

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ANGELO PEREIRA NUNES

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS DE SUINOCULTURA**

ARARANGUÁ

2017

ANGELO PEREIRA NUNES

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE ENERGIA

Trabalho de conclusão de curso na modalidade de artigo científico para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Araranguá

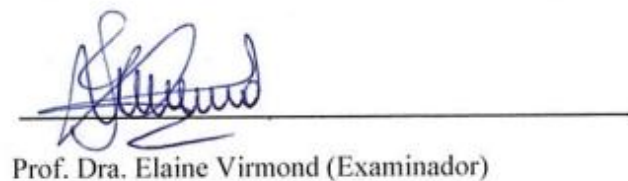
Aprovado em: 06/07/2017



Prof. Prof. Dr. Leonardo Elizeire Bremermann (Orientador)



Prof. Dr. Luciano Lopes Pfitscher (Examinador)



Prof. Dra. Elaine Virmond (Examinador)

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOGÁS DE SUINOCULTURA

Angelo Pereira Nunes¹

RESUMO

Este trabalho aborda o dimensionamento e simulação econômica de projetos de geração de energia a partir de biogás de suinocultura. O estudo foi feito com dados de duas propriedades rurais localizadas em Santa Catarina, a primeira localizada na cidade de Jaguaruna (nº1) e a segunda na cidade de Grão Pará (nº2). O dimensionamento dos equipamentos foi realizado a partir da literatura e de dados fornecidos pelos fabricantes dos mesmos. A simulação econômica foi feita com auxílio do *software excel* e os indicadores econômicos utilizados foram Fluxo de caixa descontado (FCD), Valor presente líquido (VPL) e Taxa interna de retorno (TIR). Para os dois casos de estudo foram analisados dois cenários um de investimento com capital próprio e outro com investimento de capital financiado com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Para a propriedade nº1 a análise econômica apresentou TIR igual a 13% para capital próprio e TIR igual a 149% para capital financiado. A análise econômica da propriedade nº2 apresentou inviabilidade de investimento com TIR negativa para investimento com capital próprio e financiado. Também foi feito um cenário hipotético de geração de energia com comercialização de energia excedente a 0,3R\$/kWh e para a propriedade (nº1) o investimento fica melhor e para a propriedade (nº2) o resultado da análise mostrou que o projeto é inviável. Os resultados obtidos mostram que geração de energia a partir de biogás de suinocultura para o porte das propriedades de estudo só é viável economicamente para propriedades que já tenham um biodigestor instalado, em função do alto custo do mesmo.

Palavras Chave: Biogás. Energia. Análise econômica.

¹ Graduando do curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3201, Jardim das Avenidas, Santa Catarina, Brasil, CEP 88905-355. E-mail: angeelonunes@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Segundo alguns especialistas, o biogás é o combustível do futuro, principalmente devido à fácil obtenção a partir da biodigestão anaeróbia de matéria orgânica e por ser utilizado como fonte de metano em todas as regiões do planeta. Sendo o biogás um combustível versátil, ou seja, não necessita de grandes unidades de geração e complexos sistemas de transporte, pode ser gerado de forma descentralizada e próximo ao consumo. A suinocultura é um modo de produção agropecuária de grande potencial de biogás, pois gera grande volume de biomassa denominado dejetos (fezes e urina) devido à alta concentração de animais por metro quadrado.

Por conta da poluição causada pela suinocultura a Fundação do Meio Ambiente (FATMA) com o intuito de proteger os corpos d'água e lençóis freáticos exige que os dejetos sejam depositados em grandes recipientes (como uma piscina) a céu aberto por cerca de 120 dias para que seja possível distribuir o mesmo na lavoura. A exigência ambiental acaba proporcionando custo e má qualidade de vida ao produtor, uma vez que, os dejetos mantidos a céu aberto emanam mau cheiro e contribuem para a multiplicação de insetos.

Uma forma de valoração do dejetos suíno, solução para o impacto ambiental e aumento da qualidade de vida do produtor é a utilização de biodigestores para a produção de biogás e biofertilizante. O biogás pode ser utilizado para aquecimento e geração de energia elétrica e o biofertilizante pode ser utilizado para reduzir ou até mesmo substituir o uso de adubos químicos na lavoura dependendo do tipo de cultura cultivada.

Atualmente a implantação de projetos de tratamento de dejetos e geração de energia têm financiamento total através do plano de agricultura de baixo carbono (ABC) do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). Além disso, existem diversas tecnologias no mercado para a biodigestão do dejetos suíno e geração de energia elétrica a partir de biogás.

A partir desse pressuposto o presente trabalho tem como objetivo fazer uma avaliação técnica e econômica de dois projetos de geração de energia elétrica a partir do dejetos suíno em Santa Catarina. É importante destacar que este trabalho não irá abordar com muito detalhes os conceitos de biodigestão e gestão territorial, devido a muitos trabalhos já divulgados sobre os mesmos.

Espera-se que este trabalho contribua para a análise crítica de empreendimentos de geração de energia a partir de biogás e sirva de base para a tomada de decisão sobre a viabilidade do investimento em geração de energia elétrica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O principal método de tratamento e valorização do dejetos suíno é a biodigestão por meio do biodigestor e, como resultado, obtém-se biogás e biofertilizante. A seguir serão descritas as etapas e subprodutos da biodigestão anaeróbia.

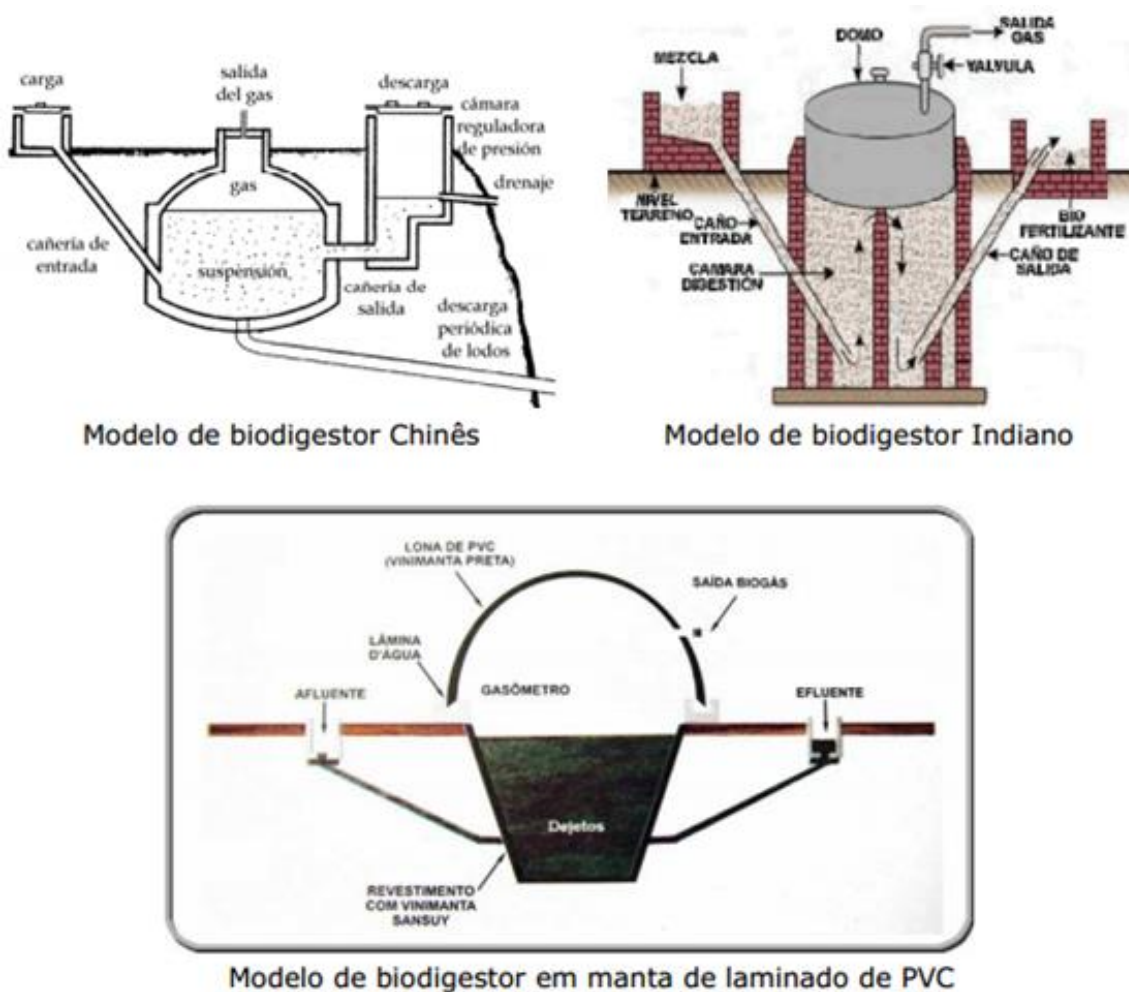
2.1 Biodigestor

O biodigestor é o melhor equipamento para tratamento do dejetos suíno, pois permite a agregação de valor ao dejetos, estabilizando a matéria orgânica, produzindo biogás que pode ser aproveitado para geração de energia e biofertilizante que pode ser utilizado para substituir o adubo químico nas lavouras (MACEDO, 2013).

De acordo com Barreira (2011) o biodigestor é um dispositivo de engenharia onde se tem, basicamente, uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada e o biogás resultante é canalizado para ser empregado para os mais diversos fins. Segundo Bley júnior (2014) os biodigestores são grandes recipientes dimensionados especialmente para digerir biomassas de diferentes origens, como efluentes industriais, dejetos animais, resíduos sólidos orgânicos de diversas origens, que, livres na natureza, representam sérios impactos ambientais, tanto em relação à poluição hídrica como atmosférica.

Os tipos de biodigestores mais encontrados na literatura são Indiano, Chinês, por Batelada e o biodigestor em manta de laminado de PVC (FERRERA et al, 2009). A Figura 1, mostra a representação dos principais modelos de biodigestores.

Figura 1- Representação dos principais modelos de biodigestores. Fonte (OLIVERA et.al, 2008) adaptado.

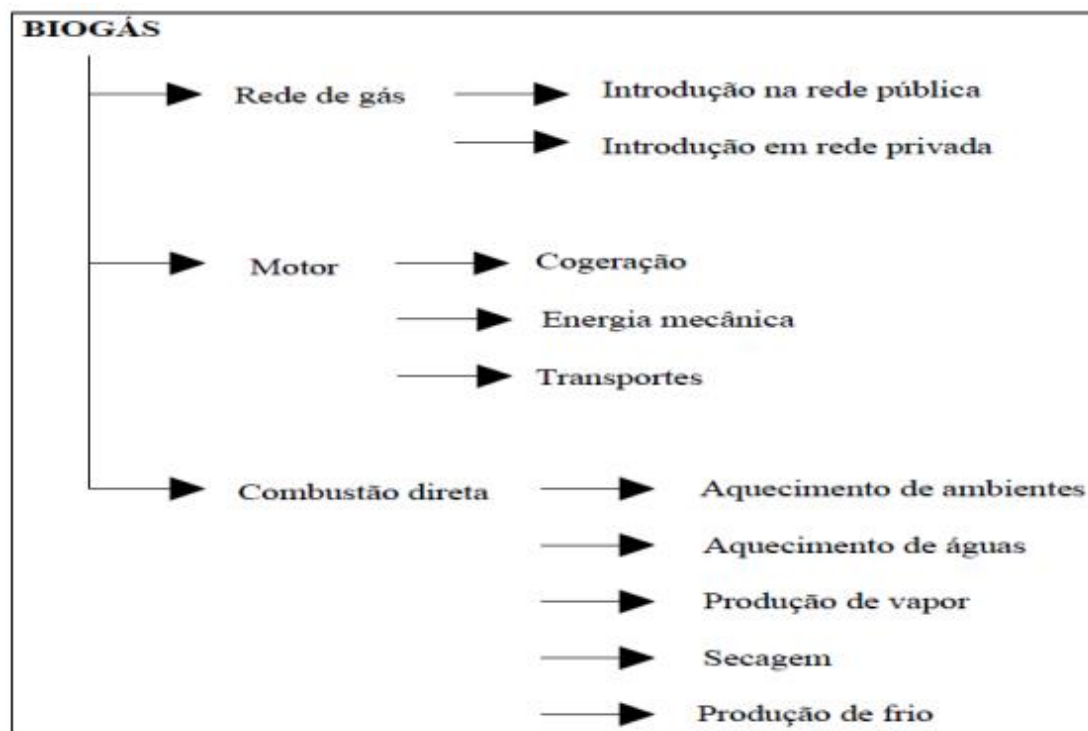


2.2 Biogás

O biogás é um gás resultante da fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, de resíduos vegetais, lixo industrial ou residencial em condições adequadas. O biogás é obtido de misturas com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em metano, enquanto os 35 ou 40% restantes consistem, principalmente, em gás carbônico e quantidades menores de outros gases, (COLDEBELLA, 2006) (SANTOS, 2013).

O biogás é um combustível gasoso com conteúdo energético semelhante ao gás natural. Obtido através da ação de determinadas espécies de bactérias e pode ser utilizado para diversas aplicações (Figura 2), (FLORES, 2014).

Figura 2 – Opções de utilização do biogás. Fonte (FLORES, 2014, adaptado)



Na Tabela 1, observa-se a capacidade de produção de biogás, assim como a concentração de metano, por espécie animal. Nota-se que dejetos suínos apresentam melhor rendimento de metano por tonelada de matéria seca de dejetos (SANTOS, 2013).

Tabela 1 – Expectativa de produção de biogás por tipo de biomassa.

Biomassa Utilizada (Dejetos)	Produção de Biogás (a partir do material seco $m^3.t^{-1}$)	Percentual de gás metano Produzido
Bovinos	270	55%
Suínos	560	50%
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50%
Aves	285	Variável

Fonte (SANTOS, 2013, adaptado).

O poder calorífico do biogás diretamente relacionado com a quantidade de metano existente na mistura pode atingir de 5.000 a $6.000 \text{ kcal}/m^3$, mas pode ser melhorado pela retirada do CO_2 , chegando a valores de $12.000 \text{ kcal}/m^3$ (FALCÃO, 2008). A Tabela 2 mostra a equivalência energética de um metro cúbico de biogás.

Tabela 2 – Equivalência energética do biogás.

Energético	FERRAZ E MARIEL (1980)	SGANZERLA (1983)	NOGUEIRA (1986)	COLDEBELLA (2006)
Gasolina [L]	0,610	0,613	0,610	-
Querosene [L]	0,580	0,579	0,620	-
Diesel [L]	0,550	0,553	0,550	-
Álcool [L]	-	0,790	0,800	-
Carvão M. [kg]	-	0,735	0,740	-
Lenha [kg]	-	1,538	3,5	-
Eletricidade [kWh]	1,43	1,428	-	0,67

Fonte (SANTOS, 2013, adaptado).

O aproveitamento do biogás gerado a partir de resíduos de suinocultura mostra-se uma alternativa energética atraente, pois permite diminuir significativamente os custos operacionais agroindustriais. Estima-se que a cada m³ de dejetos de suínos ou biomassa pode-se gerar de 0,35 a 0,60 m³ de biogás (SERAFIM, 2012) (RITTER, 2013).

De acordo com Ritter (2013), o potencial de biogás em Santa Catarina adotando um valor médio de 0,50 m³ de biogás gerado por suíno, conforme Tabela 3.

Tabela 3- Potencial de geração de biogás (m³/dia) em Santa Catarina.

Ano	1º trim. (m³/dia)	2º trim. (m³/dia)	3º trim. (m³/dia)	4º trim. (m³/dia)	Média Diária ao longo do ano (m³/dia)
2006	5756,5	5436,6	5996,1	5975,1	5791,1
2007	6086,9	5943,1	6239,6	6185,8	6113,8

Fonte (RITTER, 2013, adaptado).

2.3 Biofertilizante

Após a produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o interior do biodigestor sob a forma líquida, rica em material orgânico (húmus), com grande poder de fertilização, o mesmo aplicado ao solo, melhora as qualidades físicas, químicas e biológicas deste. O biofertilizante resultante da estabilização da matéria orgânica por via anaeróbia possui ainda um alto potencial agrônômico com capacidade de reduzir parcial ou totalmente a adubação química (GASPAR, 2003) (MACEDO, 2013).

Ao contrário de outros tipos de adubos, o biofertilizante pode ser aplicado diretamente no solo, em forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais (SGANZERLA, 1983). De acordo com Gaspar (2003) além dessas características inestimáveis, que aumentam muito a produtividade das lavouras, deve-se frisar ainda que o biofertilizante já se encontra completamente "curado", na expressão do campo, pois não sendo passível de nova fermentação, não apresenta odor, com isso, não atrai moscas ou outros insetos.

A composição do biofertilizante varia de acordo com a biomassa utilizada, porém, análises têm mostrado os resultados médios na Tabela 4.

Tabela 4- Composição do biofertilizante

Composição	Quantidade [%]
pH	7,50
Matéria orgânica	85,00
Nitrogênio	1,80
Fósforo	1,60
Potássio	1,00

Fonte: (SGANZERLA, 1983, adaptado).

2.4 Energia do biogás

A conversão energética de biogás em energia elétrica pode ser realizada de diversas formas devido aos atuais avanços tecnológicos. As tecnologias mais utilizadas são as microturbinas a gás e os motores de combustão interna de ciclo Otto (PRATI, 2010). A utilização de microturbinas ainda apresenta custos elevados e o seu tempo de vida útil operando com biogás ainda é baixo (SOUZA et al, 2004).

Segundo Prati (2010) os motores de combustão interna de ciclo Otto necessitam de pequenas modificações para poderem utilizar o biogás como combustível. Porém, os motores de ciclo Otto não são os mais indicados para geração de eletricidade. O mais apropriado é o motor de ciclo Diesel, pela sua maior robustez e menor custo para uma mesma potência comparada ao de ciclo Otto.

A introdução de biogás em motores de ciclo Diesel pode ser obtida mediante duas tecnologias: a ottolização e a conversão bicomcombustível diesel/gás (PEREIRA, 2005).

De acordo com Prati (2010) na ottolização, grandes modificações nos motores são necessárias. Todo o sistema de injeção de Diesel é retirado e, em seu lugar, instala-se um

sistema de carburação do gás ao ar de admissão e o sistema elétrico com velas para a ignição, que passa a ser feita por centelha. Também são necessárias modificações nos cabeçotes dos motores para a adequação de sua taxa de compressão, já que motores do ciclo Otto trabalham com taxas de compressão inferiores aos motores Diesel. Na operação bicom bustível (diesel e biogás) em motores de ciclo Diesel, o gás é introduzido juntamente com o ar na fase de admissão e a ignição é efetuada por uma pequena injeção-piloto de diesel para proporcionar a ignição por compressão, dando início à combustão do gás que é admitido no cilindro pelo coletor de admissão.

2.5 Programas e incentivos de financiamento de projetos de tratamento de dejetos

De acordo com a Embrapa (2016), o Brasil foi um dos países que sempre se mostrou sensível a esta questão, valorizando ações no âmbito nacional e internacional que propiciassem a mitigação das negativas consequências, pois, entende que existem elementos suficientes para concretização de mudanças do clima oriunda das atividades humanas, o que leva a preocupações em torno da qualidade de vida de toda a população. No caso específico da agricultura, o Brasil estruturou o Plano ABC, oficialmente denominado "Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura", que é um dos planos setoriais estabelecidos em conformidade com a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) como parte da estratégia do Estado Brasileiro na mitigação da emissão de GEE e no combate ao aquecimento global.

Segundo Brasil (2016) um dos principais objetivos do plano ABC é ampliar o uso de tecnologias para tratamento de 4,4 milhões de m³ de dejetos de animais para geração de energia e produção de composto orgânico.

2.6 Análise de viabilidade econômica do projeto

A avaliação financeira de um projeto tem por objetivo investigar as fontes de geração de valor dos investimentos realizados (DAMODARAN, 1999). A literatura financeira assevera que todas as decisões de investimento devem ser pautadas na premissa de criação de riqueza (valor) aos investidores e partes interessadas, para tanto, os investimentos são aceitos à medida que o retorno marginal de cada unidade monetária empregada é maior que o seu custo de captação (MONTORO, 2013).

Segundo Damodaran (1999) o Fluxo de Caixa Descontado (FCD) é um dos métodos de análise mais utilizados pelos analistas financeiros, pois relaciona o valor de um ativo ao valor presente dos fluxos de caixa futuros esperados relativos aquele ativo. A taxa de desconto será uma função do risco estimado do fluxo de caixa, com maiores taxas para projetos envolvendo maiores riscos e menores taxas para projetos com menor volatilidade de resultados.

O Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR) são as técnicas tradicionais de avaliação de um investimento a partir do (FCD), outras possibilidades podem ser alcançadas como o Índice de Lucratividade e o *Payback* Descontado (MONTORO, 2013).

O VPL é utilizado para calcular a soma atualizada dos lucros ao longo do período de planejamento do projeto. Esse parâmetro pode ser calculado através da Equação 1, onde “ C_0 ” representa o capital necessário para o investimento inicial (R\$), “ R_t ” é a receita anual (R\$), “ C_t ” é o desembolso anual (R\$), “ r ” é a taxa de juros anual (%) e “ T ” é o horizonte de planejamento do projeto (anos) (MARTINS, 2011).

$$VPL = -C_0 + \frac{R_1 - C_1}{1+r} + \frac{R_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{R_T - C_T}{(1+r)^T} \quad (1)$$

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de juros que torna nulo o valor presente de um fluxo de caixa. Reportando-nos a um fluxo de caixa genérico com uma saída inicial SC_0 e uma sucessão de entradas de caixa $PMT_1, PMT_2, \dots, PMT_n$ (PUCCINI, 2011). A TIR é representada na equação 2 pela incógnita “ i ” (%), as variáveis “ PMT_n ” indicam as entradas (R\$) e “ SC_0 ” é a saída inicial de capital (R\$).

$$0 = \frac{PMT_1}{(1+i)^1} + \frac{PMT_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{PMT_n}{(1+i)^n} - SC_0 \quad (2)$$

3 METODOLOGIA

A metodologia descreve os parâmetros utilizados para a modelagem econômica de um projeto de geração de energia elétrica a partir de biogás de suinocultura.

3.1 Obtenção dos dados das propriedades de estudo

Os dados utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho foram obtidos com os proprietários das propriedades. Os tipos de criação e número de animais foram

obtidos por meio de entrevista e o histórico de consumo foi feito a partir de faturas de energia de cada propriedade

3.2 Dimensionamento do biodigestor

O modelo de biodigestor utilizado neste trabalho é o canadense e o dimensionamento do mesmo foi feito em função do tempo de retenção hidráulica (TRH) que é o tempo que a matéria orgânica permanece dentro do biodigestor, ou seja, um volume de dejetos entra no biodigestor e fica dentro do mesmo por um número de dias até que saia digerido e estabilizado para a utilização como biofertilizante. O TRH é um termo difundido na literatura, tem um tempo mínimo de 30 dias e é estabelecido este tempo mínimo para que se tenha a garantia que o biofertilizante que irá sair do biodigestor esteja estabilizado e pronto para ser aplicado na lavoura.

A partir do TRH, do volume de dejetos gerados por animal por dia e do número de animais é possível determinar o volume do biodigestor. A Tabela 5 mostra o volume diário de dejetos por animal por dia.

Tabela 5 – Volume de dejetos líquidos de suínos por dia em função do tipo de criação suína.

Modelos de sistemas de produção de suínos	Massa suínos (kg)	Volume de dejetos (L/animal/dia)
Ciclo completo (CC)		47,1
Unidade de produção de leitões (UPL)		22,8
Unidade de produção de desmamados (UPD)		16,2
Crechários (CR)	6 - 28	2,3
Unidade de terminação (UT)	23 - 120	4,5

Fonte: (FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE, 2014)

O volume do biodigestor modelo canadense é calculado por meio de equação empírica multiplicando-se o TRH por V_d (volume de dejetos por animal por dia) por N (número de animais). O volume do biodigestor (V_{bio}) é obtido pela Equação 3.

$$V_{bio} = TRH * V_d * N \quad (3)$$

Na prática a partir do cálculo do volume do V_{bio} é possível orçar o investimento necessário para a implantação de um biodigestor diretamente com empresas que constroem o mesmo.

3.3 Dimensionamento do gerador

O dimensionamento do gerador é feito a partir da geração de biogás por animal por dia. Segundo Falcão (2008) a geração de biogás é de 0,1431 a 0,2400 m³ por animal por dia. Com o potencial de geração de biogás calculado é possível dimensionar o gerador de energia elétrica em função do consumo de gás do mesmo por hora que é disponível nos catálogos de detalhes técnicos dos fabricantes de geradores a biogás.

O gerador deve ser escolhido de modo que o gerador opere o máximo de tempo possível por dia, a fim de, extrair o maior rendimento possível do equipamento. Os fabricantes de gerador movido a biogás como combustível fornecem catálogos com informações similares a Tabela 6.

Tabela 6 – Características de catálogos de fabricantes de geradores movidos a biogás.

Características de combustível e geração de energia de geradores a biogás					
		Consumo combustível			
Modelo Gerador	Geração contínua (24h)	Biogás 65% CH ₄	Biogás 75% CH ₄	GNV/ Biometano	Syngas
GMWM30	20kWh	14 m ³ /h	12 m ³ /h	9 m ³ /h	23 m ³ /h
GMWM50	32kWh	20 m ³ /h	17 m ³ /h	13 m ³ /h	33 m ³ /h
GMWM80	55kWh	34 m ³ /h	29 m ³ /h	22 m ³ /h	55 m ³ /h

3.4 Pressupostos utilizados para o desenvolvimento do trabalho

O dimensionamento do biodigestor em função do TRH descrito na seção 3.2 da metodologia foi feito para obtenção de orçamento do biodigestor para a propriedade nº2 conforme a legislação vigente da FATMA. Para o gerador o procedimento foi feito adotando-se uma estimativa de geração de biogás de 0,15 m³ por animal por dia para o inverno e 0,20 m³ por animal por dia para o verão para estimar a quantidade de biogás disponível por dia.

Com a disponibilidade de biogás e o histórico de consumo de cada propriedade foi dimensionado o gerador de modo que suprisse todo o consumo anual de energia elétrica e que possibilitasse expansão de geração de energia para as propriedades. Foi admitido que o gerador opera no máximo 8000 horas por ano que é correspondente as horas disponíveis no ano menos as horas de manutenção que o equipamento necessita. Para saber quantas

horas o gerador opera por dia foi dividido o consumo anual de energia pela potência do gerador para obter a quantidades de horas de operação por ano e dividido por doze e por trinta respectivamente para obter o tempo de operação diário. Para os dois dimensionamentos de gerador foi considerado que o biogás tem 65% de metano em sua composição e que na realidade a disponibilidade de gás será de apenas 50% de biogás calculado por meio do potencial teórico mencionado na seção 3.3 da metodologia.

Também foi adotado que toda a biomassa disponível por tipo de criação animal entra no biodigestor e gera biogás e biofertilizante. Para a modelagem econômica das propriedades foram considerados que os custos de casa de máquinas, geradores e painéis elétricos já contemplam todos os custos de transmissão de gás do biodigestor até o gerador, assim como, o filtro para remoção de H_2S , condutores elétricos até a rede elétrica e os valores referentes a mão de obra.

As análises econômicas foram feitas a partir da construção de fluxo de caixa simples a partir dos rendimentos e custos ajustados conforme a inflação, valor médio obtido dos dados de inflação anual de 2010-2017 que é igual a 6,4% aa, para cada período (ano). Após o fluxo de caixa simples foi feito o fluxo de caixa descontado para a obtenção do VPL, TIR e gráfico de fluxo de caixa descontando acumulado para se obter de forma visual o *payback* de cada forma de investimento.

Para a modelagem econômica do primeiro cenário para cada propriedade foi considerado uma TMA de 10,25% aa, que é a taxa de juros básicos da econômica (SELIC), para o caso de utilização de capital próprio para realização do empreendimento para a comparação a investimento de renda fixa. O segundo cenário de investimento com capital financiado com BNDES foi feito o fluxo de caixa com os custos da linha de crédito de 8,5% aa obtidos no *site* do banco e os valores referentes a cada período foram ajustados com a inflação aa para saber o ganho real do empreendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão detalhados os casos de estudo nas duas propriedades de criação de suínos e os resultados obtidos no presente trabalho.

4.1 Descrição das propriedades de estudo

Na descrição das propriedades serão abordadas as características das propriedades, bem como, a geração de biogás, dimensionamento necessário do biodigestor, investimento para geração de energia a partir de biogás, os parâmetros utilizados na análise econômica e os resultados obtidos.

4.1.1 Propriedade 1

A primeira propriedade de estudo fica localizada na cidade de Jaguaruna no estado de Santa Catarina com latitude e longitude de -28,6 graus e -49,0 graus. O tipo de criação de suínos da propriedade é terminação que consiste da engorda do animal iniciando com cerca de 25 kg e finalizando com cerca de 100 kg e em média permanecem nos galpões da propriedade cerca de 4000 suínos. A Figura 3 mostra a localização geográfica da propriedade nº 1.

Figura 3- Localização geográfica da propriedade de estudo nº 1.



A propriedade já tem um biodigestor do modelo canadense instalado com volume útil de 1000 m³ e produção de biogás média de 600 m³/dia no inverno e 900 m³/dia no verão. Como já existe um biodigestor na propriedade é necessário apenas dimensionar um

gerador de energia. A Tabela 7 mostra o histórico de consumo de energia elétrica da propriedade nº1.

Tabela 7- Histórico de consumo propriedade nº1.

Mês	Energia [kWh]
Janeiro	12.364
Fevereiro	10.319
Março	5.635
Abril	10.359
Mai	15.378
Junho	21.695
Julho	13.618
Agosto	18.391
Setembro	14.271
Outubro	16.177
Novembro	14.855
Dezembro	11.281
Total	164.343

O gerador foi dimensionado para atender o consumo de energia anual mostrado na Tabela 7 e a potência do mesmo é 50 kVA / 32 kW. A partir do catalogo do fornecedor de gerador foi obtido o consumo de 20 m³/hora de biogás o que necessita de tempo de geração diário de 14,5 horas totalizando 5220 horas por ano para atender a demanda requerida. É importante ressaltar que o gerador tem uma margem de segurança em função das 24 horas do dia e do menor potencial estimado de 600 m³ de biogás no inverno de 9,5 horas de geração por dia, o que, possibilita um crescimento no consumo de energia na propriedade de 65,5%.

Para a análise de viabilidade econômica da propriedade nº 1 foram utilizados os valores de investimento dos equipamentos descritos na Tabela 8.

Tabela 8- Investimento necessário para projeto de geração de energia para a propriedade 1.

Serviço/ Equipamento	Investimento	
Gerador	R\$	139.917,00
Projeto elétrico e painéis de conexão à rede elétrica	R\$	78.700,00
Casa de máquinas	R\$	75.000,00
Total	R\$	293.617,00

4.1.1 Propriedade 2

A segunda propriedade de estudo fica localizada na cidade de Grão Pará no estado de Santa Catarina com latitude e longitude de -28,2 graus e -49,2 graus. A Figura 4 mostra a localização geográfica da propriedade nº 2. O tipo de criação desta propriedade é ciclo completo que consiste em todas as fases de produção suína desde o nascimento até a engorda, quando o animal atinge cerca de 100 kg e em média permanecem nos galpões da propriedade cerca de 6500 suínos.

Figura 4- Localização geográfica da propriedade de estudo nº 2.



Conforme descrito na seção de dimensionamento de biodigestor presente na metodologia o volume do biodigestor modelo canadense para a propriedade 2 é de 9200 m³. O potencial de biogás foi estimado utilizando geração de biogás de 0,15 m³/animal/dia

para o inverno e 0,2 m³/animal/dia no verão o que produz 975 e 1300 m³/dia de biogás, respectivamente. A Tabela 9 mostra o histórico de consumo de energia elétrica da propriedade nº2.

Tabela 9- Histórico de consumo propriedade nº2.

Mês	Energia [kWh]
Janeiro	16.383
Fevereiro	13.149
Março	19.599
Abril	16.146
Mai	15.253
Junho	16.176
Julho	15.558
Agosto	22.946
Setembro	16.588
Outubro	15.570
Novembro	15.889
Dezembro	17.311
Total	200.568

Assim como para a propriedade nº1 o gerador foi dimensionado para atender o consumo de energia anual da propriedade. A potência do gerador é 50 kVA / 32 kW, consome de 20 Nm³/hora de biogás e necessita de tempo de geração diário de 18 horas totalizando 6480 horas por ano. É importante ressaltar que o gerador tem uma margem de segurança em função das 24 horas do dia e do menor potencial estimado de 975 m³ de biogás no inverno de 6 horas de geração por dia, o que, possibilita um crescimento no consumo de energia na propriedade de 33%.

Para a análise de viabilidade econômica da propriedade nº 2 foram utilizados os valores de investimento dos equipamentos descritos na Tabela 10.

Tabela 10- Investimento necessário para projeto de geração de energia para a propriedade 2.

Serviço/ Equipamento	Investimento	
Biodigestor	R\$	250.000,00
Gerador	R\$	139.917,00
Projeto elétrico e painéis de conexão à rede elétrica	R\$	78.700,00
Casa de máquinas	R\$	75.000,00
Total	R\$	573.097,00

4.2 Análise de viabilidade econômica

Nesta seção serão detalhadas as análises de viabilidade econômica dos projetos de geração de energia para cada caso de estudo. Para os dois casos de estudo foram modeladas propostas de investimento com cenário de utilização de capital próprio e com financiamento do BNDES a partir do programa ABC.

4.2.1 Análise econômica do projeto de geração de energia da propriedade 1.

Conforme descrito na metodologia e com o auxílio do *software Excel* foram modelados fluxo de caixa (FC) e fluxo de caixa descontado (FCD) para calcular o Valor presente líquido (VPL) e o tempo de retorno do investimento (*Payback*). A Tabela 11 mostra os parâmetros utilizados para a construção do fluxo de caixa da propriedade nº1.

Tabela 11 – Parâmetros utilizados para construção do fluxo de caixa da propriedade nº1.

Descrição	Valor
Investimento inicial	R\$ 293.617,00
Economia anual em energia	R\$ 74.710,14
Custo troca anual de óleo do gerador	R\$ 5.500,00
Retifica do gerador a cada 25000 horas de operação	R\$ 40.000,00
Juros ao ano SELIC	10,25%
Juros ao ano financiamento BNDES	8,50%
Inflação média últimos anos (2010 – 2017)	6,40%

Na elaboração do fluxo de caixa os valores foram transportados para o futuro de acordo com o período (ano) utilizando a taxa média de inflação para a correção dos valores. A Tabela 12 mostra o fluxo de caixa do projeto de geração de energia da propriedade nº1.

Tabela 12- Fluxo de caixa do projeto de geração de energia da propriedade nº1.

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 293.617,00
1	R\$ 73.639,59
2	R\$ 78.352,52
3	R\$ 83.367,08
4	R\$ 88.702,58
5	R\$ 39.832,89
6	R\$ 100.419,83
7	R\$ 106.846,70
8	R\$ 47.980,71
9	R\$ 120.960,72
10	R\$ 128.702,21

A partir do fluxo de caixa descrito na Tabela 12 foi possível fazer os FCDs para investimento com utilização de capital próprio com uma taxa mínima de atratividade (TMA) igual a 10,25% aa que corresponde a taxa básica de juros da economia (SELIC) e investimento com utilização de financiamento do BNDES com custo de capital de 8,5% aa. Para a elaboração do FCD com financiamento com o BNDES também foi utilizado os valores de pagamento de parcelas de juros e amortização para cada ano obtidos no site do BNDES através da ferramenta de simulação de financiamento. A Tabela 13 mostra o FCD com utilização de capital próprio de investimento para a propriedade nº1.

A Tabela 13- FCD com utilização de capital próprio de investimento para a propriedade nº1.

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 293.617,00
1	R\$ 66.793,28
2	R\$ 64.460,81
3	R\$ 62.209,80
4	R\$ 60.037,40
5	R\$ 24.453,94
6	R\$ 55.917,52
7	R\$ 53.964,85
8	R\$ 21.980,52
9	R\$ 50.261,68
10	R\$ 48.506,51

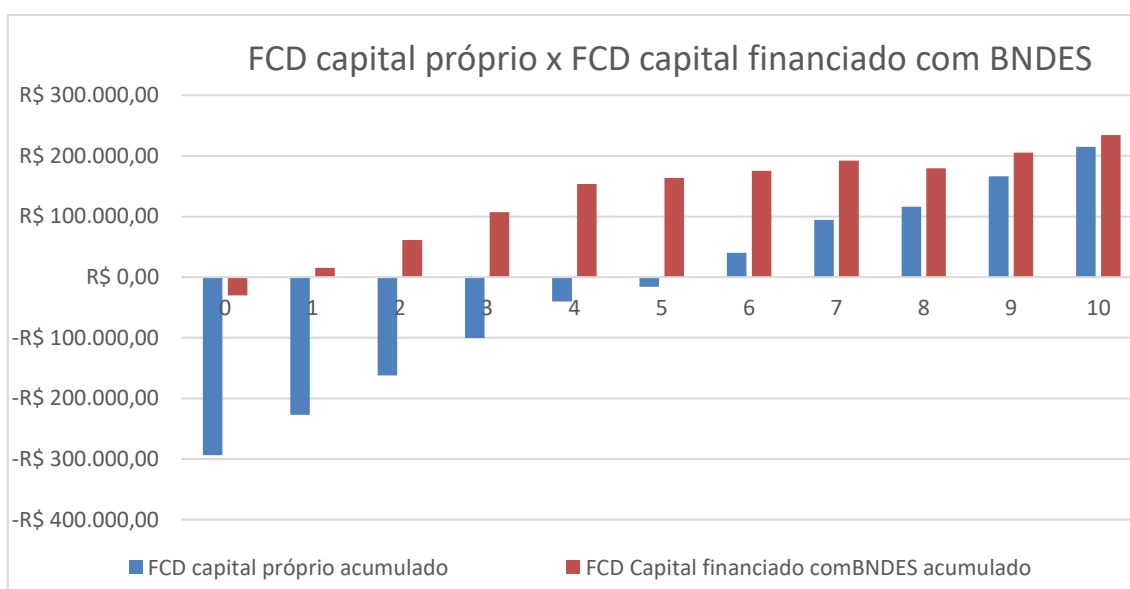
A partir da soma de todos os valores do FCD foi obtido o VPL de R\$ 214.969,30 e TIR de 13% aa para investimento com capital próprio. Para o cálculo do FCD com a utilização de recurso financeiro do BNDES foi adotado um teto de investimento de capital próprio de R\$ 30.000,00 que é referente a custos de responsabilidade técnica (RT), consultoria para obtenção do financiamento, deslocamentos e documentos. Para o FCD com capital financiado com BNDES a taxa de juros de desconto do fluxo de caixa foi de 8,5%aa. A Tabela 14 mostra o FCD com utilização de financiamento com BNDES.

Tabela 14- FCD com utilização de financiamento com BNDES para a propriedade nº1.

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 30.000,00
1	R\$ 45.337,41
2	R\$ 45.789,06
3	R\$ 46.127,84
4	R\$ 46.364,09
5	R\$ 10.321,31
6	R\$ 11.321,31
7	R\$ 16.827,42
8	-R\$ 12.594,67
9	R\$ 25.760,11
10	R\$ 29.328,62

A partir da soma de todos os valores do FCD da Tabela 12 foi obtido o VPL de R\$ 234.493,99 e TIR de 149% aa para investimento com capital financiado com o BNDES. Com os FCDs foi plotado um gráfico com os valores acumulados dos respectivos fluxos de caixa para a obtenção do *payback* para cada tipo de investimento. A Figura 5 mostra os FCDs para cada opção de investimento para a propriedade nº1.

Figura 5- FCD capital próprio x FCD capital financiado com BNDES. Fonte Elaboração própria.



Além dos valores de VPL positivos que comprovam que o investimento gera recurso e TIR superior a 10%, a Figura 5 apresenta a viabilidade econômica financeira do investimento em geração de energia para a propriedade nº1. A análise da Figura 5 mostra

que caso o produtor opte por utilizar o capital próprio o investimento retorna no quinto ano de funcionamento e se utilizar capital financiado com o BNDES o investimento tem *payback* inferior a um ano.

4.2.2 Análise econômica do projeto de geração de energia da propriedade 2.

A análise econômica da propriedade 2 seguirá os mesmos passos descritos na metodologia e na análise da propriedade nº1. A Tabela 15 mostra os parâmetros utilizados para a construção do fluxo de caixa da propriedade nº2.

Tabela 15 – Parâmetros utilizados para construção do fluxo de caixa da propriedade nº2.

Descrição	Valor
Investimento inicial	R\$ 573.097,00
Economia anual em energia	R\$ 74.210,16
Custo troca anual de troca de óleo do gerador	R\$ 16.500,00
Retifica do gerador a cada 25000 horas de operação	R\$ 40.000,00
Juros ao ano SELIC	10,25%
Juros ao ano financiamento BNDES	8,50%
Inflação média últimos anos (2010 – 2017)	6,40%

A Tabela 16 mostra o fluxo de caixa do projeto de geração de energia da propriedade nº2.

Tabela 16- Fluxo de caixa do projeto de geração de energia da propriedade nº2.

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 573.097,00
1	R\$ 61.403,61
2	R\$ 65.333,44
3	R\$ 69.514,78
4	R\$ 22.698,07
5	R\$ 78.697,41
6	R\$ 83.734,04
7	R\$ 89.093,02
8	R\$ 29.090,79
9	R\$ 100.861,85
10	R\$ 107.317,01

A Tabela 17 mostra o FCD com utilização de capital próprio de investimento para a propriedade nº2.

A Tabela 17 - FCD com utilização de capital próprio de investimento para a propriedade nº2.

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 573.097,00
1	R\$ 55.687,88
2	R\$ 53.749,98
3	R\$ 51.873,00
4	R\$ 15.362,95
5	R\$ 48.313,38
6	R\$ 46.626,25
7	R\$ 44.998,03
8	R\$ 13.326,83
9	R\$ 41.910,18
10	R\$ 40.446,65

A partir da soma de todos os valores do FCD foi obtido o VPL de -R\$ 160.794,87 e TIR de -6% aa para investimento com capital próprio. Assim como na propriedade nº1 foi adotado o investimento de R\$ 30.000,00 de capital próprio no FCD com recurso

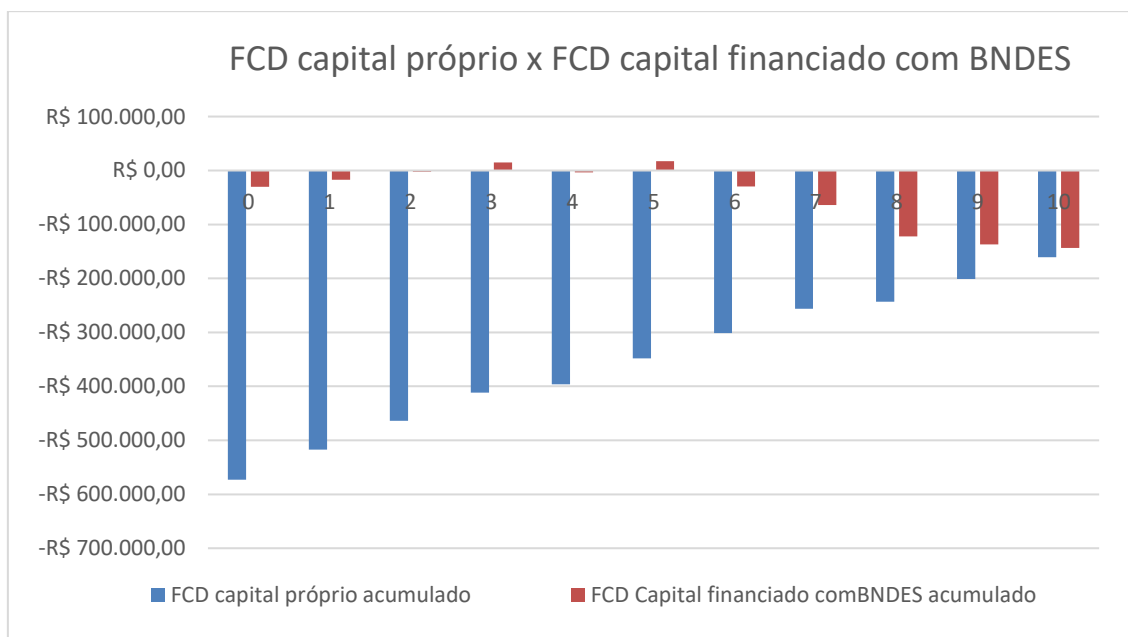
financeiro proveniente do BNDES. A Tabela 18 mostra o FCD com utilização de financiamento com BNDES.

Tabela 18- FCD com utilização de financiamento com BNDES para a propriedade nº2.

Período	Fluxo de caixa
0	-R\$ 30.000,00
1	R\$ 12.611,73
2	R\$ 14.961,93
3	R\$ 17.063,40
4	-R\$ 18.055,09
5	R\$ 20.601,46
6	-R\$ 46.718,21
7	-R\$ 34.639,19
8	-R\$ 58.197,59
9	-R\$ 14.616,90
10	-R\$ 6.395,61

A partir da soma de todos os valores do FCD da Tabela 18 foi obtido o VPL de -R\$ 143.384,06 e a TIR não pode ser calculada para investimento com capital financiado com o BNDES. A Figura 6 mostra os FCDs para cada opção de investimento para a propriedade nº2.

Figura 6- FCD capital próprio x FCD capital financiado com BNDES.

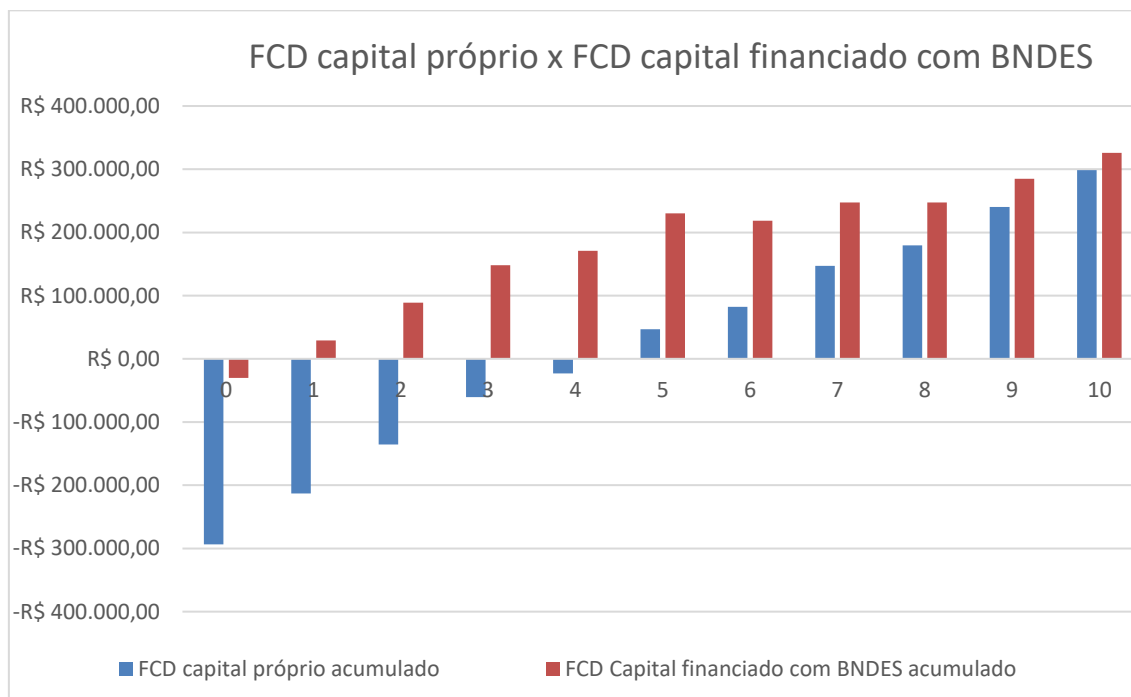


A Figura 6 mostra que o investimento em geração de energia a partir de biogás não é viável para a propriedade, assim como, os valores de VPL e TIR, que são negativos, mostram que o projeto resulta em prejuízo. Diversos fatores podem causar a inviabilidade do projeto de geração de energia para a propriedade nº2 o primeiro deles é o custo dos equipamentos que é muito superior ao da primeira propriedade e que tem o mesmo rendimento financeiro. O segundo fator que causa a inviabilidade do projeto é o custo do kWh da propriedade nº2 que é inferior ao da propriedade nº1, que pode ser notado nas tabelas 6 e 8 de histórico de consumo, pois a propriedade nº2 consome cerca de 40 mil kWh a mais por ano e o custo de energia é praticamente o mesmo.

4.2.2 Análise econômica do projeto de geração de energia com hipótese de comercialização de energia para as propriedades

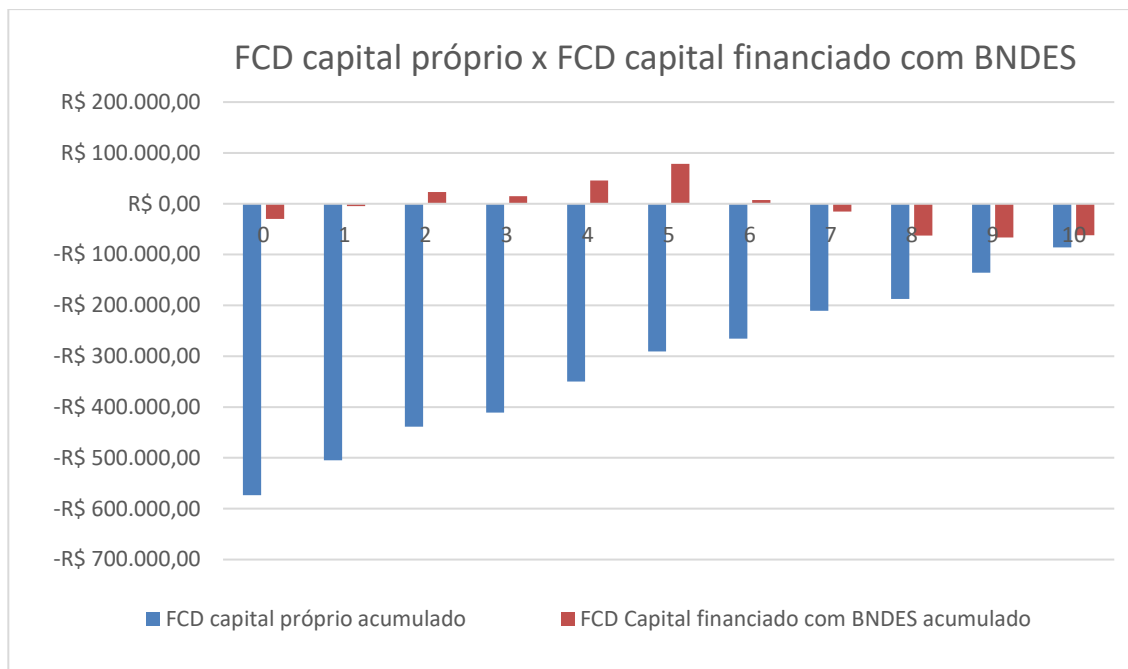
Nesta parte serão mostrados os gráficos de FCD com capital próprio x FCD capital financiado com BNDES junto aos indicadores econômicos para mostrar a viabilidade do projeto de geração de energia com a hipótese de comercialização de geração de energia excedente. Para os dois casos foram adotados que o gerador opera 8000 horas que é referente ao total de horas disponível para operação no ano menos as horas de manutenção e com venda de excedente de energia não consumida na propriedade a 0,3 R\$/kWh. A Figura 7 mostra o resultado da análise econômica para a propriedade nº1.

Figura 7- FCD capital próprio x FCD capital financiado com BNDES.



Com a comercialização de energia o investimento em geração de energia para a propriedade nº1 reduz o tempo de retorno de investimento em 1 ano. O VPL é igual a R\$ 298.734,90 e a TIR é igual a 17% aa para investimento com capital próprio e com capital financiado o VPL é igual a R\$ 325.823,21 e a TIR é igual a 194% aa. A figura 8 mostra o resultado da análise econômica propriedade nº2.

Figura8- FCD capital próprio x FCD capital financiado com BNDES.



Mesmo com a comercialização de energia o investimento em geração de energia para a propriedade nº2 é inviável. O VPL é igual a R\$ -86.133,95 e a TIR apresentou um valor negativo para investimento com capital próprio e com capital financiado o VPL é igual a R\$ -61.925,96 e a TIR apresentou um valor negativo.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um estudo econômico detalhado sobre geração de energia elétrica a partir de biogás de suinocultura para duas propriedades distintas localizadas no estado de Santa Catarina. Considerando os pressupostos supracitados, foram analisados dois cenários de investimento para cada propriedade estudada, um com a utilização de capital próprio para a realização do empreendimento e outro com capital fornecido pelo BNDES. Os resultados mostraram que para as duas propriedades o potencial de geração de energia é muito maior que o consumido e que o investimento em geração de energia para o porte das propriedades estudadas só é viável para propriedades que já tem

biodigestor instalado. Para a propriedade nº1 o investimento é interessante devido aos resultados obtidos na simulação econômica, porém em função dos riscos do projeto é um bom investimento apenas para o caso de utilização de capital financiado por que o proprietário não utilizaria o próprio dinheiro apenas se comprometeria a pagar o financiamento anos após o início do funcionamento do mesmo.

A propriedade nº2 apresentou inviabilidade no investimento por que tem o mesmo rendimento da propriedade nº1 e com investimento superior que é referente ao biodigestor.

O caso hipotético de comercialização de energia mostrou que os geradores operando na carga máxima o investimento para a propriedade nº1 fica melhor e que para a propriedade nº2 também não viabiliza o investimento. O presente trabalho mostra de forma clara que geração de energia a partir de biogás pode ser um bom investimento, ou seja, deve ser analisado caso a caso com análise econômica detalhada antes de se tomar qualquer decisão sobre a realização do projeto.

Conclui-se com o presente trabalho que a geração de energia elétrica a partir de biogás para o porte das propriedades em estudo só é viável para propriedades que já tenham o biodigestor instalado, em função do alto custo do mesmo. Para trabalhos futuros, recomenda-se o desenvolvimento de tecnologia de geração de biogás e conversão do mesmo em energia elétrica para que os equipamentos possam ser mais eficientes, de modo que, se reduza os custos iniciais, aumente a eficiência de geração e utilização do biogás e torne realidade a geração de energia elétrica em pequena escala a partir de biogás.

ANALYSIS OF ECONOMIC VIABILITY OF ELECTRICITY GENERATION FROM SUINOCULTURE BIOGAS

ABSTRACT

This work approaches the economic design and simulation of power generation projects from pig biogás. The study was done with data from two rural properties located in Santa Catarina, the first located in the city of Jaguaruna (nº1) and the second in the city of Grão Pará (nº2). The equipment was designed according to the literature and data provided by the manufacturers. The economic simulation was done using *excel* software and the economic indicators used were Discounted Cash Flow (DCF), Net Present Value (NPV) and Internal Rate of Return (IRR). For the two case studied two scenarios were analyzed: one with personal capital and the other with capital financed with the National Bank for

Economic and Social Development (BNDES). For property nº1 the economic analysis presented IRR equal to 13% for personal capital and IRR equal to 149% for financed capital. The economic analysis of the property nº2 presented inviability with negative IRR for investment with personal and financed capital. A hypothetical scenario of energy generation with commercialization of energy surplus of 0.3R \$ / kWh was also made and for the property (nº1) the investment gets better and for the property (nº2) the result of the analysis showed that the project is impracticable. The results show that the generation of energy from swine biogas to the size of the study properties is only economically feasible for properties that already have a biodigestor installed.

Keywords: Biogas. Energy. Economic Analysis

REFERÊNCIAS

- BARREIRA, Paulo. **Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011. 106 p.
- BLEY JUNIOR, Cícero. **Biogás: A energia invisível**. 2. ed. Paraná: ItaipÚ, 2014. 231 p.
- COLDEBELLA, Anderson et al. Viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás da bovinocultura de leite. **Energ. Meio Rural**, Paraná, v. 1, n. 6, p.1-9, dez. 2006.
- DAMODARAN, A. **Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação do valor de qualquer ativo**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999.
- DEGANUTTI, Dr. Roberto et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. **Energ. Meio Rural**, São Paulo, v. 1, n. 4, p.1-5, dez. 2002.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. . **Plano ABC – Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura**. Santa Catarina 2016. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-agricultura-de-baixo-carbono/nota-tecnica>>. Acesso em: 12 abr. 2016.
- FALCÃO, Maria Margarida; GUSMÃO, Cunha de Campos. **Produção de biogás em diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
- FERREIRA, Júlio César Benfenatti et al. **Biodigestor: aplicações e potencialidades. Um estudo de caso do IFMG campus Bambuí. II Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG Campus Bambuí II Jornada Científica**, Minas Gerais, v. 1, n. 1, p.1-6, out. 2009.

FLORES, Marcelo Costa. **Viabilidade econômica do biogás produzido por biodigestor para produção de energia elétrica – estudo de caso em confinador suíno**. 2014. 34 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. Resolução Normativa nº 11, de outubro de 2014. **Instrução Normativa Nº 11 Suinocultura**. Siderópolis, SC, Disponível em: <http://www.sideropolis.sc.gov.br/uploads/273/arquivos/654746_in_11_Suinocultura.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

GASPAR, Maria Rita Bedran Lemes. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: uma estudo de caso na região de toledo-PR**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LETTINGA, G. **Anaerobic digestion and wastewater treatment systems**. Antonie van Leeuwenhoek, v. 67, p. 3-28, 1995.

MACEDO, Flavia Junqueira de. **Dimensionamento de biodigestores para tratamentos de dejetos da produção suína**. 2013. 117 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

MONTORO, Stela Basso; SANTOS, David Ferreira Lopes; LUCAS JUNIOR, Jorge de. Análise econômica de investimentos que visam à produção de biogás e biofertilizante por meio de biodigestão anaeróbia na bovinocultura de corte. **Raunp**, São Paulo, v. 5, n. 2, p.23-34, set. 2013.

OLIVERA, André de Paula Moniz et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. 2. ed. Brasil: Universidade do Estado da Bahia, 2008. 23 p.

PEREIRA, R. H. **Geração Distribuída de Energia Elétrica – Aplicação de Motores Bicomcombustível Diesel/Gás Natural**. In: 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador – BA, 2005.

PRATI, Lisandro. **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS GERADO POR BIODIGESTORES**. 2010. 83 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Graduação de Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RITTER, Cíntia Maria; SANTOS, Francielle Rocha; CURTI, Suzana. Potencial de produção de biogás com dejetos da suinocultura: sustentabilidade e alternativa energética em Santa Catarina. **Revistas da Faculdade de Ciências e Tecnologia**, São Paulo, v. 7, n. 1, p.32-40, dez. 2013.

SANTOS, Edval Luiz Batista dos; NARDI JUNIOR, Geraldo de. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos, Botucatu**, v. 4, n. 2, p.1-11, ago. 2013.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983

SERAFIM, Gustavo Bitencourt. Estudo sobre o reaproveitamento dos dejetos de suínos na bacia do rio sangão - Santa Catarina. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Criciúma, v. 5, n. 1, p.151-174, out. 2012.

SOUZA, Samuel N. Melegari de et al. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum**, Paraná, v. 26, n. 2, p.127-133, dez. 2004.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu Pai José por me proporcionar os maiores ensinamentos da vida.

A minha Mãe Marlene por toda a dedicação e apoio durante toda a minha vida.

A minha esposa Graziely, por ser companheira e pelo apoio durante toda a graduação.

Ao Professor Dr. Leonardo Bremermann pela orientação e pelo tempo dedicado durante o desenvolvimento deste trabalho.

A Universidade Federal de Santa Catarina por proporcionar um ensino de excelência.

Aos amigos da Empresa Junior de Engenharia de Energia que estiveram comigo no melhor período da graduação.