

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS MEDIANEIRA
ESPECIALIZAÇÃO EM TECNOLOGIAS DA CADEIA PRODUTIVA DO BIOGÁS**

RODRIGO TOMASI

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR
DO BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES AGROPECUÁRIAS**

MONOGRAFIA

MEDIANEIRA

2019

RODRIGO TOMASI

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR
DO BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES AGROPECUÁRIAS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Profa. Dra. Cristiane Zeferino

MEDIANEIRA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA A PARTIR DO BIOGÁS EM PEQUENAS PROPRIEDADES AGROPECUÁRIAS

por

RODRIGO TOMASI

Esta Monografia foi apresentada em 03 de maio de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Cristiane Zeferino
Prof.(a) Orientador(a)

Laercio Mantovani Frare
Membro titular

Eduardo Eyng
Membro titular

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha esposa por apoiar e compreender os momentos ausentes, dedicados ao trabalho.

Aos professores pela troca de experiências e conteúdo relevante.

Aos meus colegas pelo auxílio.

À FAPESC, por acreditar no projeto Biogee e por promover a participação no presente curso de Especialização.

To be a rock and not to roll.
(Led Zeppelin, 1971)

RESUMO

TOMASI, Rodrigo. Análise técnica e econômica para geração distribuída a partir do biogás em pequenas propriedades agropecuárias. 2019. 26 páginas. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

O alto potencial poluidor dos dejetos de animais da atividade agropecuária pode ser minimizado com o uso de biodigestores anaeróbios, onde os dejetos são tratados de forma adequada e o biogás é gerado. A geração distribuída de energia é uma possibilidade de grande relevância para o uso do biogás e para o desenvolvimento rural, pois além de minimizar o impacto ambiental fortalece o setor com nova fonte de receita. Entretanto, o uso de biodigestores e a conversão do biogás em eletricidade ainda possui pouca adesão, pois a grande maioria das propriedades é de agricultura familiar e não há retorno do investimento. Nesse contexto este trabalho apresenta análise técnica e econômica do uso de grupos geradores a biogás e da viabilidade da geração distribuída em pequenas propriedades agropecuárias no estado de Santa Catarina. É feita uma estimativa para a capacidade de produção de biogás em uma faixa de 100 a 1100 suínos em UCT, e dado o volume de biogás disponível, são definidos três grupos geradores constituídos de motor a combustão ciclo Otto e geradores trifásicos, capazes de gerar 5,71, 6,70 e 11,10 kW de potência elétrica. A partir de balanços de massa e energia e da concentração de metano no biogás, é estimado o regime de operação do grupo gerador e o custo operacional mensal, levando-se em conta que toda energia gerada possa ser consumida em geração distribuída. A análise econômica é realizada considerando que o investimento seja financiado em 5 anos com juros de 4,6% a.a. Valores de VPL para 1100 animais estão na ordem de R\$ -26.000,00, R\$ -19.000,00 e R\$ -9.000,00 para os três grupos analisados, resultado que pode ser melhorado para R\$ 8.000,00, R\$ 15.000,00 e R\$ 24.000,00 caso haja redução nos custos operacionais e aumento da eficiência do grupo gerador. Isso requer escolha assertiva do motor a combustão bem como operá-lo com biogás de melhor qualidade. Aumentar a eficiência requer controle mais adequado da combustão, com sistemas eletrônicos especificamente desenvolvidos para biogás e integrados com o processo de biodigestão e geração de energia para que o motor opere em seu ponto ótimo.

Palavras-chave: Biogás. Geração distribuída. Suínos. Biodigestor. Valor presente líquido.

ABSTRACT

TOMASI, Rodrigo. Technical and economic analysis for distributed energy from biogas in small-scale livestock farms. 2019. 26 páginas. Monografia (Especialização em Tecnologias da Cadeia Produtiva do Biogás - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2019.

The pollutant potential of animal waste can be minimized with the use of anaerobic biodigesters, which deal with waste properly and generates biogas with potential to be used in several applications, including electric power generation. Distributed energy is a huge possibility for biogas applications and for development of rural areas, which provides a reduction on the environmental impact and strengthens the rural activity with a new product. However, the use of biodigesters and biogas conversion into electricity still has little adherence, since the great majority of farms are defined as family farming and investment cost is impracticable. In this scenario, this work presents a technical and economic analysis about biogas generator sets and the feasibility of distributed energy in small farms located in Santa Catarina State. A methodology is used to estimate the capacity of biogas production for a range from 100 to 1100 pigs in Growth and Termination Units. From this, three generator groups consisting of Otto cycle combustion engine and three-phase generators are defined, capable of generating 5.71, 6.70 and 11.10 kW of electric power. From the mass and energy balances and the methane concentration into biogas, the amount of daily operating hours of the generator set and the monthly operational cost are estimated. The economic analysis is performed by the Net Present Value (NPV), considering that the investment is financed in 5 years with interest of 4.6% p.a. VPL values were reached for the whole range of animals, which for 1100 pigs it is in the order of R\$ -26,000.00, R\$ -19,000.00 and R\$ -9,000.00 for the three groups, result which can be improved to R\$ 8,000.00, R\$ 15,000.00 and R\$ 24,000.00 in case if there is a significant reduction in operating costs and increasing efficiency of the generator set.

Keywords: Biogas. Distributed energy. Swine. Biodigester. Net present value.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
4	CONCLUSÃO.....	23
	REFERÊNCIAS.....	25

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável e a promoção da economia devem considerar os impactos que a geração de energia elétrica pode causar ao clima e à qualidade de vida em todo o planeta. Como alternativa à infraestrutura de rede elétrica convencional está o uso da geração distribuída (GD)¹ integrada à rede, que pode oferecer fornecimento de eletricidade a partir de energias renováveis disponíveis localmente.

O biogás produzido através da digestão anaeróbia de dejetos de animais da produção agropecuária, que são abundantes e presentes em grande parte das propriedades rurais, pode desempenhar um importante papel na geração de energia distribuída e no fortalecimento da matriz energética a partir de fontes renováveis.

É possível observar várias iniciativas do setor energético tanto para a GD quanto para o segmento do biogás, como o recente Marco Legal do Biogás em Santa Catarina (ALESC, 2018), a Política Estadual do Biogás no Paraná (ALEP, 2018) e o RenovaBio no âmbito nacional (CETESB, 2017). Tais iniciativas demonstram que há interesse em fomentar e utilizar o grande potencial da energia do biogás disponível e ainda pouco explorada.

Segundo dados do IBGE (2017), a grande maioria dos produtores agropecuários trabalha em pequenas propriedades rurais com atividades de agricultura familiar, onde a mão-de-obra é exercida principalmente pelos integrantes da família. Essa configuração representa 73% das propriedades rurais no Brasil, chegando a 81% nos estados da Região Sul, que concentram as maiores produções de suínos, aves e leite do país.

Esse cenário configura o tamanho reduzido das propriedades agropecuárias, que concentra grande volume de dejetos de animais em pequena área. Em termos da suinocultura, esta é caracterizada como uma atividade com grande impacto poluidor, pela produção de uma grande quantidade de resíduos com altas cargas de

¹ A geração distribuída está baseada nas resoluções 482/2012 e 687/2015 da Aneel (ANEEL, 2016).

matéria orgânica, metais pesados, sedimentos, nutrientes, hormônios, patógenos e antibióticos (KUNZ, HIGARASHI e DE OLIVEIRA, 2005).

O objetivo deste trabalho é analisar aspectos econômicos e tecnológicos para diferentes combinações de grupos geradores aplicados à GD em pequenas propriedades agropecuárias. Será apresentado um estudo de viabilidade para integrar a utilização de biodigestores com a conversão do biogás em energia elétrica possível de ser inserida na rede através da GD, utilizando o sistema de compensação em rede trifásica e as taxas praticadas pela concessionária do Estado de Santa Catarina.

Embora seja um estudo de potencial teórico, são apresentadas diferentes configurações de potência de grupos geradores, que podem ser utilizados em projetos de GD dada a sua viabilidade técnica e custo reduzido. A partir desses aspectos pode-se buscar uma solução integrada de gerenciamento e controle dos dois processos - biodigestão e conversão - na mesma cadeia de geração de energia aplicada à produção em pequena escala.

Toda a análise está baseada em estimativas de produção de biogás em função do plantel de suínos em Unidades de Crescimento e Terminação (UCT). Utiliza-se de alguns métodos e ferramentas da literatura, tal como a metodologia de Chen (1983) e Mito (2018) para estimativa de produção do biogás, e o Valor Presente Líquido (VPL) para a determinação de viabilidade na implantação de soluções em GD com biogás.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A estimativa de volume de biogás é obtida através do método descrito por Chen (1983), que é focado na determinação do potencial teórico de metano em função da quantidade de dejetos disponível, e portanto, do número de animais. A metodologia aborda parâmetros importantes como os sólidos voláteis e a capacidade máxima de produção de biogás pelo dejetos, e tem sido muito utilizada para estimar o potencial teórico de produção de biogás (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006).

Nas Equações(0), (2), (3) e (4) são apresentadas as variáveis para o cálculo da produção de metano pela metodologia de Chen (1983).

$$PdM = \frac{B_0 * SV}{TRH} * \left(1 - \frac{k}{TRH * \mu m - 1 + k} \right) \quad (0)$$

$$k = 0,5 + 0,0043 * e^{0,051 * SV} \quad (2)$$

$$\mu m = 0,013 * T - 0,0129 \quad (3)$$

$$PM = PdM * V_{bd} \quad (4)$$

onde:

PdM	$[m^3_{CH_4} / m^3_{bd} / dia]$	produtividade do metano
B_0	$[m^3_{CH_4} / kg_{SV}]$	taxa máxima de produção de metano
SV	$[g_{SV} / L]$	concentração de sólidos voláteis
TRH	$[dias]$	tempo de retenção hidráulica
k	$[adimensional]$	coeficiente cinético
μm	$[/dia]$	taxa de crescimento específico dos microrganismos
T	$[^{\circ}C]$	temperatura
V_{bd}	$[m^3]$	volume do biodigestor
PM	$[m^3/dia]$	produção diária de metano

O volume do biodigestor (V_{bd}) é calculado em função do Tempo de Retenção Hidráulica, TRH ($dias$) e do volume de dejetos gerados por dia V_d (m^3/dia), de acordo com a Equação (5).

$$V_{bd} = TRH * V_d \quad (5)$$

Neste trabalho, o volume de dejetos por animal é adotado da metodologia denominada BiogásFert, descrita por Mito et al. (2018), de onde se obtém também os parâmetros qualitativos para SV e B_0 , dados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros para cálculo de potencial de produção de metano, para suínos em UCT (MITO et al., 2018)

SV (g _{SV} /L)	B_0 (m ³ _{CH₄} /kg _{SV})	Dejetos (L/animal/dia)
35,38	0,32	7,00

Fonte: Autoria própria

Portanto, para um determinado grupo de animais, obtém-se o volume de biogás teórico que será gerado por dia. Por meio do volume de biogás é possível determinar a quantidade de O_2 (e de ar) necessária para que a queima do metano no interior do cilindro do motor a combustão seja completa (estequiometria). A reação de combustão do metano é dada pela Equação (6).



Será considerado que o biogás (combustível) é composto apenas² por CH_4 e CO_2 e que o ar (oxigênio atuando como comburente) é composto por 21% de O_2 e 79% de N_2 . Através do balanço de massas é possível obter a relação necessária de ar para que a combustão do biogás seja completa, dado o volume constante da câmara de combustão. A estequiometria acontece quando a mistura real é igual à mistura estequiométrica (mistura completa, razão 1 ou $\lambda=1$). A relação ar/combustível, AFR (*Air-Fuel Ratio*), é dada pela razão entre a massa de ar e a massa de combustível (ou seus volumes) utilizada na queima.

Como o biogás é composto por um percentual de gás combustível (% de CH_4), a AFR possui diferentes valores em função da proporção de metano na mistura, cuja relação é apresentada na Figura 1. Essa relação é obtida pelo balanço mássico considerando-se a massa molar (*g/mol*) dos componentes que compõe o ar (O_2 e N_2) e o biogás (CH_4 e CO_2) e 20% de excesso de ar, em condições normais de temperatura e pressão³ (CNTP), admitindo-se que o biogás se comporte como um

² Outros constituintes como o sulfeto de hidrogênio e vapor d'água serão omitidos, embora influenciem na reação de combustão.

³ Para temperatura de 0°C e pressão de 1 atm.

gás ideal. A relação ar/biogás é volumétrica na curva em azul (Nm^3_{ar}/Nm^3_{bg}) e mássica na curva em laranja (kg_{ar}/kg_{bg}).

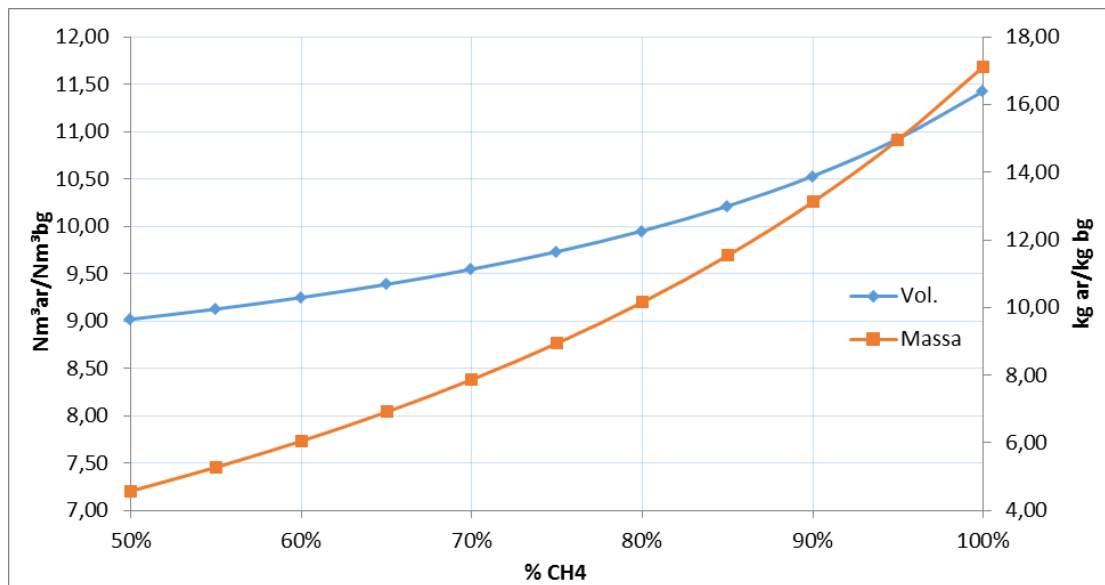


Figura 1. AFR mássico e volumétrico em função da concentração de metano no biogás.

Fonte: Autoria própria

Através da reação de combustão do metano, dada pela Equação (6), é possível obter a energia térmica (E , em kJ/h) disponível em cada cenário, que é função da queima do metano no motor a combustão. Para tal, utiliza-se o Poder Calorífico Inferior (PCI) do metano, que é $49990 kJ/kg$ ($33960 kJ/Nm^3$) (JOSÉ, 2004) e a vazão mássica de biogás (Q_{bio} , em m^3/h), de acordo com a Equação (7). Embora o PCI utilizado seja para o metano, deve-se adequá-lo ao percentual de CH_4 que constitui o biogás.

$$E = Q_{bio} * PCI \quad (7)$$

A energia térmica E é a energia total disponível ao motor a combustão. Dada sua eficiência de conversão da potência fornecida pelo combustível para potência efetivamente disponível no eixo, é possível obter então a potência elétrica capaz de ser gerada a partir de determinado número de animais. Neste trabalho, considera-se que a conversão de um motor do ciclo Otto a gasolina para biogás gera uma perda de 50% na eficiência original, sendo este valor o pior caso para conversão (ROSSETTO, 2014), (BARRETO, 2016), (COLLE, 2018).

Para a análise econômica utilizou-se o Valor Presente Líquido (VPL), adotando-se como base um investimento realizando via financiamento no programa Pronaf, com juros de 4,6% a.a., sem carência e duração de 5 anos. O VPL é calculado de acordo com a Equação (8), dado em função das receitas anuais (R_e),

da taxa de juros (i) considerada e do período de financiamento (n) em anos (SAMANEZ, 2014).

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{R_e}{(1+i)^t} \quad (8)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da metodologia descrita no Capítulo 2 é possível avaliar a viabilidade de implantação de sistemas de geração de energia considerando-se diferentes plantéis de suínos em UCT, com amostras a partir de 100 até 1100 animais. Para a estimativa de produção de biogás e da respectiva energia disponível para cada conjunto de animais, considerou-se TRH de 22 dias e temperatura de operação do biodigestor a 35 °C (temperatura mesofílica).

Na Tabela 2 são apresentados os parâmetros calculados pela metodologia Chen (1983) e que representa a estimativa de produção de biogás em função do número de animais, considerando-se que o biogás possui 65% de metano em sua composição.

Tabela 2. Parâmetros de produção de biogás, calculados pela metodologia Chen (1983) e em função do número de animais

Animais	V_d (L/dia)	V_{bd} (m³)	PM (Nm³CH₄/dia)	V_{bg} (Nm³/dia)
100	700	15,40	7,27	11,19
300	2100	46,20	21,82	33,57
500	3500	77,00	36,36	55,94
700	4900	107,80	50,91	78,32
900	6300	138,60	65,46	100,70
1100	7700	169,40	80,00	123,08

Fonte: Autoria própria

Os grupos geradores foram escolhidos através de pesquisa de mercado, onde a energia disponível pelo biogás é a base para a da faixa de potência do motor a combustão, para então ser definido o gerador elétrico. A definição da faixa de potência ocorreu em função da estimativa de produção de biogás que está atrelado ao número de animais. As configurações mais condizentes e suas principais características, que atendem ao projeto de geração de energia, são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos grupos geradores

Grupo Gerador	Potência (kW)	Consumo (Nm³/h)	Custo (R\$)
Biogee1	5,71	6,46	26.700,00
Biogee2	6,70	7,09	28.700,00
Biogee3	11,10	11,25	33.400,00

Fonte: Autoria própria

Todos os casos utilizam motores estacionários do ciclo Otto projetados para operar com gasolina. Os grupos Biogee1 e Biogee2 utilizam geradores Weg de 8 kW e motor a combustão de 12 kW. O grupo Biogee3 utiliza gerador Weg 12 kW e motor de 16 kW (BUFFALO, 2018), (WEG, 2018). Os valores foram cotados no mercado nacional para consumidor final.

O custo apresentado na Tabela 3 representa o grupo gerador completo, com motor, gerador, bateria, adaptações e ligação com a rede elétrica. Não são incluídos valores de biodigestor bem como projeto elétrico e alvenaria, sendo, portanto, uma análise apenas do grupo e equipamento para a conexão em GD. A partir destes conjuntos de geradores é possível obter uma previsão de consumo de biogás, por quantas horas diárias o grupo pode operar e a potência elétrica gerada ao mês, dado o plantel de animais, como mostram a Figura 2 e a Figura 3.

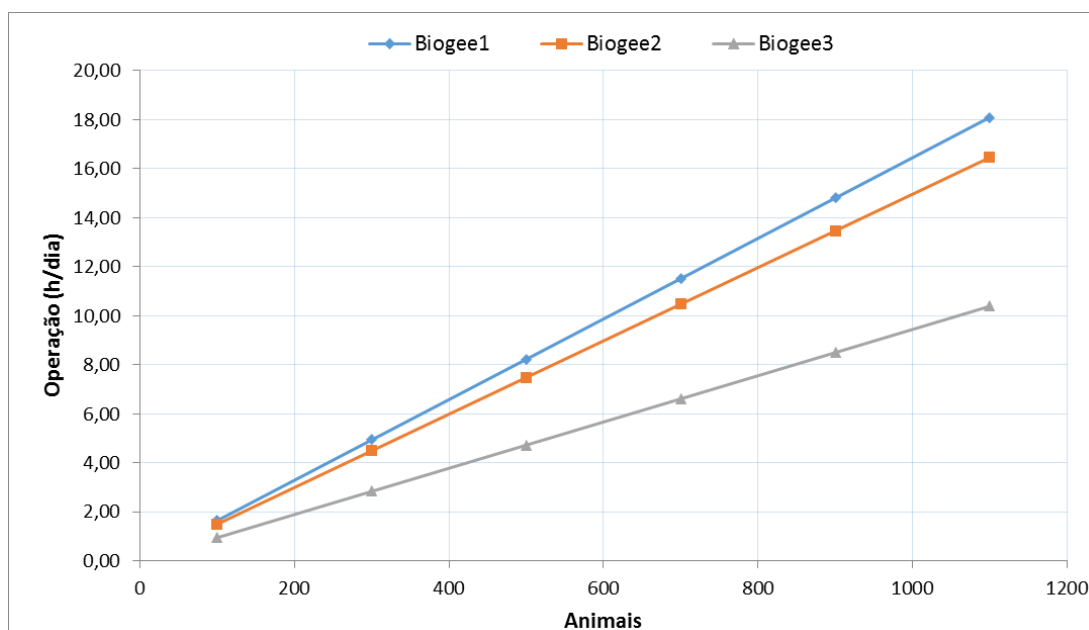


Figura 2. Estimativa para período de operação nos diferentes grupos geradores.

Fonte: Autoria própria

Pela Figura 2 é possível ver que o tempo de operação de cada grupo (em *h/dia*) é distinto, considerando-se o volume de biogás necessário para a mistura estequiométrica e pela estimativa de consumo de biogás pelo motor a combustão. Para 1100 animais o grupo Biogee3 consegue operar por 10 horas, valor que sobe para acima das 17 horas diárias com o grupo Biogee1. Este dado será importante

para a posterior análise econômica, pois o período de operação está diretamente ligado com os custos de manutenção dos equipamentos.

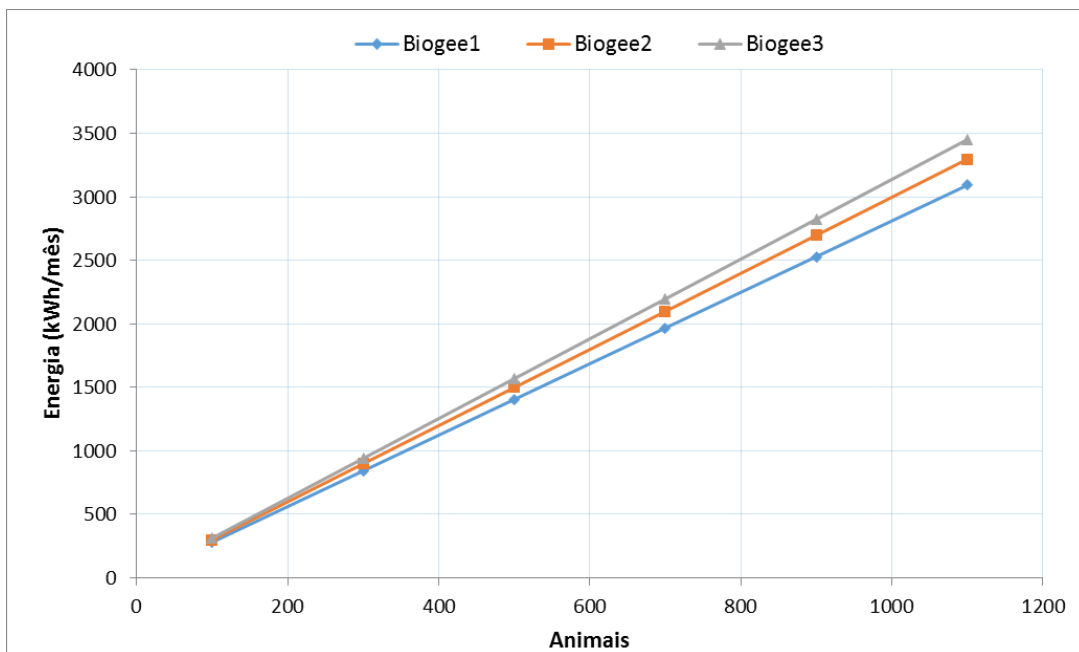


Figura 3. Estimativa para a energia elétrica possível de ser gerada mensalmente com os diferentes grupos geradores.

Fonte: Autoria própria

Os dados mostrados na Figura 3 demonstram que a geração de energia (em $kWh/mês$) em função do número de animais é bastante similar nos três grupos comparados. Portanto, a receita em função da GD será muito similar em todas as configurações, o que demonstra que os custos com a compra dos equipamentos e com a manutenção dos mesmos serão decisivos para a viabilidade do projeto. Deste modo qualquer uma das configurações de grupos geradores em estudo irá gerar praticamente a mesma energia, porém com períodos de operação diferentes (Figura 2).

O período de operação diária para cada conjunto, apresentado na Figura 2, é obtido pela estimativa de consumo de biogás pelo motor a combustão (em Nm^3/h), dado na Figura 4. A redução no percentual de CH_4 faz com que o motor a combustão tenha maior consumo de biogás devido a maior necessidade de CH_4 para manter a mistura estequiométrica, considerando-se a AFR apresentada na Figura 1 em relação ao percentual de CH_4 no biogás. Para os três grupos da Figura 4 considera-se o consumo em 3600 rotações por minuto (rpm).

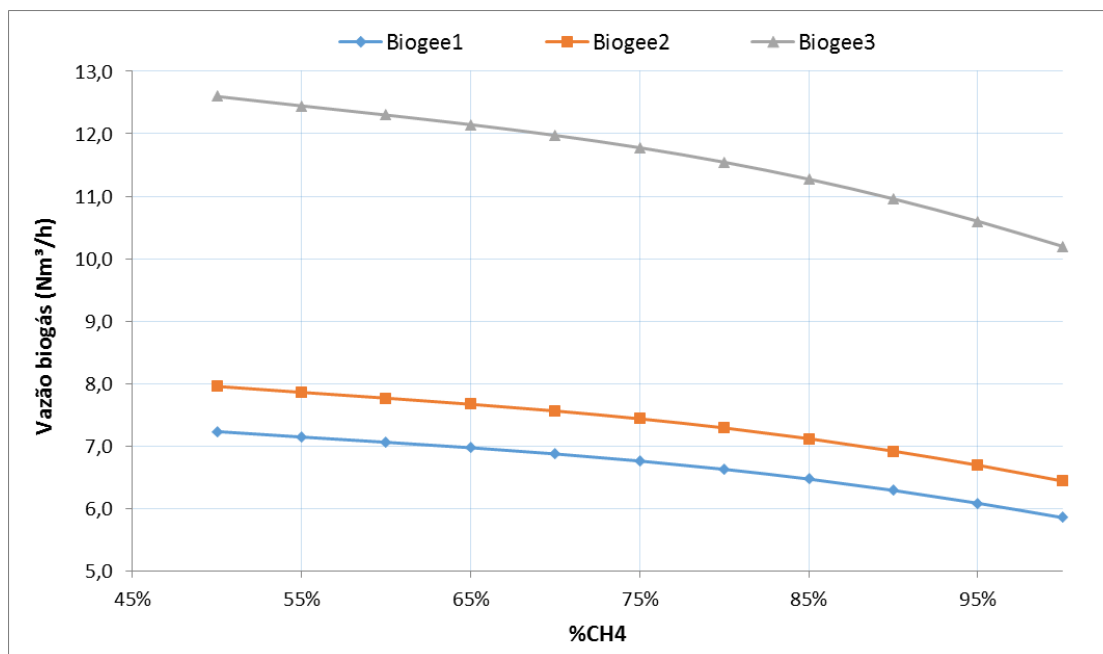


Figura 4. Vazão de biogás para as diferentes configurações de grupos geradores, a 3600 rpm.

Fonte: Autoria própria

Embora se possa avaliar o desempenho dos grupos geradores em toda a faixa de rotação, adotou-se 3600 rpm por representar o regime de maior potência para todos os grupos. Em termos de concentração de metano no biogás, os resultados de viabilidade que seguem consideram concentração de 65%, por representar o percentual médio de metano comum de ser encontrado em biodigestores alimentados por dejetos de suínos (MITO *et al.*, 2018).

Para o levantamento da viabilidade foi considerado que a energia produzida pela instalação seja suficiente para abater o consumo mensal médio (kWh/mês), em área rural com instalação trifásica, tributada de acordo com as taxas praticadas pela Celesc em SC e o sistema de compensação de energia em GD. Essa seria a condição ideal, que pode ser conseguida com o sistema de compensação de créditos em outra instalação caso a energia gerada for maior que o consumo no local da GD.

Com a economia de energia pela GD e a partir das parcelas anuais dadas pelo financiamento da instalação, faz-se um balanço de receitas com os custos associados à manutenção da instalação (Opex), tendo assim uma perspectiva de viabilidade econômica a partir do VPL. O Opex é apresentado na Tabela 4 em relação ao número de animais, que é função do período diário em que o grupo opera dada a disponibilidade de biogás.

Tabela 4. Opex (R\$/mês) calculado em função do número de animais

Animais	100	300	500	700	900	1100
Biogee1 (R\$/mês)	95,48	286,45	477,41	668,38	859,35	1050,31
Biogee2 (R\$/mês)	86,89	260,67	434,45	608,23	782,01	955,79
Biogee3 (R\$/mês)	67,35	202,06	336,77	471,48	606,19	740,89

Fonte: Autoria própria

A Figura 5 mostra o VPL (em R\$) em função do número de animais, para o caso original de análise do motor a combustão onde se considerou perda de 50% de eficiência na conversão gasolina/biogás e 65% de concentração de CH₄. Nota-se que, para o investimento inicial nas três configurações adotadas, o VPL é negativo. Para o caso Biogee3 há uma taxa de crescimento no VPL para um número maior de animais, e chega a ser positivo acima dos 2000 suínos.

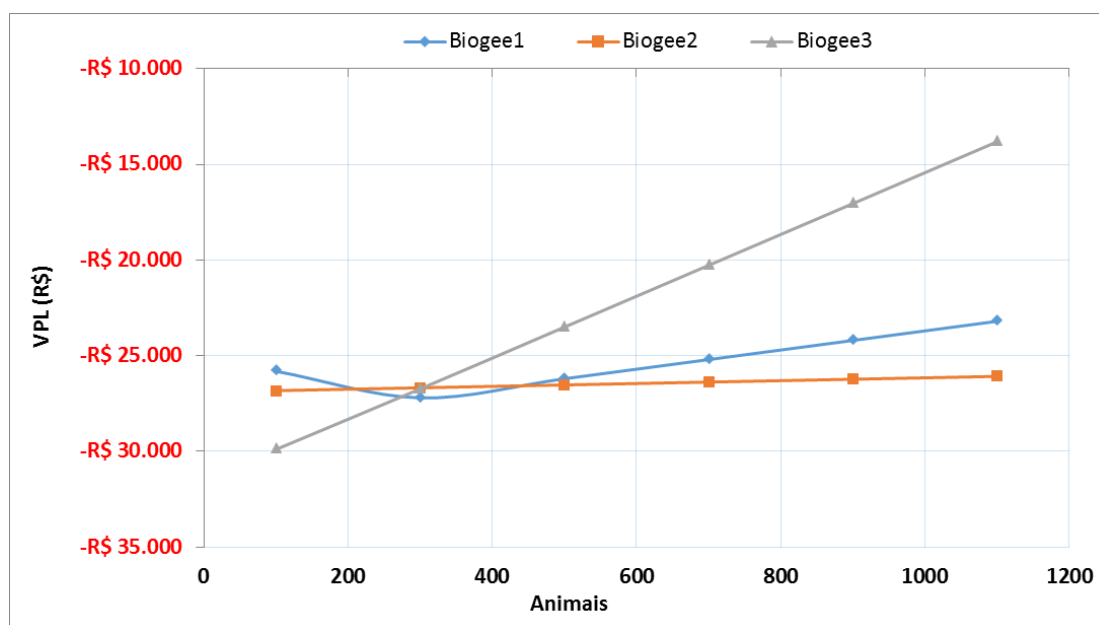


Figura 5. VPL em função do número de animais.

Fonte: Autoria própria

O VPL com taxa negativa para o grupo Biogee1 é função de um Opex muito elevado se comparado à potência disponível, que acaba reduzindo de forma efetiva a receita mensal. O oposto se observa para o grupo Biogee3, que embora seja negativo, apresenta taxa positiva quando o número de animais aumenta, comportamento relacionado à maior potência que o mesmo pode gerar. O grupo Biogee2 apresentou comportamento de VPL praticamente constante.

Se o Opex puder ser reduzido, há significativas mudanças no valor do VPL, pois os créditos obtidos com a geração distribuída têm maior representatividade perante o investimento. Na Figura 6 é mostrada uma perspectiva de VPL caso o

Opex seja reduzido em 15% e na Figura 7 o VPL caso o Opex seja reduzido em 30%, que permite uma avaliação da instalação caso houver reduções de custos com manutenção.

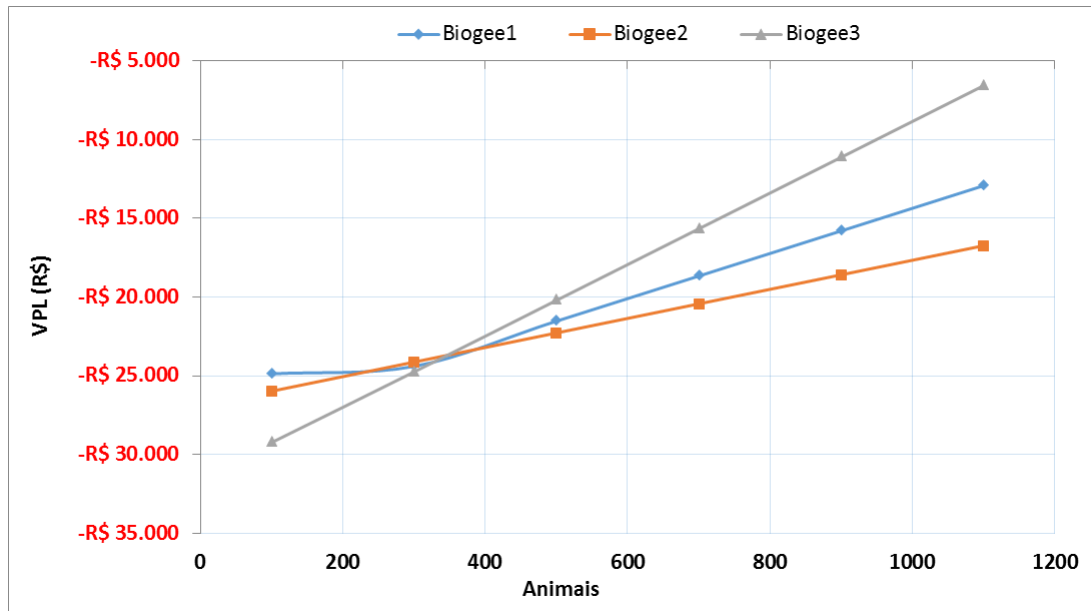


Figura 6. VPL em função do número de animais, considerando redução de 15% no Opex original.

Fonte: Autoria própria

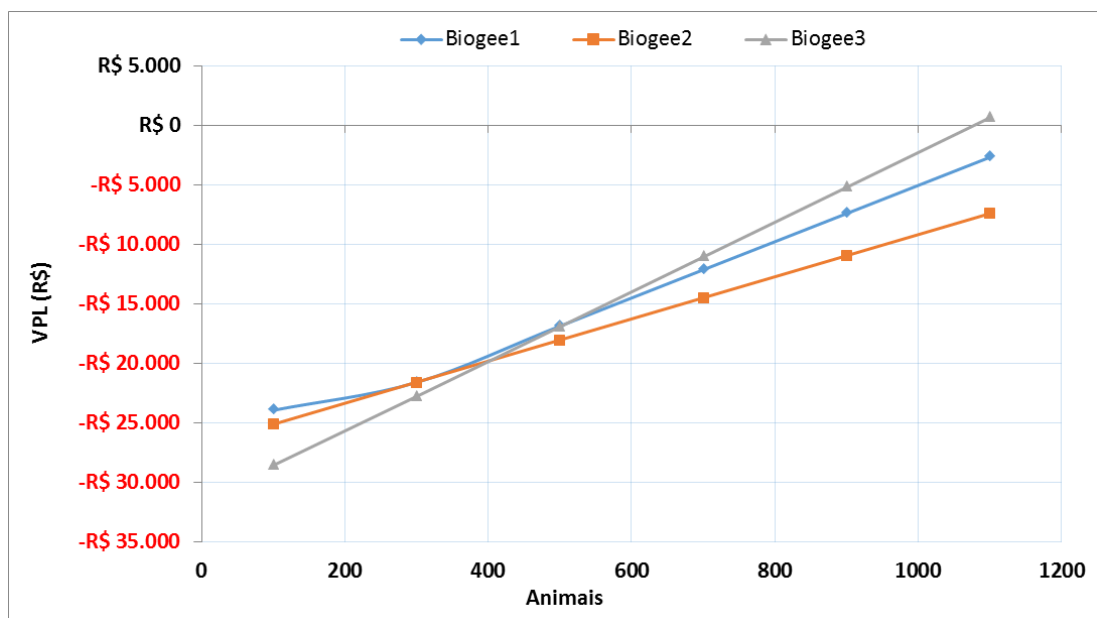


Figura 7. VPL em função do número de animais, considerando redução 30% no Opex original.

Fonte: Autoria própria

A redução do Opex em 15% (Figura 6) causa ligeira variação no VPL, enquanto 30% de redução (Figura 7) proporciona ganhos mais efetivos no VPL. Isso

é observado nos três grupos (Biogee1, Biogee2 e Biogee3), que se comparado com o caso original (Figura 5), é mais e acentuado quanto maior for o número de animais. Mesmo com a maior redução no Opex o VPL não é positivo para a faixa de animais e para os grupos geradores analisados, demonstrando que não basta apenas ter um sistema de geração com menor manutenção e custos associados.

No entanto, cabe destacar que outros motores podem ser mais adequados e que o custo de manutenções viabilize a instalação. Por outro lado, mesmo que os tempos especificados para trocas de óleo, filtros e revisão periódica aumentem, o com isso reduz o Opex, dificilmente o VPL será positivo para essa faixa de potência.

Um fator relevante é a estratégia de controle aplicada ao motor a combustão, que pode ser capaz de tornar a operação com biogás mais eficiente. Injeções eletrônicas otimizadas para biogás não são encontradas no mercado, apenas adaptações de injeções comerciais originalmente desenvolvidas para gasolina ou etanol (sistema *flex*). Com isso, o uso mais eficiente do motor a combustão pode representar maior receita com o mesmo volume de biogás, aumentando a capacidade de geração da instalação, caso uma unidade de controle seja especificamente desenvolvida para biogás.

Para os grupos geradores identificados, foram realizadas análises em termos de eficiência de conversão gasolina/biogás, que originalmente foi considerada com perda na ordem de 50%. Caso essa conversão consiga manter potência a uma ordem de até 30% da potência original, para as mesmas condições de rotação, o novo VLP apresenta resultados melhores que os observados até então. A Figura 8 e a Figura 9 mostram essa relação.

A Figura 8 mostra que o VPL tende a ser positivo caso a conversão gasolina/biogás tenha apenas 30% de perdas se comparado com a condição da literatura que aponta que as perdas são da ordem de 50%. Isso demonstra que o desenvolvimento de uma estratégia de controle para biogás, que garanta uma melhor condição de queima e conseqüente aumento de eficiência pode ser representativa para a viabilidade de projetos. Essa condição é melhorada se combinada a ela houver também redução no Opex, como mostra a Figura 9.

Pela Figura 9 é possível verificar que a combinação de um sistema mais eficiente e um motor com menor custo de manutenção apresenta bons resultados em termos de VPL se comparado ao caso inicial (Figura 5). Deve-se destacar que a

obtenção de tais valores visa apontar uma possível viabilidade e quando ela ocorre, não representando, portanto, que há atualmente solução que represente tal cenário.

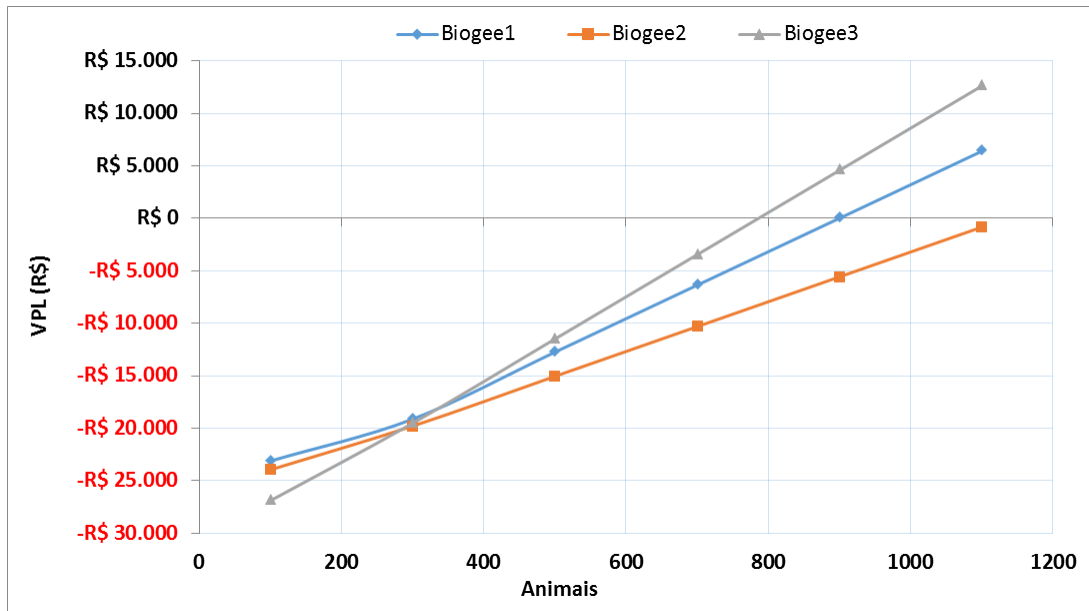


Figura 8. VPL em função do número de animais, considerando 30% de perdas na conversão gasolina/biogás e com o Opex original.

Fonte: Autoria própria

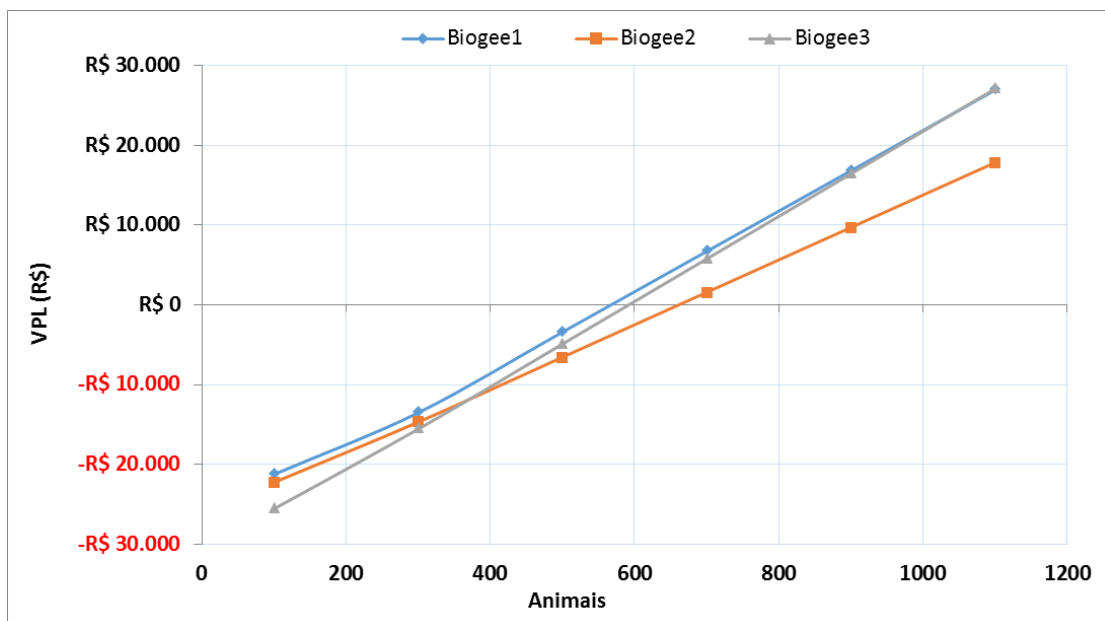


Figura 9. VPL em função do número de animais, considerando 30% de perdas na conversão gasolina/biogás e com o Opex reduzido em 30%.

Fonte: Autoria própria

4 CONCLUSÃO

A problemática ambiental associada aos dejetos é atualmente um desafio para os pequenos produtores, uma vez que a relação de custos torna a implantação de tecnologias inviável ao setor produtivo, por conta da inviabilidade em projetos maiores e falta de opções compatíveis com as necessidades. Isso se torna uma grande dificuldade na mitigação dos impactos ambientais e alternativas ao tratamento dos dejetos, que por outro lado denota importante área para pesquisa e desenvolvimento.

Os resultados obtidos com os grupos geradores e respectivos VLP para cada conjunto de animais demonstram que não há viabilidade em utilizar motores a combustão do ciclo Otto de baixa potência para geração de energia elétrica em pequenas UCT de suínos sem reduzir os custos com Opex. Isso pois o custo mensal para manter o motor a combustão é alto se comparado à potência gerada.

Melhores condições de trabalho para o motor a combustão ou mesmo a escolha de um motor que requer menor manutenção, reduzindo o Opex, pode viabilizar a instalação do sistema de conversão energética. Porém, no mercado nacional são poucas as opções de motores compatíveis com a potência da instalação e que poderiam ser aplicados em projetos de biogás.

A viabilidade econômica tende a ser vantajosa quando há maior eficiência na conversão da operação a gasolina para biogás. Constatou-se que não há viabilidade caso haja 50% de perdas na eficiência de conversão, apontando que o sistema passa a ter VPL positivo caso essa perda esteja na ordem de 30%. O melhor quadro é observado quando há aumento de eficiência atrelado à redução no Opex. Essa condição pode ser conseguida caso haja aumento na concentração de CH₄ no biogás, consequência de melhores condições de operação do biodigestor e aplicação de sistemas de filtros e purificação.

Para a sequência de animais analisada não há viabilidade em utilizar um grupo gerador, pois a geração de energia não é superior aos custos com o financiamento somado aos gastos com manutenção, reduzindo muito o VPL. Esse fato ocorre independente do consumo mensal de energia, abatido na própria instalação ou mesmo com compensação do excedente em outro local.

A faixa de animais considerada possui potencial para geração elétrica, porém é necessário tecnologias adequadas e mais eficientes. Isso requer o desenvolvimento de soluções mais elaboradas e otimizadas para a pequena produção, pois a utilização de geração de energia para GD mostrou-se dependente da tecnologia de controle do motor a combustão para aumentar sua eficiência com biogás, e nos custos associados à manutenção para reduzir o Opex.

REFERÊNCIAS

ALEP. **Assembléia Legislativa do Paraná**, 2018. Disponível em: <<http://portal.alep.pr.gov.br/index.php/pesquisa-legislativa/proposicao?idProposicao=80546>>. Acesso em: Janeiro 2019.

ALESC. **Assembléia Legislativa de Santa Catarina**, 2018. Disponível em: <<http://www.alesc.sc.gov.br/legislativo/tramitacao-de-materia/PL./0026.0/2018>>. Acesso em: Dezembro 2018.

ANEEL. **Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2. ed. Brasília: Aneel, 2016.

BARRETO, V. V. **Análise De Desempenho E Emissões De Um Motor Gerador Operando Com Biogás**. Rio de Janeiro: Curso de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, UFRJ, 2016.

BUFFALO. **Buffalo Motores**, 2018. Disponível em: <<http://www.buffalo.com.br>>. Acesso em: Novembro 2018.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**, 2017. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/2017/12/27/brasil-institui-politica-nacional-dos-biocombustiveis-renovabio/>>. Acesso em: Novembro 2018.

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

COLLE, D. **Avaliação de desempenho energético de um gerador elétrico operando no modo dual, utilizando biogás e blendas de biodiesel de óleo residual de fritura**. Cascavel: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Ceso Agropecuário 2017**. Disponível em: <<https://censos.ibge.gov.br/agro/2017>>. Acesso em: Fevereiro 2019.

JOSÉ, H. J. **Combustão e Combustíveis: Apostila de Química Tecnológica Geral**. Florianópolis: Universidade de Santa Catarina, 2004.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; DE OLIVEIRA, P. A. **Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil**. [S.l.]: Cadernos de Ciência & Tecnologia, v. 22, 2005.

MITO, J. Y. D. L. et al. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018.

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

ROSSETTO, C. **Desempenho de motor-gerador de ciclo otto operado com gasolina e biogás proveniente de suinocultura e de uma estação de tratamento de esgotos**. Cascavel: Dissertação de Mestrado, Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura, UNIOESTE, 2014.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia econômica**. São Paulos: Pearson, 2014.

WEG. **Catálogo de Geradores WEG**, 2018. Disponível em: <<https://www.weg.net>>. Acesso em: Novembro 2018.