹);
- I_E = Custo do consumo de energia elétrica (R\$ mês⁻¹); e
- I_D = Custo da demanda de energia elétrica (R\$ mês⁻¹).

A parcela de eletricidade relacionada ao consumo é definida como energia consumida vezes a tarifa da energia e é dada pela equação (3), onde o custo dessa energia pode variar em função do horário em que é consumida, para as tarifas horo-sazonais verde (THSV) e azul (THSA), sendo essas variações possíveis no horário de ponta (três horas consecutivas determinadas pela concessionária, em geral entre às 17 e 22 horas) ou no horário fora de ponta (demais horários em dias úteis e todos os horários nos demais dias) (Oliveira, et al., 2006):

$$I_E = E T_E \quad (3)$$

em que:

E = Energia elétrica consumida (kWh mês⁻¹); e
 T_E = Tarifa de energia elétrica (R\$ kWh⁻¹).

Já os custos de demanda (I_D) são compostos por duas partes. A primeira é fixa e está relacionada com a demanda e o custo da demanda estabelecida em contrato. Já a segunda é tarifada apenas quando a demanda máxima registrada no mês de tarifação é no mínimo 5% maior que a demanda contratada. Portanto, a tarifação de demanda é calculada pela equação (4) (Oliveira, et al., 2006):

$$I_D = M_D T_D + T_u (D_M - D_C) \quad (4)$$

em que:

M_D = Máximo valor entre a demanda contratada e a registrada (kW);
 T_D = Tarifa de demanda (R\$ kW⁻¹);
 T_u = Tarifa de demanda de ultrapassagem (R\$ kW⁻¹);
 D_M = Demanda máxima registrada no mês de tarifação (kW); e
 D_C = Demanda contratada (kW).

Em vista disso, na modalidade de tarifa convencional, além dela considerar a demanda, o custo também está relacionado ao consumo de energia elétrica, que é o mesmo independentemente da sua hora de utilização.

Para as outras modalidades, horo-sazonais verde ou azul, diferentes tarifas são adotadas em relação ao horário de utilização da energia elétrica, sendo que para a horo-sazonal verde há apenas uma demanda contratada,

com diferentes tarifas relacionadas ao consumo nos horários de ponta e fora de ponta, e na modalidade horo-sazonal azul adota-se diferentes demandas de contrato, com diferentes tarifas de demanda e consumo para os horários de ponta e fora de ponta, respectivamente.

Portanto, economiza-se nos gastos com energia elétrica ao optar pela modalidade tarifária e se escolher as demandas de contrato que minimizem os gastos com energia elétrica até a próxima revisão tarifária, que geralmente ocorre a cada ano.

3.1.2. Economia devido à correção de fator de potência

Para compreender o que é fator de potência, primeiro é necessário introduzir os conceitos de potência ou energia ativa, reativa e aparente.

Qualquer instalação ou equipamento elétrico pode consumir potência ativa da rede de distribuição elétrica e também reativa. A potência ativa é aquela medida em watts (W), que é realmente convertida em trabalho, como o movimento do eixo de um motor, calor gerado por um aquecedor ou a luz e o calor de uma lâmpada. Já a potência reativa é característica de circuitos eletrônicos com elementos capacitivos ou indutivos, como bobinas de motores e reatores de lâmpadas fluorescentes, tal potência é utilizada por estes equipamentos para geração de campos eletromagnéticos inerentes ao seu funcionamento, porém, em seguida, a energia reativa é devolvida para a rede (Marco, 2004). A energia reativa deve existir em certa quantidade e é importante para manter a tensão do sistema elétrico.

A potência reativa é medida em Volt-Ampère reativo (VAr). Por fim, a potência aparente é a soma fasorial das duas potências anteriores, ativa e reativa. O módulo da potência aparente é o produto dos módulos da tensão e corrente e medida em Volt-Ampère (VA) (Marco, 2004).

Finalmente, o fator de potência de determinado equipamento e/ou instalação é a razão (divisão) entre a potência ativa demandada por este e sua potência aparente. Como a potência ativa é sempre menor ou igual à aparente, essa razão será em módulo um número menor ou igual a 1. As concessionárias de distribuição de energia elétrica no Brasil cobram multa sempre que tal valor

está abaixo de 0,92; nas modalidades tarifárias que mensuram o fator de potência da instalação.

Para se corrigir o fator de potência, deve-se instalar junto aos equipamentos, banco de capacitores que fornecem energia puramente reativa para a rede quando necessário, fazendo assim o equilíbrio que é necessário para manter o fator de potência acima de 0,92 dos equipamentos e/ou instalações.

Portanto, a correção de fator de potência é outra metodologia que pode ser adotada para se economizar nos custos de energia elétrica, quando o consumidor está incluso nas modalidades tarifárias que mensuram o fator de potência da instalação, já que as multas podem representar uma parcela significativa das tarifas de energia.

3.1.3. Economia devido à autoprodução de energia elétrica

A autoprodução de energia elétrica também é uma opção para redução de suas tarifas, a partir de fontes descentralizadas de energia, a exemplo do diesel, biodiesel, biomassa e gás natural (Reis, et al., 2013).

Tal peculiaridade é previsto pelo Decreto nº 5163/2004 em seu artigo 31. Tal provisão reza que a partir de 1º de janeiro de 2010, será facultado aos consumidores que pretendam utilizar em suas unidades industriais, energia elétrica por geração própria, em regime de autoprodução ou produção independente. Assim pode-se ter redução da demanda e da energia compradas ou a substituição dos contratos de fornecimento por outros de conexão e de uso dos sistemas elétricos (Lamas, 2010).

O uso de grupo geradores de energia elétrica, que normalmente são utilizados para fornecer energia elétrica no horário de ponta, fazem com que os custos de energia e demanda passem a serem nulos ou reduzidos. Porém, outros custos podem surgir, como os custos de operação e manutenção, que variam conforme a potência, o modelo e o fabricante dos geradores (Lamas, 2010).

Caso esses custos de operação e manutenção sejam menores do que as provenientes da concessionária, a autoprodução de energia elétrica se torna

um meio mais viável economicamente, já que ela irá gerar economia para o consumidor, como será analisado nesta dissertação.

3.2. Tecnologias utilizadas para a conversão de energia

As tecnologias mais utilizadas para a conversão energética do biogás são as turbinas e os motores de combustão interna de ciclo Otto e Diesel, com vida útil em torno de 10 anos (Cervi, et al., 2010). Dentre estes, os motores de combustão interna são os mais adotados (Westrup, et al., 2015).

Abaixo são apresentadas as principais tecnologias de conversão da energia química do biogás em energia elétrica.

1. **Turbinas a gás:** Apresentam compressor, câmara de combustão e a turbina de expansão, que funcionam segundo o Ciclo *Brayton*. O ar comprimido ao ser injetado na câmara de combustão é queimado juntamente com o combustível, portanto tem-se a transferência da energia química do combustível para os gases que elevam a temperatura e pressão devido à reação exotérmica que ocorre. Na turbina a gás, os gases são expandidos gerando a energia mecânica que aciona o compressor e o gerador de energia elétrica que deve ser acoplado ao eixo (Klein, et al., 2012).

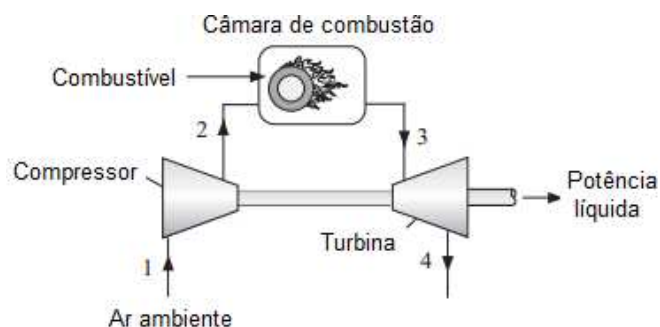


Figura 7 – Turbina a gás.

Fonte: (Klein, et al., 2012).

A eficiência de uma turbina a gás é em função da temperatura dos gases de entrada e saída. Portanto, quanto maior a temperatura e pressão dos gases de saída na turbina, menor a sua eficiência, que pode variar de 25 a

40 % (Marques, 2012), já a sua potência pode variar de algumas dezenas de kW até centenas de MW (Ferrarez, 2009).

2. **Turbinas a vapor:** São máquinas de combustão externa, que funcionam segundo o Ciclo *Rankine*, onde os gases de combustão não entram em contato com o fluido de trabalho (geralmente a água) responsável pelo trabalho de conversão energética, sendo as turbinas a vapor flexíveis quanto ao tipo de combustível a ser utilizado. O calor produzido na combustão é transferido por meio de serpentinas no interior da caldeira para que ocorra a formação do vapor e o seu superaquecimento.

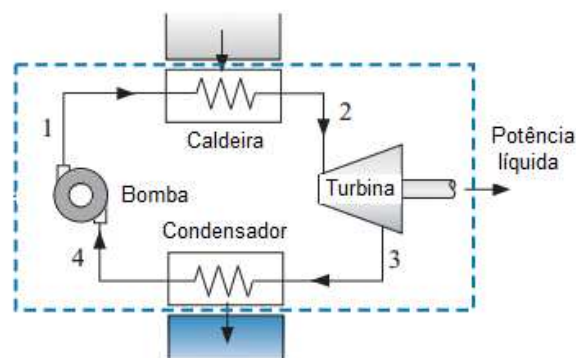


Figura 8 – Turbina a vapor.

Fonte: (Klein, et al., 2012).

A potência típica destes equipamentos pode variar de poucos kW até centenas de GW (Ferrarez, 2009), com eficiência elétrica variando normalmente de 14 a 35% (Marques, 2012).

3. **Motores de combustão interna:** São máquinas que apresentam rendimento na conversão de energia química em elétrica dependendo ciclo utilizado: (i) os de ciclo Diesel tem eficiências da ordem de 35 a 45%; e (ii) os de ciclo Otto ou a gasolina tem eficiências da ordem de 15 a 18 % (Marques, 2012). Os motores de combustão interna queimam a mistura ar-combustível internamente em um ou mais cilindros e transformam a energia térmica do combustível em energia mecânica utilizável (Souza, 2003).

Tanto os motores de combustão interna de ciclo Otto quanto o de ciclo Diesel, admitem o biogás em mistura com o ar, porém a diferença entre os dois

tipos de motores é que no ciclo Otto a ignição é feita por centelha, e o biogás é carburado em um dispositivo adaptado no local do filtro de ar, e nos motores de ciclo Diesel, a ignição é feita por compressão e deve ser feita a injeção de uma pequena quantidade de óleo diesel para iniciar a queima (Marques, 2012).

Os motores de combustão interna do ciclo Otto ou a gasolina, de quatro tempos são assim chamados por realizarem um ciclo composto por quatro fases: admissão, compressão, explosão e escape, como apresentado na Figura 9:

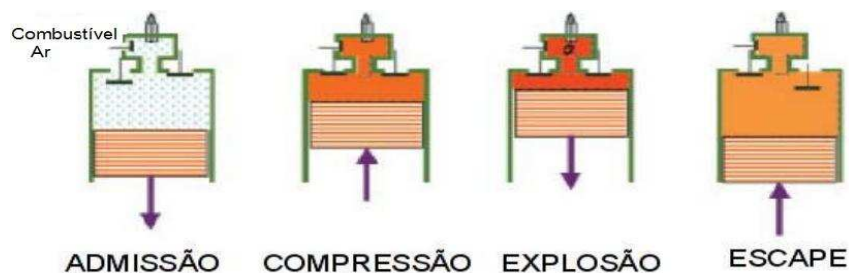


Figura 9 – Etapas do ciclo de funcionamento do motor a combustão interna.

Fonte: (Costa, 2006).

No 1º tempo ocorre a admissão da mistura de ar com o combustível. O pistão desce e a válvula de admissão é aberta possibilitando a entrada da mistura.

No 2º tempo ocorre a compressão. Estando as válvulas fechadas, o pistão sobe e comprime a mistura de ar e combustível.

No 3º tempo ocorre a explosão. Quando o pistão atinge o ponto de compressão máximo uma faísca elétrica provocada pela vela provoca a explosão do combustível, a explosão empurra o pistão para baixo.

No 4º tempo, a válvula de escape está aberta possibilitando a expulsão dos gases resultantes da explosão.

Em seguida, o ciclo é reiniciado.

Devido o maior domínio dessa tecnologia e por apresentarem menores custos e maior disponibilidade de mão de obra especializada para possíveis manutenções, essa tecnologia foi utilizada para a elaboração desta pesquisa.

3.3. Coleta de dados

Esta pesquisa analisou uma amostra de 22 propriedades visitadas no período de agosto/2014 a novembro/2014 para a tomada de dados. Essas propriedades estão localizadas em diferentes regiões do estado, como está apresentado no Quadro 6. As regiões do estado de Minas Gerais, escolhidas para este trabalho detêm mais que 80% das matrizes existentes no estado.

Quadro 6 – Localização das propriedades selecionadas no estado de Minas Gerais

Município	Nº de propriedades	Regiões do estado de MG
Pará de Minas	5	
Paraopeba	1	
Esmeraldas	1	Metropolitana de Belo
Sete Lagoas	1	Horizonte
Oliveira	1	
Bom Despacho	1	
Itaúna	1	
Piedade de Ponte Nova	1	
Lima Duarte	1	Zona da Mata
Juiz de Fora	1	
Uberlândia	2	
Patos de Minas	1	
Capinópolis	1	Triângulo Mineiro
Prata	1	
Ituiutaba	1	
Cabo Verde	1	Sul/Sudoeste de Minas
Passos	1	
TOTAL	22	

É importante destacar que todas as propriedades participantes do estudo estão em cidades da concessionária de energia elétrica CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais), distribuidora de energia elétrica.

3.3.1. Características das propriedades visitadas

As propriedades visitadas apresentaram diferentes ciclos de produção de animais, de diferentes tamanhos em relação ao número de animais, sendo algumas delas independentes na comercialização dos suínos ou integradas à agroindústria, como por exemplo, ao “Grupo Sadia (BRFoods)”, além de algumas delas realizarem outras atividades diferente da produção suína. Outros detalhes estão apresentados no Quadro 7.

Quadro 7 – Caracterização das granjas de suínos estudadas

Granja	Sistema de Produção	Número de Matrizes	Número de Animais	Região do Estado
1	UCC	600	5.880	Zona da Mata
2	UCC	300	2.940	Sul/Sudoeste
3	UCC	850	8.330	Zona da Mata
4	UCC	2.508	24.578	Zona da Mata
5	UCC	980	9.604	Metropolitana de BH
6	UCC	800	7.840	Metropolitana de BH
7	UCC	620	6.076	Metropolitana de BH
8	UCC	1.300	12.740	Metropolitana de BH
9	UCC	600	5.880	Metropolitana de BH
10	UCC	500	4.900	Metropolitana de BH
11	UCC	798	7.820	Metropolitana de BH
12	UCC	500	4.900	Sul/Sudoeste
13	UCC	5.200	50.960	Metropolitana de BH
14	UCC	210	2.058	Metropolitana de BH
15	UCC	3.400	33.320	Metropolitana de BH
16	UPL	5.350	52.430	Triângulo
17	UPL	1.000	9.800	Triângulo
18	UT	-	2.200	Triângulo
19	UCC	2.200	21.560	Triângulo
20	UT	-	5.000	Triângulo
21	UCC	600	5.880	Metropolitana de BH
22	UT	-	3.000	Triângulo

Ao comparar o Quadro 7 com o Quadro 3, percebe-se que as amostras representaram cerca de 11,44% de todo o rebanho suíno existentes no estado de Minas Gerais, como detalhado no Quadro 8.

Quadro 8 – Número de animais existentes nas granjas por região do estado de Minas Gerais

Região Visitada	Número de Animais Existentes nas Granjas Visitadas	Região/Estado
Metropolitana de BH	147.078	5,85%
Zona da Mata	38.788	1,54%
Triângulo Mineiro	93.990	3,74%
Sul/Sudoeste de MG	7.840	0,31%
Total	287.696	11,44%

Durante as visitas, foram solicitadas junto aos suinocultores as últimas 12 faturas de energia elétrica das propriedades, para estimar a economia nos custos de energia elétrica, caso a propriedade consuma o biogás oriundo de resíduos da atividade, para a geração de energia elétrica. O consumo máximo de energia elétrica no período analisado está apresentado no Quadro 9.

Tais valores foram considerados para calcular o potencial de geração de excedente de energia elétrica e não a média anual, pois como estes equipamentos de geração estão susceptíveis a manutenções frequentes e para que os dimensionamentos realizados atendam as possíveis expansões das granjas, utilizou-se estes valores para não superdimensionar os ganhos que poderiam ser auferidos pelos suinocultores ao adotar a geração distribuída em suas granjas.

Quadro 9 – Consumo máximo observado de energia elétrica das granjas estudos no período de um ano

Granja	Consumo Máximo de Energia Elétrica (kWh mês ⁻¹)
1	26.635
2	39.224
3	42.092
4	115.319
5	42.120
6	35.547
7	24.800
8	117.666
9	30.257
10	44.054
11	31.920
12	21.960
13	283.150
14	41.808
15	71.920
16	79.102
17	6.226
18	2.317
19	153.363
20	20.307
21	24.000
22	12.289

3.3.2. Avaliação do potencial de produção de biogás produzido por resíduos da suinocultura

A quantidade de biogás utilizada para o dimensionamento do projeto de geração de energia elétrica pode ser estimada em função da quantidade de dejetos produzidos pelos animais.

Portanto, segundo alguns autores, conforme está apresentado no Quadro 10, verifica-se que existe uma quantidade produzida de dejetos por animal, podendo variar de 7 a 15 L dia⁻¹ (Falcão, et al., 2008).

Quadro 10 – Produção diária de dejetos de suínos por ciclo de produção

Produção diária de dejetos de suínos (L suíno ⁻¹ dia ⁻¹)					
Ciclo de produção	Kozen (1980)	Medri (1997)	Perdomo et al. (1999)	Nagae et al. (2005)	Sinotti (2005)
Completo	-	-	15	-	10,2
Crescimento e Terminação	7	10	11,2	10,8	9,73

Fonte: (Falcão, et al., 2008).

A partir destes parâmetros, pode-se estimar, sem que haja sobre dimensionamento e como sugerido em (Ritter, et al., 2013), o valor de 7 litros de dejetos, urina, água de diluição e fezes produzidos por animal nas diferentes categorias de produção ou cerca de 2,25 kg de esterco por animal por dia (Moura, 2012). Como foi adotado que são necessários 12 kg de dejetos suínos para a produção de 1 m³ de biogás, conforme (Gaspar, 2003), pode-se estabelecer a relação de 0,18 m³ de biogás produzido por cada suíno diariamente.

3.4. Viabilidade econômica

3.4.1. Receita financeira

As receitas resultantes da implantação do projeto devido a economia financeira gerada com o não uso da energia elétrica da concessionária de energia elétrica, i. e., no caso de todas as granjas estudadas, Companhia Energética de Minas Gerais - CEMIG estão detalhadas no Quadro 11:

Quadro 11 – Tarifas de energia elétrica praticadas ou passíveis de serem praticadas pelas granjas de suinocultores estudadas por modalidade do grupo A4 e B2

Tarifa de Energia Elétrica	Demanda (R\$ kW ⁻¹ mês ⁻¹)		Ultrapassagem de Demanda (R\$ kW ⁻¹ mês ⁻¹)		Consumo (R\$ kWh ⁻¹)	
	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta	Ponta	Fora de Ponta
THSA	30,00	9,00	60,00	18,00	0,44788	0,30976
THSV		9,00		18,00	1,17498	0,30976
Convencional	30,60		-		0,32127	
B2	-		-		0,34051	

Obs: tarifas sem impostos (ICMS, PIS/PASEP, COFINS e Contribuição de Iluminação Pública)

Fonte: (CEMIG, 2016).

Todas as propriedades, atualmente estão enquadradas no grupo B2, sendo tarifados apenas pelo consumo, portanto cada kWh não consumido da concessionária irá gerar uma economia de R\$ 0,34051.

3.4.2. Investimentos

Os investimentos necessários para a implantação do projeto de energização rural nas granjas são a aquisição dos equipamentos de geração que constituem do gerador, filtro para a retirada das impurezas do biogás, para que chegue até ao motor-gerador apenas o metano e painéis de proteção para a geração distribuída. Em consulta a uma fornecedora desta tecnologia, a ERBR – Energias Renováveis foi feita cotação em janeiro de 2016, a empresa repassou os seguintes orçamentos e consumo de combustível dos grupos geradores baseados em motores de compressão interna de ciclo Otto, conforme apresentado no Quadro 12 e Quadro 13.

Quadro 12 – Custos dos grupos geradores

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

Fonte: (ERBR, 2016).

Quadro 13 – Consumo de grupos geradores estudados

Modelo Grupo Gerador	Biogás % CH ₄	Consumo de gás com 100% de carga (Nm ³ /hr)			
		Biogás 20,9 MJ m ⁻³	Biogás 27,2 MJ m ⁻³	Biogás 37,6 MJ m ⁻³	Syngas 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%	108	75	58	129

Fonte: (ERBR, 2016)

Outros investimentos necessários são os custos com a instalação dos biodigestores, que estão estimados em cerca de R\$ 150,00 por m³ da lagoa anaeróbia (Prati, 2010) e equipamentos/mão de obra com a ligação dos equipamentos na rede, onde os preços estão em função da potência dos equipamentos de geração, como apresentado no Quadro 14, estes dados foram fornecidos pela empresa SEPI Engenharia, sendo estes preços orçados em janeiro de 2016:

Quadro 14 – Custos de conexão dos equipamentos de geração

Potência do gerador (kVA)	Custos (R\$)
30	60.000,00
50	68.000,00
80	71.000,00
120	75.000,00
250	95.000,00
330	95.000,00
420	110.000,00

Fonte: (SEPI Engenharia, 2016).

3.4.3. Custos operacionais

Os custos operacionais foram calculados em função dos gastos com mão de obra do biodigestor, operação do gerador, além do custo de disponibilidade de energia elétrica da rede da CEMIG para eventuais faltas de funcionamento do equipamento.

O custo de disponibilidade de energia elétrica foi calculado em função da demanda de energia elétrica a ser contratada, que segundo normas da concessionária de energia elétrica deve ser de no mínimo a potência do gerador e multiplicado pelo custo da demanda da tarifa horo-sazonal verde, como apresentado no Quadro 11 (Cemig, 2016).

Para o cálculo dos custos com manutenção do gerador foram utilizados os dados fornecidos pela ERBR, como apresentado no Quadro 12, em função das horas de funcionamento do equipamento. Foi considerado também para o cálculo de mão de obra do operador do gerador o valor de um salário mínimo mensal (R\$ 880,00), que pode ser utilizado para o pagamento de um funcionário com a função de manusear o gerador de energia elétrica. A manutenção do biodigestor foi estimada em 2,5% ao ano dos custos iniciais de aquisição e instalação do biodigestor (Martins, et al., 2011).

Os custos anuais do sistema também foram determinados considerando-se os custos fixos referentes à depreciação e os custos de imobilização do capital. O método de depreciação utilizado foi o da depreciação estabelecido em (ANEEL, 1999), onde os equipamentos de geração se desvalorizam no valor de 3,3% ao ano.

3.4.4. Indicadores econômicos VPL, TIR, RBC, RLT e TRC

Estabelecidos os custos e benefícios do sistema, foram determinados o fluxo de caixa do projeto e a análise de viabilidade econômica por meio dos seguintes indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (RBC), Receita Líquida Total no final do investimento (RLT) e Tempo de Recuperação do Capital, descontado a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) ou não.

Valor Presente Líquido (VPL)

O valor presente líquido (VPL) é um indicador que permite avaliar a viabilidade econômica do projeto durante seu período de vida útil. O VPL é definido pelo valor atual dos benefícios menos o valor atual dos custos ou desembolsos, que foi calculado utilizando-se da Equação (5) (Cervi, et al., 2010):

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (5)$$

em que:

- FC_t = Fluxo de caixa no ano t (R\$);
- t = ano correspondente ao fluxo de caixa (ano);
- i = taxa de juros anual, ou custo de oportunidade (%), e
- n = tempo de vida útil do projeto (anos).

O VPL representa, em valores monetários presentes, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. Se o VPL for positivo, significa que foi recuperado o investimento inicial aplicado à taxa mínima de atratividade, sendo nesta dissertação adotada à taxa de juros aplicada pela Caixa Econômica Federal no programa de Crédito Investimento para produtores rurais que é igual a 8,75% a.a. (CEF, 2016).

Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR corresponde à taxa de juros capaz de zerar o VPL do investimento, que é calculada por meio da equação (6):

$$0 = \left(\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} \right) \quad (6)$$

em que:

- TIR = Taxa Interna de Retorno (%).

Os projetos de investimentos que apresentam TIR maior que a TMA são considerados viáveis (Cervi, et al., 2010).

Relação Benefício Custo (RBC)

A Relação Benefício Custo (RBC) é calculada por meio da equação (7). É um indicador que representa o retorno proporcionado para cada unidade de capital investido, para que o investimento seja viável, a RBC deve ser obrigatoriamente maior que 1 (Cervi, et al., 2010).

$$RBC = \sum_{t=0}^n \frac{B_i(1+i)^{-t}}{C_i(1+i)^{-t}} \quad (7)$$

em que:

B_i = Benefício do projeto, em reais no ano t; e
 C_i = custo do projeto, em reais no ano t.

Tempo de Recuperação do Capital (TRC)

O tempo de recuperação do capital, também dividido em *Payback Time* ou *Payback Simples* (PBS), que consiste essencialmente em determinar o tempo necessário para que o somatório do fluxo de caixa seja igual ao investimento inicial.

Já o *Payback* descontado ou *Payback* econômico (PBE), considera que o somatório do fluxo de caixa é descontado a uma taxa mínima de atratividade seja, no mínimo, igual ao investimento inicial (Cervi, et al., 2010). O PBE determina o tempo necessário para recuperar o capital investido.

Receita Líquida Total (RLT)

A Receita Líquida Total corresponde ao total de entradas menos o total de saídas no decorrer de todo o tempo analisado, para um determinado investimento. A Receita Líquida Total não leva em consideração a taxa de juros do mercado, portanto, ao comparar este indicador com o VPL, tem-se uma noção da desvalorização da moeda.

3.4.5. Análise de sensibilidade

Como os preços de equipamentos e serviços variam frequentemente, foi feito neste trabalho a análise de sensibilidade considerando essas possíveis variações, os casos analisados neste trabalho foram:

(i) Variação da TMA

Foram analisados os casos onde a TMA sofresse alterações abaixo e acima em relação ao valor atualmente praticado, são elas:

- TMA igual a 4,5%,
- TMA igual a 6,5% e
- TMA igual a 10%.

(ii) Variação nos custos do investimento inicial

Foram analisados os casos onde o investimento inicial variou em relação aos preços atualmente praticados no mercado, são eles:

- Decréscimo de 20%,
- Decréscimo de 10%,
- Aumento de 10% e
- Aumento de 20%.

(iii) Variação nos custos operacionais

Já em relação aos custos operacionais foram analisados os casos onde os custos variaram das seguintes maneiras:

- Decréscimo de 20%,
- Decréscimo de 10%,
- Aumento de 10% e
- Aumento de 20%.

(iv) Variação nos custos de energia elétrica

Também foram analisados os casos onde os custos operacionais variaram em relação aos preços atualmente praticados no mercado, são eles:

- Decréscimo de 10%,

- Decréscimo de 5%,
- Aumento de 5% e
- Aumento de 10%.

4. RESULTADOS

A princípio, todo o projeto da central de geração e de conexão à rede da concessionária em baixa e média tensão nos municípios analisados, segue as normas de distribuição estabelecidas pela CEMIG, são elas a ND 5.30 e ND 5.31, respectivamente (Cemig, 2016).

Essas especificações qualificam, caracterizam e dimensionam os equipamentos, dispositivos e tipos de ligações a serem implantadas na conexão de acessantes com microgeração ou minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica, aderentes ao regime de compensação de energia, com o intuito de padronizar as conexões e assegurar um melhor desempenho.

Para que as normas sejam respeitadas, empresas credenciadas a concessionária de energia elétrica devem ser contratadas, gerando custos adicionais ao suinocultor na adaptação dos geradores a rede elétrica da distribuidora de energia elétrica.

4.1. Dimensionamento dos grupos geradores

Para dimensionar a potência do gerador a ser adquirido, foi considerado que o fator de potência dos mesmos de 0,8 indutivo e ainda que seu rendimento de 80% do valor nominal, quando as suas horas de funcionamento diária for maior que 3 horas. Esses dados foram fornecidos pelo fabricante.

Também foi considerado que os geradores precisam produzir mensalmente, pelo menos 120% da energia elétrica ativa necessária para o funcionamento da propriedade ao mês, para que seja considerado o investimento viável ao adotar a geração distribuída permitida pela RN 482 da ANEEL nas suinoculturas e ainda atenda as necessidades das granjas no caso de possíveis expansões.

Nota-se, que para esse valor, a cada 5 meses de uso contínuo do gerador (utilizando-o no máximo por 16 horas por dia, como também é sugerido pelo fabricante), a propriedade irá obter créditos suficientes que atendem pelo menos 1 mês do consumo de energia elétrica na granja sem a utilização dos equipamentos de geração.

Portanto, o dimensionamento dos geradores a serem adquiridos e o tempo de funcionamento necessário diariamente estão apresentados no Quadro 15:

Quadro 15 – Dimensionamento dos geradores indicados para as granjas

Granja	Potência do Gerador Necessária (kVA)	Gerador(es) a Ser(em) Adquirido(s) (kVA)	Tempo de Funcionamento (h dia ⁻¹)
1	104	120	13,87
2	153	120 e 50	14,42
3	164	120 e 50	15,48
4	450	330 e 120	16,02
5	165	120 e 50	15,49
6	139	120 e 30	14,81
7	97	120	12,92
8	460	250 e 250	14,71
9	118	120	15,76
10	172	120 e 80	13,77
11	125	120 e 30	13,30
12	86	120	11,44
13	1106	330, 330, 330 e 120	15,94
14	163	120 e 50	15,37
15	281	330	13,62
16	309	330	14,98
17	24	30	12,97
18	9	30	4,83
19	599	330 e 330	14,52
20	79	80	15,86
21	94	120	12,50
22	48	50	15,36

Para algumas granjas, tendo em vista o custo operacional dos diferentes modelos de geradores e as potências comercialmente disponíveis foi necessária a indicação de mais de uma unidade geradora, que deverão funcionar em paralelo com o primeiro.

4.2. Estimativa da produção e consumo de biogás

Com os dados disponibilizados, também foi estimada a capacidade de produção de biogás por parte das granjas, para então concluir se elas teriam combustível suficiente para alimentar os geradores apresentados no Quadro 15. Portanto, estes valores estão apresentados no Quadro 16, em

função da proporcionalidade de que cada animal produz 0,18 m³ de biogás/dia ou 7 litros de dejetos/dia. Além disso, foi feita uma comparação entre o volume de biogás necessário para atender os geradores diariamente que deverão ser adquiridos, com o auxílio do Quadro 13, e a partir dessa análise concluir se as granjas podem ser autossuficientes ou não:

Quadro 16 – Estimativa da produção e consumo de biogás nas granjas

Granja	Estimativa de Dejetos Produzidos - D_{pd} (m ³ dia ⁻¹)	Estimativa de Biogás Produzido (m ³ dia ⁻¹)	Estimativa de Biogás Necessário (m ³ dia ⁻¹)	A Fazenda Pode Ser Autossuficiente?
1	41,16	1.058,40	776,85	Sim
2	20,58	529,20	1168,07	Não
3	58,31	1.499,40	1253,48	Sim
4	172,05	4.424,11	2626,71	Sim
5	67,23	1.728,72	1254,31	Sim
6	54,88	1.411,20	1021,98	Sim
7	42,53	1.093,68	723,33	Sim
8	89,18	2.293,20	2941,65	Não
9	41,16	1.058,40	882,50	Sim
10	34,30	882,00	1335,39	Não
11	54,74	1.407,67	917,70	Sim
12	34,30	882,00	640,50	Sim
13	356,72	9.172,80	6058,39	Sim
14	14,41	370,44	1245,02	Não
15	233,24	5.997,60	1471,09	Sim
16	367,01	9.437,40	1618,00	Sim
17	68,60	1.764,00	168,62	Sim
18	15,40	396,00	62,75	Sim
19	150,92	3.880,80	3136,98	Sim
20	35,00	900,00	650,46	Sim
21	41,16	1.058,40	700,00	Sim
22	21,00	540,00	384,03	Sim

Das 22 propriedades estudadas, as granjas 2, 8, 10 e 14 não podem ser autossuficientes, já que não produzem biogás suficiente para ser utilizado nos grupos geradores que atendam às necessidades das granjas e as estratégias de dimensionamentos utilizadas neste trabalho. Portanto, o investimento na conexão desses geradores na rede elétrica da concessionária não é viável, pois essas propriedades não terão capacidade de produzir créditos de energia. Frisa-se aqui, que algumas das propriedades rurais possuem outras atividades além da suinocultura que certamente aumentam a

demanda de energia elétrica. Então, o fato da propriedade não ser autossuficiente, não quer dizer que a atividade de produção suinícola isoladamente não seja autossuficiente.

Para essas granjas, o que pode ser realizado, é a utilização desses geradores em horários no qual a demanda de energia da propriedade não ultrapasse a potência do gerador, respeitando, é claro, o volume de biogás disponível para a alimentação destes geradores. Estes casos não serão avaliados a viabilidade do empreendimento, pois o trabalho baseia-se na utilização da geração distribuída de energia elétrica regulamentada, conectada ao sistema elétrico de potência do Brasil. Ou seja, sistemas de geração isoladas não foram objeto de estudo nesta dissertação.

Para as avaliações energéticas tanto das granjas autossuficientes, quanto para as granjas que não são autossuficientes foi adotado que 60% e 30% do biogás é composto por metano e dióxido de carbono, respectivamente.

4.2.1. Análise das granjas que não são autossuficientes

Como parte dos resultados deste trabalho, foi interessante avaliar qual a quantidade de energia elétrica que deixaria de ser fornecida pela concessionária, para as granjas onde não há viabilidade no investimento da geração distribuída, devido à falta de combustível que atenda as premissas consideradas. Isto em função do tempo em que há biogás suficiente para o acionamento do grupo gerador dimensionado no Quadro 15. A energia gerada nessas granjas está apresentada no Quadro 17.

Quadro 17 – Estimativa do potencial de geração de energia elétrica das granjas que não são autossuficientes

Granja	Tempo Possível de Funcionamento dos Geradores (h dia ⁻¹)	Energia Elétrica Gerada (kWh mês ⁻¹)	Atendimento das Necessidades da Granja (%)
2	6,53	21.324,80	54
8	11,47	110.073,60	94
10	9,09	34.916,29	79
14	4,57	14.927,36	36
	TOTAL	181.242,05	

Segundo o Quadro 17, se considerar o investimento apenas para aquelas granjas que são autossuficientes, como é feito nesta dissertação, não está sendo avaliada a economia de 181.242,05 kWh que a concessionária deixaria de fornecer a essas granjas durante o período de um mês, além disso, também não está sendo avaliado o consumo de 4.074,84 m³ dia⁻¹ de biogás para a geração de energia elétrica, o que implicaria na redução de 7,69% do impacto no efeito estufa oriundo das 22 granjas.

4.2.2. Excedente de energia elétrica gerada nas granjas autossuficientes

Para as granjas que podem ser autossuficientes é esperado que seja gerado mensalmente como excedente de energia elétrica, pelo menos 20% do consumo máximo mensal ou aproximadamente 17% da energia gerada pelo grupo gerador das propriedades, esses dados estão apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 – Excedente de energia elétrica gerada nas granjas autossuficientes

Granja	Mínimo de Excedente de Energia Elétrica Gerada (kWh mês ⁻¹)	Energia Excedente em Relação a Energia Elétrica Gerada Mensalmente (%)
1	5.327,00	16,67
3	8.418,40	16,67
4	23.063,80	16,67
5	8.424,00	16,67
6	7.109,40	16,67
7	4.960,00	16,67
9	6.051,40	16,67
11	6.384,00	16,67
12	4.392,00	16,67
13	56.630,00	16,67
15	14.384,00	16,67
16	15.820,40	16,67
17	1.245,20	16,67
18	463,40	16,67
19	3.0672,71	16,67
20	4.061,40	16,67
21	4.800,00	16,67
22	2.457,80	16,67
TOTAL	204.664,91	16,67

Nota-se, pela análise do Quadro 18, que de toda a energia gerada pelas granjas autossuficientes, aproximadamente 17% da energia será contabilizada como crédito, ou seja, para cada 1,2 kWh gerado, 0,2 kWh será disponibilizado para a rede da concessionária como crédito de energia, assim como foi planejado para o dimensionamento dos equipamentos de geração.

O excedente de energia elétrica gerado nas 18 granjas em um mês, produz a mesma energia que uma usina de geração de 284 kW de capacidade, produzindo energia elétrica continuamente na capacidade máxima durante 24 horas por dia, o que atenderia uma cidade de cerca de 1.007 pessoas no Brasil.

Caso essas granjas invistam no projeto, a soma de todos os geradores ligados implicaria na inserção de 3,45 MW de potência na rede elétrica, gerando 40.933 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas o dejetado de cada animal implicaria na produção de 0,15 kWh dia⁻¹, sendo consumido 24.348 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 45,92%, quando considerado o impacto oriundo das 22 granjas.

4.3. Viabilidade econômica

4.3.1. Investimentos

Os investimentos necessários para as granjas que desejam ser autossuficientes no consumo de energia elétrica se baseiam em instalar os biodigestores, na compra dos equipamentos de geração e na conexão destes equipamentos na rede elétrica da concessionária, como está detalhado no Quadro 19. Foi considerado que o custo de instalação do biodigestor foi de R\$ 150,00 por m³ da lagoa anaeróbica, como apresentado na Equação (1) e que os equipamentos de geração contemplam as máquinas de geração de energia elétrica, o sistema de filtragem e os painéis de proteção. Além disso, para se estimar investimento da conexão dos equipamentos de geração com a rede, para aquelas potências que não estão apresentadas no Quadro 14, foi utilizado o processo de interpolação linear.

Quadro 19 – Investimento necessário para a geração distribuída das granjas autossuficientes

Granja	Instalação dos Biodigestores (R\$)	Equipamentos de Geração (R\$)	Conexão Com a Rede Elétrica (R\$)	Total (R\$)
1	135.828,00	219.715,00	75.000,00	430.543,00
3	192.423,00	366.166,80	80.457,14	639.046,94
4	567.761,04	692.065,00	113.257,14	1.373.083,18
5	221.852,40	366.166,80	80.457,14	668.476,34
6	181.104,00	364.200,30	78.114,28	623.418,58
7	140.355,60	219.715,00	75.000,00	435.070,60
9	135.828,00	219.715,00	75.000,00	430.543,00
11	180.651,24	364.200,30	78.114,28	622.965,82
12	113.190,00	219.715,00	75.000,00	407.905,00
13	1.177.176,00	1.636.765,00	190.571,42	3.004.512,42
15	769.692,00	472.350,00	95.000,00	1.337.042,00
16	1.211.133,00	472.350,00	95.000,00	1.778.483,00
17	226.380,00	144.485,30	60.000,00	430.865,30
18	50.820,00	144.485,30	60.000,00	255.305,30
19	498.036,00	944.700,00	137.857,14	1.580.593,14
20	115.500,00	179.489,22	71.000,00	365.989,22
21	135.828,00	219.715,00	75.000,00	430.543,00
22	69.300,00	146.451,80	68.000,00	283.751,80
TOTAL	6.122.858,28	7.392.450,82	1.582.828,54	15.098.137,64

Segundo o Quadro 19, a instalação dos biodigestores representa 40,55% do total dos investimentos, os equipamentos de geração representam 48,96% e a conexão destes equipamentos com a rede representam 10,48% do total dos investimentos iniciais para a aplicação do projeto.

4.3.2. Custos operacionais

Os custos operacionais estão baseados nos gastos com mão de obra do biodigestor, operação do gerador, além do custo de disponibilidade/demanda de energia elétrica da rede da concessionária, que está relacionada com a tarifa horo sazonal verde, como apresentado no Quadro 11. Este último custo é a garantia de fornecimento de energia elétrica para as eventuais faltas de funcionamento ou desligamento do gerador. Além dessas variáveis, acrescenta-se a depreciação do preço dos custos dos equipamentos de geração que é de 3,3% ao ano.

O Quadro 20 apresenta os custos operacionais das plantas um ano após o início de funcionamento:

Quadro 20 – Custos operacionais da planta de geração de energia elétrica um ano após a implantação

Granja	Mão de Obra (R\$ ano ⁻¹)	Disponibilidade de Energia Elétrica (R\$ ano ⁻¹)	Manutenção do Biodigestor e Gerador (R\$ ano ⁻¹)	Depreciação dos Equipamentos de Geração no primeiro ano (R\$)	Total (R\$)
1	10.560,00	12.960,00	16.688,23	7.250,60	47.458,82
3	10.560,00	18.360,00	28.343,41	12.083,50	69.346,91
4	10.560,00	48.600,00	70.767,61	22.838,15	152.765,75
5	10.560,00	18.360,00	29.094,80	12.083,50	70.098,30
6	10.560,00	16.200,00	26.433,44	12.018,61	65.212,05
7	10.560,00	12.960,00	15.885,64	7.250,60	46.656,24
9	10.560,00	12.960,00	18.495,83	7.250,60	49.266,43
11	10.560,00	16.200,00	24.186,98	12.018,61	62.965,59
12	10.560,00	12.960,00	13.789,16	7.250,60	44.559,76
13	10.560,00	119.880,00	167.818,96	54.013,25	352.272,21
15	10.560,00	35.640,00	54.303,30	15.587,55	116.090,85
16	10.560,00	35.640,00	68.840,55	15.587,55	130.628,10
17	10.560,00	3.240,00	12.414,71	4.768,01	30.982,72
18	10.560,00	3.240,00	3.784,45	4.768,01	22.352,46
19	10.560,00	71.280,00	87.215,63	31.175,10	200.230,73
20	10.560,00	8.640,00	13.429,69	5.923,14	38.552,83
21	10.560,00	12.960,00	15.373,20	7.250,60	46.143,80
22	10.560,00	5.400,00	10.373,20	4.832,91	31.166,11
TOTAL	190.080,00	465.480,00	677.238,78	243.950,88	1.576.749,66

Segundo o Quadro 20, a mão de obra relacionada ao manuseio dos equipamentos representa 12,06% do total dos custos de operação no primeiro ano de funcionamento da planta, os gastos com a disponibilidade/demanda de energia elétrica da concessionária representam 29,52%, a manutenção do biodigestor e equipamentos de geração representam 42,95% e a depreciação dos preços dos equipamentos de geração representam 15,47% do total dos custos um ano após o início de operação do projeto.

É importante destacar que para a manutenção dos geradores foram considerados os custos apresentados no Quadro 12 e o tempo de operação dos mesmos durante 10 meses no ano, já que nos outros dois meses estes

equipamentos podem ser desligados devido aos créditos de energia elétrica adquiridos.

4.3.3. Receita

A receita resultante da implantação do projeto é a economia financeira gerada com o não consumo da energia elétrica da concessionária. Portanto, cada kWh não consumido da concessionária gera uma receita de R\$ 0,34051, conforme o que está apresentado no Quadro 11.

No Quadro 21 está apresentada a receita esperada para cada propriedade, durante o período de um ano após o início do funcionamento da planta, isto em função do consumo de energia elétrica que é esperado nas granjas, como apresentado no Quadro 9 e o custo da energia elétrica, como apresentado no Quadro 11:

Quadro 21 – Receita esperada para cada granja autossuficiente no período de um ano

Granja	Receita (R\$ ano ⁻¹)
1	108.833,81
3	171.992,96
4	471.207,27
5	172.107,37
6	145.249,31
7	101.335,78
9	123.633,73
11	130.428,95
12	89.731,20
13	1.156.984,88
15	293.873,75
16	323.220,26
17	25.440,18
18	9.467,54
19	626.661,83
20	82.976,84
21	98.066,88
22	50.214,33
TOTAL	4.181.426,87

4.3.4. Indicadores econômicos

Para a análise de viabilidade, foi utilizado os indicadores econômicos como VPL, TIR, RBC, RLT e PBS ou PBE, para isso foi construído o fluxo de caixa de cada propriedade autossuficiente, com o auxílio do “*excel*”, *software* disponibilizado pela Microsoft para a edição de planilhas, como exemplificado no Quadro 22, que está relacionada com o fluxo de caixa da granja 1.

Quadro 22 – Fluxo de caixa da granja 1 durante os 10 anos de vida útil do projeto

	ANO										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Saídas (R\$)											
Total Geral das Saídas	430.543,00	47.458,83	47.219,56	46.988,18	46.764,44	46.548,09	46.338,87	46.136,56	45.940,93	45.751,75	45.568,81
Instalação dos biodigestores	135.828,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Equipamentos de geração	219.715,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Conexão com a rede elétrica	75.000,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mão de obra	0,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00	10.560,00
Disponibilidade de energia elétrica	0,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00	12.960,00
Depreciação dos equipamentos de geração	0,00	7.250,60	7.011,33	6.779,95	6.556,21	6.339,86	6.130,64	5.928,33	5.732,70	5.543,52	5.360,58
Manutenção do biodigestor e gerador	0,00	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23	16.688,23
Entradas (R\$)											
Total Geral das Entradas	0,00	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	265.915,10
Economia Gerada	0,00	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81	108.833,81
Valor Residual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	157.081,29
Fluxo de Caixa (R\$)	- 430.543,00	61.374,99	61.614,25	61.845,63	62.069,37	62.285,72	62.494,94	62.697,25	62.892,88	63.082,06	220.346,28

Elaborado os fluxos de caixa das granjas que podem ser autossuficientes, foram determinados os valores dos indicadores econômicos como apresentado no Quadro 23, considerando como TMA de 8,75% a.a. como explicado na seção de material e métodos.

Quadro 23 – Indicadores econômicos para investimento na geração distribuída de energia elétrica para taxa mínima de atratividade igual a 8,75% ao ano

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	41.077,11	10,57	1,39	350.160,37	6,94	9,57
3	149.277,98	13,07	1,51	665.650,52	6,17	9,06
4	924.334,29	21,00	1,81	2.337.207,26	4,30	5,62
5	115.715,29	11,99	1,47	629.851,32	6,49	9,27
6	17.543,86	9,28	1,36	453.696,72	7,67	9,88
7	- 6.896,44	8,44	1,31	278.678,37	7,85	-
9	125.382,79	14,20	1,53	480.083,57	5,75	8,19
11	- 63.593,99	6,81	1,27	328.410,48	9,01	-
12	- 41.427,81	6,79	1,25	210.762,97	8,86	-
13	2.763.707,05	25,11	1,97	6.286.333,13	3,72	4,70
15	- 25.707,08	8,36	1,32	799.708,77	7,45	-
16	- 371.052,48	4,28	1,17	506.360,37	9,15	-
17	- 418.585,29	-15,64	0,49	- 376.501,57	-	-
18	- 290.669,16	-16,46	0,42	- 274.365,37	-	-
19	1.501.913,55	25,47	1,96	3.401.561,39	3,69	4,66
20	- 17.793,83	7,81	1,29	214.638,24	8,12	-
21	- 20.255,19	7,84	1,29	255.641,37	8,17	-
22	- 111.248,49	0,88	1,03	18.013,86	9,86	-

Pela análise do Quadro 23, as granjas 1, 3, 4, 5, 6, 9, 13 e 19 apresentaram viabilidade econômica para a implantação do projeto para a TMA adotada e custos atualmente aplicados pelo mercado, já que é estimado que elas sejam capazes de produzir receitas que superam o capital investido descontado a TMA, sendo que para essas granjas o investimento é recuperado de 4,66 a 9,88 anos após a implantação do projeto.

Há granjas que apresentaram saldo acumulado maior que o capital investido no projeto, mas ao considerar as taxas praticadas pelo mercado, essas granjas apresentaram prejuízo no caixa no período de 10 anos, são elas: as granjas 7, 11, 12, 15, 16, 20, 21 e 22, portanto, essas granjas recuperarão o capital investido, somente se não descontar a TMA, em períodos variando de 7,45 a 9,86 anos.

Para as outras granjas, estima-se, que elas não sejam capazes de produzir receita líquida positiva, mesmo quando não se desconta a TMA do saldo adquirido, são elas: as granjas 17 e 18.

Portanto, ao adotar a TMA igual a 8,75% a.a. e os custos dos equipamentos e serviços atualmente praticados no mercado, além de considerar que as granjas que foram viáveis economicamente invistam no projeto, isso irá implicar na inserção de 2,36 MW de potência na rede elétrica, gerando 29.139 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas os resíduos da produção animal implicariam na geração de 0,22 kWh dia⁻¹, sendo consumidos 17.011 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo a emissão de gases de efeito estufa em 32,09%, quando comparada com o impacto oriundo das 22 granjas analisadas.

4.3.5. Análise de sensibilidade

Tendo em vista que variações de preços e custos de equipamentos e taxas podem se alterar em função das mudanças da economia, foi feita a análise de sensibilidade da viabilidade de implantação dos projetos estudados para as granjas que podem ser autossuficientes no consumo de energia elétrica.

Variação da TMA

Variando-se apenas a TMA, os únicos indicadores que sofreram alteração em relação ao que foi mostrado no Quadro 23, foi o VPL e o tempo de retorno do capital descontado a TMA (PBE), estes valores estão apresentados no Quadro 24.

Quadro 24 – Indicadores econômicos para investimento na geração distribuída de energia elétrica em função da taxa mínima de atratividade

Granjas	TMA					
	4,5% a.a.		6,5% a.a.		10 % a.a.	
	VPL (R\$)	PBE (anos)	VPL (R\$)	PBE (anos)	VPL (R\$)	PBE (anos)
1	163.458,32	8,85	100.668,66	9,14	12.203,94	9,86
3	353.747,31	7,38	248.843,42	8,73	101.034,87	9,29
4	1.487.965,25	4,87	1.199.615,10	5,20	790.307,25	5,89
5	319.277,68	7,83	214.834,88	8,90	67.691,51	9,52
6	189.508,87	9,14	101.135,54	9,45	- 22.845,34	-
7	105.951,59	9,23	48.008,68	9,58	- 33.464,24	-
9	266.262,89	6,79	194.068,25	7,40	92.036,12	8,69
11	90.467,91	9,58	11.196,67	9,94	- 99.653,75	-
12	57.882,27	9,56	6.822,17	9,94	- 64.721,80	-
13	4.170.166,84	4,17	3.450.864,60	4,40	2.428.965,68	4,89
15	302.656,09	9,10	134.488,06	9,51	- 103.562,09	-
16	- 21.603,41	-	- 200.491,68	-	- 454.006,60	-
17	- 403.465,09	-	- 411.527,18	-	- 421.767,14	-
18	- 286.003,27	-	- 288.750,31	-	- 291.322,88	-
19	2.259.540,18	4,13	1.871.905,59	4,37	1.321.803,28	4,84
20	74.045,35	9,34	26.887,88	9,71	- 39.413,30	-
21	88.668,10	9,35	32.720,56	9,71	- 45.873,90	-
22	- 60.801,96	-	- 86.829,35	-	- 122.966,68	-

Pela análise do Quadro 24, observa-se que a queda na TMA é uma ação importante para viabilizar o empreendimento, nota-se que nos casos onde a TMA de atratividade foi igual a 4,5% e 6,5% a.a.; das 18 granjas analisadas, somente 4 não apresentaram viabilidade para o empreendimento.

Ao comparar esse resultado com o que foi apresentado no Quadro 23, as granjas 7, 11, 12, 15, 20 e 21 passaram a ser viáveis para a realização do investimento na geração distribuída de energia elétrica

Portanto, caso fosse executada a implantação do projeto onde as análises foram viáveis, para o caso onde foi adotado a TMA igual 4,5 ou 6,5 % a.a.; isso irá implicar na inserção 3,10 MW de potência na rede elétrica, gerando 36.936 kWh dia⁻¹. Nessas condições, nas granjas os resíduos da produção animal irão gerar 0,19 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 22.114 m³ de biogás diariamente. Este montante de biogás, reduz a emissão de gases de efeito estufa em 41,71% nas 22 granjas analisadas.

Por outro lado, o aumento da TMA para 10% a.a. inviabilizou o investimento para a granja 6, quando comparado com o resultado encontrado no Quadro 23.

Portanto, caso fosse executada a implantação do projeto nas granjas 1, 3, 4, 5, 9, 13 e 19, para o caso onde a TMA é igual 10% a.a.; implicará na inserção 2,24 MW de potência na rede elétrica, gerando 27.717 kWh dia⁻¹. Nessas condições nas granjas os resíduos da produção animal implicariam na produção de 0,22 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 15.989 m³ de biogás diariamente, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa em 30,16%, nas 22 granjas analisadas.

Variação do investimento inicial

Se os projetos de geração distribuída, como apresentados nesta dissertação, se popularizarem, espera-se que o investimento inicial em equipamentos diminua. Portanto, para uma queda de 20% do investimento inicial em relação aos atuais preços praticados, espera-se os seguintes resultados para os indicadores econômicos, como apresentado no Quadro 25:

Quadro 25 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 80% dos atuais preços praticados

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	127.185,71	15,41	1,54	436.268,97	5,56	7,93
3	277.087,37	18,26	1,67	793.459,90	4,95	6,74
4	1.198.950,92	27,72	2,01	2.611.823,90	3,44	4,21
5	249.410,56	17,02	1,63	763.546,59	5,20	7,22
6	142.227,57	13,81	1,51	578.380,44	6,16	9,04
7	80.117,68	12,95	1,45	365.692,49	6,30	9,13
9	211.491,39	19,66	1,68	566.192,17	4,61	6,14
11	60.999,18	10,94	1,41	453.003,65	7,26	9,57
12	40.153,19	10,99	1,38	292.343,97	7,11	9,54
13	3.364.609,53	32,59	2,18	6.887.235,61	2,98	3,58
15	241.701,32	13,08	1,48	1.067.117,17	5,98	8,80
16	- 15.355,88	8,53	1,32	862.056,97	7,33	-
17	- 332.412,23	-13,93	0,55	- 290.328,51	-	-
18	- 239.608,10	-15,21	0,47	- 223.304,31	-	-
19	1.818.032,18	32,97	2,15	3.717.680,02	2,96	3,54
20	55.404,01	12,23	1,43	287.836,08	6,52	9,26
21	65.853,41	12,24	1,43	341.749,97	6,55	9,28
22	- 54.498,13	4,22	1,14	74.764,22	9,40	-

Ao comparar os resultados encontrados no Quadro 25 com os resultados do Quadro 23, das 18 granjas analisadas, a viabilidade para o empreendimento passou de 8 para 14 granjas. Assim, mostrou-se que a redução dos custos no investimento inicial também uma ação importante para viabilizar o investimento.

Considerando que as granjas onde a execução do projeto é viável, quando o investimento inicial se reduzir em 20% em relação aos atuais preços praticados, isso irá implicar na inserção de 3,10 MW de potência na rede elétrica gerando 36.936 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas o dejetos de cada animal implicaria na produção de 0,19 kWh dia⁻¹, sendo consumidos 22.114 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 41,71% nas 22 granjas. Estes últimos resultados são semelhantes aos casos analisados quando a taxa mínima de atratividade ser igual a 4,5 e 6,5% a.a.

Caso o investimento inicial obter uma queda de apenas 10%, os indicadores econômicos serão iguais ao apresentado no Quadro 26:

Quadro 26 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 90% dos atuais preços praticados

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	84.131,41	12,78	1,46	393.214,67	6,25	9,27
3	213.182,67	15,44	1,58	729.555,21	5,56	7,84
4	1.061.642,60	24,04	1,91	2.474.515,58	3,87	4,92
5	182.562,93	14,29	1,54	696.698,96	5,85	8,47
6	79.885,71	11,35	1,43	516.038,58	6,91	9,46
7	36.610,62	10,51	1,38	322.185,43	7,07	9,60
9	168.437,09	16,68	1,60	523.137,87	5,18	7,17
11	- 1.297,41	8,71	1,33	390.707,07	8,15	-
12	- 637,31	8,72	1,31	251.553,47	7,99	-
13	3.064.158,29	28,49	2,07	6.586.784,37	3,35	4,14
15	107.997,12	10,52	1,40	933.412,97	6,72	9,52
16	- 193.204,18	6,23	1,24	684.208,67	8,24	-
17	- 375.498,76	-14,83	0,52	- 333.415,04	-	-
18	- 265.138,63	-15,86	0,44	- 248.834,84	-	-
19	1.659.972,86	28,85	2,05	3.559.620,71	3,33	4,10
20	18.805,09	9,83	1,36	251.237,16	7,32	9,75
21	22.799,11	9,86	1,36	298.695,67	7,36	9,75
22	- 82.873,31	2,42	1,08	46.389,04	9,63	-

Ao comparar os resultados do Quadro 26 com o que foi encontrado no Quadro 25, observa-se que o investimento nas granjas 11 e 12 deixaram de ser viáveis.

Nestas condições, caso houvesse o investimento no projeto nas 12 granjas onde foi viável o empreendimento, iria ter como consequência a inserção de 2,88 MW de potência na rede elétrica gerando 34.780 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas os resíduos da produção animal continuaram implicando na produção de 0,19 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 20.556 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 38,77% nas 22 granjas.

Se houver aumento nos custos no investimento inicial, como por exemplo, o acréscimo de 10%, os indicadores econômicos ficariam como apresentado no Quadro 27:

Quadro 27 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 110% dos atuais preços praticados

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	- 1.977,19	8,67	1,33	307.106,07	7,63	-
3	85.373,28	11,05	1,44	601.745,82	6,78	9,46
4	787.025,97	18,43	1,73	2.199.898,94	4,72	6,33
5	48.867,66	10,02	1,40	563.003,69	7,13	9,69
6	- 44.798,00	7,49	1,30	391.354,87	8,42	-
7	- 50.403,50	6,67	1,25	235.171,31	8,63	-
9	82.328,49	12,08	1,46	437.029,27	6,32	9,21
11	- 125.890,57	5,17	1,20	266.113,90	9,93	-
12	- 82.218,31	5,13	1,19	169.972,47	9,74	-
13	2.463.255,81	22,27	1,89	5.985.881,89	4,09	5,27
15	- 159.411,28	6,51	1,26	666.004,57	8,19	-
16	- 548.900,78	2,60	1,10	328.512,07	9,39	-
17	- 461.671,82	-16,36	0,46	- 419.588,10	-	-
18	- 316.199,69	-17,01	0,40	- 299.895,90	-	-
19	1.343.854,24	22,62	1,88	3.243.502,08	4,06	5,22
20	- 54.392,76	6,06	1,23	178.039,31	8,93	-
21	- 63.309,49	6,10	1,23	212.587,07	8,98	-
22	- 139.623,67	-0,47	0,98	- 10.361,32	-	-

Em relação aos parâmetros atualmente adotados no mercado, observa-se que nas granjas 1 e 6 o investimento no empreendimento deixou de ser viável.

Nessas condições, caso as granjas 3, 4, 5, 9, 13 e 19 investissem no projeto, conseqüentemente iriam inserir 2,14 MW de potência na rede elétrica gerando 26.652 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas os resíduos da produção animal continuarão implicando na produção de 0,22 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 15.212 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 28,69% nas 22 granjas.

Se o aumento no investimento inicial for de 20% em relação aos atuais preços praticados é esperado que o investimento fique ainda mais inviável, como apresentado no Quadro 28:

Quadro 28 – Indicadores econômicos considerando o investimento inicial igual a 120% dos atuais preços praticados

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	- 45.031,49	7,01	1,27	264.051,77	8,32	-
3	21.468,59	9,29	1,37	537.841,13	7,39	9,86
4	649.717,65	16,22	1,66	2.062.590,62	5,15	7,03
5	- 17.979,98	8,31	1,33	496.156,06	7,77	-
6	- 107.139,86	5,93	1,24	329.013,01	9,18	-
7	- 93.910,56	5,12	1,20	191.664,25	9,40	-
9	39.274,19	10,23	1,39	393.974,97	6,89	9,61
11	- 188.187,15	3,73	1,15	203.817,32	9,38	-
12	- 123.008,81	3,68	1,14	129.181,97	9,37	-
13	2.162.804,57	19,84	1,81	5.685.430,65	4,46	5,83
15	- 293.115,48	4,89	1,19	532.300,37	8,93	-
16	- 726.749,08	1,12	1,04	150.663,77	9,72	-
17	- 504.758,35	-17,02	0,44	- 462.674,63	-	-
18	- 341.730,22	-17,52	0,38	- 325.426,43	-	-
19	1.185.794,92	20,18	1,80	3.085.442,77	4,43	5,78
20	- 90.991,68	4,53	1,17	141.440,39	9,73	-
21	- 106.363,79	4,58	1,18	169.532,77	9,79	-
22	- 167.998,85	-1,67	0,94	- 38.736,50	-	-

Neste último caso, apenas a granja 5 deixou de ser viável para o empreendimento quando comparada com o caso anterior.

Nessas condições, caso as granjas 3, 4, 9, 13 e 19 investissem no projeto, elas iriam inserir 2,01 MW de potência na rede elétrica gerando 24.967 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas o dejetto de cada animal continuará implicando na produção de 0,22 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos

13.958 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 26,33 % nas 22 granjas.

Varição dos custos operacionais

Também foram analisados os casos onde os custos operacionais variaram em -20, -10, 10 e 20% em relação aos preços atualmente praticados no mercado.

Para o caso onde o custo operacional reduziu em 20% foram encontrados os seguintes resultados, como apresentado no Quadro 29.

Quadro 29 – Indicadores econômicos considerando decréscimo nos custos de operação em 20%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	101.573,94	13,19	1,55	443.103,57	6,04	8,98
3	237.451,35	15,56	1,68	801.053,82	5,45	7,72
4	1.119.143,80	23,46	2,03	2.636.519,60	3,92	5,01
5	204.863,80	14,43	1,63	766.757,40	5,73	8,75
6	100.360,90	11,74	1,51	580.847,97	6,64	9,35
7	52.558,81	11,05	1,46	370.016,39	6,74	9,45
9	188.225,48	16,84	1,71	576.641,97	5,09	7,01
11	16.307,65	9,24	1,41	451.068,81	7,69	9,89
12	15.306,67	9,46	1,39	297.908,03	7,46	9,83
13	3.212.727,01	27,64	2,21	6.976.168,92	3,43	4,25
15	122.600,73	10,58	1,46	1.027.645,74	6,62	9,48
16	- 203.878,56	6,33	1,27	763.371,84	8,08	-
17	- 379.096,14	-12,69	0,53	- 315.834,52	-	-
18	- 262.380,16	-13,57	0,46	- 230.958,84	-	-
19	1.757.063,94	28,17	2,20	3.793.533,40	3,38	4,19
20	31.345,32	10,39	1,43	290.130,94	6,96	9,60
21	38.535,02	10,46	1,44	345.954,51	6,98	9,59
22	- 71.531,13	3,77	1,15	79.030,00	9,40	-

Neste último caso, 14 granjas obtiveram resultados viáveis para o empreendimento e são as mesmas que nos casos onde a TMA adotada foi igual a 4,5 e 6,5% a.a. e no caso em que o investimento inicial reduziu em 20%.

Portanto, para este caso, os resultados em relação à potência de geração que será inserida na rede, geração de energia elétrica diária e redução da emissão de gases de efeito estufa são as mesmas que nos casos onde foi

observada semelhança em relação às granjas onde o empreendimento será viável.

Caso o custo operacional diminua em 10%, os resultados dos indicadores econômicos estão apresentados no Quadro 30:

Quadro 30 – Indicadores econômicos considerando decréscimo nos custos de operação em 10%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	71.325,52	11,88	1,47	396.631,97	6,46	9,27
3	193.364,67	14,32	1,59	733.352,17	5,79	8,37
4	1.021.739,05	22,23	1,91	2.486.863,43	4,10	5,30
5	160.289,55	13,21	1,54	698.304,36	6,08	9,01
6	58.952,38	10,52	1,43	517.272,35	7,12	9,61
7	22.831,19	9,76	1,38	324.347,38	7,25	9,76
9	156.804,14	15,52	1,61	528.362,77	5,40	7,57
11	- 23.643,17	8,03	1,33	389.739,65	8,31	-
12	- 13.060,57	8,14	1,32	254.335,50	8,10	-
13	2.988.217,03	26,38	2,09	6.631.251,02	3,57	4,47
15	48.446,82	9,48	1,39	913.677,25	7,01	9,79
16	- 287.465,52	5,31	1,22	634.866,10	8,58	-
17	- 398.840,71	-14,14	0,51	- 346.168,05	-	-
18	- 276.524,66	-15,00	0,44	- 252.662,11	-	-
19	1.629.488,74	26,82	2,08	3.597.547,40	3,53	4,41
20	6.775,74	9,11	1,36	252.384,59	7,50	9,91
21	9.139,91	9,16	1,36	300.797,94	7,53	9,90
22	- 91.389,81	2,34	1,09	48.521,93	9,62	-

Ao comparar os resultados encontrados no Quadro 30 com o que foi encontrado no Quadro 29, observa-se que o investimento deixou de ser viável apenas para as granjas 11 e 12, semelhante ao caso onde se considerou a queda do investimento inicial em 10%.

Portanto, nestas condições, assim como naquela onde foi considerada a redução do investimento inicial em 10%, e caso houvesse o investimento no projeto nas 12 granjas onde foi viável o empreendimento, elas iriam ter como consequência a inserção de 2,88 MW de potência na rede elétrica gerando 34.780 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas o dejetos de cada animal continuará implicando na produção de 0,19 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 20.556 m³ de biogás diariamente e consequentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 38,77% nas 22 granjas.

Se por outro lado, houver aumento nos custos de operação em 10%, teremos os seguintes resultados, como apresentado no Quadro 31:

Quadro 31 – Indicadores econômicos considerando acréscimo nos custos de operação em 10%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	10.828,70	9,23	1,32	303.688,77	7,50	9,88
3	105.191,29	11,81	1,43	597.948,86	6,60	9,93
4	826.929,53	19,76	1,72	2.187.551,09	4,51	5,97
5	71.141,04	10,75	1,39	561.398,28	6,95	9,54
6	- 23.864,66	8,03	1,29	390.121,10	8,31	-
7	- 36.624,06	7,12	1,25	233.009,36	8,55	-
9	93.961,45	12,86	1,45	431.804,37	6,15	9,05
11	- 103.544,80	5,58	1,21	267.081,32	9,91	-
12	- 69.795,05	5,43	1,19	167.190,44	9,16	-
13	2.539.197,07	23,84	1,87	5.941.415,24	3,89	4,96
15	- 99.860,99	7,23	1,26	685.740,28	7,96	-
16	- 454.639,45	3,22	1,12	377.854,63	9,79	-
17	- 438.329,87	-17,20	0,47	- 406.835,09	-	-
18	- 304.813,66	-17,96	0,40	- 296.068,63	-	-
19	1.374.338,36	24,10	1,86	3.205.575,39	3,87	4,93
20	- 42.363,41	6,48	1,23	176.891,88	8,86	-
21	- 49.650,30	6,51	1,23	210.484,80	8,93	-
22	- 131.107,16	-0,61	0,98	- 12.494,21	-	-

Neste último caso, quando comparado com os resultados encontrados nas condições atuais do mercado, apresentado no Quadro 23, apenas a granja 6 deixou de apresentar viabilidade no investimento.

Caso as granjas 1, 3, 4, 5, 9, 13 e 19 invistam no projeto teríamos como consequência a inserção de 2,24 MW de potência na rede elétrica gerando 27.717 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas o dejetos de cada animal continuará implicando na produção de 0,22 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 15.989 m³ de biogás diariamente e conseqüentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 30,16 % nas 22 granjas.

Aumentando os custos de operação em 20 % teremos os seguintes resultados, como apresentado no Quadro 32:

Quadro 32 – Indicadores econômicos considerando acréscimo nos custos de operação em 20%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	- 19.419,72	7,88	1,26	257.217,17	8,16	-
3	61.104,60	10,54	1,37	530.247,21	7,09	9,60
4	729.524,77	18,51	1,64	2.037.894,92	4,74	6,36
5	26.566,78	9,50	1,33	492.945,24	7,47	9,83
6	- 65.273,18	6,76	1,24	326.545,47	9,07	-
7	- 66.351,68	5,77	1,19	187.340,35	9,38	-
9	62.540,10	11,50	1,38	383.525,17	6,60	9,35
11	- 143.495,62	4,32	1,15	205.752,15	9,36	-
12	- 98.162,29	4,05	1,13	123.617,91	9,37	-
13	2.314.687,09	22,56	1,78	5.596.497,34	4,07	5,24
15	- 174.014,90	6,08	1,21	571.771,79	8,53	-
16	- 538.226,41	2,15	1,08	249.348,89	9,51	-
17	- 458.074,45	-18,82	0,45	- 437.168,62	-	-
18	- 318.958,16	-19,49	0,38	- 317.771,90	-	-
19	1.246.763,16	22,73	1,77	3.009.589,39	4,07	5,23
20	- 66.932,99	5,14	1,17	139.145,53	9,74	-
21	- 79.045,40	5,15	1,17	165.328,23	9,84	-
22	- 150.965,84	-2,14	0,93	- 43.002,29	-	-

Ao analisar os dois últimos casos, a única granja que deixou de ser viável para o empreendimento foi a granja 1, sendo as granjas que apresentaram viabilidade para o empreendimento, do último caso, idênticas ao caso em que considerou-se o aumento do investimento inicial em 10% apresentada no Quadro 27.

Portanto, os resultados em relação à potência de geração inserida na rede elétrica, geração de energia elétrica diária, média de energia elétrica gerada por animal e redução na emissão no impacto no efeito estufa são as mesmas para o caso onde há aumento do investimento inicial em 10 % e elevação nos custos de operação em 20 %.

Variação nos custos de energia elétrica

Também foram analisados os casos onde os custos da energia elétrica para o suinocultor variaram em -10, -5, 5 e 10% dos preços atualmente praticados ao grupo tarifário B2, como apresentado no Quadro 11:

Diminuindo os custos de energia em 10% teremos os seguintes resultados, apresentados no Quadro 33:

Quadro 33 – Indicadores econômicos considerando a redução nos custos de energia elétrica em 10%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	- 29.543,91	7,42	1,27	241.326,56	8,41	-
3	37.673,71	9,86	1,38	493.657,56	7,38	9,75
4	618.573,26	17,08	1,65	1.865.999,99	5,04	6,84
5	4.036,78	8,86	1,34	457.743,95	7,77	9,97
6	- 76.706,77	6,41	1,24	308.447,41	9,31	-
7	- 72.652,07	5,48	1,20	177.342,59	9,58	-
9	45.158,28	10,74	1,39	356.449,84	6,88	9,53
11	- 148.227,85	4,17	1,16	197.981,53	9,38	-
12	- 99.653,37	3,97	1,14	121.031,77	9,38	-
13	2.012.952,75	20,84	1,79	5.129.348,25	4,34	5,64
15	- 216.398,41	5,41	1,20	505.835,02	8,90	-
16	- 580.786,43	1,59	1,06	183.140,11	9,64	-
17	- 435.093,13	-16,95	0,45	- 401.941,75	-	-
18	- 296.812,54	-17,12	0,40	- 283.832,91	-	-
19	1.095.279,83	21,11	1,78	2.774.899,56	4,33	5,62
20	- 71.636,56	4,88	1,18	131.661,40	9,21	-
21	- 83.889,67	4,92	1,18	157.574,49	9,22	-
22	- 143.831,99	-1,59	0,95	- 32.200,47	-	-

Mais uma vez apenas as granjas 3, 4, 5, 9, 13 e 19 apresentaram resultados viáveis para o empreendimento, semelhante aos casos onde foi considerado o aumento do investimento inicial em 10% e no caso em que os custos de operação se elevaram em 20 %.

Portanto, mais uma vez, os resultados em relação à potência de geração inserida na rede elétrica, geração de energia elétrica diária, média de energia elétrica gerada por animal e redução na emissão no impacto no efeito estufa são as mesmas para os casos onde houve aumento do investimento inicial em 10% e elevação nos custos de operação em 20 %.

Caso a redução nos custos de energia elétrica fossem apenas de 5 %, os seguintes resultados seriam encontrados, como apresentado no Quadro 34:

Quadro 34 – Indicadores econômicos considerando redução nos custos de energia elétrica em 5%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	5.766,60	9,01	1,33	295.743,47	7,60	9,94
3	93.475,84	11,48	1,44	579.654,04	6,72	9,40
4	771.453,77	19,05	1,73	2.101.603,62	4,64	6,20
5	59.876,04	10,44	1,40	543.797,64	7,07	9,61
6	- 29.581,45	7,85	1,30	381.072,07	8,41	-
7	- 39.774,25	6,97	1,26	228.010,48	8,63	-
9	85.270,54	12,48	1,46	418.266,71	6,26	9,13
11	- 105.910,92	5,50	1,21	263.196,01	9,19	-
12	- 70.540,59	5,39	1,20	165.897,37	9,17	-
13	2.388.329,90	22,99	1,88	5.707.840,69	4,01	5,15
15	- 121.052,75	6,90	1,26	652.771,89	8,11	-
16	- 475.919,45	2,95	1,11	344.750,24	9,33	-
17	- 426.839,21	-16,29	0,47	- 389.221,66	-	-
18	- 293.740,85	-16,79	0,41	- 279.099,14	-	-
19	1.298.596,69	23,30	1,87	3.088.230,48	3,99	5,11
20	- 44.715,20	6,36	1,23	173.149,82	8,93	-
21	- 52.072,43	6,40	1,23	206.607,93	9,00	-
22	- 127.540,24	-0,35	0,99	- 7.093,31	-	-

Mais uma vez apenas as granjas 1, 3, 4, 5, 9, 13 e 19 apresentaram resultados viáveis para o empreendimento, semelhante aos casos onde foi considerado a TMA igual 10% a.a. e no caso em que os custos de operação se elevaram em 10%.

Portanto, caso fosse executada a implantação do projeto nessas granjas para essa situação, conseqüentemente iria ser inserido 2,24 MW de potência na rede elétrica, gerando 27.717 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, ou seja, nessas condições e nessas granjas o dejetos de cada animal implicaria na produção de 0,22 kWh dia⁻¹, sendo consumidos 15.989 m³ de biogás diariamente, reduzindo o impacto no efeito estufa em 30,16 % nas 22 granjas.

Caso houvesse elevação nos custos de energia elétrica em 5%, os seguintes resultados seriam encontrados, como apresentado no Quadro 35:

Quadro 35 – Indicadores econômicos considerando elevação nos custos de energia elétrica em 5%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	76.387,62	12,10	1,45	404.577,28	6,39	9,22
3	205.080,11	14,65	1,57	751.647,00	5,70	8,74
4	1.077.214,80	22,92	1,90	2.572.810,89	4,00	5,06
5	171.554,55	13,52	1,53	715.905,01	5,99	8,94
6	64.669,17	10,68	1,42	526.321,38	7,05	9,57
7	25.981,38	9,89	1,37	329.346,26	7,20	9,73
9	165.495,05	15,88	1,59	541.900,44	5,31	7,44
11	- 21.277,06	8,11	1,32	393.624,96	8,83	-
12	- 12.315,04	8,17	1,30	255.628,57	8,77	-
13	3.139.084,20	27,21	2,06	6.864.825,57	3,48	4,27
15	69.638,58	9,79	1,38	946.645,64	6,90	9,70
16	- 266.185,51	5,58	1,22	667.970,50	8,79	-
17	- 410.331,37	-15,00	0,50	- 363.781,48	-	-
18	- 287.597,47	-16,14	0,43	- 269.631,60	-	-
19	1.705.230,41	27,61	2,05	3.714.892,31	3,44	4,22
20	9.127,53	9,23	1,34	256.126,66	7,45	9,88
21	11.562,05	9,26	1,35	304.674,81	7,48	9,88
22	- 94.956,73	2,08	1,07	43.121,02	9,66	-

A elevação nos custos de energia elétrica em apenas 5% implicaria no aumento do número de granjas onde o empreendimento é viável, quando comparada com a situação atual do mercado, apresentado no Quadro 23, ou seja, este número passou de 8 para 12 granjas onde o empreendimento é viável, semelhantes aos casos onde se considerou redução de 10% nos custos operacionais e no investimento inicial.

Portanto, caso essas 12 granjas invistam no projeto, implicará na inserção de 2,88 MW de potência na rede elétrica gerando 34.780 kWh dia⁻¹, ou seja, nessas granjas o dejetos de cada animal continuará implicando na produção de 0,19 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, sendo consumidos 20.556 m³ de biogás diariamente e consequentemente reduzindo o impacto no efeito estufa em 38,77 % nas 22 granjas.

Caso houvesse elevação nos custos de energia elétrica em 10%, os seguintes resultados seriam encontrados, como apresentado no Quadro 36:

Quadro 36 – Indicadores econômicos considerando elevação nos custos de energia elétrica em 10%

Granja	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	RLT (R\$)	PBS (anos)	PBE (anos)
1	111.698,13	13,62	1,51	458.994,18	5,92	8,88
3	260.882,25	16,20	1,64	837.643,48	5,30	7,41
4	1.230.095,31	24,83	1,98	2.808.414,53	3,75	4,61
5	227.393,80	15,03	1,59	801.958,69	5,57	7,94
6	111.794,48	12,07	1,48	598.946,03	6,53	9,28
7	58.859,20	11,32	1,43	380.014,15	6,65	9,39
9	205.607,31	17,55	1,66	603.717,30	4,94	6,72
11	21.039,87	9,38	1,37	458.839,43	7,62	9,86
12	16.797,74	9,53	1,36	300.494,17	7,43	9,82
13	3.514.461,35	29,29	2,15	7.443.318,01	3,26	3,91
15	164.984,24	11,20	1,44	1.093.582,52	6,42	9,30
16	- 161.318,54	6,85	1,27	829.580,63	7,85	-
17	- 402.077,45	-14,37	0,52	- 351.061,39	-	-
18	- 284.525,78	-15,82	0,44	- 264.897,83	-	-
19	1.908.547,27	29,74	2,14	4.028.223,22	3,22	3,86
20	36.048,89	10,63	1,40	297.615,08	6,87	9,54
21	43.379,29	10,67	1,40	353.708,25	6,90	9,55
22	- 78.664,98	3,26	1,12	68.228,19	9,48	-

Para a condição onde os custos de energia elétrica aumentaram em 10%, 14 granjas obtiveram resultados viáveis para o empreendimento, semelhante aos casos onde se considerou a TMA iguais a 4,5 e 6,5% a.a. e redução em 20% do investimento inicial e nos custos de operação.

Portanto, mais uma vez, caso fosse executada a implantação do projeto onde as análises foram viáveis, para o caso onde foi adotado o aumento nos custos de energia elétrica em 10%; isso irá implicar na inserção 3,10 MW de potência na rede elétrica, gerando 36.936 kWh dia⁻¹ animal⁻¹, ou seja, nessas condições e nessas granjas o dejetos de cada animal irá gerar de 0,19 kWh dia⁻¹, sendo consumidos 22.114 m³ de biogás diariamente, reduzindo o impacto no efeito estufa em 41,71 % nas 22 granjas.

4.4. Potencial dos projetos no estado de Minas Gerais

Ao analisar o Quadro 2, onde é apresentado que o tamanho do rebanho mineiro é de 2.513.942 animais, estima-se que com esses animais a

produção diária de dejetos pode chegar a 17.597,59 m³ e de biogás a 452.509,56 m³.

Como já é esperado que nem todas as granjas possuirão viabilidade em implantar os projetos, será analisado, em função da média de animais e das condições do mercado, o que pode ser previsto em relação ao potencial de Minas Gerais atualmente.

Ao analisar os resultados do Quadro 23, considerado caso base nos estudos de viabilidade. Observa-se que do total de animais visitados, 1 em cada 2,14 animais, estão localizados em granjas onde a viabilidade do projeto apresentaram resultados positivos, gerando 0,22 kWh dia⁻¹ animal⁻¹.

Portanto, é esperado, ao expandir essa proporção para todo o estado, que 1.174.739 animais estarão localizados em granjas onde a implantação do projeto estima-se ser viável. Portanto, isso representaria uma geração de 258.443 kWh dia⁻¹ consumindo 211.453 m³ de biogás diariamente, o que diminuiria o impacto no efeito estufa oriundo da atividade no estado em 45,64%.

4.4.1. Potencial dos projetos de energização rural com biogás em Minas Gerais

De todas as análises de sensibilidade realizadas, as que apresentaram o menor número de animais ou granjas com inviabilidade econômica para a implantação dos projetos, ou seja, aquelas que representaram os piores casos do ponto de vista de viabilidade econômica. Com esta abordagem, o pior caso foi onde houve aumento no investimento inicial em 20%, sendo que para esse caso, apenas as granjas 3, 4, 9, 13 e 19 apresentaram viabilidade em investir nos projetos.

Observa-se que, nesta situação, do total de animais visitados, 1 em cada 2,58 animais estão localizados em granjas onde a viabilidade dos projetos apresentaram resultados positivos, gerando em média 0,22 kWh dia⁻¹ animal⁻¹.

Foi estimado ao expandir esse resultado para todo o estado de Minas Gerais, que 974.396 animais estarão localizados em granjas onde a implantação dos projetos de energização rural são viáveis, portanto isso representaria uma geração de cerca de 214.367 kWh dia⁻¹ consumindo

175.391 m³ de biogás diariamente, o que diminuiria o impacto no efeito estufa oriundo da atividade no estado em cerca de 37,86%.

Os melhores resultados encontrados, do ponto de vista de viabilidade econômica, foram quando se considerou a TMA igual a 4,5 e 6,5% a.a.; queda no investimento inicial e nos custos de operação em 20% e elevação nos custos da energia elétrica em 10%, onde 14 granjas apresentaram viabilidade em implantar o projeto, são elas: as granjas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13, 15, 19, 20 e 21, como caracterizado no Quadro 7.

Então os melhores resultados da análise de sensibilidade representam que 1 em cada 1,46 animais visitados estão localizados em granjas onde a implantação dos projetos seriam viáveis, gerando em média cerca de 0,19 kWh dia⁻¹ por animal.

Ao expandir esse resultado para todo o estado, espera-se que 1.721.878 animais estejam localizados em granjas onde a implantação dos projetos seriam viáveis. Portanto, isso representaria uma geração de 327.157 kWh dia⁻¹, que é o mesmo que uma usina de geração contínua de 13,63 MW de potência instalada, consumindo 309.938 m³ de biogás diariamente. Esta geração com biogás implicaria na diminuição do impacto no efeito estufa, oriundo da atividade no estado, em cerca de 66,90%, ou seja, o equivalente ao atendimento de uma cidade de 48.980 habitantes.

5. CONCLUSÕES

Observa-se ao analisar os resultados desta pesquisa, que o método de manejo adotado na granja é um parâmetro importante para determinar se o investimento na geração distribuída é viável. Pois, foram encontrados resultados viáveis para casos onde granjas com menores plantéis de animais e conseqüentemente um menor volume de biogás produzidos diariamente, e em outras em que os plantéis, apesar de maiores, não foram viáveis. Portanto, para chegar a um resultado mais fiel do que pode ser produzido no estado, é necessário avaliar granja por granja e detalhar as suas especificidades.

Destaca-se que para a obtenção dos resultados, foram trabalhados com valores médios de produção de dejetos por animal e de biogás. O que talvez não possa ser muito fiel à realidade, pois o tipo de alimentação, a temperatura no qual estão os biodigestores, o tempo de retenção hídrica e o método de manejo do biodigestor podem influenciar significativamente o potencial de uma granja em produzir o biocombustível.

Em todas as análises de sensibilidade realizadas, notou-se que sempre as granjas 3, 4, 9, 13 e 19 apresentaram resultados positivos quanto à viabilidade no investimento, já as granjas 2, 8, 10, 14, 16, 17, 18 e 22 sempre apresentaram inviabilidade no investimento.

Percebe-se que o aumento nos custos de energia elétrica, a redução nos gastos com o investimento inicial e queda na TMA são os principais parâmetros econômicos que tornam a execução dos projetos viáveis. Portanto, as políticas públicas poderiam se direcionar nesse sentido, caso queiram tornar a execução dos projetos apresentados nesta pesquisa uma realidade mais expressiva.

Por outro lado, a diminuição do preço de energia elétrica, o aumento nos custos do investimento inicial e nos custos de operação tornaram a execução dos projetos mais inviáveis. Dentre estes parâmetros, o aumento nos custos de operação é o mais esperado ao longo dos próximos anos.

A diminuição do impacto no efeito estufa oriundo da poluição emitida pelas 22 granjas variou de 26,33 a 41,71%, podendo chegar a 66,90%, quando o projeto é analisado em todo o estado de Minas Gerais. Portanto, as granjas estudadas não representam em relação as emissões de gases de efeito estufa, em média a suinocultura do estado de Minas Gerais.

A energização com biogás por meio da geração distribuída, em todas granjas de suinocultura do estado que possuem viabilidade do investimento, podem gerar 327.157 kWh dia⁻¹, consumindo 309.938 m³ de biogás diariamente, que é o mesmo que uma usina de geração de 13,63 MW de potência instalada, trabalhando 24 horas por dia na sua capacidade máxima.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para continuação desta pesquisa são sugeridas as seguintes ações:

- Estudos das externalidades envolvidas nas análises econômicas e sociais, como:
 - i. Valor do não suprimento de energia para as granjas em casos de falta de fornecimento de energia elétrica pela concessionária de energia;
 - ii. Valor intrínseco da independência energética; e
 - iii. Valor da diminuição do impacto ambiental oriundo da emissão do metano nas granjas suinícolas.

- Estudo da possibilidade de desenvolvimento e implantação do Plano Nacional do Biogás, semelhante ao que foi feito no Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), para estimular o desenvolvimento de:
 - i. Produção de biogás de resíduos da produção animal e da produção vegetal, de resíduos sólidos urbanos e de resíduos da produção agroindustrial;
 - ii. Tecnologias que utilizam o biogás como combustível; e
 - iii. Formação de mão de obra qualificada.

- Estudos de tecnologias de biodigestão anaeróbica na construção de biodigestores, com os seguintes controles de:
 - i. Temperatura; e
 - ii. Agitação.

- Avaliação econômica e de sensibilidade:
 - i. Realizar análise da sensibilidade para diferentes vida útil dos equipamentos; e
 - ii. Determinar valores mínimos de VPL no horizonte de planejamento para que se considere o investimento atrativo para os suinocultores.

7. BIBLIOGRAFIA

- ANEEL. (1999). *Resolução Nº 44, de 17 março de 1999*. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL. (2000). *Condições gerais de fornecimento de energia elétrica*. Agência Nacional de Energia Elétrica.
- ANEEL. (2016). *Resolução normativa Nº 482 de 01 de março de 2016*.
- BEN. (2015). *Balanço energético nacional*. Ministério de Minas e Energia.
- BIG, B. d. (06 de 03 de 2015). (Agência Nacional de Energia Elétrica) Fonte: ANEEL:
<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>
- Cardoso, B. M. (2012). *Uso da biomassa como alternativa energética*. Rio de Janeiro - RJ: UFRJ.
- CEF. (2016). *Caixa Econômica Federal*. Acesso em 07 de 07 de 2016, disponível em www.caixa.gov.br
- CEMIG. (2016). (CEMIG) Acesso em 28 de 01 de 2016, disponível em www.cemig.com.br
- Cemig. (2016). *Norma Técnica ND 5.30, Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição Cemig D – Conexão em Baixa Tensão*. Belo Horizonte - MG: Cemig Distribuição.
- Cemig. (2016). *Norma Técnica ND 5.31 - Requisitos Para a Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao sistema de Distribuição Cemig – Conexão em Média Tensão*. Belo Horizonte: Cemig Distribuição.
- Cervi, R. G., Esperancini, M. S., & Bueno, O. C. (set./out. de 2010). Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. *Eng. Agrícola Jaboticabal*, 30(5), 831-844.
- Coldebella, A., Souza, S. N., Ferri, P., & Kolling, E. M. (2008). *Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando o biogás da suinocultura*. Informe Gepec – Vol. 12, nº2, pag 44-55.
- Costa, D. F. (2006). Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto de São Paulo. 194.
- Dieese. (2015). Comportamento das tarifas de energia elétrica no Brasil. *Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos*.

- Diesel, Miranda, & Perdomo. (agosto de 2002). Acesso em 21 de 05 de 2015, disponível em Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>
- Diesel, R., Miranda, C. R., & Perdomo, C. (agosto de 2002). *Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão*. Acesso em 21 de 05 de 2015, disponível em Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos: <http://docsagencia.cnptia.embrapa.br/suino/bipers/bipers14.pdf>
- Durães, F. O. (2008). Biocombustíveis: reais questões para a equação Brasil de desenvolvimento sustentável. *Revista de política agrícola*, 1, 129-134.
- EPA, U. E. (2002). *Swine Waste Electric Power and Heat Production Systems: Capstone MicroTurbine and Martin Machinery Internal Combustion Engine*. USEPA-GHG-QAP-22: SRI.
- Falcão, M. M., & Gusmão, C. C. (2008). *Produção de biogás em diferentes sistemas de criação*. Florianópolis - SC: UFSC.
- FAO. (2009). *Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação*.
- Ferrarez, A. H. (2009). *Análise da viabilidade do uso de biogás como fonte energética na cadeia produtiva de frango de corte na zona da mata de Minas Gerais*. Universidade Federal de Viçosa - UFV: Dissertação.
- Florentino, H. O. (2003). Mathematical tool to size rural digesters. *Scientia Agricola*, 60, 185-190.
- Garcia, S. K., & Aguiar, M. R. (2010). *Suinocultura em Minas Gerais - 2010*. Belo Horizonte - MG: Universidade Federal de Minas gerais - UFMG.
- Gaspar, R. M. (2003). *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR*. UFSC: Dissertação de mestrado.
- Goes, T., Araújo, M., & Marra, R. (2010). *Biodiesel e sua sustentabilidade*. Artigos técnicos EMBRAPA.
- Goldemberg, J. (2009). *Biomassa e Energia*. Química Nova.
- Gomes, T. M., & Raiher, A. P. (jul./dez. de 2013). *Economic feasibility of the treatment of swine manure in digesters: a case study*. Fortaleza: v. 19.
- Gonçalves, R. G., & Palmeira, E. M. (2006). Suinocultura Brasileira. *Revista acadêmica de economia*.
- IBGE. (2011). *Pesquisa pecuária municipal*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

- Kelman, J. (2008). *Atlas da energia elétrica no Brasil*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica.
- Klein, S., & Nellis, G. (2012). *Thermodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lamas, E. S. (2010). *Metodologia para avaliação de alternativas de fornecimento de energia elétrica para consumidores do grupo A*. Porto Alegre - RS: Dissertação apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da UFRS.
- Lottermann, V. L., & Toffolo, G. (2014). Desenvolvimento de um sistema de gestão da suinocultura - SOFTSUI.
- Marco, M. (2004). Circuitos elétricos . In: *Corrente contínua e corrente alternada* (pp. 177-179). Érica LTDA.
- Marconato, M. S., & Santini, G. A. (2008). *Alternativas para a geração de energia renovável no Brasil: A opção pela biomassa*. Rio Branco - Acre: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural.
- Marques. (2012). *Microgeração de energia elétrica em uma propriedade rural utilizando biogás com fonte primária de energia elétrica*. Cascavel - PR.
- Martins, F. M., & Oliveiras, P. A. (2011). Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. *Eng. Agrícola*, 31(n. 3), 477-486.
- Moser, M. A. (2003). *A dozen successful swine waste digesters*. RCM Digesters, Inc.
- Moura, J. P. (2012). Estudo do dimensionamento da produção de biogás a partir de resíduos residenciais, industriais e de matrizes suínas a partir de uma revisão de literatura. *Educação ambiental em ação*(38).
- Oliveira. (1993). *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. EMBRAPA - CNPSA.
- Oliveira. (2004). *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves: Programa Nacional do Meio Ambiente - PNMA II.
- Oliveira, D. G., Castro, A. R., & Domingues, E. G. (2006). *Using the modern financial theory to obtain the optimal levels of contract demand and predict payments of electrical energy invoice*.
- Oliveira; Higarashi. (2006). *Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos*. Concórdia - Santa Catarina.

- Pinto, R. O. (2006). *Avaliação da digestão anaeróbia na bioestabilização de resíduos orgânicos, lodos de tanques sépticos, dejetos suínos e lixiviado*. Florianópolis - SC: UFSC.
- Prati, L. (2010). *Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores*. Curitiba-PR: UFPR.
- Reis, E. F., Cunha, J. P., Mateus, D. L., & Delmond, J. G. (2013). Desempenho e emissões de um motor- gerador ciclo diesel sob diferentes concentrações de biodiesel de soja. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, 17(5), 565.
- Ritter, C. M., Santos, F. R., & Curti, S. (2013). Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. *Tópos*, 7(1), 32-40.
- Roya, B., Freitas, E., Barros, E., Andrade, F., Pragana, M., & Silva, D. J. (2011). *Biogás - uma energia limpa*. p. 142 - 149: Revista Eletrônica Novo Enfoque.
- Sacher, N., Paclijan, S. S., Gensch, R., & Spuhler, D. (2014). *Biogas Electricity. Sustainable Sanitation and Water management - SSWM*.
- Salomon, E. E. (2009). *Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil*. Biomass and Bioenergy.
- Santos, E. L., & Junior, G. N. (2013). *BIOGAS PRODUCTION FROM WASTE TO ANIMAL*. Botucatu - SP: Tecnologia em Agronegócio da Faculdade de Tecnologia de Botucatu-SP.
- SEAB . (2013). *Suinocultura - Análise da Conjuntura Agropecuária*. Paraná: Secretaria de estado da agricultura e do abastecimento.
- SEAB, S. d. (2013). *Suinocultura - Análise da Conjuntura Agropecuária*. DERAL - Departamento de Economia Rural.
- Silva, F. S. (2013). *Evaluation of surface emissions of gas from large landfills*. Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Souza, S. N. (2003). *Geração própria de energia elétrica com aproveitamento de biogás da suinocultura*. Goiânia - GO.
- USDA. (2013). United States Department of Agriculture.
- USDE. (2014). *2013 Renewable energy data book*. U.S. Department of energy.
- Westrup, G., Duarte, G. W., Alberton, J., Niehuesm, R. C., Rocha, D. A., & Vandresen, S. (2015). *Estuda da viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente de dejetos de suínos de*

uma propriedade rural em Forquilha - SC. *Ciência e Cidadania*, 1, 19-37.