

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA ELÉTRICA
RHUAN COELHO DE CARVALHO

**ENERGIAS RENOVÁVEIS: BIOGÁS, ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTES DE
RESÍDUOS DE BOVINOCULTURA**

Varginha
2019

RHUAN COELHO DE CARVALHO

**ENERGIAS RENOVÁVEIS: BIOGÁS, ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTES DE
RESÍDUOS DE BOVINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Silvio Bottrel Guimarães.

Varginha

2019

RHUAN COELHO DE CARVALHO

**ENERGIAS RENOVÁVEIS: BIOGÁS, ENERGIA ELÉTRICA PROVENIENTES DE
RESÍDUOS DE BOVINOCULTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof.

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida. A meus pais pelo imensurável apoio. Aos colegas de classe, por simplesmente me oferecerem a verdadeira amizade.

"Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma."

Antoine Lavoisier

RESUMO

A biomassa ou massa biológica é a matéria orgânica produzida por meio da decomposição de materiais orgânicos como esterco, resíduos agrícolas e até mesmo restos de alimentos, entre outros. O presente trabalho constitui um estudo de caso da Fazenda Pinhal, localizada em Elói Mendes, estado de Minas Gerais onde está implantado e em funcionamento um sistema de geração de energia por meio do biogás proveniente de resíduos de bovinocultura. Foram analisados aspectos econômicos do sistema instalado, estimando-se o valor economizado em compra de energia da concessionária e tempo de retorno do investimento.

Palavras-chave: Sustentabilidade, Meio Ambiente, Potencial Energético, Biogás, Energia Elétrica.

ABSTRACT

Biomass or biological mass is organic matter produced through the decomposition of organic materials such as manure, agricultural residues and even food remains, among others. The present work constitutes a case study of the Fazenda Pinhal, located in Elói Mendes, state of Minas Gerais, where an energy generation system is implemented and operated by means of biogas from cattle residues. Economic aspects of the installed system were analyzed, estimating the value saved in the purchase of energy from the concessionaire and time of return of the investment. Emphasis is placed on the overlapping of environmental and financial aspects.

Keyword: *Sustainability, Environment, Potential Energy, Biogas, Electricity.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Reservatórios de limpeza e lavagem dos dejetos	22
Figura 2: Misturador, separador e reservatório	22
Figura 3: "Bolhas" de gás, tubos de condução do gás	23
Figura 4: Quadros de energia gerada por biogás e quadro de energia Cemig	23
Figura 5: Gerador de energia, tempo de funcionamento e energia produzida.....	24
Figura 6: Quadros de medição Cemig, quantidade de energia comprada e vendida.....	24
Figura 7: Tarifa Cemig para categoria rural - normal	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição do biogás.....	16
Tabela 2: Produção diária de dejetos por animal.....	18
Tabela 3: Estimativa da capacidade de produção de biogás por biomassa	19
Tabela 4: Conversão energética para alguns efluentes	20
Tabela 5: Custos do sistema	21
Tabela 6: Estimativa de valor que seria pago à Cemig se não houvesse o sistema de geração de energia.....	26
Tabela 7: Estimativa de valor arrecadado com venda de energia para Cemig	26
Tabela 8: Estimativa do valor economizado mensalmente com a implantação do gerador	27
Tabela 9: Estimativa do tempo de retorno do investimento	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Objetivo geral.....	12
1.2 Objetivos específicos	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Desenvolvimentos sustentáveis.....	14
2.2 Biomassa e biogás	14
2.3 Utilização de biodigestores	17
2.4 Produção de dejetos e gás	18
2.5 Cálculo da produção de metano	19
3 MATERIAL E MÉTODO	21
3.1 Custos do sistema.....	21
3.2 Funcionamento do sistema.....	21
3.3 Geração de Energia	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
5 CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O conceito de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável tem se difundido cada vez mais no mercado globalizado e está cada vez mais próximo de se tornar um quesito indispensável para a sobrevivência das empresas.

Uma forma bastante comum de se aplicar o desenvolvimento sustentável na prática é pela geração de energias renováveis. Segundo Pereira, (2015), quando se fala em energias renováveis e desenvolvimento tecnológico é importante o aproveitar o potencial de algumas fontes de energia disponíveis, como a energia solar, eólica, fotovoltaica e de biomassa. As tecnologias a base de fontes renováveis são atrativas por oferecerem uma gama de vantagens ambientais, aliados a benefícios econômicos e sociais.

A utilização da biomassa, resíduo da bovinocultura, suinocultura dentre outras atividades pecuárias para a geração do biogás é relativamente simples de ser implantada em fazendas e possui grande potencial energético para abastecer aos equipamentos locais, ou até mesmo para a venda de energia gerada para concessionárias ou do biogás, gerando renda e economia para os proprietários.

Neste trabalho foi realizado um estudo de caso na Fazenda Pinhal, localizada no município de Elói Mendes, Estado de Minas Gerais. Esta fazenda possui um sistema de geração de energia por meio do biogás proveniente de resíduos de bovinocultura.

O estudo visa realizar uma análise da viabilidade econômica do sistema implantado já que em muitos casos a investimento inicial é inviável o que desestimula empresas, investidores e fazendeiros de implantarem sistemas de geração de energia limpa.

Espera-se que este trabalho possa contribuir com a comunidade acadêmica mostrando que é possível priorizar uma alternativa sustentável, e obter diversos benefícios com a implantação da mesma.

1.1 Objetivo geral

Analisar o sistema de geração de energia por meio do biogás proveniente de bovinocultura instalado na Fazenda Pinhal verificando o tempo de retorno do investimento.

1.2 Objetivos específicos

- ✓ Descrever o sistema de geração de energia renovável implantado na Fazenda Pinhal
- ✓ Desenvolver uma estimativa do potencial de geração de biogás da fazenda

- ✓ Estimar a quantidade de energia gerada mensalmente pelo sistema e qual o valor economizado em pagamento à concessionária
- ✓ Estimar o valor arrecadado com a venda de energia para a concessionária
- ✓ Estimar o tempo de retorno do investimento inicial

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Desenvolvimentos sustentáveis

De acordo com BELLEN (2004), o aprofundamento da crise ambiental, juntamente com a reflexão sistemática sobre a influência da sociedade neste processo, conduziu a um novo conceito: “o desenvolvimento sustentável”. Este conceito alcançou um destaque inusitado a partir da década de 1990, tornando-se um dos termos mais utilizados para se definir um novo modelo de crescimento. (PEREIRA, 2105).

Segundo Fasolin et al (2014), a sustentabilidade caracteriza-se, não como um estado fixo de harmonia, mas como um processo de mudanças, no qual se compatibiliza a exploração de recursos, o gerenciamento de investimento tecnológico e as mudanças institucionais com o presente e o futuro. No entanto, para que essas práticas sustentáveis sejam incorporadas na cultura da humanidade é necessário gerar o autodesenvolvimento.

Para Azevedo (2006), desenvolvimento local pode ser definido como a valorização das suas próprias características, afirmando uma identidade local para crescimento regional. Assim, uma sociedade é sustentável, “ao atender, simultaneamente, aos critérios de relevância social, prudência ecológica e viabilidade econômica, os três pilares do desenvolvimento sustentável” (SACHS, 2002).

Neste sentido, se pode afirmar que a sustentabilidade está voltada para as questões ambientais, além de englobar o campo social e econômico, sendo integrados para que todo o potencial almejado seja alcançado. (PEREIRA, 2105).

2.2 Biomassa e biogás

Segundo Pereira, (2015), pode ser considerada biomassa todo recurso renovável que provêm de matéria orgânica, seja de origem vegetal ou animal, tendo por objetivo principal a produção de energia, sendo esta, uma forma indireta de aproveitamento da luz solar (ocorre a conversão da radiação solar em energia química por meio da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos).

Biomassa é matéria orgânica, morta ou viva, existente nos organismos (animais ou vegetais) de uma determinada comunidade. Podem ser recuperadas através dos resíduos florestais, agrícolas, pecuários e até mesmo urbanos, podendo ser-lhe dadas algumas utilizações úteis, entre as quais a fertilização dos solos para agricultura ou a produção de energia primária. (PEREIRA, 2105)

Higman (2003), definem biomassa como toda e qualquer matéria bruta derivada de organismos vivos incluindo culturas alimentares, gramíneas e plantas lenhosas, resíduos da agricultura e silvicultura, algas ricas em óleo, e ainda, componentes orgânicas de resíduos urbanos e industriais. Assim, a biomassa vegetal e animal possuem características semelhantes quando o assunto é aproveitamento energético. Porém, é importante entender as suas diferenças e como essas formas renováveis colaboram para o desenvolvimento da matriz energética nacional. (PEREIRA, 2105)

O uso de energia limpa, como a proveniente de biomassa do capim-elefante, está no rol das alternativas para a redução de 40% a 70% nas emissões de gases até 2050, conforme definido na Conferência das Partes (COP-20) realizada no Peru em dezembro de 2014.

De acordo com dados da ANEEL (2005), as principais formas de conversão energética de biomassa são combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação).

Informações do último Balanço Nacional Energético (EPE; 2014), apontam que 51,10% do total de energia obtida a partir de geração por biomassa no Brasil foi utilizado para suprir necessidades industriais de energia, 28,80% para necessidades no setor de alimentos e bebidas e 17,50% nos transportes. Tais parcelas são referentes a todos os tipos de geração possíveis a partir de biomassa, incluindo biodiesel e etanol.

De acordo com a Empresa de Pesquisa Energética a participação da biomassa, no que corresponde à capacidade instalada, vai chegar à aproximadamente 9 megawatts em 2020 e que a maior parte será proveniente da cana-de-açúcar (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA; 2007).

O biogás pode ser obtido na degradação da matéria orgânica, é composto principalmente por gás metano; é um gás de efeito estufa que contribui com o aquecimento global. Estudos mostram que o biogás é um gás inflamável, de composição formada

principalmente por gás metano inodora incolor e insípida com mau cheiro atribuído ao gás sulfídrico que é o componente de menor porcentagem (DEUBLEIN; 2008).

Deublein (2008) afirmam ainda que o biogás é constituído de 55 a 70% de metano (CH₄) e 30 a 45% de dióxido de carbono (CO₂), mas também contém resquícios de outros gases.

O biogás é uma mistura gasosa formada especialmente por metano (CH₄ - em torno de 50%) e de dióxido de carbono (CO₂ – acima de 30%, conforme a Tabela 1).

Tabela 1: Composição do biogás

Gases	%
Metano (CH ₄)	50 a 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 a 40
Nitrogênio (N ₂)	0 a 10
Hidrogênio (H ₂)	0 a 5
Oxigênio (O ₂)	0 a 1
Gás sulfídrico (H ₂ S)	0 a 1
Vapor d'água [®]	0,3 [®]

Fonte: Adaptado de WALSH JR. et al, (1998); BRETON et al., (2004)

Segundo Costa (2002), a conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos, visto que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos.

Os gases são liberados pela fermentação dos resíduos através da produção de bactérias, assim surge o biogás. Após a fermentação é necessário passar por processos de limpeza chamados de desumidificação (OLIVEIRA; 2008).

Para se obter o biogás é imprescindível o processo que se dá por meio da decomposição anaeróbica, que se desenvolve ao longo de três fases distintas: liquefação, acidulação e gaseificação (MAGALHÃES; 1980).

Magalhães (1980) mostra ainda que, o biogás é considerado um combustível gasoso que possui um conteúdo energético muito elevado, alto poder calorífico, semelhante ao do gás natural, podendo ser aproveitado como energias renováveis. É extremamente importante em qualquer atividade a verificação da qualidade do produto, que para este caso é o biogás.

Para que o biogás possa ser aproveitado de forma otimizada, o metano gerado deve ser predominantemente equivalente a 70% ou mais do total de gases gerados no processo (MARQUES; et al.; 2014).

Em atendimento à questão de aproveitamento otimizado do biogás, a Embrapa lançou em 2008 o 'Kit biogás', que foi desenvolvido com o objetivo de ajudar os agricultores a medir a qualidade do gás, e subsidiar a entrada dos processos anaeróbios no mercado de créditos de carbono (BOAS; 2008).

Segundo Pereira, (2015), existem diversas tecnologias capazes de efetuar a conversão energética ou utilização do biogás.

2.3 Utilização de biodigestores

O uso dos biodigestores para o tratamento principalmente de dejetos de animais é amplamente disseminado em todo o mundo, tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. (PEREIRA, 2105)

Segundo Junior (2009), biodigestores são estruturas projetadas e construídas de modo a produzir a degradação da biomassa residual sem que haja qualquer tipo de contato com o ar, o que proporciona condições para que alguns tipos de bactérias, altamente consumidoras passem a predominar no meio e, provoquem uma degradação acelerada da matéria.

De acordo com Gaspar (2003), o biodigestor é um recipiente onde é depositado material orgânico, que será diluído em água, passando por um processo de fermentação anaeróbica, na qual resultará no biofertilizante e biogás.

A produção de biogás a partir de biomassa pode ser utilizada como substratos para a produção do biogás, mas, a maioria dos biodigestores utiliza esterco líquido para a fermentação (DEUBLEIN; 2008).

De acordo com Pereira, (2015), o principal equipamento desse processo de conversão de biomassa, em biogás, é o biodigestor. O processo de transformação que ocorre nos biodigestores é chamado digestão anaeróbia e, é favorecido, pela umidade e aquecimento. Consiste, basicamente, na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos), altamente vorazes, que em condições ideais, passam a predominar no meio, provocando a degradação de forma acelerada. Este processo ocorre de forma simples e natural com quase todos os compostos orgânicos (COELHO; et al.; 2006).

Segundo Coelho et al (2006), para a conversão energética do biogás, conta-se atualmente com diversas tecnologias, sendo as de uso mais frequente:

- ✓ A energia mecânica resultante da conversão energética ativa um gerador que por sua vez converte em energia elétrica;
- ✓ A queima direta do biogás em caldeiras para cogeração;

- ✓ Tecnologias remanescentes, porém atualmente não comerciais, como a célula combustível, turbinas a gás, além de motores de combustão interna do tipo “ciclo Otto”.

Além da economia existem outras vantagens ligadas ao desenvolvimento da tecnologia como o envio de dejetos de animais para o biodigestor evitando que estes sejam jogados no meio ambiente sem tratamento, contaminando nascentes e lençóis freáticos, os principais beneficiários do equipamento são os agricultores pelo aproveitamento dos dejetos para a produção do biogás e o biofertilizante e o meio ambiente em geral. (PEREIRA, 2105)

É disponibilizado pela CEMIG (2016) uma gama de tarifas, cada uma dimensionada para cada tipo de cliente, clientes que consomem elevada carga energética permanentemente, clientes que consomem somente em horário comercial, clientes que consomem pouca energia, enfim, existe uma gama de tarifas diferenciadas, e deve ser analisada qual tarifa se enquadra melhor na necessidade da empresa, a fim de otimizar os custos com energia elétrica.

2.4 Produção de dejetos e gás

Segundo Gaspar (2003), a produção animal é uma das atividades que causa grande impacto ambiental, considerada pelos órgãos de controle ambiental como uma das geradoras de deterioração, tendo grande potencial poluidor no que diz respeito aos recursos hídricos. A implantação de biodigestores nas propriedades rurais criadoras de animais pode representar uma medida importante no combate à poluição dos rios.

A Tabela 2 apresenta uma estimativa da produção diária de biomassa animal, ou seja, dejetos que podem contaminar o solo, lençóis freáticos e afins com grande proliferação de bactérias.

Tabela 2: Produção diária de dejetos por animal

Tipo de animal	Média de produção de dejetos (em kg por dia)
Bovinos	10,00
Suínos	2,25
Aviários	0,18
Equinos	10,00

Fonte: Fonte: Sganzerla, (1983), apud Santos e Nardi Junior (2013)

De acordo com Batista (1981), a contribuição principal do sistema é que os dejetos produzidos nas propriedades, sejam transformados em gás, e também a utilização dos resíduos como fertilizantes. Sendo o gás metano (CH₄) participante na composição do biogás, tendo poder calorífico deste variando de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura, produzindo

energia barata e aproveitando os resíduos animais, evitando que sejam despejados no meio ambiente.

Na Tabela 3, é apresentada a uma estimativa da capacidade de produção de biogás, assim como a concentração de metano, por espécie animal.

Tabela 3: Estimativa da capacidade de produção de biogás por biomassa

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

Fonte: Fonte: Sganzerla, (1983), apud Santos e Nardi Junior (2013)

Dejetos suínos têm melhor rendimento, cerca de 560m³de biogás, com percentual de gás metano de 50%, demonstrando que a produção de biogás a partir de dejetos suínos é maior em relação aos dejetos citados. Salienta-se que a produção de CH₄ pode variar dentro das espécies devido a sua alimentação, visto que animais confinados tendem a produzir quantidades maiores de CH₄ (COLATTO, 2012).

Segundo Seixas et al (1980), quando os microrganismos são bem sucedidos no processo, o biogás é obtido de misturas com cerca de 60 ou 65% do volume total consistindo em metano, enquanto os 35 ou 40% restantes consistirem, principalmente, em gás carbônico e quantidades menores de outros gases.

Para Pereira (2005), em termos práticos e mais simples, pode-se considerar a produção de biogás variando entre 0,5 – 0,7 m³ biogás/dia por m³ de biomassa (volume do biodigestor). Se considerar-se um biodigestor com 100m³ de volume, este teria potencial para gerar entre 50 – 70 m³ biogás/dia. Porém, a produção de biogás tem um fator determinante que é o tipo de esterco que será usado para a produção deste. Qualquer material orgânico pode ser utilizado na biodigestão, porém os que apresentam maior rendimento são os de aves e suíno, conforme observado na Tabela 3, porém os mais utilizados são os dejetos de suínos (Tabela 4) (PEREIRA, 2005).

2.5 Cálculo da produção de metano

Segundo Santos e Nardi Junior, a quantidade de metano, em metros cúbicos, produzida em um mês pode ser calculada conforme a Equação 1:

$$\text{CH}_4 = 30 \text{ dias} \times \text{cabeças} \times \text{Et} \times \text{Pb} \times \text{Conc. CH}_4 \times \text{VE}^{-1}$$

(Equação 1)

onde:

Et - Esterco total [kg esterco t (dia . unidade geradora)⁻¹]

Pb - Produção de biogás [kg biogás kg esterco⁻¹]

Conc. CH₄ - Concentração de metano no biogás [%];

VE⁻¹ - Volume específico do metano [kg CH₄⁻¹m⁻³CH₄⁻¹], igual a 0,670kg CH₄⁻¹m⁻³CH₄⁻¹

Na Tabela 4 são apresentados valores de conversão energética para alguns efluentes.

Tabela 4: Conversão energética para alguns efluentes

Origem do Material	Kg de esterco (dia.unidade geradora) ⁻¹	Kg de biogás Kg de esterco ⁻¹	Concentração de Metano
Suíno	2,25	0,062	66%
Bovinos	10	0,037	60%
Equinos	12	0,048	60%
Aves	0,18	0,055	60%
Abatedouro (Kg)	1	0,1	55%
Vinhoto (Kg)	1	0,018	60%

Fonte: CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa), apud Santos e Nardi Junior (2013)

3 MATERIAL E MÉTODO

Para desenvolvimento do presente trabalho foi realizada revisão bibliográfica sucinta e estudo de caso em uma propriedade rural localizada no município de Elói Mendes, estado de Minas Gerais, denominada Fazenda Pinhal. Tal propriedade produz energia elétrica por biomassa a partir de dejetos bovinos.

Atualmente está implantado o biodigestor com sistema canadense de 22m x 44m, lona com 5 anos de durabilidade no qual 1kg de esterco gera 0,46 m³ de biogás. O gerador de energia através do biogás teve registro de 20.000 horas de funcionamento sem apresentar problemas.

3.1 Custos do sistema

Em visitas ao local objetivando o levantamento de dados, foram obtidos valores referentes a custos de implantação e manutenção do sistema de geração de energia por meio da bovinocultura. Na Tabela 5 são apresentados os valores investidos e de manutenção para o sistema implantado na Fazenda Pinhal, considerando-se que existem 1040 animais no local.

Tabela 5: Custos do sistema

Item/Serviço	Custo (R\$)
Todo o Sistema	800.000
Troca de óleo e peças (mensal)	2.000
Troca da lona do biodigestor (a cada 5 anos)	80.000

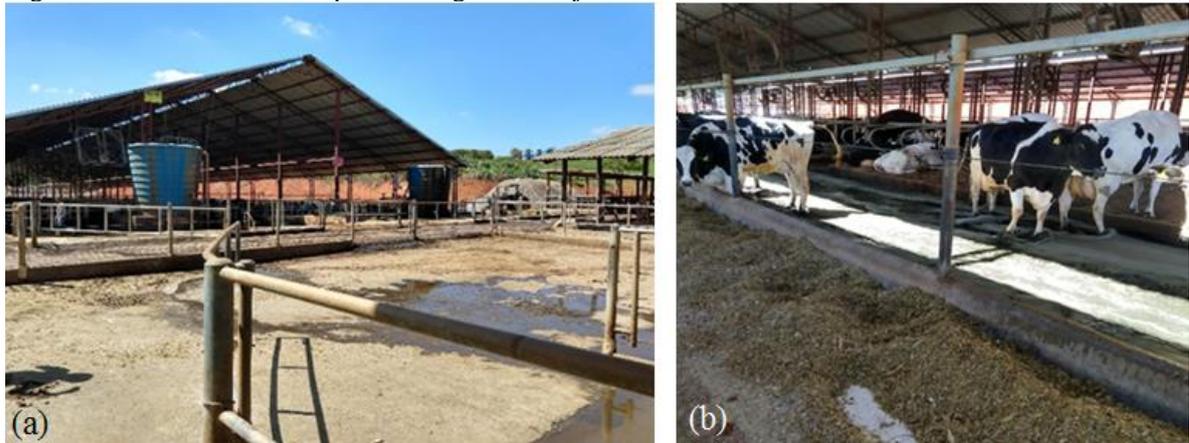
Fonte: O autor, 2018

3.2 Funcionamento do sistema

Em visita ao local foi feita a análise do funcionamento do sistema de geração de energia em suas diversas etapas.

Há um reservatório de água com capacidade para 1000 litros destinada à limpeza dos excrementos dos bovinos (Figura 1a). O acionamento deste sistema é feito manualmente, liberando a água na área de permanência dos animais para realização da lavagem dos dejetos (Figura 1b).

Figura 1: Reservatórios de limpeza e lavagem dos dejetos



Fonte: O autor, 2018

Após a lavagem, os excrementos são misturados à água (Figura 2a) e em seguida a mistura é enviada para o separador (Figura 2b) onde as fases sólida, líquida e gasosa são separadas. A parte líquida é então encaminhada a um reservatório (Figura 2c), com a finalidade de ser reutilizada na lavoura. A parte sólida é reutilizada como esterco e também é utilizado na lavoura. O gás é destinado à geração de energia elétrica.

Figura 2: Misturador, separador e reservatório



Fonte: O autor, 2018

O gás utilizado na geração de energia elétrica é armazenado em “bolhas” sobre a lona apropriada para o sistema (Figura 3a). A condução do gás até o gerador é feita por meio de dois tubos (Figura 3b), um que conduz o gás para a geração de energia e outro que conduz o excesso de gás para a queima, de forma que o mesmo não seja lançado na atmosfera produzindo impactos indesejáveis.

Figura 3: "Bolhas" de gás, tubos de condução do gás

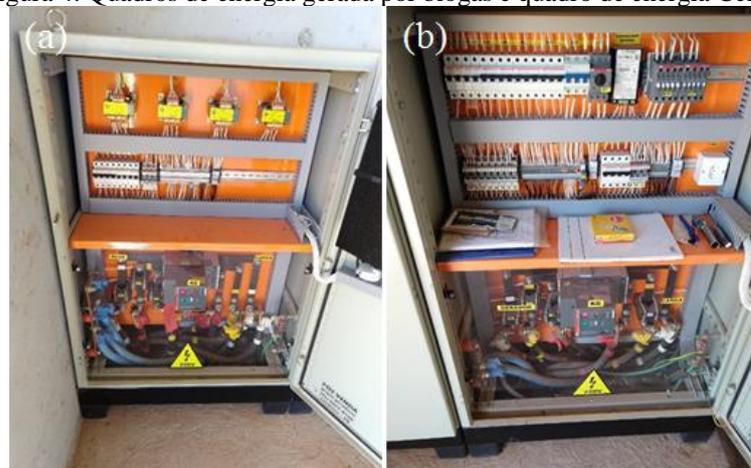


Fonte: O autor, 2018

3.3 Geração de Energia

A energia gerada pelo biogás é medida por um quadro específico para esta finalidade (Figura 4a). A propriedade possui também um quadro destinado à medição da energia fornecida à Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), já que a energia excedente gerada pelo biogás é vendida para a empresa (Figura 4b).

Figura 4: Quadros de energia gerada por biogás e quadro de energia Cemig



Fonte: O autor, 2018

Em visita ao local, foi verificado que o gerador com potência de 120 KVA (Figura 5a) está em funcionamento há 5165,85 horas (Figura 5b), e que durante este tempo de funcionamento produziu 318,75 MWh (Figura 5c). Sendo assim, conclui-se que o sistema instalado na Fazenda Pinhal gera 0,062 MWh.

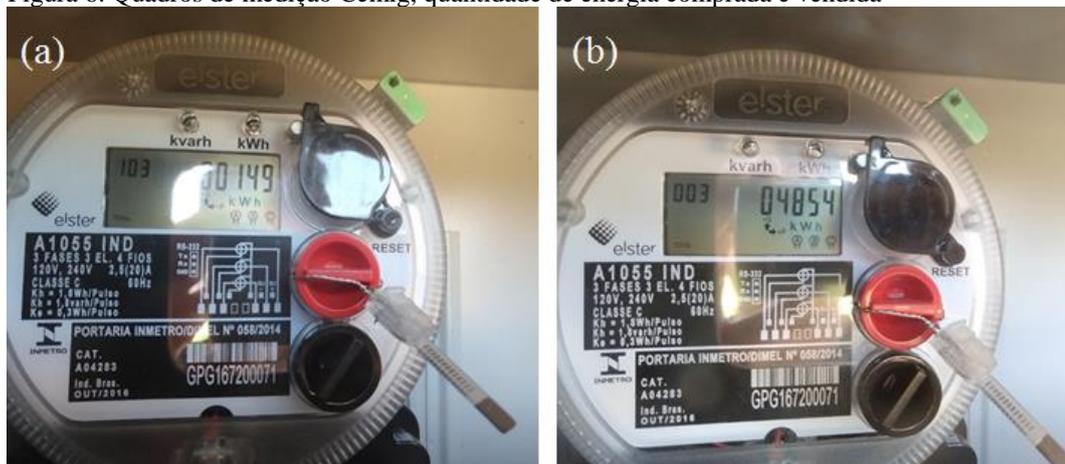
Figura 5: Gerador de energia, tempo de funcionamento e energia produzida



Fonte: O autor, 2018

Conforme citado anteriormente, a energia excedente gerada é vendida para a Cemig, porém nem todo o abastecimento energético da fazenda é proveniente da energia gerada pelo biogás. Em visita ao local foi verificada a quantidade e energia vendida para a concessionária (Figura 6a) e a quantidade de energia comprada da concessionária (Figura 6b).

Figura 6: Quadros de medição Cemig, quantidade de energia comprada e vendida



Fonte: O autor, 2018

Observa-se que foram comprados 4852 kWh, e foram vendidos 149 kWh, o que significa que a quantidade de energia vendida à concessionária corresponde a 3,07% da energia comprada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Não foram fornecidos dados precisos pelo proprietário com relação à quantidade de gás produzido por meio dos dejetos dos bovinos presentes na fazenda, por esta razão foi feita uma estimativa.

Com base nas informações da Tabela 4 cada bovino produz cerca de 10 kg de excremento por dia, e cada quilograma de excremento bovino produz 0,037 kg de biogás com concentração de metano de aproximadamente 60%. Considerando que na fazenda em estudo existem 1040 animais chega-se à conclusão a capacidade de produção diária é de aproximadamente 384,8 kg de biogás. A capacidade mensal é de aproximadamente 11,5 toneladas de biogás.

Vale ressaltar que a produção de biogás a partir de dejetos animais, depende de muitas variáveis, como a quantidade de dejetos produzidos, a composição dos mesmos e o tipo de alimentação dos animais, além de fatores externos como o clima, tipo de confinamento e a eficiência do biodigestor.

Com relação à utilização da energia produzida pelo gerador não foram fornecidas pelo proprietário informações concisas sobre as características dos equipamentos que utilizam desta energia para que se pudesse chegar a um cálculo preciso. Foi informado apenas que o gerador produz continuamente cerca de 200 amperes e que a energia produzida pelo biogás é utilizada na ordenha, que é composta por diversos motores, aquecedores, lavadores, refrigeração dos tanques e iluminação, conjunto que consome cerca de 100 amperes. Ainda segundo o proprietário os 100 amperes restantes são utilizados para ventilação dos animais. O sistema de ventilação é composto por 12 ventiladores com motor de 3 cv cada, ligados 24 horas por dia, consumindo 8,18 amperes cada.

Foi constatado que a geração de energia é alta, porém a venda para a Cemig é pequena porque a maior parte da energia produzida é utilizada na própria fazenda, o que gera economia para o local.

Da energia total produzida pelo gerador correspondente a 318.760 kWh, apenas 149 kWh foram vendidos pela Cemig. Sem a implantação do sistema de geração de energia através do biogás a fazenda teria comprado 318.611 kWh da concessionária.

A Figura 7 mostra as tarifas cobradas pela Cemig para a categoria rural normal, nas bandeiras, verde, amarela e vermelha nos patamares 1 e 2, categoria na qual se enquadra a Fazenda Pinhal.

Figura 7: Tarifa Cemig para categoria rural - normal

B2 - RURAL	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Rural - Normal (Consumo R\$/kWh)	0,41079	0,42079	0,44079	0,46079

Fonte: Cemig, 2018

Com base na tabela tarifária da Cemig foram calculados os valores que seriam pagos à concessionária em cada bandeira se a fazenda não possuísse o sistema de geração de energia por biogás, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6: Estimativa de valor que seria pago à Cemig se não houvesse o sistema de geração de energia

Bandeira	Valor R\$/kWh	Consumo de energia kWh	Valor total R\$
Verde	0,41079		130.882,21
Amarela	0,42079		134.068,32
Vermelha (patamar 1)	0,44079	318.611	140.440,54
Vermelha (patamar 2)	0,46079		146.812,76

Fonte: O autor, 2018

Observa-se que se a geração de energia na própria fazenda é de pelo menos 130.882,21 reais no caso da bandeira verde podendo passar de 146 mil e quinhentos reais no caso da bandeira vermelha patamar 2. Além disso, parte da energia gerada foi vendida para a Cemig o que também gera uma economia simbólica conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7: Estimativa de valor arrecadado com venda de energia para Cemig

Bandeira	Valor R\$/kWh	Consumo de energia kWh	Valor total R\$
Verde	0,41079		61,21
Amarela	0,42079		62,70
Vermelha (patamar 1)	0,44079	149	65,68
Vermelha (patamar 2)	0,46079		68,66

Fonte: O autor, 2018

Na data da visita à fazenda o gerador estava em funcionamento há 5165,85 horas o que equivale a aproximadamente 7 meses. Dividindo-se a o valor economizado em cada bandeira pelos meses de funcionamento do gerador obtêm-se os dados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Estimativa do valor economizado mensalmente com a implantação do gerador

Bandeira	Valor total R\$	Valor mensal R\$
Verde	130.882,21	18.254,14
Amarela	134.068,32	18.698,51
Vermelha (patamar 1)	140.440,54	19.587,24
Vermelha (patamar 2)	146.812,76	20.475,98

Fonte: O autor, 2018

Considerando os dados apresentados sobre investimento inicial e manutenção do sistema, foi feita uma estimativa do tempo de retorno para o investimento considerando as tarifas de cada uma das bandeiras da Cemig. Para os valores mensais foram considerados R\$ 2.000,00 de manutenção preventiva e corretiva, troca de óleo e peças. O valor referente à troca da lona do biodigestor foi diluído em meses, sendo R\$ 1.333,33 por mês. O valor total de despesas fixas mensais é de R\$ 3.333,33. Para o cálculo do tempo de retorno do investimento as despesas mensais foram descontadas do valor total economizado por mês em cada uma das bandeiras. Os resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Estimativa do tempo de retorno do investimento

Bandeira	Investimento Inicial (R\$)	Manutenção (despesas mensais em R\$)	Tempo de Retorno (meses)
Verde			53,62
Amarela			52,07
Vermelha (patamar 1)	800.000,00	3.333,33	49,22
Vermelha (patamar 2)			46,67

Fonte: O autor, 2018

O tempo de retorno médio para o investimento inicial é de 4 anos. Foi informado pelo proprietário que a Fazenda Pinhal possui 5 anos de carência para iniciar o pagamento, o que significa que no prazo de carência é possível levantar o valor necessário para quitar o investimento inicial apenas com a economia de energia gerada pelo sistema. Vale ressaltar que o impacto ambiental é também muito significativo.

5 CONCLUSÃO

A preocupação com o meio ambiente e práticas voltadas para o desenvolvimento sustentável têm se tornado cada vez mais presente nas empresas das mais diversas áreas. No entanto, o que pouco se discute é o impacto financeiro para a implantação de tais medidas.

È inquestionável que a geração de energia renovável é uma excelente forma de reduzir os impactos negativos e o potencial poluidor que agride o meio ambiente.

A utilização do biogás proveniente dos resíduos de bovinocultura é eficaz e traz efeitos positivos em diversos aspectos, como a redução da poluição em rios, lençóis freáticos e outros cursos d'água e por ser uma forma de geração energia limpa, renovável. É uma alternativa para a utilização de combustíveis derivados de petróleo e até mesmo ao gás liquefeito de petróleo (gás de cozinha), além de possibilitar a geração de fertilizantes. Pode também vir a ser fonte de renda para agricultores por meio da venda do biogás.

Diante do exposto conclui-se que tanto sob a ótica ambiental e sustentável quanto sob o ponto de vista financeiro a implantação do sistema de geração de energia por meio do biogás produzido por resíduos da bovinocultura implantado na Fazenda Pinhal é positiva e contribui em diversos aspectos com o desenvolvimento sustentável.

A economia mensal é muito significativa, já que os proprietários da fazenda deixam de pagar por mês quase vinte mil reais para a concessionária de energia. O investimento possui 5 anos de carência, o que possibilita o levantamento do valor investido inicialmente apenas com a economia gerada pela implantação do sistema, tendo em vista que o tempo de retorno do investimento inicial é de aproximadamente 4 anos.

Vale ressaltar que o sistema está instalado e operante e que os benefícios ambientais e o desenvolvimento sustentável também são aspectos de grande relevância e que devem ser evidenciados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. Atlas de Energia Elétrica. 2 ed. 2015. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm> >. Acesso em 02 maio 2018.
- AZEVEDO, A. L. V. Indicadores de sustentabilidade empresarial no Brasil: uma avaliação do Relatório do CEBDS. Revista Iberoamericana de Economia Ecológica, v. 5, p. 75-93, 2006.
- BATISTA, L.F. Manual técnico construção e operação de biodigestores. Brasília, DF, 1981, (Manuais, 24).
- BELLEN, H. M. V. Desenvolvimento Sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. Revista Ambiente & Sociedade. Vol. VII, nº 1 Jan./jun. 2004.
- BOAS, J.V. Kit mostra a qualidade do biogás. Brasília, 21 jul. 2008. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2008/janeiro/4a-semana/kit-mostra-a-qualidade-dobiogas>>. Acesso em 10 abril 2018.
- COELHO, S. T. et al. A conversão da fonte renovável biogás em energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO ENERGÉTICO (CBPE), 5, 2006, Brasília. Anais. Brasília: V CBPE, 2006.
- COLATTO ,L; LANGER, M. Unoesc & Ciência – ACET, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, jul./dez. 2011
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS, Cemig. Valores de tarifa e serviço. Disponível em: < https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx > Acesso em: 05 de janeiro de 2019
- CONFERÊNCIA DAS PARTES – COP-20. 2014. Disponível em:< http://www.wwf.org.br/wwf_brasil/?42902/COP20-Desenho-de-novo-acordo-climtico-ainda-temlacunas-importantes>. Acessado em: Abril, 2018.
- COSTA, D. F. Biomassa como fonte de energia, conversão e utilização. (Monografia). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Biogas from waste and renewable resources. Weinheim: WILEYVCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2008.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. Balanço nacional energético 2014: ano base 2013. Rio de Janeiro: EPE, 2014.
- FASOLIN, L. B. et al. Relação entre o Índice de Sustentabilidade e os Indicadores Econômicofinanceiros das empresas de energia brasileiras. Revista em Gestão, Educação e Tecnologia, (REGET). Issn 2236 1170, v. 18, n. 2. Mai-Ago, pp. 955-981, 2014.
- GASPAR, R. M. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR. 2003. 119 f.

Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HIGMAN, C.; BURGT, M. V. D. Elsevier Science, Gasification, Gulf Professional Publishing: Feedstocks and Feedstock Characteristics. 1 ed., cap. 4, Burlington, MA, USA, 2003.

JÚNIOR, B. C. Embrapa – Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2. ed. Foz do Iguaçu: FAO. 2009.

KONZEN, E. A. Viabilidade ambiental e econômica de dejetos de suínos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.

MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1980.

MARQUES, S. M. A. A. et al. Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. Revista em Gestão, Educação e Tecnologia, (REGET). Issn 2236 1170, v. 18, n 3 Set-Dez, PP. 990-999, 2014.

OLIVEIRA, P. A. V. Projeto de biodigestor para produção de biogás em sistema de produção de suínos. Disponível em: <http://www.cnpsa.embrapa.br/down.php?tipo=artigos&cod_artigo=263>. Acesso em 25 set 2018.

PEREIRA, M.S., GODOY, T.P., GODOY, L.P., BUENO, W.P., WEGNER, R.S.. Energias renováveis: biogás e energia elétrica provenientes de resíduos de suinocultura e bovinocultura na UFSM. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 3, set-dez. 2015, p. 239-247

PEREIRA M. L. Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura. São Paulo, SP, 2005; Disponível em: <<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

SACHS, I. Caminhos para o desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2002.

SANTOS, E.L.B., NARDI JUNIOR, G.. Produção de Biogás a Partir de Dejetos de Origem Animal. Trabalho de Conclusão de Curso - Tecnologia em Agronegócio da Faculdade de Tecnologia de Botucatu - SP. Tekhne e Logos, Botucatu, SP, v.4, n.2, Agosto, 2013.