

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA AMBIENTAL**

DIOGO SILVEIRA COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA OU BIOCOMBUSTÍVEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

DIOGO SILVEIRA COSTA

**ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA OU BIOCOMBUSTÍVEL**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Laercio Mantovani
Frare

MEDIANEIRA

2016



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE ENSINO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO

**ANÁLISE ECONÔMICA DE SISTEMA DE PURIFICAÇÃO DE BIOGÁS PARA
PRODUÇÃO DE ENERGIA OU BIOCOMBUSTÍVEL**

por

DIOGO SILVEIRA COSTA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 09:10 horas, em 24 de junho de 2016 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Prof. Dr. Eduardo Eyng
Membro da Banca

Prof. Dr. Rafael Arioli
Membro da banca

O termo de aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, que sempre me proporcionou condições e me deu forças para que eu pudesse buscar meus objetivos, tanto acadêmicos quanto pessoais.

Aos meus pais, Rui e Livonia, e ao meu irmão Felipe, por me apoiarem e estarem comigo em todos os momentos. Sem eles o sonho de me tornar engenheiro ambiental não seria possível.

Ao professor Laercio, pela paciência, conselhos e ensinamentos que me ajudaram muito no desenvolvimento deste trabalho.

À toda família da Rep. Zion e agregados, que se tornaram pessoas importantíssimas para mim e se tornaram amigos para que levo para toda a vida.

Aos amigos que conheci ao longo do meu intercâmbio e participaram de grandes momentos da minha vida.

Para todas as amizades verdadeiras feitas ao longo do período universitário, que de uma forma ou outra ajudaram no meu crescimento acadêmico e pessoal.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”

MARTIN LUTER KING

RESUMO

COSTA, Diogo Silveira. **Análise econômica de sistema de purificação de biogás para produção de energia ou biocombustível**. 2016. 50 folhas. Trabalho de conclusão de curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

Os dejetos gerados na criação de suínos, aves e bois compõem um material que possui grande potencial poluidor em corpos hídricos, solos e ainda liberam gases prejudiciais para a atmosfera. Contudo, se corretamente gerenciados, podem receber um destino adequado e ainda trazer benefícios econômicos para os produtores rurais por meio da geração de energia pela queima dos gases produzidos. Isso faz com que as propriedades rurais produzam parte da energia consumida nestes locais, evitando a total dependência da energia provinda da rede elétrica. Uma outra forma que vem sendo analisada nos últimos anos é a utilização de biogás em automóveis, substituindo os combustíveis tradicionais como gás natural veicular, gasolina e outros. Porém, para o uso do biogás como fonte de geração de eletricidade e, principalmente biocombustível, é necessária sua purificação para retirar compostos que possam diminuir o rendimento do processo além dos problemas de corrosão de equipamentos e motores. O objetivo deste trabalho foi a análise de viabilidade econômica de um purificador PSA (*Pressure Swing Adsorption*), instalado em uma propriedade, contendo uma granja de aves poedeiras e bovinos de corte, localizada na região Oeste do Estado do Paraná. Foi utilizada a metodologia de anualização dos investimentos e comparou-se os custos relacionados à utilização do biogás na produção de energia elétrica para a própria granja ou produção de biocombustível para veículos em 3 cenários: biogás sem purificação para geração de eletricidade, biogás purificado para a geração de eletricidade e biogás purificado para uso como biocombustível. Para os cálculos da análise econômica utilizou-se 10 anos como período de amortização do investimento e 8,75% para taxa de juros, que é a praticada para financiamentos rurais. Para as receitas foi considerado o consumo de energia elétrica na granja e a substituição do gás natural veicular pelo biogás. Como resultado das análises foi observado um custo de produção do biogás não purificado de R\$ 0,165/m³ e de R\$ 0,206/m³ para o biogás purificado. Para o cenário utilizando o biogás não purificado para geração de energia elétrica o custo foi de R\$ 0,112/kW, menor que a tarifa cobrada pela companhia de energia elétrica (R\$ 0,506/kW) e, ainda, seus indicadores econômicos do Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e *Payback Time* mostraram que este cenário se apresentou viável. Para a utilização do biometano, como biocombustível, apresentou valores de TIR, VPL e *Payback Time* atrativos economicamente. A utilização de biogás purificado para geração de energia elétrica utilizando o purificador PSA apresentou um alto valor de *Payback Time* (8 anos), TIR (6%) menor que a Taxa Mínima de Atratividade (8,75%) e custo de energia elétrica (R\$ 0,753/kW) maior que a tarifa praticada e anteriormente mencionada, mostrando que esse cenário não se apresentou atrativo para o investimento.

Palavras-chave: Biometano. *Pressure Swing Adsorption*. Energia Elétrica.

ABSTRACT

COSTA, Diogo Silveira. **Economic analysis of biogas purification system for producing energy or biofuel. 2016.** 50 folhas. Trabalho de conclusão de curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

The waste generated in the production of pigs, poultry and cattle make up a material that has great potential pollutant in water bodies, soil and also release harmful gases into the atmosphere. However, if managed properly, can receive a suitable destination and bring economic benefits to farmers by generating power by burning the gases produced. This makes the farms produce part of the energy consumed in these places to avoid total dependence stemmed utility power. Another way that has been considered in recent years is the use of biogas in automobiles, substituting the traditional fuels such as compressed natural gas, gasoline, and others. However, for the use of biogas as a source of electricity generation and especially biofuel is needed purification to remove compounds that may decrease the yield of the process beyond the equipment and engines corrosion problems. The objective of this work was the economic feasibility analysis of a PSA purifier (Pressure Swing Adsorption), installed in a property containing a farm of laying hens and beef cattle, located in the State of Paraná Western region. It was used annualization methodology of investments and costs were compared related to the use of biogas in the production of electricity for own farm or biofuel production for vehicles in 3 scenarios: unpurified biogas for electricity generation , purified biogas to generate electricity and purified biogas for use as biofuel. For calculations of economic analysis used 10 years as investment amortization period and 8.75% for interest rate, which is practiced for rural financing. For income was considered the consumption of electricity in the farm and the replacement of compressed natural gas by biogas. As a result of the analysis it was observed a crude biogas production cost of R\$ 0.165/m³ and R\$ 0.206/m³ for purified biogas. For the scenario using the unpurified biogas for electricity generation cost was R \$ 0.112/kW, less than the rate charged by the power company (R \$ 0.506/kW), and also its economic indicators Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR) and Payback Time showed that this scenario is presented viable. For the use of biomethane, only use as biofuel presented IRR values, NPV and Payback Time economically attractive. The use of purified biogas for electricity generation using the PSA purifier showed a high value Payback Time (8 years), IRR (6%) less than the Minimum Rate of Attractiveness (8.75%) and cost of electricity (R\$ 0.753/kW) higher than that practiced and the aforementioned rate, showing that this scenario did not appear attractive for investment.

Keywords: Biomethane.Pressure Swing Adsorption. Electric Power.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ABIEC	Associação Brasileira das Indústrias de Carne
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
BEN	Balanco Energético Nacional
CH ₄	Metano
CIBiogás	Centro Nacional de Energias Renováveis
CO ₂	Dióxido de Carbono
GNV	Gás Natural Veicular
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
H ₂ SO ₄	Ácido Sulfúrico
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
kvA	Quilovoltampére
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério de Minas e Energia
pH	Potencial Hidrogeniônico
PSA	<i>Pressure Swing Adsorption</i>
SPE	Secretaria de Desenvolvimento e Planejamento Energético
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Média de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de purificação PSA (<i>Pressure Swing Adsorption</i>)	24
Figura 2: Fluxograma da abordagem proposta para análise de investimento	27
Figura 3: Comparativo dos fluxos de caixa acumulados	43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Potencial de biogás a partir de resíduos de atividades pecuárias.....	20
Quadro 2: Tarifa de energia para a classe Rural sub-grupo B2 convencional	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção de eletricidade e biocombustível a partir do biogás purificado ou não	38
Tabela 2: Economia anual de energia elétrica a partir da utilização do biogás	38
Tabela 3: Economia anual de biocombustível a partir da utilização do biogás	38
Tabela 4: Comparativo das variáveis dos cenários 1, 2 e 3	42
Tabela 5 : Comparação dos indicadores econômicos para os 3 cenários estudados.....	44

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVO GERAL	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 PECUÁRIA	15
3.1.1 Resíduos Gerados nas Atividades Pecuárias	16
3.1.2 Problemas na Disposição Final dos Resíduos	16
3.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS	17
3.2.1 Energias Renováveis da Biomassa	18
3.3 BIOGÁS	19
3.3.1 Produção de Biogás a Partir dos Resíduos das Atividades Pecuárias	20
3.3.2 Biodigestores	21
3.4 GERAÇÃO DE ENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR DO BIOGÁS	22
3.4.1 Purificadores de Biogás e Remoção de CO ₂ e H ₂ S	23
3.4.1.1 Purificação de biogás por <i>Pressure Swing Adsorption</i> (PSA)	23
3.4.1.2 Purificação de biogás com ferro quelado	24
3.5 GERADORRES	25
3.5.1 Geradores de Energia Elétrica a Partir de Biogás	25
3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA	26
3.6.1 Análise de investimento	26
3.6.1.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	27
3.6.1.2 Valor Presente Líquido (VPL)	28
3.6.1.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	28
3.6.1.4 <i>Payback Time</i> (Tempo de retorno)	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	30
4.1 ÁREA DE ESTUDO	30
4.1.1. Sistema de Tratamento dos Resíduos e Biodigestão	30
4.2 CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E COMBUSTÍVEL	30
4.2.1 Geração Anual de Biogás	31
4.2.2 Consumo de Biogás pelo Motogerador	31
4.2.3 Energia Elétrica e Biocombustível Gerados	31
4.2.4 Custo da Produção de Energia Elétrica e Biocombustível a Partir do Biogás	33
4.2.5 Custo Anualizado do Investimento no Conjunto Motogerador (CAG) e custo anualizado do investimento no conjunto para o combustível veicular (CAcomb)	33
4.2.5.1 Gasto anual com biogás (CAB)	34
4.2.5.2 Produção de Eletricidade (PE)	35
4.2.5.3 Custo anualizado do investimento no purificador(CAP)	36
4.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE DOS INVESTIMENTOS	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1 GERAÇÃO ANUAL DE BIOGÁS E PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOCOMBUSTÍVEL	37
5.2 ECONOMIA DE ENERGIA E COMBUSTÍVEL	38

5.3 CENÁRIO 1: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO	39
5.3.1 Gasto Anual com Biogás (GABiosp).....	39
5.3.2 Cálculo do custo equivalente anualizado do investimento no sistema de motogerador (CAIM).....	39
5.3.3 Custo de Produção de Energia Elétrica (CEBiosp) a Partir do Biogás Não Purificado	40
5.4 CENÁRIO 2: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS PURIFICADO.....	40
5.4.1 Gasto Anual com Manutenção do Purificador (CMPur).....	41
5.4.2 Custo Anualizado Equivalente do Investimento no Sistema de Purificação do Biogás (CAIPur.) e Custo Anualizado do Investimento no Motogerador (CAIM) para o Biogás Purificado	41
5.4.3 Custo da Produção de Energia Elétrica a Partir do Biogás Purificado	41
5.5 CENÁRIO 3: CUSTO DO BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR DO BIOGÁS PURIFICADO	42
5.6 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1,2 e 3	42
5.6.1 Comparação dos Custos	42
5.6.2 Comparativo do Fluxo de Caixa para os cenários 1, 2 e 3.....	43
5.6.3 Análise Econômica	43
6 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A grande demanda energética atual faz com que os países tendam a buscar formas para suprir as suas necessidades de uma forma mais dinâmica, introduzindo principalmente fontes renováveis de energia afim de evitar grande dependência de um único tipo de fonte primária de energia.

O biogás é uma das energias renováveis que possui grande potencial de expansão na matriz energética em locais aonde a principal atividade econômica é agropecuária, como é o caso da região Oeste do Estado do Paraná. A atividade pecuária gera uma grande quantidade de dejetos de aves, bovinos e suínos, sendo esses materiais um problema para os solos, corpos da água e qualidade do ar se não forem corretamente tratados. Ainda, esse material tem um grande potencial para a produção de energia devido ao gás liberado (biogás) durante o processo anaeróbico de sua decomposição, ou seja, a má disposição dos dejetos faz com que se perca um material de valor energético e conseqüentemente valor econômico.

Contudo, para se utilizar o biogás para geração de energia nas formas de calor e/ou eletricidade, este precisa passar por um processo de purificação afim de se retirar compostos que são prejudiciais para um bom rendimento energético e ainda aqueles compostos que possam danificar equipamentos. Porém, é necessário que se realize um estudo de viabilidade econômica para processos de purificação de biogás afim de se conhecer os custos e tempo de retorno do investimento realizado.

Realizou-se então um estudo de análise econômica da utilização de purificadores de biogás por PSA (*Pressure Swing Adsorption*) na região Oeste do Estado do Paraná por meio do levantamento de custos de equipamentos utilizados além da manutenção dos mesmos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Determinar os custos associados e a viabilidade econômica da implantação de um processo de purificação de biogás na geração de energia elétrica ou biocombustível.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Determinar os custos de equipamentos e de manutenção do sistema de purificação de biogás;
- b) Realizar a análise econômica do processo de purificação de biogás;
- c) Determinar o custo da geração de energia a partir do biogás com e sem purificação.
- d) Avaliar os cenários de utilização de biogás, purificado ou não, para a geração de energia elétrica e purificado para uso como biocombustível.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PECUÁRIA

As atividades pecuárias têm grande destaque na economia brasileira. De acordo com a ABIEC (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne) aproximadamente 20% do total do território nacional é constituído por pastagens, com um rebanho de 209 milhões de cabeças onde sua grande maioria (97%) é criada à pasto. Ainda segundo a ABIEC a grande diversificação dos produtos pecuários no Brasil diz respeito às variações climáticas das regiões, que afetam os regimes de precipitação e assim fazem com que os sistemas pecuários tenham características diferentes entre si.

Segundo o Plano Mais Pecuária (2014), desenvolvido pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) as exportações de carne bovina têm aumentado e atingido um número maior de mercado com o passar dos anos “devido às conquistas obtidas com a defesa agropecuária, como as zonas livres de febre aftosa”. As projeções são de que no Brasil o consumo cresça a uma taxa de 3,6% a.a., acumulando no final de um período de 10 anos, um aumento de 42,8% (MAPA,2014). Com relação à demanda mundial as exportações podem alcançar 2,5% a.a.

A Região Sul tem papel fundamental no sistema pecuário brasileiro. De acordo com o IBGE (2015) 9,70 milhões de cabeças de suínos foram abatidas no segundo trimestre de 2015. Deste total 66,3% (6,43 milhões) de abates ocorreram no Paraná, Rio Grande do Sul ou Santa Catarina. A Região Sudeste foi a que teve um valor mais próximo no mesmo período, com 1,872 milhões de suínos abatidos. Se comparados os segundos trimestres de 2014 e 2015 a Região Sul mostrou aumento no volume de carne suína exportada e o Paraná seguiu essa tendência, alcançando um valor de 62,1% (de 8.364.221 kg para 13.561.341 kg).

Com relação às aves o mesmo levantamento do IBGE (2015) traz um valor de 1,40 bilhão de cabeças de frango abatidas no segundo trimestre de 2015 em todo o Brasil. Desse montante a Região Sul foi responsável por 59,4%. A segunda colocada foi a Região Sudeste com 20,3%. O Paraná foi o estado brasileiro que

liderou as exportações de frangos para o mercado externo e apresentou a maior variação em números absolutos (+58.463,84 toneladas) (IBGE,2015).

3.1.1 Resíduos Gerados nas Atividades Pecuárias

Os principais resíduos gerados nas atividades pecuárias correspondem basicamente as excreções geradas pelos bovinos, aves, suínos, etc. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA,2012) para essas criações foi estimada uma geração de 1,7 bilhões de toneladas/ano de dejetos, sendo a maior parte gerada pelos bovinos de corte, que devido ao seu modelo extensivo de criação dispersam seus resíduos nas pastagens, não causando grandes impactos para o meio ambiente e deixando de ser viáveis para aproveitamento em sistemas de biodigestão. Os bovinos geram 86,7% dos 365 milhões de toneladas dos dejetos estimados para as criações confinadas, porcentagem muito maior em relação às aves (7,7%) e suínos (5,6%).

Ainda segundo o IPEA (2012) além dos dejetos gerados pelos animais existem os resíduos sólidos gerados pelas indústrias primárias ligadas às atividades pecuárias tais como graxarias, laticínios e abatedouros que são estimados em 1,7 milhões de toneladas/ano. Já a estimativa para efluentes líquidos gerados alcançam 121,5 milhões de m³/ano.

O sistema pecuário é vital para a economia do Brasil, porém alguns pontos devem ser levados em consideração. A criação de animais gera uma grande quantidade de resíduos que se não forem bem gerenciados podem causar impactos negativos, principalmente ao meio ambiente.

3.1.2 Problemas na Disposição Final dos Resíduos

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2011) cita as principais fontes que possuem potencial de gerar resíduos sólidos: “Além do esgoto e lixo domiciliares, incluem-se os resíduos da construção civil, embalagens de agrotóxicos e

fertilizantes, esterco de animais, insumos veterinários”. (PLANO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2011)

Para o IPEA (2012) os resíduos gerados nas criações de aves e suínos, mesmo que em menor quantidade se comparados com a criação bovina, possui uma carga orgânica maior, podendo gerar maiores impactos ambientais e ainda outro problema citado está ligado ao fato da distribuição dessas criações que comumente estão concentradas em restritos pontos, causando uma grande geração de dejetos em um mesmo local.

De acordo com Pedroso (2010) locais aonde se praticam a pecuária “a disposição inadequada pode facilitar a propagação de pragas e doenças, bem como a contaminação da água, em virtude do mau tratamento, armazenamento de destinação do lixo”.

Carreas (2013) afirma que, historicamente, os resíduos pecuários são utilizados na forma de adubos devido à sua carga de minerais e compostos orgânicos. O número de animais reduzidos e a forma como esses eram criados davam ao meio ambiente condições de autodepurar o material despejado. Porém houve o desenvolvimento dos sistemas pecuários nos últimos anos, que pela necessidade de se adaptar a grande demanda do mercado consumidor. O aumento no número das criações causou também um aumento no número de resíduos em um espaço físico menor, pois os sistemas deixaram de ser em sua maior parte extensivos para se tornarem intensivos. A capacidade de autodepuração foi reduzida, assim os resíduos permanecem mais tempo no meio ambiente, causando problemas ambientais (Carreas, 2013).

3.2 ENERGIAS RENOVÁVEIS

A utilização de energias renováveis vem se consolidando ao longo dos anos como alternativa energética devido à fatores como: pressão da sociedade pela diminuição da utilização de combustíveis fósseis, causadores de inúmeros problemas ambientais, necessidade de diminuir a dependência desses combustíveis uma vez que são considerados fontes esgotáveis e as legislações cada vez mais restritivas.

Contudo, segundo dados do BEN (Balanço Energético Nacional) de 2013 (ano base 2012) mostram que a oferta de energia interna no Brasil ainda provém, em sua maior parte, de fontes não renováveis (57,6%), sendo o petróleo e seus derivados responsáveis por 39,2% do total. A agropecuária foi responsável por 4,1% de toda a energia consumida no período analisado. Ainda de acordo com o BEN (2013) o cenário é diferente se analisada a Matriz Elétrica Brasileira em 2012, pois a participação das energias renováveis alcançou 84,5%, sendo as usinas hidrelétricas as grandes responsáveis pelo alto percentual.

A Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético (SPE) do Ministério de Minas e Energia através do seu boletim “Ranking Mundial de Energia e Socioeconomia” mostra o Brasil como o quarto produtor mundial de energia por fontes renováveis em 2012, quando produziu 2.391.000 t de biodiesel (10,7% da produção mundial) (MME, 2014).

3.2.1 Energias Renováveis da Biomassa

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) através do Atlas de Energia Elétrica no Brasil (2008) trata da geração de energia a partir da biomassa como umas das mais promissoras tanto no Brasil como no mundo.

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a conseqüente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2008, p.65).

De acordo com o BEN (2015) a geração de energia elétrica através da biomassa em 2013 foi de 69.003 GWh e de 44.733 GWh em 2014, ou seja, um crescimento de 12,7%, o segundo maior crescimento entre as energias renováveis, ficando atrás apenas da energia eólica (85,6%).

Para a ANEEL (2008) a energia gerada por meio da biomassa pode ocorrer de várias formas dentre elas: Pirólise, que é a transformação de lenha (aquecida em

até 500°C) em carvão vegetal, combustão direta para obter calor utilizado na cocção de alimentos, na indústria metalúrgica e caldeiras e ainda a gaseificação, que consiste na transformação do combustível em estado sólido em uma mistura de gases, estes podendo serem usados para a geração de energia elétrica. A digestão anaeróbica é comumente utilizada para tratamento dos rejeitos orgânicos e acontece através da “(...) decomposição do material pela ação de bactérias e ocorre na ausência do ar. O produto final é o biogás, composto basicamente de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂)” (ANEEL, 2008).

3.3 BIOGÁS

Biogás é o gás gerado a partir da ação de microrganismos que degradam a matéria orgânica provindas de fontes como atividades agropecuárias, resíduos sólidos urbanos e esgoto em condições anaeróbicas, ou seja, sem a presença de oxigênio. De acordo com Carrera (2013, p.104) entre 50 e 60% do biogás é constituído por metano e 30 a 40% por dióxido de carbono, tendo outros constituintes em menor proporção, tais como hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, compostos orgânicos voláteis e sulfeto de hidrogênio. Já Brenneisen (2013, p.11) cita que a concentração de metano (CH₄) pode chegar até 80% do total da composição do biogás. O mesmo autor ainda afirma que a concentração do metano interfere diretamente no poder calorífico, “densidade e/ou peso específico do biogás”. De acordo com Oliver (2008) o poder calorífico do biogás varia entre 5.000 a 7.000 kcal/m³.

A ANEEL(2008) traz alguns pontos positivos com relação à aplicação do biogás:

Das fontes para produção de energia, o biogás é uma das mais favoráveis ao meio ambiente. Sua aplicação permite a redução dos gases causadores do efeito estufa e contribui com o combate à poluição do solo e dos lençóis freáticos (ANEEL, 2008, p.86).

3.3.1 Produção de Biogás a Partir dos Resíduos das Atividades Pecuárias

As atividades pecuárias geram uma grande quantidade de dejetos que tem potencial poluidor nos solos, podendo contaminar os mesmos e diminuir sua fertilidade, nos corpos hídricos, aumentando a carga orgânica nesses locais e interferindo no ciclo de vida da biota e ainda pode causar a poluição do ar através dos gases liberados pela decomposição da matéria orgânica. Assim a utilização dos dejetos pecuários para a geração de energia tem se tornado uma alternativa muito atrativa nas propriedades rurais. Para Colatto e Langer (2011, p.119) a produção de biogás é uma alternativa interessante para produtores rurais por possuir um bom rendimento, ser uma energia renovável, diminuir os gastos com energia elétrica obtida da rede distribuidora e ainda propicia “energia limpa e distribuição correta dos efluentes gerados”.

Gomes et al. (2014) comenta sobre as ações necessárias para a consolidação do biogás como fonte de energia em propriedades rurais:

É sabido que a viabilização do biogás (e da agroenergia como um todo) tem relação direta com a adoção de tecnologias, pesquisas e desenvolvimento. Para tanto, acredita-se que a promoção de incentivos aos produtores, em conjunto com o fortalecimento de políticas públicas e com a regulamentação do setor, possibilitarão a concretização destas ações, tornando o biogás uma alternativa de negócio.(GOMES et. al, 2014, p.149)

No Quadro 1 estão apresentados os resultados do potencial de produção de biogás a partir de resíduos gerados pelas atividades pecuárias de bovinos, suínos e aves.

Quadro 1: Potencial de Produção de biogás a partir de resíduos de atividades pecuárias

Tipos de resíduos	Produção de biogás (m ³ /kg de resíduo)
Esterco	0,023-0,04
Chorume bovino	0,04-0,059
Estrume	0,065-0,116

Fonte: Adaptado de Carrera (2013) apud Buxton e Brian (2010).

3.3.2 Biodigestores

Junior et al. (2009) define biodigestor como:

Biodigestor é uma estrutura projetada e construída de modo a produzir a situação mais favorável possível para que a degradação da biomassa seja realizada sem contato com o ar. Isso proporciona condições ideais para que certos tipos especializados de bactérias, altamente vorazes em se tratando de materiais orgânicos, passem a predominar no meio e, com isso, provocar a degradação de forma acelerada (JUNIOR et. al., 2009, p.31).

Os biodigestores podem ser classificados em relação à forma que serão abastecidos em batelada e contínuos. Os biodigestores em batelada recebem uma nova carga de material orgânico somente quando o composto retido no biodigestor é completamente digerido pelos microrganismos. Os biodigestores em processo contínuo, por sua vez, permitem a entrada de material diariamente enquanto uma quantidade de lodo já tratado deixa o biodigestor (OLIVER, 2008). Carrera (2013) cita ainda mais um modelo, do tipo semi-descontínuo, que seria a combinação dos dois modelos anteriormente citados. Trata-se de uma quantidade de afluente que é adicionada diariamente ao biodigestor, empurrando quantidade igual de efluente para a saída. Porém a descarga total dos substratos ocorre uma ou duas vezes por ano, comumente na época da plantio para utilizar o material residual em parte do processo de fertilização. O mesmo autor afirma que para uso doméstico e em pequenas propriedades rurais esse sistema é o mais utilizado em escala mundial.

O processo de biodigestão em um biodigestor ocorrem em 4 fases, de acordo com Carrera (2013):

Hidrólise: Nessa fase as moléculas mais complexas que são basicamente hidratos de carbono, proteínas e lipídios são transformadas pelas enzimas extracelulares liberadas por microrganismos hidrolíticos em aminoácidos, ácidos graxos e monossacarídeos “e pode ser a etapa limitante da velocidade global do processo, sobretudo quando se tratam de resíduos com alto conteúdo de sólidos.”

Fase acidogênica: As moléculas orgânicas solúveis sofrem o processo de fermentação e são transformadas por bactérias facultativas em outros compostos orgânicos, tais como ácido propiônico, ácido láctico e etanol, que serão oxidados na

etapa acetogênicas, e ainda transformadas em compostos que poderão ser usados por bactérias metanogênicas. Na fase acidogênica ocorre ainda a produção de álcoois.

Fase acetogênica: Os compostos produzidos na etapa de acidogênese são convertidos por bactérias facultativas acetogênicas em ácido acético, dióxido de carbono e hidrogênio. O ácido acético é produzido a partir, principalmente, dos ácidos graxos voláteis.

Fase metanogênica: É a etapa aonde os compostos gerados na acetogênese são transformados por bactérias exclusivamente anaeróbias nos principais componentes do biogás- metano e dióxido de carbono.

3.4 GERAÇÃO DE ENERGIA E BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR DO BIOGÁS

De acordo com o *Key World Energy Statistics*, de 2014, elaborado pela Agência Internacional de Energia, os biocombustíveis e lixo foram responsáveis por 10% de todo o fornecimento de energia primária do mundo em 2012, na qual a produção alcançou 1.240,71 mil toneladas de óleo equivalente.

Oliveira (2009) traz algumas utilidades do biogás como combustível para a geração de energia elétrica:

O biogás produzido nos biodigestores pode ser utilizado como fonte de energia primárias para fornecer energia mecânica em turbinas e motores, os quais acoplados a geradores elétricos são capazes de produzir energia elétrica. Essa energia elétrica pode ser utilizada localmente (...) ou ainda vendida para a concessionária de energia elétrica local, havendo excedente na geração, viabilidade e possibilidade de comercialização (OLIVEIRA, 2009, p.15).

De acordo com o mesmo autor o biogás ainda pode ser utilizado como combustível veicular em altas pressões e na forma gasosa devido ao custo elevado desse biogás ser liquefeito. Contudo para esse fim é necessária a purificação do gás, extraindo o ácido sulfúrico, que é corrosivo e pode causar danos ao motor e o CO₂, com o intuito de aumentar o poder calorífico do biogás.

3.4.1 Purificadores de Biogás e Remoção de CO₂ e H₂S

Pela grande relevância da purificação de biogás através da remoção de H₂S (sulfeto de hidrogênio) e CO₂ (dióxido de carbono) uma série de estudos tem sido realizados. A presença de água e dióxido de carbono no biogás dificultam a combustão e diminui sua eficiência. Isso ocorre porque “estas substâncias entram no lugar do combustível no processo de combustão e absorvem parte da energia gerada”. O H₂S pode diminuir “tanto o rendimento quanto a vida útil do motor térmico”, isso ocorre pela queima imparcial, problemas para fornecer o combustível ao motor, corrosão dos equipamentos e diminuição da potência (SANT’ANA, 2009).

É necessária a remoção do H₂S para qualquer tipo de utilização do biogás, pois esse composto, que possui mau cheiro, pode se converter em dióxido de enxofre (SO₂) e ácido sulfúrico (H₂SO₄) que são intensamente corrosivos e perigosos para a saúde e meio ambiente. A composição de H₂S no biogás varia entre 0,0001 a 1% em volume, dependendo das características da matéria orgânica fermentada (ABATZOGLOU; BOIVIN, 2009, P.42).

Para Abatzoglou e Boivin (2009) os processos de purificação de biogás podem ser classificados em métodos que abrangem “fenômenos físico-químicos” que incluem adsorção e absorção (reativa ou não) e métodos que abrangem “processos biológicos”.

3.4.1.1 Purificação de biogás por *Pressure Swing Adsorption* (PSA)

Haas (2013) explica o método de purificação de biogás por PSA (*Pressure Swing Adsorption*):

Este método é utilizado para a separação de certos componentes de uma mistura gasosa sob pressão, levando em conta as características moleculares e a interação com os materiais absorventes. Os materiais absorventes são usados como filtros moleculares a altas pressões e podem ser sílica gel, carvão ativo, alumina entre outros, e estes filtros absorventes interagem com apenas algumas moléculas do gás (HAAS, 2013, p.11).

Na Figura 1 observa-se o fluxograma que representa o método de purificação por PSA.

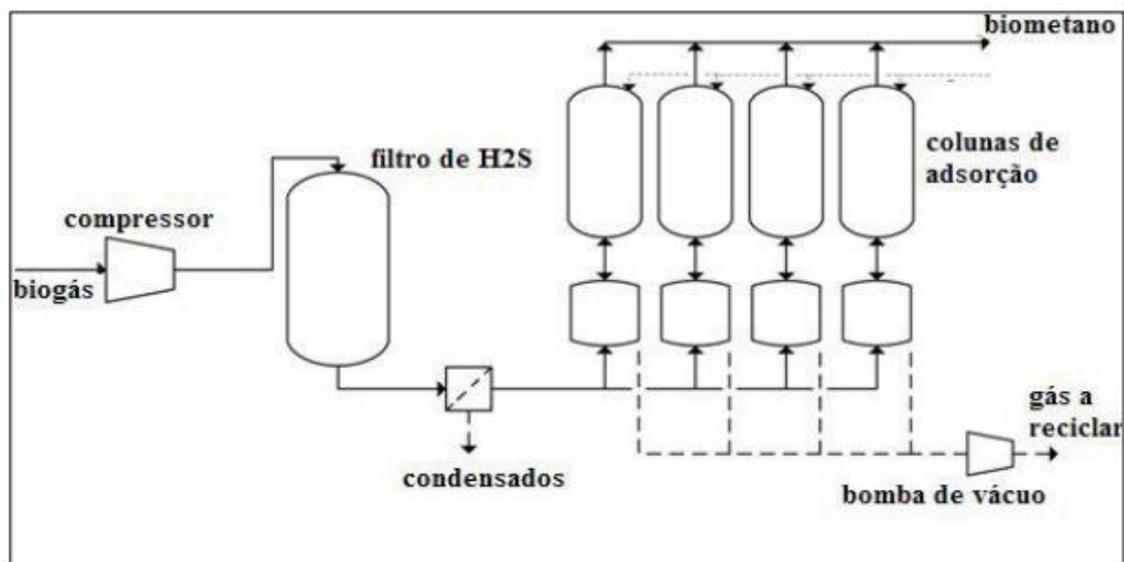


Figura 1: Esquema de purificação PSA (*Pressure Swing Adsorption*)

Fonte: Silva (2009) apud Haas (2013)

De acordo com Haas (2013, p.12) nas colunas de adsorção o biogás é separado do CO_2 , O_2 e N_2 aumentando a pureza de CH_4 em valores acima de 97%. Para manter um processo ininterrupto cada vez que uma coluna está próxima da saturação de impurezas o processo é interrompido e outra coluna passa a ser usada para essa ser recuperada.

3.4.1.2 Purificação de biogás com ferro quelado

De acordo com Frare, Gimenes e Pereira (2009) e Wubs e Beenackers (1994), as equações 1 e 2 representam a absorção do H_2S .



Na equação 1 o H_2S passa da fase gasosa para a fase líquida. Na equação 2 ocorre a reação do H_2S na forma aquosa com o Fe/EDTA (Ferro/Ácido

etilenodiaminotetraacético), e o enxofre deixa de ser solúvel. Já o Ferro é reduzido e se transforma em inerte. (Frare, Gimenes e Pereira, 2009).



Nas equações 3 e 4 ocorrem a regeneração o do Fe^{2+} para Fe^{3+} pela oxidação da solução com oxigênio (FRARE, GIMENES E PEREIRA, 2009, p.168).

Os mesmos autores denominam o quelato de Ferro (Fe/EDTA) como “pseudocatalisador na reação do H_2S com o oxigênio” e citam algumas vantagens da utilização desse método de remoção do H_2S do biogás:

“ (...)elevada eficiência de remoção de H_2S ; seletividade na remoção do H_2S , evitando-se gasto desnecessário de reagentes; (...) a solução catalítica Fe/EDTA é facilmente regenerada; e a absorção química do H_2S traz como produto final o enxofre elementar, produto estável, de fácil comercialização e que pode ser disposto em aterro industrial com menor potencial poluente”.

3.5 GERADORES

De acordo com Costa (2003) os motores de combustão interna são os mais comuns para a transformação de biogás em energia elétrica, e devido ao acionamento dos pistões posicionados dentro dos cilindros, converte entre 32 a 40% do combustível em energia mecânica.

Para Bohn (2013) um dos modelos de geradores mais importantes é o síncrono, operando “com uma velocidade de rotação constante sincronizada com a frequência da tensão elétrica alternada aplicada aos seus terminais, ou seja, sincronismo entre o campo girante e o rotor.”

3.5.1 Geradores de Energia Elétrica a Partir de Biogás

Os geradores de combustão interna do tipo ciclo Otto são um dos tipos de geradores de energia comumente usados para a produção de energia elétrica

provinda do biogás. Para produção de energia de forma geral os mais comuns são do tipo ciclo Otto e Diesel e a principal diferença entre eles é que no primeiro o processo de combustão ocorre devido à liberação de uma faísca dentro da câmara de combustão e conseqüente explosão, enquanto no segundo acontece a combustão comprimindo-se o combustível. (COSTA, 2006, p. 56).

3.6 VIABILIDADE ECONÔMICA

Para Peters e Timmerhaus (1978) apud Casarotto (2011, p.7) o estudo de viabilidade pode ser compreendido como:

“... uma etapa do que antecede o projeto, que deve examinar fatores técnicos e econômicos do processo proposto. Devem-se considerar as diversas reações e processos físicos que intervêm, assim como as condições atuais e potenciais de mercado do produto considerado. Um estudo preliminar de viabilidade desse tipo permite obter uma indicação direta do provável êxito do empreendimento e também assinala que informação adicional requer-se para poder realizar uma avaliação completa.”

Neves (2010) afirma que a viabilidade econômica é uma análise de recursos financeiros, humanos, bens permanentes e materiais que vai mostrar o potencial ou não de um investimento gerar lucro e avaliar a capacidade de retorno do capital inicial aplicado.

3.6.1 Análise de Investimento

Segundo Rasoto et al. (2012) a análise de investimento é a investigação da viabilidade econômica de um projeto estimando os resultados que poderão ser obtidos com a implementação de determinado projeto. O mesmo autor acrescenta que para viabilidade de um investimento deve-se levar em conta não só os aspectos técnicos como também os aspectos econômicos, sendo através deste a verificação

da real viabilidade do projeto. Para Lizote et al. (2014) uma análise econômica/financeira fundamentada é essencial para que prejuízos sejam evitados. A análise de investimentos de um projeto utilizada por Bohn (2013) adaptada de Rasoto et al. (2012) está expressa na figura 2:

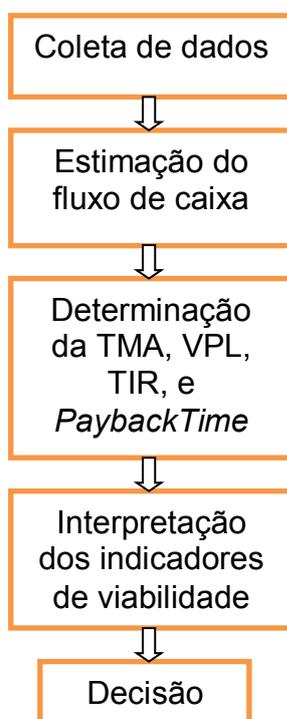


Figura 2: Fluxograma da abordagem proposta para a análise de investimento
Fonte: Bohn (2013)

3.6.1.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Qualquer investidor busca um retorno do dinheiro investido em um projeto, ou seja, espera obter mais dinheiro do que aquele aplicado, sendo necessário então a taxa de retorno aceitável. Essa taxa de retorno aceitável é a taxa mínima de atratividade (TMA) deve ter valor maior do que as taxas praticadas em um banco ou em um investimento de baixo risco (BLANK;TARQUIN, 2008).

Na apresentação de alternativas para o investimento em um projeto é necessário que se avalie um ponto em comum para efeito comparativo de qual opção é mais viável do ponto de vista financeiro, através de um mesmo indicador. E esse indicador deve expor os mesmos parâmetros para as alternativas, sendo o mais importante destes é a taxa mínima de atratividade (MOTTA et al., 2009).

Sobre o questionamento referente ao valor que a TMA deve assumir, deve-se levar em conta a fonte do capital para investimento: se o investimento for integralmente financiado a TMA pode ser a taxa de juros praticada pela instituição financeira. Contudo se o investimento é feito somente com recursos próprios deve observar qual a melhor opção para a aplicação do recurso. Porém se parte do capital é financiado e parte é próprio o ideal é estimar um custo médio de levantamento do capital (MOTTA et al., 2009).

3.6.1.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Para Torres (2004) o valor presente líquido (VPL) é definido como “o transporte para a data zero de um diagrama de fluxo de caixa de todos os recebimentos e desembolsos esperados, descontados à taxa de juros considerada.” A autora ainda cita que devem ser considerados como atrativos os investimentos que resultarem em VPL nulo ou positivo. O valor positivo mostra o montante de dinheiro ganho com relação ao valor desse dinheiro atualmente para um determinado tempo do projeto. Assim quanto maior o VPL mais interessante se torna o investimento e valores negativos de VPL mostram a inviabilidade do mesmo.

De acordo com Bohn (2013) pode-se calcular o VPL pela da equação 5:

$$VPL = -FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} \quad (5)$$

Onde FC_0 é o investimento inicial do projeto, FC_j é o fluxo de caixa no tempo j e TMA é a Taxa Mínima de Atratividade.

3.6.1.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A taxa interna de retorno (TIR) é aquela que equipara as despesas e receitas do projeto na data zero, e então pode ser analisado o percentual ganho que

é proporcionado àquele que fez o investimento. Para saber se o capital investido terá retorno é necessário analisarmos a TIR em conjunto com a TMA. Caso os dois valores sejam iguais ou a TIR maior que a TMA o investimento se torna viável. Sendo o valor da TIR menor comparado ao da TMA o investimento deve ser descartado (TORRES, 2004).

O cálculo da TIR está representado pela equação 6.

$$TIR = -FC_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+TIR)^j} = 0 \quad (6)$$

3.6.1.4 *Payback time* (tempo de retorno)

É chamado de *payback* o período de tempo que se leva para resgatar o investimento, ou seja, em quanto tempo esse investimento demora para zerar seu fluxo de caixa acumulado. Além do *payback*, que depende apenas dos fluxos de caixa ainda há o *payback* descontado, que adota o fluxo de caixa descontado a uma determinada taxa para saber em quanto tempo esse mesmo fluxo chega a zero, ou seja, depois de qual período haverá resultado positivo e geração de lucros a partir da taxa de desconto que foi utilizada (MOTTA et al., 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em uma granja da área rural do município de Santa Helena, localizado na região Oeste do Estado do Paraná. As atividades da granja estão ligadas às aves de postura e bovinocultura de corte. Os dejetos de 84 mil aves poedeiras e 750 bovinos de corte são destinados à produção de biogás.

4.1.1 Sistema de Tratamento dos Resíduos e Biodigestão

O sistema de tratamento da massa residual é um biodigestor, tipo canadense, modelo lagoa aberta, realizando a digestão anaeróbica dos dejetos, com uma concentração de metano de 68% (CIBIOGÁS, 2015).

O sistema de biogestão é formado por um biodigestor com capacidade de 3.500 m³, uma lagoa de homogeneização e lagoa secundária. Primeiramente os resíduos são enviados para a lagoa de homogeneização, ocorrendo a agitação dos dejetos. O processo seguinte é a separação das fases sólidas e líquidas. A parte sólida é usada como adubo na agricultura e a parte líquida é enviada ao biodigestor, e depois para a lagoa secundária (BELING et al.2015).

4.2 CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA E COMBUSTÍVEL

Para encontrar o custo de produção de energia elétrica a partir do biogás, purificado ou não, foi utilizada a metodologia descrita por Souza et al. (2004), que avalia os custos ligados à construção e manutenção do sistema de biodigestor e motogerador. Para a avaliação dos custos na produção de combustível veicular a mesma metodologia foi usada, porém em vez do sistema motogerador foi

considerado o sistema de compressão e acondicionamento do biogás purificado. Para o cálculo de custos utilizando o biogás purificado foram adicionadas duas variáveis: os custos com construção e a manutenção do sistema de purificação.

Por meio da análise de investimentos entre os custos de produção de biogás para três cenários:

1. geração de energia elétrica utilizando biogás não purificado
2. geração de energia elétrica utilizando biogás purificado
3. produção de biocombustível (biometano)

Os resultados obtidos foram comparados para avaliar qual deles seria o mais viável.

4.2.1 Geração anual de biogás

A geração diária de biogás foi repassada por um dos administradores da granja, sendo esse valor, em média, de 2.000 m³. Para a produção anual a geração diária foi multiplicada por 365 dias (considerou-se produção de biogás todos os dias do ano).

4.2.2 Consumo de biogás pelo motogerador

Para o primeiro cenário, utilizando todo o biogás não purificado para a geração de energia elétrica foi considerado que o motogerador consumiu os 2.000 m³ diários de biogás produzidos pelo biodigestor.

4.2.3 Energia Elétrica e Biocombustível Gerados

A energia elétrica produzida foi determinada por meio da quantidade de biogás gerado e a relação de equivalência entre energia gerada por m³ de biogás

utilizado no gerador.

Com o valor da energia elétrica, gerada anualmente, é possível calcular a economia de energia obtida. Neste caso, a granja se encaixa na classe tarifária Rural, sub-grupo B2 convencional, em que não existe diferença no custo da energia nos horários de ponta e fora de ponta, como pode ser observado no Quadro 2.

Classe tarifária: Rural- Grupo B2 convencional		
Tarifa em R\$/kW	Resolução ANEEL	Com impostos
Horário de ponta	0,32493	0,50612
Horário fora de ponta	0,32493	0,50612

Quadro 2: Tarifa de energia para a classe Rural sub-grupo B2 convencional
Fonte: COPEL

A economia de custos com energia (E_{c_En}) foi calculada, por meio da equação 7:

$$E_{c_En} = P_e \times C_{energia} \quad (7)$$

Onde P_e é a produção anual de eletricidade (kW/ano) e $C_{energia}$ é o custo da energia em R\$/kWh.

Para a economia com biocombustível foi calculado o poder calorífico do biogás (com relação à concentração de metano) gerado no período de um ano. Com o valor da energia gerada (kcal), utilizou-se a equação 8 para encontrar a quantidade de GNV necessária para suprir o valor energético produzido pelo biogás:

$$GNV = \frac{E_{Biogás}}{PC_{GNV}} \quad (8)$$

Onde $E_{biogás}$ é a energia gerada pelo biogás (kcal/ano) e PC_{GNV} é o poder calorífico do GNV.

Encontrada a quantidade de GNV necessária utilizou-se equação 9 para calcular a economia de combustível (E_{c_Comb}) utilizando o biogás:

$$E_{c_Comb} = GNV \times C_{GNV} \quad (9)$$

Sendo C_{GNV} o custo do GNV em R\$/m³.

4.2.4 Custo da Produção de Energia Elétrica e Biocombustível a Partir do Biogás

A equação 10 foi adaptada de Souza et al. (2004) para calcular o custo de produção de energia elétrica sem o processo de purificação:

$$C_e = \frac{CAG + CAB}{PE} \quad (10)$$

Onde C_e é o custo da energia elétrica via biogás (R\$/kWh), CAG é custo anualizado do investimento no conjunto motogerador (R\$/ano), CAB o custo anual com biogás (R\$/ano) e PE é a produção de eletricidade a partir do biogás (kWh/ano).

Para calcular o C_e do biogás purificado utilizou-se a metodologia de Bohn (2013) adicionando a variável CAP , que é o custo anualizado equivalente do investimento no processo de purificação de biogás, conforme a equação 11:

$$C_e = \frac{CAG + CAB + CAP}{PE} \quad (11)$$

A seguir tem-se os cálculos das outras variáveis envolvidas.

4.2.5 Custo Anualizado do Investimento no Conjunto Motogerador (CAG) e custo anualizado do investimento no conjunto para o combustível veicular (CAcomb)

A partir da equação 12 obteve-se o cálculo do CAG:

$$CAG = (CIG \times FRC) + \frac{CIG \times OM}{100} \quad (12)$$

Na equação (12) CIG é o custo de investimento no motogerador (R\$), OM é o custo com organização e manutenção por ano (%) e FRC é o fator de recuperação de capital (adimensional) encontrado por meio da equação 13:

$$FRC = \frac{j \times (1 + j)^n}{-1 + (1 + j)^{n-1}} \quad (13)$$

Na equação 13 j é a taxa de desconto (% ano) e n são os anos para amortização do investimento

Para o cálculo do custo anualizado de investimento no sistema para utilização de biogás como combustível veicular (CAcomb) foi utilizada a equação 14:

$$CAcomb = (CScat \times FRC) + CMcat \quad (14)$$

Onde CScat é o custo do investimento no sistema de compressão e armazenamento do gás veicular (R\$) e CMcat é o custo de manutenção do sistema (R\$/ano).

4.2.5.1 Gasto anual com biogás (CAB)

O CAB é encontrado pela equação 15:

$$CAB = CB * 2.000 * Per \quad (15)$$

Onde Per é o período de tempo que é produzido biogás. CB é o custo do biogás (R\$/m³), calculado através da equação 16:

$$CB = \frac{CABbiodigestor}{PAB} \quad (16)$$

Na equação 16 CABbiodigestor é o custo anualizado do investimento no

biodigestor (R\$/ano) e PAB é a produção anual de biogás (m³/ano). A equação 17 foi usada para o cálculo do CABbiodigestor:

$$CABbiodigestor = (CIB \times FRC) + \frac{(CIB \times OM)}{100} \quad (17)$$

Sendo CIB o custo de investimento no biodigestor (R\$).

Para o cálculo do custo do biogás purificado, a Equação 15 recebe mais uma variável, o CAP que é o custo anualizado do investimento no purificador (R\$/ano), pois esse custo está ligado ao custo de purificação do biogás. Então o CB do biogás purificado é representado pela equação 18.

$$CB = \frac{(CABbiodigestor \times CAP)}{PAB} \quad (18)$$

O PAB foi encontrado multiplicando o valor médio diário de biogás produzido pelo período (365 dias)

4.2.5.2 Produção de eletricidade (PE)

A produção de eletricidade anual foi calculada pela equação 19:

$$PE = GE_{dia} \times Per. \quad (19)$$

Onde GE_{dia} é a energia gerada por dia (kW/dia), calculada pela equação 20:

$$GE_{dia} = P_{Cal.metano} (kwh) \times C_{metano} \times Ef.Motor \times CNB_{motog} \quad (20)$$

Onde Ef. Motor é o rendimento do motogerador (%).

Para encontrar os valores da equação 10 foram utilizadas as equações 12, 15 e 19.

4.2.5.3 Custo anualizado do investimento no purificador (CAP)

O CAP foi encontrado através da equação 21:

$$CAP = (CIP \times FRC) + CAM_{purific.} \quad (21)$$

Sendo CIP o custo de investimento no purificador (R\$) e $CAM_{purific.}$ é o gasto anual com manutenção do purificador (R\$/ano).

Para encontrar o valor da equação 11 foram utilizadas as equações 12, 15, 19 e 21.

4.3 ANÁLISE DA VIABILIDADE DOS INVESTIMENTOS

Para análise da viabilidade dos investimentos foram observados os seguintes cenários: custo da energia elétrica a partir do biogás não purificado, custo da energia elétrica a partir do biogás purificado e custo do biocombustível a partir do biogás purificado.

Primeiramente foi feito o cálculo de projeção dos fluxos de caixa dos três cenários e na sequência foram utilizados os métodos para análise de viabilidade econômica, seguindo as equações de VPL, TIR e *Payback time*, descritas na revisão bibliográfica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foram determinadas as informações comuns para os três cenários. A partir disso foi realizada a análise econômica para os cenários apresentados.

5.1 GERAÇÃO ANUAL DE BIOGÁS E PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE E BIOCOMBUSTÍVEL

Segundo dados obtidos, a produção diária de biogás da granja está, em média, entre 1.500 e 1.800 m³. No entanto, no verão, a vazão pode alcançar o valor de até 2.500 m³. Foi então considerado um valor médio de 2.000 m³/dia, durante os 365 dias do ano e, que todo esse valor, era utilizado para geração de eletricidade ou biocombustível. Para o cenário com geração de energia elétrica com biogás não purificado foi considerado que o motogerador consumiu todo o biogás gerado diariamente. Para se conhecer a produção anual de eletricidade (kW/ano) foram utilizados o poder calorífico do CH₄ de 11,07 kWh/m³ determinado por Craveiro (1982). Para a conversão do biogás em energia foi considerada uma eficiência de 25 % no motogerador pois, de acordo com Nishimura et al. (2008), essa é a eficiência de motores mais utilizados para conversão de biogás em energia elétrica

Para o cálculo da produção de biocombustível anual (kcal/ano) também foi utilizado o poder calorífico do CH₄ proposto por Craveiro (1982) de 9.520 kcal/m³. A partir da concentração de CH₄ no biogás não purificado (68% mol/mol) e no biogás purificado (99,12% mol/mol) obteve-se o valor real de poder calorífico.

Para o cenário com o biogás purificado existe uma limitação da quantidade de biogás, pois o purificador tem capacidade de produção de biometano de, aproximadamente, 35 m³/h. Adotou-se uma jornada de trabalho para o empreendimento de 8 horas diárias. Neste período estimou-se que o purificador (considerando este funcionando todo o período de atividade) conseguiria produzir um volume de biometano de 280 m³/dia.

A Tabela 1 contém os valores encontrados para produção de energia e

biocombustível a partir da purificação ou não do biogás.

Tabela 1: Produção de eletricidade e biocombustível a partir do biogás purificado ou não.

	Produção de eletricidade (kW/ ano)	Produção de biocombustível (kcal/ano)
Biogás não purificado	1.373.787	-
Biogás purificado	280.350	964.382.093

5.2 ECONOMIA DE ENERGIA E COMBUSTÍVEL

Na Tabela 2 apresenta-se a economia de energia elétrica a partir da utilização do biogás purificado ou não. O período correspondente é de um ano.

Tabela 2: Economia anual de energia elétrica partir da utilização do biogás.

	Total economizado (R\$)
Biogás não purificado	695.300,00
Biogás purificado	141.890,00

Para o cálculo da economia de combustível foi considerado que o biogás substitui o GNV. O preço do m³ de GNV utilizado foi de R\$ 2,50, valor médio encontrado nos postos do Estado do Paraná, de acordo com a ANP. Para o cálculo da quantidade de GNV necessário para produzir a mesma energia gerada pelo biogás foi utilizado o poder calorífico de 9.400 kcal/m³, também com base em dados da ANP. A Tabela 3 contém a economia anual de combustível a partir da utilização do biogás purificado.

Tabela 3: Economia anual de biocombustível a partir da utilização do biogás.

	Economia com combustível GNV (R\$)
Biogás purificado	256.500,00

5.3 CENÁRIO 1: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS NÃO PURIFICADO

5.3.1 Gasto Anual com Biogás (GABiosp)

Para o cálculo do gasto anual com biogás inicialmente foi feito o levantamento dos custos de investimento no sistema de biodigestão (CIB). Neste estudo utilizou-se um valor de R\$ 550.000,00. Sem a informação dos custos anuais com manutenção e operação do biodigestor (CMB) foi utilizada a metodologia proposta por Bohn (2013), considerando esse custo como sendo igual a 4% do valor fixo do investimento. A taxa de juros utilizada para o cálculo do fator de recuperação de capital foi de 8,75%, praticada para financiamentos rurais, porém vale ressaltar que os investimentos dos sistemas de biodigestão e geração de energia foram feitos com recursos próprios. Para o tempo de amortização do investimento considerou-se 10 nos. Assim pôde-se calcular o custo anualizado do investimento no sistema de biodigestor (CABio), encontrando-se o valor de R\$ 98.974,86.

Encontrado o valor do CABio e com o valor da produção diária de biogás multiplicado por 365 dias (levando em consideração que o biodigestor funciona todos os dias), chegou-se ao valor da produção anual de biogás (PAB) de 730.000 m³. Desta forma foi calculado o custo do biogás (Cbiosp) e encontrou-se o valor de R\$ 0,165. Com os valores encontrados foi calculado o gasto anual com biogás (Gabiosp), obtendo-se o valor de R\$ 120.754,86 por ano.

5.3.2 Cálculo do Custo Equivalente Anualizado do Investimento no Sistema Motogerador (CAIM)

O investimento no sistema de motogerador, incluindo todos os custos para instalação, materiais diversos, de parte elétrica e mão-de-obra foi de R\$ 150.000,00.

De acordo com dados utilizados neste estudo, os investimentos anuais com operação e manutenção do sistema de motogerador (MMot) são de R\$ 7.200,00 (R\$

600,00 mensais, em média). Para o biogás purificado foi considerada a sugestão de Bohn (2013), reduzindo os gastos anuais com manutenção no sistema de motogerador à metade (R\$3.600,00), devido à menor concentração de H_2S , o que reduziria a necessidade de investimentos desta natureza. Encontrado esses valores o cálculo do custo equivalente anualizado do investimento no sistema de motogerador (CAIM) foi de R\$ 34.133,14.

5.3.3 Custo da Produção de Energia Elétrica (CEBiosp) a Partir do Biogás Não Purificado.

Calculados os valores de GaBiosp, CAIM e Pelesp pode-se encontrar o calor do custo da produção de energia elétrica a partir do biogás não purificado (CEBiosp), de 0,112 R\$/kW.

5.4 CENÁRIO 2: CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DO BIOGÁS PURIFICADO

Neste segundo cenário foram acrescentados os gastos referentes aos investimentos no sistema de purificação de biogás e sua manutenção. Esses investimentos são somados aos custos do sistema de biodigestão, uma vez que o processo de purificação faz parte do processo de produção de biogás utilizado para geração de energia e biocombustível. Além de alterar os custos com produção de biogás os custos com o sistema de purificação também alteram os custos de produção de energia elétrica e produção de biocombustível. De acordo com valores praticados no mercado, levou-se em consideração que o sistema de purificação PSA recebeu investimentos iniciais de R\$ 200.000,00.

O sistema de purificação instalado na granja possui a capacidade de produção de 35 m³/h de biometano (biogás purificado). O que leva a uma geração de biometano diária de 280 m³, considerando 8 horas diárias a jornada de trabalho. Desta maneira foi utilizado esse valor para o cálculo de geração em vez dos

2.000 m³ de biogás gerados e considerados sem o processo de purificação.

5.4.1 Gasto Anual com a Manutenção do Purificador (CMPur.)

Os gastos estão relacionados aos custos com mão-de-obra e manutenção dos equipamentos que constituem o sistema de purificação, para que haja o correto funcionamento do mesmo.

O principal custo está relacionado à regeneração da coluna de remoção do H₂S. Levando em consideração os valores praticados no mercado, foi considerado um valor de gasto anual com a manutenção de R\$ 3.000,00.

5.4.2 Custo Anualizado de Investimento no Sistema de Purificação do Biogás (CAIPur) e Custo Anualizado do Investimento no Motogerador (CAIM) para o biogás purificado

Utilizando-se da mesma metodologia para o cálculo do custo anualizado do sistema de biodigestor e do sistema de motogerador foi encontrado o valor de R\$ 29.933 para o CAIPur. Esse valor foi usado para calcular o novo custo do biogás, que para o cenário 2 é de R\$ 0,206 por m³. Para o cálculo do custo anualizado do investimento dos motogeradores foi levado em consideração, como citado anteriormente, metade do valor gasto atualmente com manutenção do sistema motogerador. O CAIM para o cenário 2 foi de R\$ 30.533,14.

5.4.3 Custo da Produção de Energia Elétrica (CEBiop) a partir do Biogás Purificado

O cálculo de CEBiop foi realizado da mesma forma que CEBiosp, porém com a adição do CAIPur, chegando ao valor final de R\$ 0,753/kW.

5.5 CENÁRIO 3: CUSTO DO BIOCOMBUSTÍVEL A PARTIR DO BIOGÁS PURIFICADO

Para o cenário 3 foram utilizados os mesmos valores de CMPur e CAIPur do cenário 2, contudo o CAIM foi substituído pelo CALcomb, que é o custo anualizado do investimento no sistema de compressão e armazenamento do biometano. O valor encontrado para essa variável foi de R\$ 10.978,00. O custo do combustível via biogás purificado foi de R\$ 0,000167/ kcal.

5.6 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS 1, 2 e 3.

5.6.1 Comparação dos Custos

Na Tabela 4 pode-se observar a comparação entre os custos apresentados nos três cenários:

Tabela 4: Comparativo das variáveis dos cenários 1, 2 e 3.

Variáveis	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
PAB (m³ biogás/ano)	730.000	730.000	730.000
CABio (R\$)	120.754,86	120.754,86	120.754,86
CBio (R\$)	0,165	0,206	0,206
Pele (kW/ano)	1.3737.87	280.350	-
CAIM (R\$)	34.133,14	30.533,14	30.533,14
Gabio (R\$/ano)	120.754,86	150.688	150.688
CAIPur (R\$)	-	29.933	23.933
Biocomb (kcal/ano)	-	-	964.382.093
CALcomb (R\$)	-	-	10.978,00
CEBio (R\$/kW)	0,112	0,753	-
CComBio (R\$/kcal)	-	-	0,000167

5.6.2 Comparativo do Fluxo de Caixa para os Cenários 1, 2 e 3.

Na Figura 3 pode-se observar o comparativo dos fluxos de caixa acumulados encontrados para a utilização do biogás com e sem processo de purificação.

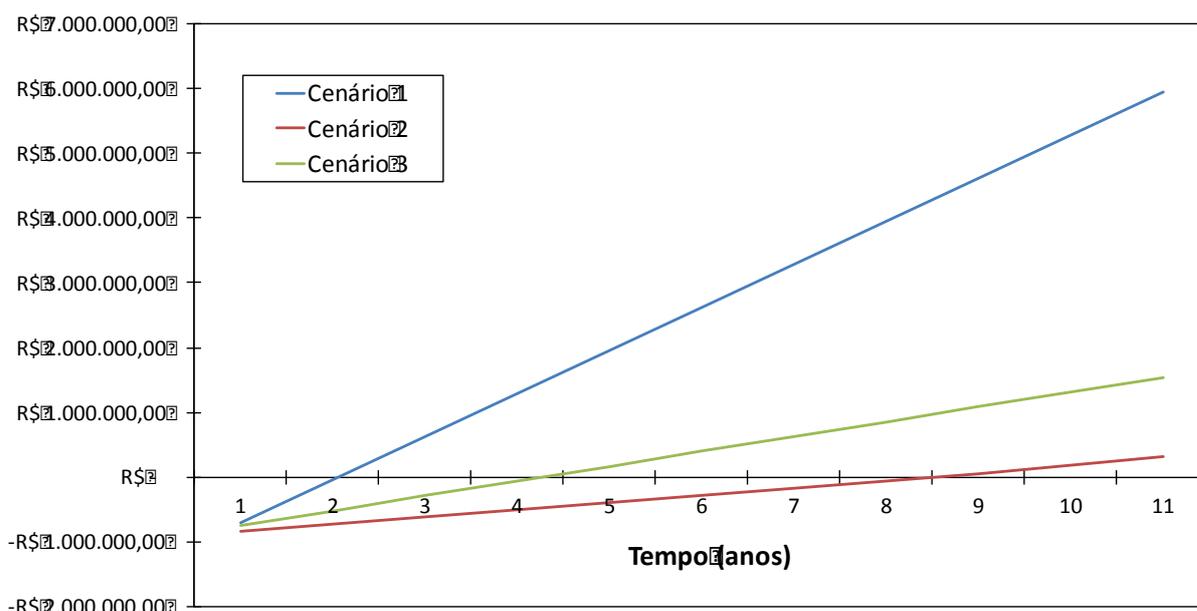


Figura 3: Comparativo dos fluxos de caixa acumulados

Analisando-se os resultados comparativos dos fluxos de caixa acumulados do biogás purificado ou não se pode perceber uma diferença entre os valores, principalmente entre os cenários 1 e 2. Neste caso o cenário 1 apresentou um fluxo de caixa acumulado bem mais atrativo e obteve um tempo de retorno muito menor. Para a utilização de biometano como combustível o tempo de retorno ficou entre os valores encontrados para os dois primeiros cenários.

5.6.3 Análise Econômica

Para comparação dos valores, na Tabela 5 estão apresentados os valores da TIR, VPL e *Payback Time* para os 3 cenários.

Tabela 5: Comparação dos indicadores econômicos para os 3 cenários estudados.

	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
VPL (R\$)	5.022.254,00	1.585.130,00	2.272.800,00
TIR (%)	95	6	28
<i>Payback Time</i>	2 anos	8 anos	4 anos

6 CONCLUSÕES

A análise econômica dos 3 cenários mostrou que se torna viável o uso do biogás não purificado para a geração de energia elétrica, apresentando um custo de R\$ 0,112/kW. Este é um valor, consideravelmente, menor se comparado ao cobrado pela concessionária de energia elétrica. Este cenário apresentou um alto valor de fluxo de caixa e conseqüentemente um alto valor da TIR (95%) e *Payback Time* de dois anos.

Para o cenário 2, no qual se utilizou o biogás purificado para geração de energia elétrica, os valores encontrados mostraram que é economicamente inviável utilizar o biometano para tal finalidade, pois o custo foi de R\$ 0,753/kW, maior que a tarifa cobrada pela concessionária de energia (R\$ 0,506/kW). Apesar do VPL calculado ser positivo, o que tornaria viável a geração de energia por meio do biogás purificado, a TIR (6%) foi menor que a TMA (8,75%) e seu *Payback Time* de 8 anos é considerado alto.

Para o biometano utilizado como combustível veicular os indicadores econômicos mostraram que este cenário, assim como o primeiro, pode ser considerado viável, pois possui uma TIR de 28 % e tempo de retorno de 4 anos.

Pode-se concluir então que os cenários mais rentáveis seriam: a utilização do biogás não purificado para geração de energia elétrica e o biogás purificado para uso veicular.

7 REFERÊNCIAS

Abatzoglou, N.; BOIVIN,S. **A review of biogas purification processes**. Biofuels, Bioprod. Bioref. 3: p.42–71 (2009)

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 3ª Edição. Brasília, 2008. 233 p.

ABIEC-Associação Brasileira de Indústrias Exportadoras de Carne. Disponível em <http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp>. Acesso em 13 de outubro de 2015.

ANP. Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução Nº 8, de 30 de janeiro de 2015**.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. Disponível em: <https://cibiogas.org/granja_haacke>. Acesso em 21 de maio de 2016.

BELING, Y.F.; Marques, F.S.; Mito, J.Y.L.; Kerkhoff, S.; Lins, L.P.; Angheben, A.A.; Maciel, J.N. Estudo do monitoramento do sistema de biodigestão da Granja Haacke. **8º Encontro Nacional de Tecnologia Química**, Vitória, 2015.

BLANK ,L.; TARQUIN, **A engenharia econômica**. Tradução da 6ª Edição. São Paulo: Santos, 2008.

BOHN, C. **Viabilidade econômica da implantação de uma etapa de purificação de biogás proveniente do tratamento de efluentes de um abatedouro de aves, no processo de geração de energia elétrica**. 2013.82 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

BRENNEISEN,P. **J.DESEMPENHO DE MOTOGERADOR DE CICLO DIESEL OPERANDO COM GÁS DE GASEIFICAÇÃO/DIESEL OU BIOGÁS/DIESEL**. Cascavel,PR. UNIOESTE,2013. 54 p.

CARREAS, N. Programa de Capacitação em Energias Renováveis. **O Biogás**. 2013. 251 p.

CASAROTTO, N.F. **Elaboração de projetos empresariais: análise estratégica, estudo de viabilidade e plano de negócio**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 2011. 248 p.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis. **Projeto Mobilidade a bionetano**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355242/1529323/Biog%C3%A1sFert+14.pdf/b730ffa7-e45e-4729-b82f-2d85d0ebf276>>. Acesso em 21 de maio de 2016

COLATTO, L.; LANGER, M. **Biodigestor – Resíduo Sólido Pecuário Para Produção De Energia**. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011. Disponível em <http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/view/738/pdf_203> Acesso em 21 de outubro de 2015.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 194. f. Dissertação (Mestrado em Energia da Universidade de São Paulo) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/producao/2006/Teses/Dissertacao_David.pdf>. Acesso em: 23/10/2015.

COSTA, A. A. dos S. **Análise Técnico-Econômica da Utilização de um Gerador a Gás Natural em um Sistema de Cogeração: Estudo de Caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) apresentada à Universidade Estadual de São Paulo, Guaratinguetá, 2003. 112 p.

EPE-Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2013_Web.pdf> Acesso em 19 de outubro de 2015

EPE-Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional. 2014. Disponível em <https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf> Acesso em 19 de outubro de 2015.

FRARE, L.M.; GIMENES, M.L.; PEREIRA, N.C. **Processo para remoção de ácido sulfídrico de biogás**. Eng Sanit Ambient | v.14 n.2 | abr/jun 2009 | p. 167-172. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/esa/v14n2/a04v14n2.pdf>> Acesso em 22 de outubro de 2015.

GIL, A., C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3ª ed. – São Paulo: Atlas, 1991.

GOMES, Ana C.A.; ROCHA, Mariana M.; GALVÃO, Aziz da S.; ALBINO, Pablo B. **Incentivos Para A Viabilização Do Biogás A Partir Dos Resíduos Da Pecuária Leiteira No Estado De Minas Gerais**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 30, p. 149-160, jul. 2014. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/made/article/viewFile/34192/22874>> Acesso em 21 de outubro de 2015.

HAAS, L.B. **Desenvolvimento De Um Filtro Para Remoção De H₂S De Biogás**. Dissertação para o programa de pos graduação. Cascavel, 2013. 44 p. Disponível em <http://www4.unioeste.br/portalpos/media/Dissertacao_Luiza_B_Hass.pdf> Acesso em 22 de outubro de 2015.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em<http://ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/abate-leite-couro-ovos_201502comentarios.pdf> Acesso em 14 de outubro de 2015.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <<http://ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/producaoagropecuaria/default.shtm>> Acesso em 14 de outubro de 2015.

International Energy Agency. **Key World Energy Statistics.2014**. France. 80 p. Disponível em: <<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf>> Acesso em 21 de outubro de 2015.

JÚNIOR, C B.; LIBÂNIO, J C, Maurício G. M. M. O. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas e ambientais**. 2a. ed. Foz do IguaçuPR/Barasília-DF: Tecnopolitik, 2009.

MAPA. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Pecuária Mais**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Ministerio/Publicacao_v2.pdf> Acesso em 13 de outubro de 2015.

MMA-Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf> Acesso em 19 de outubro de 2015.

MME- Ministério de Minas e Energia. Núcleo de Estudos Estratégicos de Energia. **Ranking Mundial de Energia e Socioeconomia** 2014. Disponível em <<http://www.aben.com.br/Arquivos/311/311.pdf>> Acesso em 19 de outubro de 2015.

MOTTA, Regis da R.; Gonçalves, A.; DAS NEVES, C.; CALÔBA, G.; NAKAGAWA, M.; DA COSTA, R.P. **Engenharia econômica e finanças**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

NEVES, W.G. das. **Estudo da viabilidade econômico-financeira para uma empresa de cosméticos**. 2010. 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso- Bacharelado em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

NISHIMURA, R.; KOLTERMANN, P.I.; SOUZA, K.C.G.; ORTEGA, J.M. **Balanco energético em suinocultura com geração de Energia elétrica a partir do biogás**. In: VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais, Poços de Caldas, 2008.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbica de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. São Carlos, USP. 98p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso de engenharia elétrica) - Universidade de São Paulo, 2009.

OLIVER, A de P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G de; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. USAID, 2008. 23p.

PEDROSO, E F.H. **Destinação e armazenamento de resíduos sólidos em propriedades rurais**. Porto Alegre, 2010. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/29871/000779296.pdf?sequenc>> Acesso em 19 de outubro de 2015.

RASOTO, A.; GNOATTO, A. A.; OLIVEIRA, A. G. de; ROSA, C. F. da; ISHIKAWA, G.; CARVALHO, H. A. de; LIMA, I. A. de; LIMA, J. D. de; TRENTIN, M. G.; RASOTO, V. I. **Gestão Financeira: enfoque em inovação**. Curitiba: Aymará Educação, 2012.

SANT'ANA, H. da C. **DIMENSIONAMENTO DE UMA TORRE DE ENCHIMENTO PARA REMOÇÃO DE H₂S E CO₂ DE BIOGÁS PARA FINS ENERGÉTICOS**. Trabalho de conclusão de curso. Florianópolis. 2009. 53 p.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da Eletricidade Gerada em Conjunto de Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura. **Acta Scientiarum Technology**. Maringá, v. 26. no. 2. p. 127-133, 2004.

TORRES,R. **Matemática financeira e engenharia econômica**: a teoria e a prática. 2004. 87 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Licenciatura em Matemática, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.