

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CAMPUS DE TOLEDO
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Desenvolvimento Regional
e Agronegócio

Ana Carolina Alves Gomes

A VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO USO DO BIOGÁS PARA
IMPLANTAÇÃO DE UM CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA NO MUNICÍPIO DE
TOLEDO-PR

Toledo
2014

Ana Carolina Alves Gomes

**A VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO USO DO BIOGÁS PARA
IMPLANTAÇÃO DE UM CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA NO MUNICÍPIO DE
TOLEDO-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE/Campus de Toledo, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti

Toledo

2014

Catálogo na Publicação elaborada pela Biblioteca Universitária
UNIOESTE/Campus de Toledo.
Bibliotecária: Marilene de Fátima Donadel - CRB – 9/924

G633v Gomes, Ana Carolina Alves
A viabilidade econômico-financeira do uso do biogás para
implantação de um condomínio de agroenergia no município
de Toledo - PR. -- Toledo, PR : [s. n.], 2014.
105 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti
Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e
Agronegócio) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Campus de Toledo. Centro de Ciências Sociais Aplicadas

1. Energia – Fontes alternativas 2. Biogás 3. Agricultura
e energia 4. Recursos energéticos 5. Resíduos agrícolas 6.
Energia da biomassa 7. Estudos de viabilidade I. Piacenti,
Carlos Alberto, orient. II. T

CDD 20. ed. 333.954

Ana Carolina Alves Gomes

**A VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DO USO DO BIOGÁS PARA
IMPLANTAÇÃO DE UM CONDOMÍNIO DE AGROENERGIA NO MUNICÍPIO DE
TOLEDO-PR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Desenvolvimento Regional e Agronegócio, da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE/Campus de Toledo, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Aziz Galvão da Silva Junior
Universidade Federal de Viçosa

Prof. Dr. Jandir Ferrera de Lima
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Carlos Alberto Piacenti
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Toledo, 1º de setembro de 2014

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por seu infinito amor, a minha família, meus irmãos, minha mãe, em especial a meu pai, ausente fisicamente, mas, sempre presente em meu coração e orações. Aos professores da Universidade Federal de Viçosa e da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - *Campus Toledo*, que compartilharam ensinamentos e ricas experiências, em especial meu orientador Carlos Alberto Piacenti. Aos colegas do mestrado, aos amigos que fiz no Paraná e àqueles que de certa forma (perto ou longe) me apoiaram para que essa etapa da minha vida fosse cumprida com êxito. Meu muito obrigada a vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, ao nosso Deus, Trindade maior, que por seu infinito amor me concedeu a sabedoria, a paciência, a capacidade e o esforço para que eu concretizasse mais uma, de muitas, importante etapa da minha vida.

A minha família, em especial minha mãe pela persistência e paciência no percurso desta etapa da minha vida, também ao meu saudoso pai, pelos incentivos e pelos ensinamentos de vida.

Aos meus amigos Aline Veloso, Leidiane Mariane, Renata Rosário, Jéssica Yuki, Deni Matias, Rafaela Firmino, Luciene Oliveira, Juliana Nogueira, entre outras que nunca deixaram de estar ao meu lado nos melhores e nos piores momentos.

Aos meus amigos de curso, em especial a Márcia Albuquerque pelo companheirismo, amizade, colaboração, compreensão, sugestão, confiança e carinho, no qual foram fundamentais para o desenvolvimento deste e de muitos trabalhos.

Aos professores: Aziz Galvão, Viviane Lírio, Erly Teixeira, Ronaldo Perez, Pery Shikida, Mirian Braun, Débora Lobo, Jandir Ferrera, Weimar Rocha, Carla Schmidt, Moacir Piffer, entre outros, pela caminhada vivida e pelas trocas de experiências e ensinamentos transmitidos; e aos funcionários da Unioeste Clarice e João, que com carinho e dedicação sempre nos ajudaram.

Em especial, agradeço a CAPES que por meio do PGDRA me concedeu uma bolsa de estudos, dando oportunidade para que eu pudesse vencer mais uma etapa da minha vida.

Ao Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás CIBiogás-ER pela disposição e atenção nos trabalhos realizados e pela colaboração na pesquisa do presente trabalho.

RESUMO

As atividades produtivas do setor agropecuário são grandes dependentes de diversas formas energéticas, sendo necessários o desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas com vistas ao autoabastecimento a custos reduzidos e com menores impactos socioambientais. Vê-se no aproveitamento da biomassa para geração de energia um importante potencial, uma vez que propicia uso racional dos recursos disponíveis, reduz a transferência de renda para outros agentes e diminui a dependência de fontes externas de energia. A exposição dos dejetos dos animais no meio ambiente gera inúmeras externalidades negativas, tais como: poluição hídrica, terrestre e atmosférica; eutrofização das águas; emissões de GEE; entre outras. Através da geração do biogás, pode-se gerar energias elétrica, térmica e veicular, proporcionando o autoabastecimento energético das unidades produtoras e permitindo a criação de condomínios de agroenergia, potencializando os pequenos produtores. Com isso, o objetivo deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de projetos para geração de energia elétrica, térmica e veicular a partir de dejetos animais na região da microbacia do Lajeado Grande, do município de Toledo, Paraná, verificando a alternativa que possibilite o maior ganho econômico. Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho foram realizadas pesquisa de campo e bibliográfica, aplicando-se 39 questionários em cada uma das propriedades que trabalham com produção animal na microbacia do Lajeado Grande. A escolha da amostra se deu baseada no “Programa de Desenvolvimento Ambiental Sustentável de Toledo” da Prefeitura Municipal, em que identificou-se na região de estudo alto potencial poluidor, propondo a implantação de um condomínio de agroenergia para produção de biogás oriundo de dejetos animais com a intenção de reverter esse quadro. O plantel de animais das propriedades foi de 285.484 cabeças (suínos, bovinos e aves), com potencial de produção de dejetos na ordem de 85.024,07m³/ano e de biogás em 1.569.608,39 m³/ano. Dessa forma, analisaram-se algumas das possibilidades de uso do biogás produzido no Condomínio de Agroenergia do Lajeado Grande (em substituição à energia elétrica convencional, à lenha e ao gás natural - biometano) e concluiu-se que o melhor arranjo é a aplicação para uso veicular, visto as características da comunidade, dos demandantes de energias e dos resultados econômicos, sendo o capital deste último retornado no menor tempo

se comparado aos demais cenários. Espera-se que novos trabalhos possam surgir a partir deste, analisando a valoração do biofertilizante; a produção de biogás pelo aproveitamento dos dejetos avícolas; a possibilidade de geração múltipla de energias; a possibilidade de inserção de novos (e/ou outros) consumidores das energias geradas pelo condomínio; as melhorias sociais alcançadas; e, não menos importante, a quantificação dos benefícios ambientais auferidos pelo tratamento dos dejetos animais do condomínio.

Palavra-chave: condomínio de agroenergia, biogás, viabilidade econômica.

ABSTRACT

The production activities in the agricultural sector are major dependent of several energetic forms and is necessary the development and implementation of technological alternatives with views to the self-supply at reduced costs and lower environmental and social impacts. The significant potencial of the use of biomass for energy generation is self-evident, since it provides the racional use of the available resources, reduces the income transfer to other agents and decreases the dependence upon external sources of energy. The exposure of animal waste in the environment generates several negative externalities, such as: water, land and air pollution; eutrophication of waters; GHG emissions; among others. There is a possibility of generating electricity, thermal and vehicular energy through the biogas generation, providing energetic self-supply of the producing unities and the creation of agroenergy condominiums to enhance small farmers. Therefore, the aim of this work is to analyze the economic feasibility of projects implementation for electrical, thermal and vehicular energy generation from animal waste in the watershed area of Lajeado Grande, in the city of Toledo, Paraná, by checking the alternative that provides the largest economic gain. To achieve the objectives proposed in this work, it was carried out field and bibliographical research and 39 questionnaires were applied in each of the properties that work with livestock in Lajeado Grande watershed. The choice of the sample was made based on the "Sustainable Environmental Development Program of Toledo" City Hall, where it was identified a high pollution potential in the study area and it was suggested the establishment of a agroenergy condominium for biogas derived from animal waste with the intent to reverse this situation. The properties' breeding stock of animals was 285 484 heads (pigs, cattle and poultry), with a waste production potencial of 85.024,07 m³/year and a biogas production potencial of 1,569,608.39 m³/year . Accordingly, it was analyzed some of the possible uses of the biogas produced in the Lajeado Grande agroenergy condominium (replacing conventional electricity, wood and natural gas - biomethane) and it was concluded that the best arrangement is to apply for vehicular use, based on the characteristics of the community, in the demanders of energy and in economic outcomes, considering also that the capital returned in less time compared to the other scenarios. It is expected that further works may arise from the present study, with the aim to analyze the valuation of biofertilizer; the biogas production by use of

poultry manure; the possibility of multiple energy generation; the possibility of inclusion of new (and / or others) consumers of energy generated by the condominium; the social improvements achieved; and, not least, to quantify the environmental benefits gained by the treatment of animal waste from the condominium.

Keywords: agroenergy condominium, biogas, economic feasibility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção diária de resíduos líquidos e esterco de diversos animais.....	30
Tabela 2 - Produção pecuária no Brasil, Paraná e região Oeste do Paraná no ano de 2011.	31
Tabela 3 - Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.....	42
Tabela 4 - Comparação entre o biogás e outros combustíveis.	44
Tabela 5 - Consumo de biogás em diferentes atividades específicas.	44
Tabela 6 - Parâmetros para cálculo da produção de dejetos, por categoria animal.	58
Tabela 7 - Parâmetros para cálculo da produção de biogás, por categoria animal, 2006.	59
Tabela 8 - Pesos padrões de animais, 2006.	59
Tabela 9 - Fator de conversão para substituição de combustíveis pela energia do biogás.....	61
Tabela 10 - Plantel de animais da comunidade do Lajeado Grande, por sistema de produção animal, ano 2013.....	70
Tabela 11 - Potencial de produção de dejetos e de biogás da comunidade do Lajeado Grande.....	70
Tabela 12 - Custos do sistema de biodigestão para produção, transporte e purificação do biogás no Condomínio de agroenergia do Lajeado Grande.....	71
Tabela 13 - Custo com recursos humanos.....	73
Tabela 14 - Potencial de produção de energia elétrica	74
Tabela 15 - Consumo de energia elétrica convencional pela EMDUR e PMT, ano 2012	75
Tabela 16 - Estimativa do custo evitado com a produção de energia elétrica do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande, por ano	75
Tabela 17 - Informações necessárias para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica	76
Tabela 18 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica	76
Tabela 19 - Análise de sensibilidade do preço da energia para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica.....	78

Tabela 20 - Informações necessárias para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica.....	79
Tabela 21 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica.....	80
Tabela 22 - Análise de sensibilidade do preço da lenha para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica	81
Tabela 23 - Informações necessárias para implantação do Condomínio de agroenergia Lajeado Grande com foco na geração de energia veicular	83
Tabela 24 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia com foco na geração de energia veicular.....	83
Tabela 25 - Análise de sensibilidade do preço do biometano para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia veicular	85
Tabela 26 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande, ano 2013.....	86
Tabela 27 - Plantel de animais no Condomínio de Agroenergia Lajeado Grande, por propriedade	100
Tabela 28 - Potencial de produção diária e anual de dejetos, por propriedade	101
Tabela 29- Potencial de produção diária e anual de biogás, por propriedade	102
Tabela 30 - Investimentos estimados para implantação dos sistemas de biodigestão, lagoa secundária e biogasoduto primário*, por propriedade	103
Tabela 31 - Fluxo de Caixa para o Cenário 1 - Energia Elétrica	104
Tabela 32 - Fluxo de Caixa para o Cenário 2 - Energia Térmica	104
Tabela 33 - Fluxo de Caixa para o Cenário 3 - Energia Veicular	105

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do biodigestor	40
Quadro 2 - Fatores que afetam a produção de biogás.....	43
Quadro 3 - Vantagens e desvantagens da utilização de biogás para uso veicular. ..	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Rebanho efetivo de aves no Brasil e Paraná, ano 2011.	27
Figura 2 - Rebanho efetivo de bovinos no Brasil e Paraná, ano 2011.	27
Figura 3 - Rebanho efetivo de suínos no Brasil e Paraná, ano 2011.	28
Figura 4 - Mapa de localização espacial da região Oeste Paranaense e do município de Toledo.	29
Figura 5 - Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas nos homens e animais.	35
Figura 6 - Modelo de Biodigestor – Indiano.....	38
Figura 7 - Modelo de Biodigestor – Chinês	39
Figura 8 - Modelo de biodigestor – Canadense.....	39
Figura 9 - Mapa de localização da Microbacia do Lajeado Grande, no município de Toledo – PR, ano de 2013	68
Figura 10 - Mapa de localização das propriedades rurais no Lajeado Grande, no município de Toledo – PR, ano de 2013	69
Figura 11 - Mapa do traçado do biogásoduto de acordo com o potencial produtivo de biogás, por propriedade e consumidores	72

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variações na Taxa Mínima de Atratividade para a geração de energia elétrica.....	77
Gráfico 2 - Variações na Taxa Mínima de Atratividade para a geração de energia térmica	81
Gráfico 3 - Variações na Taxa Mínima de Atratividade para a geração de energia veicular.....	84
Gráfico 4 - Comparativo econômico dos VPLs dos projetos analisados para implantação do Condomínio de Agroenergia no Lajeado Grande.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC - Agricultura de Baixo Carbono.

AFD - Agência Francesa de Desenvolvimento.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica.

ANP - Agência Nacional de Petróleo.

CMMAD - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.

CH₄ - Metano

COMPAGÁS - Companhia Paranaense de Gás.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente.

COPEL - Companhia Paranaense de Energia.

CO₂ - Gás carbônico

CTGás - Centro de Tecnologia do Gás.

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio.

EMATER - Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EMDUR - Empresa de Desenvolvimento Urbano e Rural de Toledo

EPE - Empresa de Pesquisa Energética.

FAO - *Food and Agriculture Organization*.

GEE - Gases de Efeito Estufa.

GLP - Gás Liquefeito de Petróleo.

GNV - Gás Natural Veicular.

H₂S - Gás sulfídrico.

IBC - Índice Benefício-Custo.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade.

IEA - *International Energy Agency*.

IPARDES - Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

kWh - Quilowatt hora.

Km² - Quilômetro quadrado.

m³ - Metro cúbico.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

MDA – Ministério do Desenvolvimento Agrário.

MMA - Ministério do Meio Ambiente.

MME - Ministério de Minas e Energia.

N₂O - Nitrogênio.

ONUDI - Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial.

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas.

PCI - Poder Calorífico Inferior.

PIB - Produto Interno Bruto.

PMT - Prefeitura Municipal de Toledo.

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia.

PRONAF - Programa Nacional para a Agricultura Familiar.

PVC - Policloreto de polivinila.

SEAB/PR - Secretaria da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Paraná.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática.

SIN - Sistema Elétrico Interligado Nacional.

TIR - Taxa Interna de Retorno.

TMA - Taxa Mínima de Atratividade.

TRC - Tempo de Retorno de Capital.

UPL - Unidade Produtora de Leite.

VPL - Valor Presente Líquido.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	20
1.1 Objetivos	22
1.1.1 Objetivo geral	22
1.1.2 Objetivos específicos	22
1.2 Justificativa	23
1.3 Estrutura do trabalho	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1 Caracterização da produção animal	26
2.1.1 Panorama da produção animal Paranaense	26
2.1.2 Panorama da produção animal na Região Oeste Paranaense e no município de Toledo ...	28
2.2 A problemática ambiental da produção animal	32
2.2.1 Poluição atmosférica	32
2.2.2 Poluição das águas	33
2.2.3 Poluição dos solos	34
2.2.4 Patogêneses	34
2.3 O biogás	36
2.3.1 Biodigestores	36
2.3.2 Biomassa e Biogás	41
2.3.3 Utilização do biogás	45
2.3.3.1 Energia elétrica	45
2.3.3.2 Energia Térmica	47
2.3.3.3 Energia Veicular	48
2.4 Estudos de viabilidade econômica acerca de projetos de biogás	49
2.4.1 Condomínios de agroenergia	52
3. METODOLOGIA	55
3.1 Instrumentos da pesquisa	55
3.2 Amostragem e caracterização do objeto de estudo	56
3.3 Trajetória da pesquisa	57
3.4 Métodos para cálculo da produção de dejetos, biogás e seus produtos	57
3.4.1 Produção de dejetos	58

3.4.2	Produção de biogás	58
3.4.3	Energia elétrica	59
3.4.4	Energia térmica e veicular	61
3.5	Métodos de avaliação de investimentos	62
3.5.1	Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	62
3.5.2	Valor Presente Líquido (VPL)	63
3.5.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	64
3.5.4	Tempo de Retorno de Capital (TRC) ou Payback descontado	65
3.5.5	Índice Benefício-Custo (IBC)	65
3.5.6	Análise de Sensibilidade	66
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.1	Caracterização da área de estudo – Lajeado Grande – Toledo/PR	67
4.2	Investimentos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande	70
4.3	Custos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande	73
4.4	Cenário 1 – Produção e uso de energia elétrica	74
4.5	Cenário 2 – Produção e uso de energia térmica	78
4.6	Cenário 3 – Produção e uso de energia veicular	82
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
	REFERÊNCIAS	89
	APÊNDICE A	96
	APÊNDICE B	100
	APÊNDICE C	104

1. INTRODUÇÃO

É observado que nas últimas décadas muitos eventos relacionados às mudanças climáticas vêm ocorrendo com maior frequência. Aumentos na temperatura terrestre, *tsunamis*, maremotos, furacões, enchentes, desmoronamentos de terras, entre outros eventos que causam mortes, doenças e enormes prejuízos à população, aos governos e à economia que despendem tempo e dinheiro para tentar remediar os imensos estragos (ICLEI, 2009).

De acordo com Oliveira e Higarashi (2006), este problema vem sendo causado pela intensificação e concentração atmosférica dos Gases de Efeito Estufa (GEE), principalmente o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

A atividade agropecuária é uma fonte potencial de emissão de expressiva quantidade desses gases (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). Esses são formados, normalmente, pela decomposição dos componentes dos dejetos, alterando-se as proporções de acordo com o manejo aplicado na atividade (ZAHN *et al.*, 2001).

Além disto, as atividades produtivas são altamente demandantes de energia. Na atualidade percebe-se grande utilização de energias de fonte não renováveis e poluentes, como o petróleo e seus derivados. Segundo dados do Balanço Energético Nacional, referente ao ano de 2011, as principais fontes de energia para o consumo no segmento agropecuário foram óleo diesel (57,2%), lenha (24,8%), energia elétrica (17,6%) e outros (0,4%) (BRASIL, 2012).

A agropecuária depende de energia, no que se torna importante o desenvolvimento e implementação de alternativas tecnológicas com vistas à geração de energia a custos reduzidos e que geram menores impactos socioambientais.

Segundo Coldebella *et al.* (2008), a necessidade de atender a demanda energética nas diversas áreas, causando o mínimo de impacto seja ele social ou ambiental, faz surgir a busca e exploração de fontes energéticas alternativas.

Neste contexto, uma das alternativas tecnológicas mais promissoras no cenário agropecuário é o aproveitamento da biomassa para geração de energia que propicia uso mais racional dos recursos disponíveis, reduz a transferência de renda para outros agentes e diminui a dependência de fontes externas de energia (FREITAS e BORSATO, 2012).

Outro ponto importante a ser destacado é a legislação ambiental que obriga os produtores a se enquadrarem nos padrões exigidos. No Brasil, a Lei nº 9.605/98 responsabiliza criminalmente os indivíduos e as empresas (através dos executivos) que poluírem o meio ambiente (OLIVEIRA, 2004). O produtor que não se enquadrar poderá ter sua atividade inviabilizada pela pressão da sociedade e do rigor.

Assim, o grande desafio das regiões de produção agropecuária é a busca da sustentabilidade ambiental e energética; e a redução da emissão de GEE, ou seja, ser competitivo economicamente, atender às exigências legais gerando o menor impacto ao meio ambiente possível.

A produção animal é uma atividade que evoluiu e modernizou nas últimas décadas gerando resultados satisfatórios para produtores e consumidores. O que não acompanhou essa evolução foram as soluções para os problemas ambientais causados.

Como visto, a exposição dos dejetos dos animais no meio ambiente gera inúmeras externalidades negativas, tais como: poluição hídrica, terrestre e atmosférica; eutrofização das águas; emissões de GEE.

O gás metano é muito mais efetivo que o CO₂ na absorção da radiação solar na superfície da terra (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). Dados do *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (2006), informam que a concentração global do metano tem aumentado a uma taxa de 1% ao ano, sendo que 80% deste tem origem biogênica, produzido por bactérias metanogênicas em condições de anaerobiose, ou seja, dejetos expostos ao ambiente sem qualquer tipo de tratamento.

Assim, os sistemas de armazenagem/tratamento de dejetos visam reduzir a carga orgânica destes, possibilitando o seu uso racional como fertilizante nas lavouras, além da redução do mau cheiro e doenças, da menor proliferação de moscas e da utilização de biogás (GIROTTI e CHIOCHETTA, 2004).

O tratamento dos dejetos representa um custo elevado para produtores e se torna um passivo em potencial para o meio ambiente. Porém, hoje, manejar corretamente os dejetos é uma exigência prevista em lei.

A possibilidade da utilização desses dejetos como biofertilizante e na geração de biogás reduz os custos de produção, mas para minimizar os impactos ambientais é necessário que os rejeitos passem por processos de estabilização biológica, sendo recomendada a utilização de biodigestores no manejo dos dejetos.

Através da geração do biogás, pode-se gerar energias elétrica, térmica e veicular, proporcionando o autoabastecimento energético das unidades produtoras e permitindo a criação de condomínios de agroenergia, potencializando os pequenos produtores. Porém, há de se conhecer a viabilidade desse processo.

Assim, a questão que se busca responder é: qual alternativa econômica garante ao produtor e/ou ao condomínio a redução de seus custos de tratamento dos dejetos e possa proporcionar um menor impacto ambiental gerado pela produção animal? Qual alternativa energética gera maior ganho econômico (produção de energia elétrica, térmica ou veicular)?

Parte-se da hipótese que o tratamento adequado dos dejetos animais e a produção de biogás a partir desses contribuem para o desenvolvimento local sustentável, minimizando custos com energia elétrica, combustíveis, lenha, gás liquefeito de petróleo (GLP), fertilizantes, entre outras fontes energéticas, além da mitigação das externalidades negativas das atividades pecuárias, tais como: odores, patogêneses etc., proporcionando melhorias na qualidade de vida dos produtores e famílias da região.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a viabilidade econômica da implantação de projetos para geração de energia elétrica, térmica e veicular a partir de dejetos animais da região da microbacia do Lajeado Grande, do município de Toledo, Paraná, verificando a alternativa que possibilite o maior ganho econômico.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar a região de estudo (plantel de animais, produção de dejetos, consumo energético e de insumos) e sua potencialidade;
- b) Analisar a viabilidade de implantação de biodigestores para tratamento de resíduos da produção animal e demais equipamentos no condomínio;
- c) Comparar economicamente a rentabilidade dos projetos para geração de energia elétrica, térmica e automotiva.

1.2 Justificativa

A produção animal é de grande relevância no cenário agropecuário, contribuindo na geração de emprego, renda, estabilidade social e divisas, principalmente para a exportação de carnes. Dados da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Paraná (SEAB/PR) apontam que o Brasil produziu no ano de 2011 cerca de 212,8 milhões de cabeças bovinas, 39,3 milhões de suínos e 1,3 bilhões de aves. Desse montante exportou-se 515 mil suínos, 1,2 e 3,7 milhões de bovinos e aves, respectivamente. Além das carnes, outro produto de destaque é o leite, cuja ordenha, em 2011, de 23 milhões de vacas, produziu 32 milhões de litros de leite, dos quais foram exportados 41,9 mil litros (SEAB/PR, 2013).

O Estado do Paraná ganha destaque nesse cenário produtivo, onde, de acordo com dados do SEAB/PR (2013), foi, no ano de 2011, o primeiro colocado no *ranking* do abate e exportação de aves, terceiro na produção de suínos (quarto nas exportações) e nono no abate de bovinos (décimo nas exportações).

Vale destacar que o desenvolvimento da pecuária constitui um importante valor na economia, pois provoca efeitos multiplicadores de renda e emprego em todos os setores da economia, intensificando a demanda de insumos agropecuários e a expansão e modernização dos setores de comercialização e agroindústrias (OLIVEIRA, 1993). Além disso, complementa a agricultura, fortalecendo a produção de grãos para alimentação animal.

O avanço tecnológico apresentado pela atividade animal brasileira nos últimos anos trouxe benefícios sociais e econômicos incontestáveis à sociedade, porém é sabido que, junto a esse progresso, vieram os problemas ambientais gerados pela atividade, principalmente nos grandes centros produtores do país (OLIVEIRA, 2004).

O amplo volume de animais e a maneira como são produzidos geram grandes excedentes de dejetos, que demandam áreas relativamente grandes para o seu armazenamento e aproveitamento em lavouras como adubos e fertilizantes orgânicos.

Ainda há de se considerar, que os resíduos, principalmente da suinocultura, são utilizados como adubo orgânico de forma inadequada, o que gera grande risco de poluição dos solos (devido à infiltração dos nutrientes no solo), poluição das águas (em que muitas vezes são lançados diretamente nos cursos d'água), poluição atmosférica (através da emissão de gases nocivos ao meio ambiente como metano

e dióxido de carbono), e, perigoso à saúde humana devido a contaminação direta ou indireta de patogêneses (BLEY JR., 2009).

Desta forma, alternativas que possibilitem o tratamento adequado dos dejetos dos animais para que esses sejam menos impactantes ao meio ambiente são imprescindíveis.

Há diversos estudos e tecnologias que podem auxiliar na redução dos problemas ambientais das atividades de produção animal, além de agregar valor ao resíduo.

Essa tecnologia é o biodigestor, um sistema que pode gerar biogás a partir de dejetos animais e que gera resultados diretos (geração de energias e biofertilizantes) e indiretos (demanda por serviços de planejamento, implantação, operação e manutenção dos processos que produzem o biogás e das energias que com ele podem ser geradas).

Os biodigestores estão em expansão, impulsionados, principalmente, pela contribuição na diversificação da Matriz Energética Brasileira, além da mitigação dos impactos ambientais causados pela atividade animal.

Os pequenos e grandes produtores podem utilizar o biodigestor com o objetivo da geração de energia, seja térmica para aquecimento de aviários, secagem de grãos, aquecimento de água para lavagem de equipamentos e demais atividades; seja na forma de geração de energia elétrica e, também, na possibilidade de usar o biogás como combustível de máquinas, equipamentos e veículos da propriedade. Além disso, como outro produto originado pelo processo, o biofertilizante que pode ser utilizado nas lavouras, permitindo redução de custos em compras de adubos e fertilizantes químicos.

Atualmente as propriedades rurais vêm buscando se modernizar e melhorar a gestão produtiva. Nessa perspectiva inovadora, encontra-se o uso e fomento às energias renováveis, que é uma alternativa tecnológica capaz de gerar ótimos resultados, melhorando a gestão econômica das propriedades, minimizando os problemas ambientais gerados pelos resíduos agropecuários e evitando possíveis riscos à saúde humana, além de contribuir para a estabilização dos recursos naturais e possíveis soluções ao problema de abastecimento energético mundial (BARBOSA e LANGER, 2011).

Neste sentido, o incentivo de alternativas para o tratamento dos dejetos animais no meio rural torna-se importante para promoção do desenvolvimento

sustentável, além da mitigação das externalidades negativas provocadas pela atividade.

1.3 Estrutura do trabalho

Além desta introdução, o trabalho foi estruturado em quatro seções. Na seção 2, segue a revisão de literatura que buscou levantar e sistematizar a caracterização da produção animal no Paraná e no município de Toledo; da problemática socioambiental provocada por essa atividade; além de breve descrição da produção e uso do biogás; como também estudos acerca de projetos de viabilidade econômica da implantação do sistema de biodigestão.

Na seção 3, são expostos os procedimentos metodológicos utilizados para alcançar os objetivos propostos neste trabalho, tais como a pesquisa de campo com a aplicação de questionários para levantamento de informações sobre as propriedades, as características da produção animal e dados socioeconômicos; e também a pesquisa bibliográfica que serviu de base para o levantamento teórico e de dados secundários que sustentam este trabalho. Além dos métodos de cálculo para produção de dejetos, de biogás e seus produtos, e de avaliação de investimentos, tais como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Tempo de Retorno de Capital (TRC), Análise do Custo-Benefício e de Sensibilidade.

Na seção 4, encontram-se os resultados deste trabalho, onde se apresentam breve caracterização da área de estudo (plantel de animais, localização das propriedades, potenciais demandantes de energia elétrica, térmica e veicular, etc.) e os cenários de viabilidade econômica para produção e consumo das energias do biogás. Por fim, as considerações finais e referências utilizadas na elaboração desta dissertação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir são apresentadas informações sobre o panorama atual da produção animal e seus impactos; além das tecnologias aplicadas para o uso do biogás. Buscou-se também levantar alguns trabalhos realizados, cujo objetivo principal culmine na análise da viabilidade de projetos em biogás.

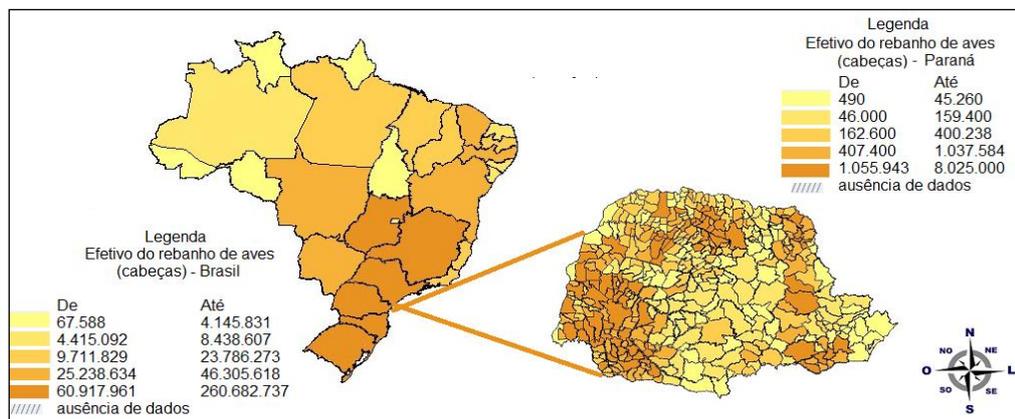
2.1 Caracterização da produção animal

2.1.1 Panorama da produção animal Paranaense

O agronegócio é importante na economia brasileira, sendo a base de sustentação econômica do país e considerado o principal segmento da balança comercial. Neste contexto, o estado do Paraná contribui de maneira significativa, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2011), no ano de 2011 obteve o Produto Interno Bruto (PIB) em 88 milhões de reais, representando cerca de 5,9% do total nacional, além de produzir 22,4% da produção nacional de milho, 20,7% da soja, 43,0% de trigo, 23,7% de feijão, 16,5% de mandioca e 6,2% de cana-de-açúcar.

A produção animal no Paraná também foi representativa no ano de 2011, ocupando a 3ª posição na produção de suínos (13,9%), com um plantel de aproximadamente 5,4 milhões de cabeças; 1ª posição no ranking nacional de aves (20,6%), produzindo 260,7 milhões de cabeças e a 10ª maior produção de bovinos (4,5%), com o rebanho efetivo de 9,5 milhões de cabeças, além da produção de leite que corresponde a 11,9% da produção nacional, com 1,6 milhões de vacas ordenhadas. Esses dados podem ser visualizados através da Figura 3, 4 e 5 (IBGE, 2011).

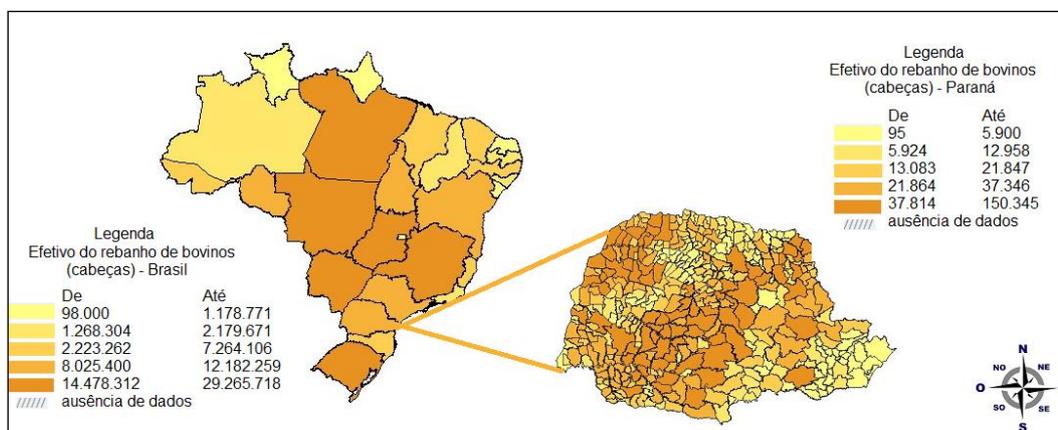
Figura 1 - Rebanho efetivo de aves no Brasil e Paraná, ano 2011.



Fonte: IBGE, 2011.

Pode-se observar na Figura 1 que os estados que se destacam na produção de aves são: Paraná, que correspondeu, no ano de 2011, a 20,6% da produção nacional, São Paulo (17,6%), Santa Catarina (13,8%), Rio Grande do Sul (11,78%), Minas Gerais (9,2%) e Goiás (5,5%).

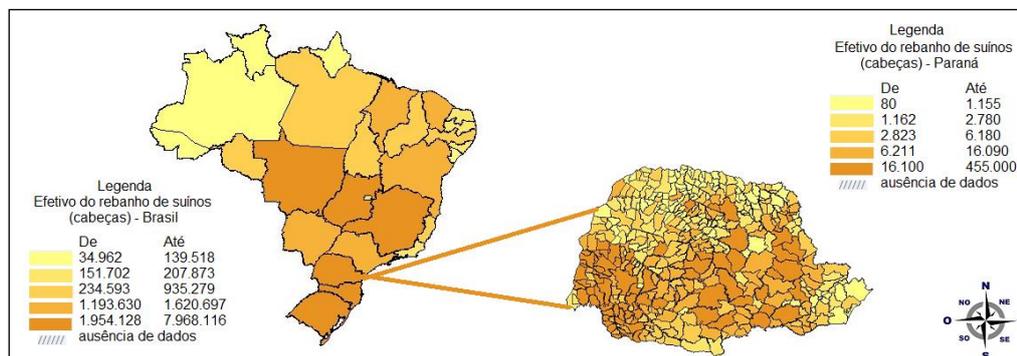
Figura 2 - Rebanho efetivo de bovinos no Brasil e Paraná, ano 2011.



Fonte: IBGE, 2011.

Já na produção de bovinos (Figura 2), o destaque é a Região Centro Oeste, na qual o Mato Grosso representou 13,8% da produção nacional em 2011, Goiás (10,2%) e Mato Grosso do Sul (10,1%).

Figura 3 - Rebanho efetivo de suínos no Brasil e Paraná, ano 2011.



Fonte: IBGE, 2011.

A produção nacional de suínos concentra-se na Região Sul do país, como se observa na Figura 3, o estado de Santa Catarina representou, em 2011, 20,3% da produção nacional, Rio Grande do Sul (14,4%) e Paraná (13,9%).

Em nível estadual a região que se destaca é a do Oeste Paranaense, em que dentre as dez atuais é a maior produtora de suínos (42,1%), de aves (29,0%) e vacas ordenhadas (19,7%) e a quarta em produção de bovinos (12,4%), atrás apenas do Noroeste (22,9%), Norte Central (13,8%) e Centro-Sul (13,6%).

2.1.2 Panorama da produção animal na Região Oeste Paranaense e no município de Toledo

A região Oeste Paranaense (em destaque na cor cinza na Figura 4) possui 22,9 milhões de km² e faz fronteira com três estados brasileiros: Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e São Paulo, além de dois países latino-americanos (Paraguai e Argentina) (IPARDES, 2013). No ano de 2010 sua população era de 1,3 milhões de habitantes e o PIB *per capita* de 20,1 mil reais. A agropecuária se destacou no ano de 2011, na produção de soja (3,4 milhões de toneladas), milho (2,9 de milhões toneladas), mandioca (959 mil toneladas), bovinos (1,2 milhões de cabeças), aves (75,6 milhões de cabeças), suínos (2,3 milhões de cabeças) e vacas ordenhadas (313 mil cabeças) (IBGE, 2011).

Figura 4 - Mapa de localização espacial da região Oeste Paranaense e do município de Toledo.



Fonte: IPARDES, 2013.

Segundo dados do IPARDES (2013), o município de Toledo, destacado em vermelho na Figura 4, localizado na região Oeste, possui área territorial de 1,2 milhões de km² e faz divisa com os municípios de Cascavel, Tupãssi, Assis Chateaubriand, Maripá, Nova Santa Rosa, Quatro Pontes, Marechal Cândido Rondon, Ouro Verde do Oeste, São Pedro do Iguçu e Santa Tereza do Oeste. A população era, em 2010, de 119,3 mil habitantes e o PIB *per capita* de 20,6 mil reais, este último maior que a média estadual. A produção agropecuária no município se destacou perfazendo, no ano de 2011, um volume de 221,1 e 225,6 mil toneladas de soja e milho, respectivamente, e mais 15 mil toneladas de trigo, além da produção animal que é evidenciada abaixo (IBGE, 2011).

O efetivo de rebanho da avicultura apresentou, em 2011, um montante de 75,6 milhões de cabeças na região Oeste, sendo que o município de Toledo contribuiu com 29,0%, ou seja, 4,1 milhões de aves. De acordo com Oliveira *et al.* (2010), a avicultura, apesar do seu elevado plantel, possui baixa produção de biogás e, conseqüentemente, baixo potencial para produção de energia. A criação desses animais é sob confinamento e o armazenamento dos dejetos é realizado através de camas de maravalha, casca de arroz ou outro material seco.

A produção de bovinos na região Oeste apresentou o quarto maior plantel do estado, um total equivalente a 1,17 milhões de cabeças no ano de 2011, atrás apenas das regiões Noroeste, Norte Central e Centro-sul, com 2,17, 1,30 e 1,28 milhões de cabeças, respectivamente. Toledo apresenta-se com 46,2 mil cabeças, com participação de 3,9% no total regional. Vale destacar o efetivo do rebanho de vacas ordenhadas, que em Toledo perfaz o montante de 19,7 mil cabeças, ou seja, 6,3% do total produzido na região Oeste que obteve, em 2011, um efetivo de 313,4 mil vacas ordenhadas, representando 19,7% do estado do Paraná.

Em relação à produção de energia através dos dejetos da bovinocultura de corte, apesar do seu elevado potencial, pouco pode ser utilizado para este fim, visto que a maior parte das unidades é de caráter extensivo, com pouco ou nenhum tempo de confinamento. Já a bovinocultura de leite, possui maior possibilidade de aproveitamento do seu potencial, uma vez que a maior parte do plantel, mesmo que por pouco tempo, fica confinado (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

A suinocultura na região Oeste possuía, no ano de 2011, um plantel equivalente a 2,3 milhões de cabeças, a maior produção do estado, representando 42,1% do total produzido, sendo o município de Toledo responsável por 455 mil cabeças (19,8%). De acordo com Oliveira *et al.* (2010), o potencial energético para essa cultura, apesar de mais baixo que o total da bovinocultura, é o mais acessível, isto é, o sistema de criação da suinocultura possui caráter de confinamento, portanto o aproveitamento desse potencial depende de pequenas intervenções nas edificações de produção e instalação de conjuntos biodigestores, além da alta concentração de animais o que permite maior viabilidade ao processo.

Para estimar a produção de dejetos equivalente por categoria de animal, Oliveira (1993) apresenta, na Tabela 1, as variações das quantidades de dejetos líquidos e sólidos por dia.

Tabela 1 - Produção diária de resíduos líquidos e esterco de diversos animais

Tipo de Resíduo	Unidade	Suínos	Frango Corte	Gado* Corte	Ovinos	Gado* Leite
Líquidos	%/dia em função peso vivo	5,1	6,6	4,6	3,6	9,4
Sólidos	kg/animal/ dia	2,3-2,5	0,12-0,18	10-15	0,5-0,9	10-15

Fonte: National Academy of Sciences (1977); Konzen (1980); Oliveira (1993).

*Bovinos em semi-confinamento

Desta forma, pode-se calcular a produção de dejetos da região de análise deste estudo, que pode ser visualizada na Tabela 2. Vale destacar que os volumes apresentados acima são baseados sobre variações. Portanto, optou-se realizar o valor médio da produção de dejetos sólidos de cada espécie animal, ou seja, adotou-se 12,5 quilos por dia para bovinocultura de leite e corte, 2,4 quilos por dia para suinocultura e 0,15 para avicultura.

Tabela 2 - Produção pecuária no Brasil, Paraná e região Oeste do Paraná no ano de 2011.

Produção Pecuária	Localização	Efetivo dos Rebanhos (cabeças)	Média de produção de dejetos (kg/dia)	Produção de dejetos (kg/cabeça/dia)
Bovino (corte e leite)	Brasil	236.044.504	12,5	2.950.556.300
	Paraná	11.064.314		138.303.925
	Oeste do PR	1.492.597		18.657.463
	Toledo	65.973		824.663
Suíno	Brasil	39.307.336	2,4	94.337.606
	Paraná	5.448.964		13.077.514
	Oeste do PR	2.296.238		5.510.971
	Toledo	455.000		1.092.000
Galináceos	Brasil	1.268.209.405	0,15	190.231.411
	Paraná	260.682.737		39.102.411
	Oeste do PR	75.588.613		11.338.292
	Toledo	4.035.000		605.250

Fonte: SIDRA/IBGE (2013).

O efetivo dos rebanhos de produção animal gera um montante de resíduos que possui elevado potencial de poluição ambiental, conforme pôde ser observado na Tabela 2. Segundo dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2010), a pecuária, em particular os animais ruminantes¹, representa 22% do volume de metano. Os dejetos desses animais também estão associados a emissão de GEE, principalmente quando criados sob manejo intensivo.

Somente os bovinos de corte e de leite somam 95,4% das emissões de metano provenientes da fermentação entérica da pecuária (ruminantes e falso ruminantes) do País. As outras categorias de animais (bubalinos, muares, caprinos, asininos, equinos, suínos) são responsáveis pelos 4% restantes das emissões de metano. Os suínos são animais monogástricos e as suas emissões são consideradas negligenciáveis (1kg CH₄/animal/ano),

¹ Animais ruminantes são aqueles que possuem estômago composto de 4 compartimentos, a pança ou rúmen, barrete, folho e coalheira, tais como o gado de leite, gado de corte, búfalos, ovelhas e cabras. Esses animais primeiros engolem o alimento sem mastigar armazenando todo alimento digerido na pança, posteriormente fazem o alimento voltar a boca (regurgitam) e o mastigam lentamente (EMBRAPA, 2010).

porém seus dejetos podem ser significativamente importantes (EMBRAPA, 2004, p.4-5).

Para Oliveira (2004), o grande desafio da atividade pecuária consiste na definição de um sistema que seja capaz de harmonizar a continuidade das atividades com o uso racional dos recursos naturais e a preservação da qualidade ambiental nas regiões de maior concentração de animais.

Nessa perspectiva, torna-se importante o desenvolvimento de projetos na atuação da agropecuária sustentável, ou seja, combinando a produção agropecuária rentável com a proteção ambiental e a sustentabilidade.

2.2 A problemática ambiental da produção animal

A produção animal é uma atividade que gera grande impacto ambiental, pela poluição atmosférica, poluição das águas e solo, além de potencializar patógenos aos seres humanos e outros animais.

Segundo Diesel *et al.* (2002), a capacidade poluente dos dejetos animais, em termos comparativos, é muito superior a de outras espécies, como por exemplo, o dejetos produzido por um suíno equivale, em média, ao que produz 3,5 pessoas.

2.2.1 Poluição atmosférica

A poluição do ar é um problema de abrangência global, afetando todo o planeta Terra através das mudanças climáticas, do efeito estufa e da redução da camada de ozônio. Além disso, os principais gases nocivos existentes em torno dos sistemas de produção animal (amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e metano), podem provocar danos à comunidade através da emissão de maus odores e problemas de saúde.

Os dejetos animais produzidos nas propriedades rurais contribuem para a emissão de gases de efeito estufa, principalmente pelo metano (CH₄). Segundo Barbosa e Langer (2011), “[...] os animais são grandes emissores desse gás para a atmosfera por meio de suas fezes e também pela respiração”; com isso, os produtores rurais devem ter conhecimento de todos os problemas que podem vir a ocorrer com a disposição inadequada dos dejetos animais.

2.2.2 Poluição das águas

Outro importante impacto causado pelo uso inadequado dos dejetos de animais é a contaminação de cursos d'água, que, como apontam Barbosa e Langer (2011), “[...] ocorre em razão da disposição imprópria dos dejetos em rios, córregos ou lagos, e também pelo escoamento superficial em pastagens e lavouras adubadas com esses dejetos”. Essa ação tem abrangência regional, prejudicando toda vizinhança e comunidade abastecida pela água contaminada.

Quando os dejetos são lançados diretamente nos cursos d'água, causam efeitos diretos, tais como: proliferação de doenças, mortalidade da vida aquática e eutrofização².

A proliferação de doenças é realizada pela contaminação direta ou indireta, em que os organismos patogênicos encontrados nas fezes e urina dos animais atingem os corpos d'água e entram em contato com os seres humanos e demais animais. “Mesmo quando estes resíduos são tratados através da remoção dos sólidos, aeração ou desidratação, os patógenos não conseguem ser erradicados” (OLIVEIRA, 1993, p.33). Maiores detalhes sobre as doenças causadas pelos dejetos animais serão tratados na seção seguinte.

A mortalidade da população aquática e a eutrofização são outros pontos a serem tratados com atenção. A disposição dos dejetos na água disponibiliza um excedente de matéria orgânica (nutrientes), que, segundo Parchen (1981), promove o crescimento descontrolado de algas, pois essas incorporam os nutrientes em sua estrutura física e elevam a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), provocando a eutrofização e, conseqüentemente, a mortalidade da população aquática.

Para conter essa situação, a Resolução nº. 430 de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) aponta as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357/2005, que em seu parágrafo único dispõe:

O órgão ambiental competente poderá, a qualquer momento, mediante fundamentação técnica: (i) Acrescentar outras condições e padrões para o lançamento de efluentes, ou torná-los mais restritivos, tendo em vista as condições do corpo receptor; ou, (ii) Exigir tecnologia ambientalmente

² Processo de degradação que sofrem os lagos e outros corpos d'água quando excessivamente enriquecidos de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que limitam a atividade biológica (BECK, 2007).

adequada e economicamente viável para o tratamento dos efluentes, compatível com as condições do respectivo corpo receptor (BRASIL, 2013, p.1).

Dessa forma, como afirma Freitas e Borsato (2012), o lançamento dos resíduos em cursos d'água somente poderá ser feito após o tratamento dos mesmos, o que nos remete ao tratamento adequado dos dejetos ou remoção dos poluentes, de forma que tal procedimento não resulte em problemas ambientais tão acentuados.

2.2.3 Poluição dos solos

Outro problema, e não menos importante, é a poluição dos solos, principalmente pelos dejetos líquidos. Anjos e Raji (2004) comentam que “[...] o solo é um recurso natural fundamental para a produção agrícola graças a um conjunto de propriedades que permitem que ofereça sustentação às plantas e lhes dê as condições necessárias de desenvolvimento”.

Segundo Barbosa e Langer (2011), o uso incorreto dos dejetos, ou seja, usados diretamente como adubo no solo, sem qualquer tipo de tratamento, pode trazer uma degradação deste e, conseqüente, ao meio ambiente.

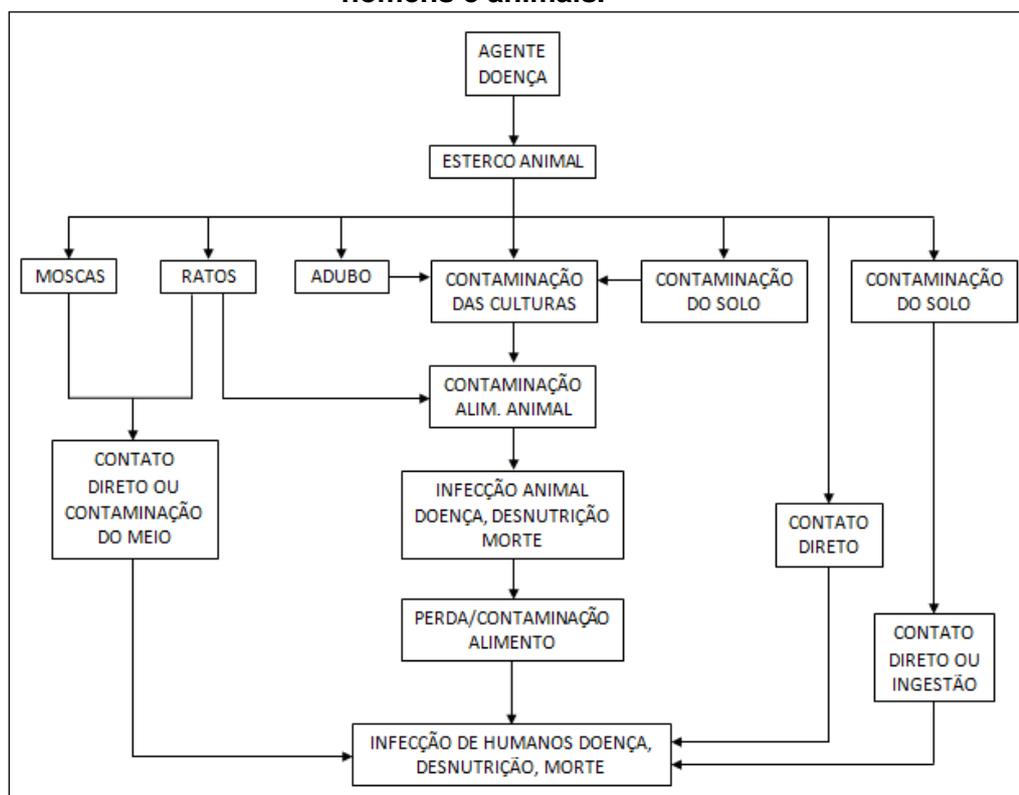
De acordo com Oliveira (1993), quando o dejetos líquido é aplicado diretamente no solo em quantidades excessivas, ou se são armazenados em esterqueiras ou lagoas sem revestimento impermeabilizante durante alguns anos, poderá ocorrer sobrecarga da capacidade de filtração do solo e retenção dos nutrientes, levando à contaminação de águas subterrâneas ou superficiais.

2.2.4 Patogêneses

Em síntese, além dos efeitos e impactos acima tratados, Oliveira (2004) ainda aborda que o lançamento de dejetos não tratados no solo e águas constitui risco potencial para o aparecimento de doenças (verminoses, alergias, hepatites, hipertensão, câncer de estômago) e desconforto na população (proliferação de moscas, borrachudos, maus odores).

A Figura 5 mostra que existem seis formas diretas e indiretas pelas quais o esterco animal pode afetar o homem e as demais unidades de produção.

Figura 5 - Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas nos homens e animais.



Fonte: Adaptação de OLIVEIRA, 1993.

Como se pode observar, a proliferação de insetos, principalmente moscas e ratos, é um grande problema associado à atividade animal. De acordo com Beck (2007), “[...] outras endemias como o cólera (*Vibrio cholera*), a febre tifóide (*Salmonella typhi*) e a esquistossomose (causada por *Shistosoma haematobium* e *Schistosoma japonicum*) são doenças associadas ao uso de água que devido a sua contaminação orgânica, beneficia o desenvolvimento dos vetores patogênicos.

O odor é outro fator associado à produção de animais, principalmente aqueles produzidos sob sistema de confinamento. Segundo Pasqual e Pasqual (2011), isso ocorre devido à evaporação dos compostos voláteis, que causam efeitos prejudiciais à saúde humana e animal, entre eles a amônia e o metano. Ainda de acordo com os autores, “[...] a emissão desses gases pode causar graves prejuízos nas vias respiratórias dos seres humanos e dos animais [...]”, além das questões atmosféricas já tratadas neste trabalho.

Assim, para reverter essa situação-problema e minimizar tais impactos, algumas medidas deverão ser tomadas, principalmente pelos produtores,

governantes e partes interessadas. Conforme apontado por Barbosa e Langer (2011), pode-se estimular a implementação de tecnologias para o tratamento dos dejetos; controlar e monitorar os sistemas já existentes; estimular o acesso ao crédito àqueles produtores que desejam resolver o problema e aumentar a fiscalização do órgão ambiental responsável, essas são algumas medidas que apoiam a agropecuária sustentável, além de possibilitar maior rentabilidade na produção.

2.3 O biogás

Serão tratadas, nesta seção, as tecnologias aplicadas ao tratamento adequado dos dejetos animais para a produção de biogás, sua utilização e benefícios. Não será foco, portanto, o aprofundamento técnico em relação aos itens aqui mencionados.

2.3.1 Biodigestores

De acordo com Diesel *et al.* (2002), a importância do tratamento adequado aos dejetos animais cresce a cada dia, quer seja por uma maior consciência ambiental dos produtores, quer seja pelo aumento das exigências dos órgãos fiscalizadores e da sociedade em geral.

De acordo com Oliveira (1993), as principais técnicas de tratamento dos dejetos animais podem ser realizadas através de tratamento físico (separação de fases ou desidratação) ou por meio biológico, através do tratamento aeróbio (compostagem, lagoas de estabilização facultativas ou aeradas, diques de oxidação) ou anaeróbio (digestores anaeróbios ou biodigestores, sem a presença de oxigênio).

Para Kunz e Oliveira (2008), “o biodigestor é um reator biológico que degrada os dejetos animais em condições anaeróbias (ausência de oxigênio), produzindo um efluente líquido (biofertilizante) e gerando o biogás”.

Existem vários modelos de biodigestores, mas, em geral, todos são compostos, basicamente, de duas partes: um recipiente (tanque) para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula) para armazenar o biogás (GASPAR, 2003).

A composição dos dejetos animais está associada ao sistema de manejo adotado, isto é, os dejetos podem apresentar variações na concentração de seus componentes, dependendo da utilização de água que interfere na diluição e da modalidade como são manuseados e armazenados (OLIVEIRA, 1993).

Em geral, os componentes do biogás processados em um biodigestor e expostos por Castañón (2002), são: metano (CH_4) 40-75%; dióxido de carbono (CO_2) 25-40%; nitrogênio (N) 0,5-2,5%; oxigênio (O) 0,1-1%; ácido sulfídrico (H_2S) 0,1-0,5%; amoníaco (NH_3) 0,1-0,5%, monóxido de carbono (CO) 0-0,1%; e hidrogênio (H) 1-3%.

Percebe-se que a maior parte é composta por metano e dióxido de carbono, gases com grande potencial poluidor. Porém, esses gases podem ser convertidos em energia, pois têm alto poder calorífico, que, segundo Gaspar (2003), varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico, e que submetido a um alto índice de purificação, pode gerar até 12.000 kcal/m³. Esse alto poder calorífico, conforme colocado por Kunz e Oliveira (2008), é capaz de substituir a lenha, gasolina e o GLP, além de sua utilização na lavoura através do biofertilizante. Essas alternativas de utilização agregam valor ao dejetos, diminuindo, portanto, os custos com o investimento.

Para o manejo correto e para atingir uma produção de biogás de boa qualidade deve-se evitar grandes intervalos de alimentação do biodigestor; evitar diluição excessiva dos dejetos; para biodigestores com grandes capacidades de biomassa recomenda-se agitadores para manter ativo o processo; estabilidade e controle da temperatura, visto que os microrganismos produtores de metano são muito sensíveis a variações de temperatura; purificação do biogás para remoção, principalmente do ácido sulfídrico que é corrosivo e, se não removido poderá comprometer a durabilidade e funcionamento dos equipamentos (KUNZ e OLIVEIRA, 2008; OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006).

Kunz e Oliveira (2008) orientam que para o dimensionamento do biodigestor é necessário conhecer o tempo de retenção hidráulica (em dias), ou seja, a quantidade de dias que o dejetos ficará retido para iniciar o processo biológico; e também a vazão diária de dejetos que irá alimentar o biodigestor (metros cúbicos por dia).

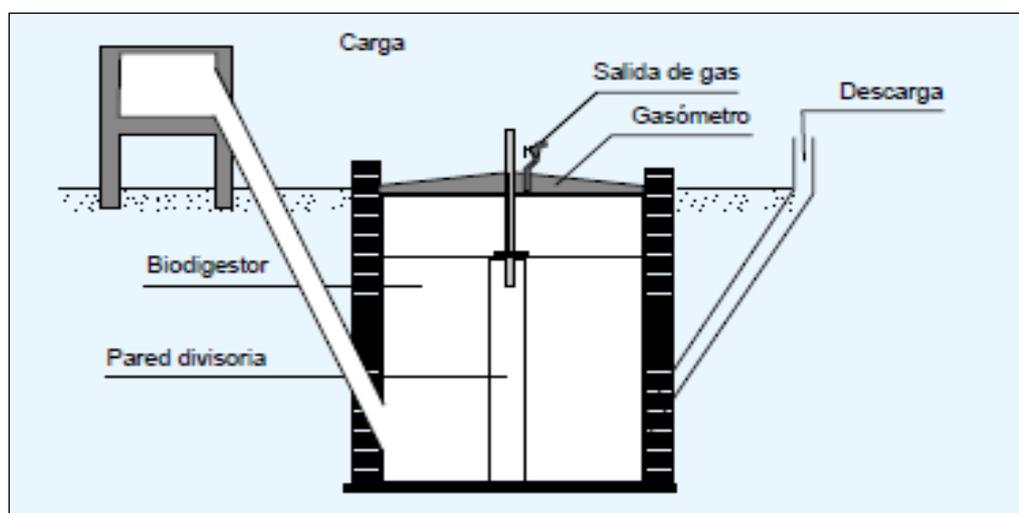
Feito isto, escolhe-se o modelo mais apropriado para as condições físicas, financeiras e produtivas da propriedade.

Existem dois tipos principais de biodigestores, o batelada e o contínuo. No Brasil, o modelo contínuo (Indiano) foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade. Atualmente, o Modelo Canadense com cobertura de lona de PVC, em substituição às campânulas (metálica ou de fibra de vidro), vem ganhando maior espaço em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A vantagem deste processo está na produção constante de biogás que é relacionado com a carga diária de sólidos voláteis (OLIVEIRA, 2004a, p. 48).

Em propriedades rurais os modelos de biodigestores são considerados mais simples, construídos em alvenaria (modelo indiano e chinês) ou de lona (modelo canadense) e apresentam baixo custo de implantação, devido à baixa tecnologia associada e a operacionalização facilitada.

“O modelo indiano (Figura 6) geralmente tem a forma de um poço com a função de tanque digestor e apresenta uma campânula flutuante para o armazenamento do biogás e que permite o fornecimento de biogás a uma pressão estável” (COLDEBELLA, 2006, p.12). Antes, as campânulas eram feitas de ferro, o que aumentam os custos de instalação do modelo. Hoje, as campânulas podem ser feitas por fibra de vidro, plástico ou até mesmo mantas de PVC.

Figura 6 - Modelo de Biodigestor – Indiano

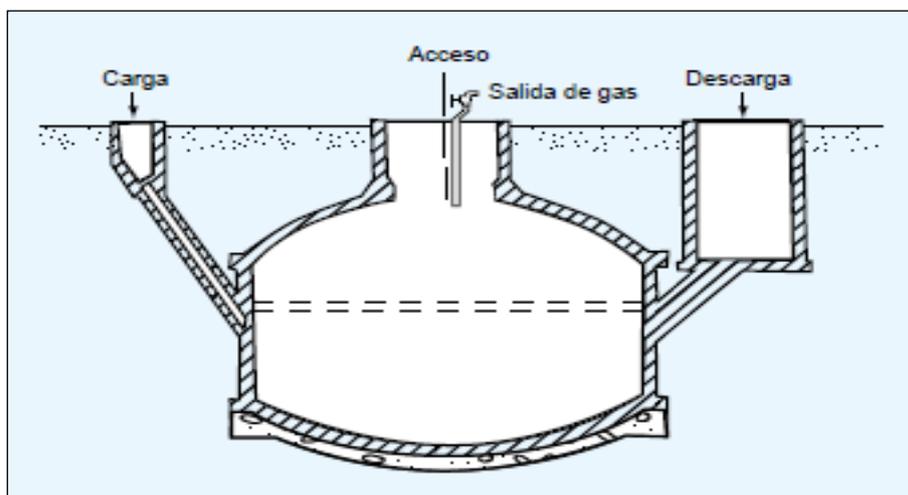


Fonte: FAO (2011).

“O modelo chinês (Figura 7) é rústico, geralmente construído em alvenaria e abaixo do nível do solo, e dispõe de uma câmara reguladora e é comum que trabalhe com alta pressão, porém, a ela varia com a produção e o consumo do biogás” (COLDEBELLA, 2006, p.11). Não há dificuldades para implantação deste

modelo, porém sua construção exige mão-de-obra capacitada devido a suas particularidades.

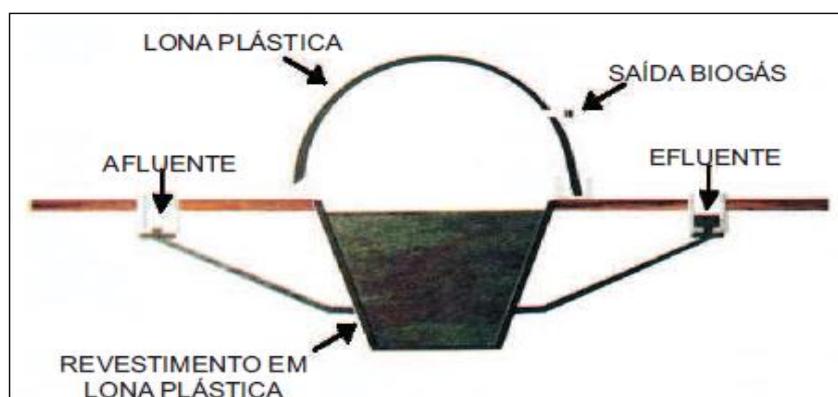
Figura 7 - Modelo de Biodigestor – Chinês



Fonte: FAO (2011).

Já o modelo canadense (Figura 8) construído em lona PVC (Policloreto de polivinila) é o mais utilizado no meio rural brasileiro. Geralmente são depósitos semelhantes às esterqueiras, diferenciando-se por possuírem a lona de cobertura para armazenar o biogás gerado no processo de digestão anaeróbia.

Figura 8 - Modelo de biodigestor – Canadense



Fonte: KUNZ E OLIVEIRA (2008).

Assim, os biodigestores fazem parte do processo de tratamento dos dejetos e sua utilização traz algumas vantagens e desvantagens, a conhecer no Quadro 1.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens do biodigestor

VANTAGENS		DESVANTAGENS
Fornecimento de energia (térmica, elétrica e veicular) no meio rural com o uso do biogás.	Geração de energia elétrica em geradores acoplados a motores a combustão, reduzindo os gastos do produtor com compra a de energia.	A produção de biogás é dependente das condições climáticas da região, pois a temperatura da biomassa determina a velocidade das reações anaeróbias que ocorrem na câmara de fermentação;
Exigência de menor tempo de retenção hidráulica e de área em comparação com outros sistemas de manejo e tratamento (Ex: lagoas e esterqueiras).	Promover a interação das atividades produtivas na propriedade através do manejo dos fluxos de energia e nutrientes.	O sistema é sensível a descargas de detergentes e desinfetantes.
Substituição do GLP em sistemas de aquecimento do ambiente interno e utilização em fogões adaptados (Ex: em aviários, produção de leitão).	Conscientizar o produtor para importância do tratamento dos dejetos por sua viabilidade econômica e ambiental.	O modelo canadense tem como desvantagens a pressão variável do gás produzido, necessitando de compressor para o transporte e uso em sistema de aquecimento com queimadores que trabalham com pressão constante.
Valorização dos dejetos como adubo orgânico (biofertilizante).	Redução do poder poluente e do nível de patógenos.	Formação de gás sulfídrico, gás tóxico com cheiro desagradável.
Substituir o consumo de energias não renováveis por energia renovável	Reduz significativamente a quantidade emitida de dióxido de carbono (CO ₂) e de metano (CH ₄), gases causadores do efeito estufa.	Custo extra de manutenção devido à escolha adequada do material utilizado na construção do biodigestor, pois há formação de gases corrosivos.
É um processo natural para tratamento de rejeitos orgânicos.	Diminui o volume de resíduo a ser descartado, reduzindo o impacto ambiental da atividade suinícola.	-x-
Redução de odores.	Requer menos espaço que aterros sanitários	-x-

Fonte: Adaptação de OLIVEIRA, 2004a; SALOMOM e TIAGO FILHO, 2007.

Pode-se observar que há maiores vantagens na utilização de biodigestores em propriedades rurais, visto que as desvantagens podem ser controladas, como: as condições climáticas podem ser monitoradas constantemente através de medições da temperatura interna do biodigestor; o uso de produtos químicos pode ser controlado no momento da higienização para que esses não entrem no biodigestor; em relação à pressão necessária para o modelo canadense é resolvida pela aquisição de um compressor para bombeamento do gás e sua distribuição; e, por fim, a manutenção faz parte de qualquer investimento tecnológico, porém seu custo é maior ou menor de acordo com as intervenções, que, nesse caso, podem ser minimizados se realizados estudos prévios para mensurar a capacidade e o modelo mais adequado para instalação.

2.3.2 Biomassa e Biogás

“O biogás é um gás natural resultante da fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, de resíduos vegetais e lixo industrial ou residencial em condições adequadas” (COLDEBELLA, 2006).

No Brasil o interesse pelo biogás se intensificou nas décadas de 70 e 80, especialmente entre os suinocultores. Segundo Kunz e Oliveira (2006, p. 1), os “programas oficiais estimularam a implantação de muitos biodigestores focados, principalmente, na geração de energia e na produção biofertilizante e diminuição do impacto ambiental”. Dessa forma, o objetivo dos programas:

[...] era reduzir a dependência das pequenas propriedades rurais na aquisição de adubos químicos e de energia térmica para os diversos usos (cozimento, aquecimento, iluminação e refrigeração), bem como reduzir a poluição causada pelos dejetos animais e aumentar a renda dos criadores. Infelizmente, os resultados não foram os esperados e a maioria dos sistemas implantados acabaram sendo desativados (KUNZ e OLIVEIRA, 2006, p.28).

Ainda de acordo com os autores supracitados, uma série de acontecimentos foi responsável para que os programas de biodigestores não vingassem nesse período, entre os quais pode-se citar:

- a) Falta de conhecimento tecnológico sobre a construção e operação dos biodigestores;
- b) Custo de implantação e manutenção elevado (câmaras de alvenaria, concreto ou pedra, gasômetros de metal);
- c) O aproveitamento do biofertilizante continuava a exigir equipamentos de distribuição na forma líquida, com custos de aquisição, transporte e distribuição elevados;
- d) Falta de equipamentos desenvolvidos exclusivamente para o uso do biogás e a baixa durabilidade dos equipamentos adaptados para a conversão do biogás em energia (queimadores, aquecedores e motores);
- e) Ausência de condensadores para água e de filtros para os gases corrosivos gerados no processo de biodigestão;
- f) Disponibilidade e baixo custo da energia elétrica e do GLP;

- g) Não resolução da questão ambiental, pois biodigestores, por si só, não são considerados como um sistema completo de tratamento;
- h) Outros fatores, como erros grosseiros de dimensionamento, construção e operação, foram determinantes para o insucesso dos biodigestores;

Passada essa época, hoje se percebe que o biogás vem retornando ao foco das energias renováveis, sendo uma alternativa para o produtor atender às exigências legais, minimizar os impactos negativos da produção animal e aumentar as possibilidades de economias de custos dentro das propriedades rurais. Além disso, Kunz e Oliveira (2006) destacam que novos materiais para construção dos biodigestores foram disponibilizados, materiais de alta versatilidade e baixo custo, o que permitiu o barateamento dos investimentos de implantação e da sua disseminação.

Primeiramente, a geração de biogás depende da própria característica do resíduo, que é o substrato para o crescimento dos micro-organismos no biodigestor, e que varia de acordo com a espécie animal e o peso desses, conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Potencial de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais.

Animal (Peso vivo)	Kg esterco/Animal/dia	m³ biogás/kg esterco	m³ biogás/Kg SV*	m³ biogás/animal/dia
Bovino (500 kg)	10–15	0,038	0,094–0,31	0,36
Suíno (90 kg)	2,3–2,8	0,079	0,37–0,50	0,24
Aves (2,5 kg)	0,12–0,18	0,050	0,31–0,62	0,014

Fonte: Oliveira (1993).

*SV: Sólidos voláteis.

Assim, para se calcular o volume de biogás produzido, algumas características devem ser consideradas. Para Oliveira (1993), o biogás é o produto mais importante da digestão anaeróbia e, conforme já visto, tem alto valor energético devido à presença de elevadas proporções de metano, este último é o primeiro indicador do bom ou mau funcionamento do processo de digestão anaeróbia, lembrando que o metano “[...] não tem cheiro, cor ou sabor, sendo que outros gases presentes, produzidos pela digestão anaeróbia, proporcionam-lhe um ligeiro odor de ovo podre” (OLIVEIRA, 2004a).

A quantidade de metano presente no biogás determinará a pureza do gás, ou seja, quanto mais metano, mais puro e vice-versa. Segundo Salomom e Tiago Filho (2007, p. 10), “quando o metano queima produz uma chama geradora de uma grande quantidade de energia térmica”. Além da quantidade de metano, outras características interferem na qualidade do biogás, tais como: impermeabilidade do ar, temperatura adequada, nutrientes, teor de água, pH e substâncias tóxicas.

Quadro 2 - Fatores que afetam a produção de biogás

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
Impermeabilidade ao Ar	Nenhuma das atividades biológicas dos micro-organismos, inclusive seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, exigem oxigênio, a cuja presença são eles, de fato, muito sensíveis. A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio produz dióxido de carbono (CO ₂); na ausência de ar (oxigênio) produz metano. Se o biodigestor não estiver perfeitamente vedado a produção de biogás é inibida.
Temperatura adequada	A temperatura no interior do digestor afeta sensivelmente a produção de biogás. A atividade enzimática das bactérias depende intimamente da temperatura. Ela é fraca a 10°C e nula acima dos 65°C. A faixa dos 20°C a 45°C corresponde à fase mesofílica, enquanto que entre os 50°C e os 65°C, temos a fase termofílica. A opção por uma temperatura de trabalho terá de resultar do compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de fermentação e o tempo de retenção. Na fase mesofílica, as variações de temperatura são aceitáveis desde que não sejam bruscas. O mesmo não acontece com a fase termofílica, onde as variações não são aconselháveis. Todavia, ela permite cargas mais elevadas e um tempo de retenção menor, com maiores taxas de produção de gás.
Nutrientes	Os principais nutrientes dos micro-organismos são carbono, nitrogênio e sais orgânicos. Uma relação específica de carbono para nitrogênio deve ser mantida entre 20:1 e 30:1. A principal fonte de nitrogênio são as dejeções humanas e de outros animais, enquanto que os polímeros presentes nas culturas restantes são os principais fornecedores de carbono.
Teor de Água	O teor de água deve, normalmente, situar-se em torno de 90% do peso do conteúdo total. Tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor de água varia de acordo com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação.
pH	Em meio ácido, a atividade enzimática das bactérias é anulada. Num meio alcalino, a fermentação produz anidrido sulfuroso e hidrogênio. A digestão pode efetuar-se entre o pH de 6,6 e 7,6. Para valores abaixo de 6,5 a acidez aumenta rapidamente e a fermentação pára.
Substâncias Tóxicas	A presença de matérias tóxicas, detergentes e outros produtos químicos deve ser evitada ao máximo, pois basta uma concentração muito baixa destes produtos para provocar a intoxicação e morte das bactérias. Qualquer elemento em solução no digestor, em excesso, pode provocar sintomas de toxidez ao meio bacteriano. A definição exata da concentração em que estes elementos passam a ser nocivos é difícil, devido à complexidade do processo. A presença de hidrocarbonetos-clorofórmio, tetra cloreto de carbono e outros usados como inseticidas ou solventes industriais constituem fortes agentes tóxicos à digestão anaeróbia. A presença do íon amônio em digestores com altas taxas de produção, é um significativo problema.

Fonte: Adaptação de SALOMOM e TIAGO FILHO, 2007.

Alguns elementos ainda atrapalham a viabilização do armazenamento do biogás e produção de energia, que são: presença de vapor d'água, CO₂ e gases corrosivos (OLIVEIRA, 2004a). Esses comprometem a vida útil dos equipamentos, e, portanto, a remoção através de filtros e dispositivos de resfriamento destes componentes deve ser eficiente.

Vale destacar a equivalência obtida do m³ do biogás se comparado a outras fontes de energia, como pode ser verificado na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparação entre o biogás e outros combustíveis.

COMBUSTÍVEIS	1m ³ DE BIOGÁS EQUIVALE A
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo diesel	0,553 litros
Gás de cozinha (GLP)	0,454 litros
Lenha	1,536 kg
Álcool hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kW

Fonte: Barrera, 1993, p.10 apud GASPAR (2003).

Ainda, o biogás produzido pode ser utilizado com outras funcionalidades, como apresentado na Tabela 5:

Tabela 5 - Consumo de biogás em diferentes atividades específicas.

ATIVIDADE	ESPECIFICAÇÃO	CONSUMO/ BIOGÁS
Cozimento	Pessoa/dia	0,34 a 0,42 m ³ /h
Iluminação	Lâmpada/100 W	0,13 m ³ /h
	Camisa/40 W (Lampião)	0,45 a 0,51 m ³ /h
Motor a Gasolina ou Diesel	Biogás/HP (25% Eficiência)	0,45 a 0,51 m ³ /h
Incubadora	Por m ³ de capacidade	0,46 a 0,71 m ³ /h
Água (Ebulição)	Litro	0,11 m ³ /h
Gasolina	Litro	1,33 m ³
Diesel	Litro	1,6 a 2,07 m ³
Óleo Fuel (caldeira)	Litro	1,4 a 1,8 m ³
Eletricidade	KWh	0,62 m ³ /h
Campânula aquecimento	1.400 KW (suínos/aves)	0,15m ³ /h - 0,17m ³ /h

Fonte: *Biomass Energy Institute* (1978); *La Farge* (1995) apud *Oliveira, 2004a*.

Isto posto, ao considerarmos o uso do biogás, resumidamente constata-se ser possível obter uma significativa redução de custos para suprir as demandas de (ICLEI, 2009):

- Energia elétrica: para uso próprio, em indústrias próximas ou consumidores distantes, neste último caso, por meio da venda e distribuição dessa energia via rede já existente;

- Energia térmica (calor): útil em processos como secagem de grãos, aquecimento de granjas e água, esterilização de equipamentos, e usos industriais diversos;
- Combustíveis veiculares: para abastecimento de caminhões e máquinas agrícolas da propriedade, veículos públicos e particulares adaptados; e
- Iluminação: privada, na utilização de lâmpadas adaptadas, e pública, por meio do uso de postes abastecidos diretamente com o biogás.

Por fim, o processo de conversão de biomassa em energia vem sendo uma alternativa viável para os produtores reduzirem os custos energéticos nas propriedades, reduzindo os impactos negativos gerados ao meio ambiente e adequação as legislações vigentes.

2.3.3 Utilização do biogás

Conforme demonstrado na seção anterior, o biogás produzido nas propriedades rurais pode ser utilizado como energia elétrica, térmica e veicular. A seguir serão definidos os coeficientes de conversão para cada tipo de energia.

2.3.3.1 Energia elétrica

Conforme já visto, cada 1 m³ de biogás é equivalente a 1,428 kW de eletricidade (BARRERA, 1993 *apud* GASPAR, 2003).

Segundo Coelho *et al.* (2006), o processo de transformação do biogás em energia elétrica acontece por meio da conversão da energia química presente nas moléculas do gás em energia mecânica (combustão controlada) que, por sua vez, aciona um gerador que a transforma em energia elétrica.

A geração de energia elétrica com o uso de biogás como combustível pode ser dividida nas seguintes tecnologias disponíveis no momento, segundo Oliveira, 2004:

- 1- Conjunto Gerador de Eletricidade: Consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (etanol, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível acoplado a um gerador de eletricidade, independente da rede de energia elétrica da concessionária local. De

acordo com Oliveira e Higarashi (2006), “o conjunto é independente da rede de energia elétrica local, gerando energia dentro de propriedade com o sistema de distribuição interno isolado”. Esse sistema permite o autoconsumo, produzindo parte da energia a ser consumida na propriedade.

- 2- Conjunto Gerador Economizador de Eletricidade: Consiste em um motor de combustão interna Ciclo Otto (etanol, gasolina ou diesel) adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um motor assíncrono, de dois ou quatro polos, que passa a gerar energia ao ser conectado à rede de energia elétrica da concessionária local. Neste caso, Oliveira e Higarashi (2006) apontam que:

o equipamento gera energia somente se estiver conectado à rede de distribuição da concessionária de energia elétrica, deixando de funcionar se a mesma sofrer interrupção, o que elimina possibilidades de acidentes quando técnicos estiverem trabalhando na manutenção nas redes elétricas externas. (OLIVEIRA E HIGARASHI, 2006)

Neste sentido, o produtor que dispuser dessa tecnologia poderá ofertar esse tipo de energia, se autoabastecer e fornecer o excedente à concessionária quando seu equipamento estiver funcionando. Oliveira e Higarashi (2006) afirmam que “[...] a concessionária poderia se beneficiar, desde que ficasse acordado, de que o agricultor colocasse em operação o sistema nos horários pré-estabelecidos, ou seja, de pico”.

Vale destacar, ainda, a geração de energia distribuída. Bley Junior. (2010) define geração distribuída de energia elétrica como:

Modo de geração de energia elétrica conectada em sincronia com a rede de distribuição, que viabiliza a geração por microcentrais, possibilitando a descentralização do sistema. A geração distribuída pode servir para qualquer fonte renovável de energia elétrica, como eólica, solar, hídrica, geotérmica e no caso da geração de biogás, além dos efeitos energéticos, ainda produz efeitos ambientais, econômicos e sociais (BLEY JUNIOR, 2010, p.9).

A proximidade entre o local de produção e consumo gera uma série de vantagens provenientes da geração distribuída, entre as quais destacamos: (i) redução das perdas de transmissão e distribuição de energia elétrica, (ii) aumento do emprego na região, (iii) uso de insumos para geração de energia compatíveis

com a disponibilidade regional de recursos, (iv) maior capacidade de expansão do sistema elétrico baseado no incremento de capital da região consumidora (CATAPAN *et al.*, 2010).

Além disso, a existência da Resolução nº. 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em que autoriza o Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, apresentado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL) como projeto piloto de implantação de geração distribuída em baixa tensão, garantindo a compra de energia elétrica excedente gerada a partir do biogás produzido por dejetos orgânicos de animais.

Nessa perspectiva e segundo estimativas, uma propriedade somente é viável economicamente quando essa possui capacidade de produção acima de 200 m³/dia de gás, o que gera uma produção aproximada de 300 kVAh/dia (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006). Porém, grande parte dos produtores de animais não se enquadra nestas condições, por produzirem em pequena escala ou de característica familiar. Uma possível solução para viabilizar esses empreendimentos seria a produção de energia cooperativa, ou seja, em forma de condomínios ao qual as propriedade produtoras de biogás estariam interligadas por gasodutos a uma central elétrica que produzirá a energia.

2.3.3.2 Energia Térmica

Segundo Barnett *et al.* (1978) *apud* Salomom e Tiago Filho (2007, p. 10), “[...] a queima de 1 m³ de biogás gera entre 5.200 e 5.900 kcal de energia térmica (1kcal é o suficiente para aquecer 1 kg de água em 1°C)”. Além disso, 1 m³ de biogás equivale a 0,454 litros de gás de cozinha/GLP ou a 1,536 quilos de lenha (BARRERA, 1993 *apud* GASPAR, 2003).

A conversão do biogás, em energia térmica pode ser feita de duas formas, como apontado por Bley Junior (2010):

- Por cogeração a partir da instalação de conversores de calor nos coletores de escape dos motores para pré-aquecimento da água da caldeira de geração de vapor,
- Pela utilização direta de biogás como combustível em caldeiras ou fornos substituindo a lenha, o bagaço de cana, o diesel ou outro combustível empregado.

Deve-se salientar que o rendimento, quando existe transformação da energia contida no biogás em energia elétrica, gira em torno de 25%, contra 65% quando transformada em energia térmica (OLIVEIRA e HIGARASHI, 2006).

Este potencial deve ser aproveitado nas propriedades sob diversas maneiras, tais como: geração de calor (aquecimento de granjas, caldeiras, secadores de grãos) e utilização doméstica (fornos/fogões adaptados).

2.3.3.3 Energia Veicular

O uso veicular do biogás pode ser comparado ao Gás Natural Veicular (GNV) e requer o conhecimento de alguns coeficientes de conversão, em que, de acordo com Barrera (1993) *apud* Gaspar (2003), 1 metro cúbico de biogás equivale a 0,613 litros de gasolina, 0,579 litros de querosene, 0,553 litros de óleo diesel e 0,790 litros de álcool hidratado. E ainda, segundo Bley Junior. (2010), o fator de equivalência energética do biogás em gás natural é na ordem de 0,53 m³.

Porém, para que o biogás possa ser utilizado “[...] em qualquer aplicação destinada ao gás natural, para seu uso veicular existe a necessidade de remoção de alguns de seus componentes, tais como: umidade, ácido sulfídrico (H₂S), dióxido de carbono (CO₂) e partículas” (ADNETT *apud* ICLEI, 2009, p. 36).

Além disso, deve seguir os mesmos padrões do GNV, que, segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), na Portaria 128, de 28 de agosto de 2001, a porcentagem mínima de metano no gás natural para uso veicular deve ser de 68% na região Norte e 86% para as demais, além da concentração máxima de H₂S em 15Mg/m³ para a região Nordeste e 10Mg/m³ para as outras regiões.

Há ainda de ser feita a adaptação dos motores dos veículos, utilizando as mesmas tecnologias de conversão de motores a GNV, assim, seu uso é possibilitado desde veículos de passeio a veículos de carga.

Desta forma, essa alternativa para o uso do biogás pode se configurar importante, uma vez que o biogás, segundo Bley Junior. (2010), é produzido pela mesma cadeia de suprimentos que o utilizará, proporcionando autonomia do combustível e redução de custos para os produtores.

No entanto, vale destacar que ainda “[...] não há tecnologias nacionais comprovadamente eficientes para esta finalidade e com custo competitivo em relação aos combustíveis convencionais” (ICLEI, 2009, p. 37). Há no mercado,

equipamentos importados que garantem alta eficiência, porém, esses ainda não foram testados no Brasil e necessitam, portanto, de adaptações para atender às características do biogás brasileiro. No quadro 3 expomos algumas vantagens e desvantagens da utilização do biogás para uso veicular, a saber.

Quadro 3 - Vantagens e desvantagens da utilização de biogás para uso veicular.

VANTAGENS	DESvantagens
Utilização do biogás para alimentar a frota dos produtores, bem como máquinas e equipamentos movidos a esse tipo de combustível.	Não há tecnologias nacionais comprovadamente eficientes para esta finalidade e com custo competitivo em relação aos combustíveis convencionais.
Utilização do biogás para alimentar a frota de caminhões da prefeitura local, reduzindo os gastos com outros combustíveis.	Baixa escala de produção e elevados custos de implantação.
Substituição de combustíveis fósseis (diesel, por exemplo) por combustível renovável e de baixo impacto ambiental, pois reduz as emissões de particulados, NOx, entre outros	Existem equipamentos importados que garantam eficiência elevada, mas os mesmos nunca foram testados no Brasil e necessitam de adaptações para as características do biogás nacional.

Fonte: Adaptação de ICLEI, 2009.

Isto posto, torna-se necessário conhecer ações realizadas acerca dos projetos em biogás, verificando sua viabilidade e incentivos que possibilitam sua implementação.

2.4 Estudos de viabilidade econômica acerca de projetos de biogás

A fim de complementar este trabalho, buscou-se na literatura casos e trabalhos que relataram sobre a viabilidade econômica de projetos de biogás, seja unidade produtiva isolada (uma propriedade), seja organização em conjunto de algumas propriedades (condomínio).

Desta forma, observou-se alguns estudos que apresentaram resultados positivos em relação a viabilidade econômica de aplicação e uso do biogás, como é exposto no trabalho de Coldebella *et al.* (2008), em que relata a viabilidade de produção de energia elétrica a partir do biogás em uma propriedade rural localizada no município de Toledo, Paraná, que atua na produção de suínos no sistema de UPL (unidade produtora de leitões). Os autores consideram que, para melhores resultados, seria necessária a compra do excedente de energia elétrica pelas concessionárias e, ainda, que o investimento pode se tornar mais atrativo se

considerar a economia pelo uso de biofertilizante para a adubação de pastagens ou lavouras.

O trabalho de Martins e Oliveira (2011) relatou a viabilidade econômica da aplicação do biogás para geração de energia elétrica em propriedades produtora de suínos no estado de Santa Catarina. Porém, destacou que é mais vantajoso economicamente sua aplicação na substituição ou redução da energia convencional na própria propriedade do que sua comercialização.

Um estudo realizado no município de Toledo, Paraná, por Shikida *et al.* (2008), comparou a viabilidade econômica do biogás em duas propriedades suinícolas. Os resultados apresentados mostram que a viabilidade foi positiva em apenas uma das propriedades, destacada pela grande quantidade de animais. Os autores sugerem que seja necessário projeção de biodigestores diferenciados para contemplar propriedades que não possuem alta produção animal, minimizando os custos de implantação e manutenção desses sistemas.

Souza *et al.* (2004) abordaram no estudo o custo e a viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir do biogás em uma propriedade rural localizada na região Oeste do Paraná e constataram que a viabilidade do sistema depende da tarifa paga à concessionária de energia, ou seja, quanto maior a tarifa da energia convencional, menor o tempo de retorno do investimento do sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás. No caso estudado no trabalho, o tempo de retorno foi de aproximadamente 5 anos, considerado razoável.

O uso de biodigestores em propriedades rurais foi tema do trabalho de Barbosa e Langer (2011), em que se realizou uma análise técnica para tratamento de resíduos de suínos e geração de biofertilizantes e biogás em propriedades rurais. Percebeu-se que a tecnologia de biodigestão para produção de biogás e biofertilizantes é uma alternativa viável ao proprietário rural, trazendo inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais.

O trabalho desenvolvido por Freitas e Borsato (2012) relata sobre a geração de energia renovável por meio de biodigestores em uma propriedade de criação de suínos em Uberlândia, Minas Gerais, em que se apresentou sustentável a utilização do biogás e do biofertilizante, reduzindo custos com energia elétrica, adubação química, óleo diesel e GLP, além do mau cheiro causado pelos dejetos quando dispensados sem tratamento.

Lira (2009) abordou em seu trabalho a análise do aproveitamento do biogás a partir de dejetos suínos de uma propriedade localizada no sudoeste Goiano, verificando a viabilidade de aplicação do biogás em quatro alternativas, a saber: queima total do biogás para aquisição de créditos de carbono; geração de energia elétrica; energia térmica; e a combinação de elétrica e térmica.

A viabilidade econômica de sistema biointegrado para geração de eletricidade a partir de aproveitamento de dejetos suínos também foi objeto de estudo de Cervi *et al.* (2010), que, para uma unidade de 2300 suínos de terminação o sistema mostrou-se viável, de acordo com premissas adotadas no trabalho. Os autores destacaram a geração de excedentes, sendo necessário novas análises para viabilidade econômica.

O potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil é apresentado no estudo de Zanette (2009), em que apresentou como resultado um potencial de produção de biogás superior a 50 milhões de m³ CH₄ por dia. O autor destacou que, para haver viabilidade do aproveitamento energético do biogás, a escala dos projetos deve ser levada em consideração. Além disso, ressaltou que o biogás é competitivo quando comparado a outros combustíveis fósseis utilizados na indústria e no setor de transporte.

O trabalho de Gaspar (2003) apresentou uma análise da utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais no município de Toledo, Paraná, buscando agregar valor ao subproduto gerado na atividade suinícola. A autora destacou que a implantação do sistema de biodigestão pode agregar valor às propriedades, desde que seja instalado e manuseado de forma adequada, e que sejam utilizados integralmente o biogás e o biofertilizante gerados no sistema.

O trabalho elaborado por Coldebella (2006) analisou a viabilidade do uso do biogás em duas propriedades que atuam nas atividades voltadas para bovinocultura de leite e suinocultura no município de Toledo, Paraná. Os resultados apresentaram-se positivos quando há utilização adequada do biogás e do biofertilizante, mostrando a viabilidade econômica em ambas as atividades, uma vez que o tempo de retorno do investimento mostrou-se razoável, sem considerar a economia gerada pelo uso do biofertilizante, que poderia viabilizar o projeto ainda mais.

A viabilidade econômica do biogás para geração de energia em projetos de geração distribuída foi tema do trabalho de Rathunde (2010), em que se analisou seis propriedades suinícola do município de Cruz Machado, Paraná. Os resultados

apresentaram-se viáveis em alguns casos e inviáveis em outros, como colocado pelo autor, para formação de um condomínio de agroenergia, a viabilidade dependerá do potencial energético dos dejetos em cada propriedade e das distâncias que os separam.

Em outra vertente, o trabalho de Mattos e Krehbiel (2010) aborda a viabilidade de implantação de sistemas de biodigestão para redução da emissão dos gases de efeito estufa, além da possibilidade de substituição da lenha e demais combustíveis utilizados no cozimento (carvão e GLP), reduzindo o desaparecimento da vegetação. O trabalho apresenta uma comparação entre as emissões de GEE, em uma situação antes e depois do biodigestor, oriundas da atividade de cozimento realizada por uma família de agricultores da região do Cariri paraibano, em que se percebeu uma redução superior a 50% nas emissões de GEE, recomendando-se a instalação de biodigestores em propriedades rurais nas quais as condições sejam semelhantes às simuladas neste estudo.

Já trabalhos relacionados à implantação de condomínios de agroenergia, Schuch (2012) abordou uma comparação da viabilidade econômico-financeira de dois condomínios rurais de agroenergias: do Ajuricaba e de Jundiá. Os resultados encontrados demonstram que áreas com alta concentração de criatório suíno e possibilidade do gás purificado em suprimento de energia térmica melhoram significativamente os indicadores econômico-financeiros, propiciando maior atratividade, menor prazo de retorno e baixo risco ao investimento.

2.4.1 Condomínios de agroenergia

No Brasil há alguns casos identificados de condomínios de agroenergia já implantados, que são: 1) Condomínio de Agroenergia para Agricultura Familiar da Microbacia do Rio Ajuricaba e 2) Alto Uruguai.

O Condomínio Ajuricaba foi implantado em 2009 por uma iniciativa da ITAIPU Binacional, da Emater e da Prefeitura de Marechal Cândido Rondon, que resolveram instalar, na bacia do Rio Ajuricaba, um projeto para implantar o primeiro Condomínio Cooperativo de Agroenergia para Agricultura Familiar do Brasil.

A ação visa reduzir impactos ambientais na água e na atmosfera, produzidos pelos efluentes e resíduos orgânicos (dejetos) gerados em estabelecimentos de

agricultura familiar no Paraná, particularmente na Bacia Hidrográfica Paraná 3, submetendo-os a tratamento sanitário por biodigestão.

O Condomínio localiza-se no município de Marechal Cândido Rondon, Paraná, interligando 33 propriedades rurais por meio de 25,5 quilômetros de gasoduto a uma Microcentral Termelétrica (MCT) conectada à rede de distribuição de energia e a uma Unidade de Secagem de Grãos, cuja capacidade é de 450 sacas (CIBIOGÁS, 2013).

Há cerca de 5.000 suínos e 400 vacas, cujos dejetos desses são direcionados aos sistemas individuais de biodigestão, tratados e produzindo um total de aproximadamente 570m³/dia de biogás, que são transportados até a microcentral termelétrica e à Unidade de Secagem por um gasoduto (CIBIOGÁS, 2013).

Além de enviarem o biogás excedente à microcentral de energia, os produtores utilizam o gás para atender às necessidades das propriedades, como por exemplo, a higienização do sistema de ordenha ou até mesmo para cozinhar em fogões adaptados para receber o biogás.

Já as ações do Projeto Alto Uruguai ocorrem desde 2005, por iniciativa Eletrosul, Eletrobrás, Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB), Fundação Universitária do Desenvolvimento do Oeste (Fundeste), mantenedora da Unochapecó, Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano e Regional da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IPPUR) e Prefeituras Municipais da região.

Os municípios abrangidos pelo Projeto situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, um total de 29 municípios, localizados na região da bacia do Rio Uruguai.

A implantação do condomínio foi dividida em eixos, a saber: 1) Conscientização a respeito da conservação de energia - capacitação sobre preservação do meio ambiente e economia de recursos naturais, além da elaboração de Planos Municipais de Gestão Energética (PLAMGES); 2) Produção Alternativa de Energia - utilização do biogás obtido com os dejetos de suínos, tratados em biodigestores; e 3) Inclusão Energética - universalização do acesso à energia elétrica na região (NAVARRO e MAIA, 2010).

Outra experiência de Condomínio de Agroenergia é apresentada na região de San José, Uruguai, em que produtores leiteiros se reuniram para produção e utilização do biogás gerado.

O projeto é resultado de um trabalho conjunto do Global Sustainable Electricity Partnership (GSEP), Eletrobras, Programa das Nações Unidas para Desenvolvimento (PNUD), ITAIPU Binacional, Intendência de San José/Uruguay, Cooperativa Agrária da Colônia Delta, Instituto Nacional de Investigación Agropecuária/Uruguay (INIA), Ministério de Indústria, Energía y Minería (MIEM) e Administración Nacional de Usinas y Trasmisiones Eléctricas (UTE).

O condomínio é baseado no Condomínio Ajuricaba e prevê a instalação de biodigestores em 8 propriedades com bovinocultura de leite e de um gasoduto conectando essas propriedades e transportando o biogás até uma Microcentral Termelétrica (CIBIOGÁS, 2013).

3. METODOLOGIA

Nesta seção são apresentados os procedimentos metodológicos escolhidos para realização deste trabalho. Encontram-se descritas a natureza da pesquisa, os instrumentos utilizados na coleta de dados, a amostragem da população, além da caracterização do objeto de estudo e a trajetória da pesquisa (etapas) seguidas para conclusão deste estudo e, ainda, os métodos de cálculo dos dejetos animais, do biogás e seus produtos e dos indicadores econômicos utilizados.

3.1 Instrumentos da pesquisa

Para alcançar os objetivos propostos neste trabalho foram realizadas pesquisa de campo e bibliográfica.

A pesquisa bibliográfica teve por finalidade conhecer as diferentes formas de contribuição científica que se realizaram sobre determinado assunto ou fenômeno (OLIVEIRA, 1997). Segundo Gil (2008), esse tipo de pesquisa é desenvolvida a partir de material já elaborado constituído principalmente de livros e artigos científicos.

No atendimento do objetivo específico “Caracterizar a região de estudo e sua potencialidade”, foi realizada coleta de dados primários através da pesquisa de campo, em que foram aplicados questionários (Apêndice 1) para conhecimento dos proprietários e localização das propriedades, do plantel de animais, das atividades agropecuárias executadas, condições estruturais das instalações, técnicas de manejo de dejetos, pretensão da utilização de biodigestor, consumo energético (GLP, lenha, energia elétrica, diesel, gasolina) e a especificação do gasto energético por tipo de equipamento e/ou demanda.

Para alcançar os objetivos específicos “Análise financeira e socioeconômica”, foram realizados cálculos em planilhas eletrônicas (Excel) com base nos dados acima coletados, sua interpretação e indicação das alternativas mais viáveis econômica, social e ambientalmente.

A pesquisa bibliográfica se deu através de livros, periódicos, *sites* e demais materiais que abordam questões relacionadas à produção animal, seus impactos e alternativas de tratamento de dejetos, questões de caráter ambiental e sua importância para a atividade animal, bem como questões econômicas para análise

de investimentos dos projetos de implantação de biodigestores. Buscou-se, também, documentos legais (leis, resoluções, instruções normativas etc.) que apontassem questões relacionadas a punições e exigências feitas aos produtores de animais e ao correto manejo dos resíduos dessa produção.

3.2 Amostragem e caracterização do objeto de estudo

Neste estudo, os elementos da amostra não foram selecionados aleatoriamente, caracterizando esta como “não probabilística”. Além disso, esta tem caráter intencional ou, como colocado por Barros e Lehfeld (2010), amostra de seleção racional, isto é, selecionada de acordo com uma estratégia adequada, relacionando-se intencionalmente com as características estabelecidas.

A escolha da amostra se deu baseada no “Programa de Desenvolvimento Ambiental Sustentável de Toledo” da Prefeitura Municipal e financiado pela Agência Francesa de Desenvolvimento (AFD). O programa tem o objetivo de desenvolver ações para a proteção do meio ambiente, além de promover “[...] o controle da erosão dos solos; controle do assoreamento e da poluição dos corpos hídricos; a reciclagem de resíduos sólidos; conservação da biodiversidade; estímulo a práticas sustentáveis; sensibilização da população para a problemática ambiental” (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE TOLEDO, 2013, p.1).

Assim, foram selecionadas as propriedades localizadas na microbacia do Lajeado Grande, no município de Toledo, devido a seu alto potencial poluidor, com a intenção de reverter esse quadro, construindo um condomínio de agroenergia para produção de biogás oriundo de dejetos animais. Inicialmente, foi realizado, pela EMATER local, um breve levantamento das propriedades, identificando 51 propriedades, sendo 39 destas com atividades de produção animal. A partir desse levantamento, foi realizada uma reunião na Associação de Moradores União Lajeadense para explicação do programa, seus objetivos e o envolvimento da população local.

Após esta mobilização, os questionários foram implementados para levantamento dos dados pertinentes ao potencial energético produzido e demandado pela comunidade e seu entorno. Ou seja, foram aplicados 39 questionários para cada uma das propriedades que trabalham com produção animal na microbacia do Lajeado Grande, sendo esta a população da pesquisa.

3.3 Trajetória da pesquisa

Para alcance dos objetivos deste estudo, tornou-se importante traçar uma trajetória seguida para obtenção efetiva dos resultados. Desta forma, as etapas elaboradas foram:

- 1) Revisão bibliográfica de dados secundários: conhecimento da produção animal do município e da área de estudo, da importância do biogás e sua utilização, identificação dos potenciais consumidores de energia, além de instrumentos de análise de projetos de investimentos;
- 2) Coleta de dados das propriedades: aplicação dos 39 questionários, conhecimento da área de estudo e das propriedades, dos plantéis de animais e levantamento do potencial energético;
- 3) Tabulação e análise dos dados: organização dos dados em tabelas para facilitar a interpretação, verificar semelhanças e diferenças, além das relações e interações dos dados;
- 4) Averiguar a rentabilidade: cálculo dos indicadores financeiros dos projetos através dos cenários, a saber: (i) Geração de energia elétrica; (ii) Geração de energia térmica e (iii) Geração de energia veicular.
- 5) Interpretação dos resultados: analisar cada cenário e indicar a alternativa mais viável para realidade da comunidade do Lajeado Grande.

Vale ressaltar que os cálculos dos indicadores utilizados neste estudo (produção de dejetos, biogás e resultados econômicos) foram realizados com auxílio de uma planilha eletrônica elaborada pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás | CIBlogás-ER.

3.4 Métodos para cálculo da produção de dejetos, biogás e seus produtos

Para mensurar a economia gerada pela utilização do biogás, faz-se necessário estimar a produção de dejetos, de biogás e de seus produtos (energia elétrica, térmica e veicular), assim como as possíveis economias geradas por substituição e uso destes.

3.4.1 Produção de dejetos

A produção estimada de dejetos segue a metodologia utilizada pelo Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás-ER) e também dos resultados do trabalho de Oliveira (1993), “Manual de manejo e utilização de dejetos de suínos”, buscando adequar os parâmetros de produção de dejetos dos animais, para aproximá-los do nível tecnológico de produção brasileira, em que é apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Parâmetros para cálculo da produção de dejetos, por categoria animal.

ANIMAL	PRODUÇÃO DE DEJETOS	UNIDADE
Touro/vaca	0,00267	m ³ /hora
Bezerros/novilhas	0,00158	m ³ /hora
Bovino de corte	0,00183	m ³ /hora
Matriz	0,02600	m ³ /dia
Suíno terminação/reprodutor	0,01200	m ³ /dia
Leitão creche	0,00120	m ³ /dia

Fonte: IPCC (2006); Oliveira (1993).

Com isso, obtêm-se os valores diários de geração de dejetos que, multiplicados pelo número de animais e o tempo de confinamento (horas/dia) do animal na propriedade, gera a quantidade diária de dejetos (m³/dia).

3.4.2 Produção de biogás

Para o cálculo da geração diária de biogás, utilizou-se metodologias apresentadas pelo Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (IPCC), a saber: AMS.III.D Versão 14 intitulada de “Captura de Metano em Sistemas de Gestão de Animais” e o Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa do IPCC, com base no Capítulo 10 “Emissões da Pecuária e do Manejo de Dejetos”; em que se adotou a fórmula descrita na Equação (1).

$$PDB = (SV \times n^{\circ} \text{ de cabeças}) \times [(FCM \times U_{fb} \times B_0) / (\% \text{ de } CH_4 \text{ no biogás})]^{(1)}$$

Em que: *PDB* = Produção diária de biogás (m³/dia); *SV* = Sólidos voláteis (KgSV cab/dia); *FCM* = Fator de conversão anual (adimensional); *U_{fb}* = Fator de

correção (incertezas do modelo - adimensional) e B_0 = Potencial de produção de metano ($m^3/CH_4/Kg/SV$).

Segundo o IPCC (2006), os parâmetros utilizados no cálculo de produção diária de biogás são distintos de acordo com cada categoria animal e região. Na Tabela 7 são apresentados os parâmetros utilizados para vacas, demais bovinos e suínos da América Latina.

Tabela 7 - Parâmetros para cálculo da produção de biogás, por categoria animal, 2006.

ANIMAL	SV Padrão (KgSV cab/dia)	B0 (m^3CH_4 Kg/SV)	FCM	UFB
Vaca	2,9	0,13		
Demais bovinos	2,5	0,1	0,78	0,94
Suínos	0,3	0,29		

Fonte: IPCC (2006).

Outro fator importante para o cálculo da produção de biogás é o peso do animal, por relacionar-se diretamente na quantidade de dejetos gerados diariamente. De acordo com o IPCC (2006), os valores considerados para a América Latina são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Pesos padrões de animais, 2006.

ANIMAL	Peso (Kg)
Vaca	400
Demais bovinos	305
Suínos reprodutores	198
Demais suínos	50

Fonte: IPCC (2006).

Desta forma, consegue-se obter o volume diário gerado de biogás (m^3/dia).

3.4.3 Energia elétrica

Os benefícios com a produção de energia elétrica gerada pelo biogás podem ser interpretados como a renda que se deixa de transferir para a concessionária de energia elétrica, conforme o consumo em função da disponibilidade anual da planta e da tarifa de energia elétrica paga pelo proprietário.

Portanto, para cálculo dos benefícios financeiros do biogás pela energia elétrica, inicialmente estima-se o volume de biogás produzido disponível para a geração de energia:

$$BEE = \%BEE \times PDB \quad (2)$$

Em que: BEE = Biogás destinado para geração de energia elétrica (m³/dia); %BEE = Percentual de biogás destinado para a produção de energia elétrica (%); e PDB: Produção diária de biogás total (m³/dia). Já para calcular a quantidade de energia elétrica gerada por dia ou por ano, multiplica-se o BEE pelo fator de conversão ofertado pelo motor, ou seja, o valor de quilowatts gerados por um metro cúbico de biogás, como se pode observar pela fórmula:

$$GDEE = BEE \times EG \quad (3)$$

Em que: GDEE = Geração diária de energia elétrica (kWh/dia); BEE = Biogás diário destinado para a produção de energia elétrica (m³/dia); e EG = Energia gerada pelo motor gerador escolhido (kW/m³).

Para estimar o volume anual de biogás destinado para geração de energia elétrica e/ou a quantidade de energia elétrica, basta multiplicar o BEE e GDEE pelos dias de operação por ano, respectivamente.

Em seguida, calcula-se o benefício de utilização do uso do biogás para geração de energia elétrica, ou seja, o custo evitado ou o que se deixa de pagar para a concessionária.

$$RCEE = EEAE \times PkW \quad (4)$$

Em que: RCEE = Receita com venda de energia elétrica (R\$/ano); PkW = Preço do kw pago pela concessionária (R\$/kW); e EEAE = Energia elétrica anual evitada (kWh/ano).

O preço do kWh pago pela concessionária de energia, geralmente leva em conta o valor de referência (VR) da energia elétrica do ano corrente, definido pela ANEEL.

3.4.4 Energia térmica e veicular

Outra fonte energética gerada pelo biogás é a energia térmica e veicular que poderão substituir a lenha, o GLP, etanol, gasolina, óleo diesel ou outro combustível, dependendo da adaptação (retifica) realizada no motor original.

Para se calcular o potencial de substituição por biogás utiliza-se como base o Poder Calorífico Inferior (PCI) dos combustíveis a serem substituídos. Como por exemplo, para substituir lenha por biogás, precisa-se conhecer o fator de conversão, conforme demonstrado na equação 6.

$$FC = \frac{PCI_{biogás}}{PCI_{combustível}} \quad (6)$$

Em que: FC = Fator de conversão entre lenha e o biogás (adimensional); $PCI_{biogás}$ = Poder calorífico inferior do biogás (kcal/kg); e $PCI_{combustível}$ = Poder calorífico inferior do combustível (kcal/kg). Na Tabela 9 é apresentado o PCI dos combustíveis citados e que serão utilizados como parâmetro neste trabalho.

Tabela 9 - Fator de conversão para substituição de combustíveis pela energia do biogás.

COMBUSTÍVEL	PCI	UNIDADE	FC
Lenha	2.530	Kcal/kg	1,98
GLP	11.026	Kcal/kg	0,45
Etanol hidratado	5.950	Kcal/kg	0,84
Diesel	10.180	Kcal/kg	0,49
Gasolina	10.556	Kcal/kg	0,47
Biogás	5.000	kcal/kg	-

Fonte: Adaptado de Alves (2000).

Com isto, encontra-se a quantidade diária de combustível a ser substituído, como apresentado na equação 7.

$$Q_{C\,dia} = BDD \times FC \quad (7)$$

Em que: $Q_{C\,dia}$ = Quantidade de combustível substituído (Kg/dia); BDD = Biogás disponível diário (m³/dia); e FC = Fator de conversão. Isto posto, calcula-se a economia evitada com a compra do combustível substituído, seguido pela equação 8.

$$CED_{combustível} = Q_{C_{dia}} \times C^{(8)}$$

Em que: $CED_{combustível}$ = Custo evitado diário (R\$) com combustível; $Q_{C_{dia}}$ = Quantidade de combustível substituído por dia (Kg ou litro); e C = Custo do combustível (R\$/Kg ou R\$/litro).

3.5 Métodos de avaliação de investimentos

Segundo Souza e Clemente (1997), a decisão de investir é complexa, visto que sofre influência de vários fatores, inclusive de ordem pessoal. Para tanto, torna-se necessário que se desenvolva estudos e análises que permitam prever e auxiliar as tomadas de decisões.

A decisão de implantação de um projeto deve considerar: i) critérios econômicos: rentabilidade do investimento; ii) critérios financeiros: disponibilidade de recursos; iii) critérios imponderáveis: fatores não conversíveis em dinheiro (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 1996).

Para tanto, a estimativa do fluxo de caixa e as análises financeiras auxiliarão o tomador de decisão a verificar se o investimento é ou não viável. Assim, “devem-se preparar estimativas realistas, com base nas quantidades demandadas e expectativas de preços, custos e despesas, considerando-se também impostos e custos de capital” (CÔNSOLI *et al.* 2007, p.117).

Atualmente, existem vários métodos de avaliação econômico-financeira de projetos de investimento. De acordo com CÔnsoli *et al.* (2007), dentre as técnicas existentes, as mais utilizadas são: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o tempo de retorno (*payback*) do investimento. Cada uma dessas técnicas será apresentada resumidamente a seguir.

3.5.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

“Antes de apresentar cada um dos métodos citados, é importante que seja discutido um ponto fundamental na análise de investimento, que é a determinação da taxa de juros a ser utilizada como parâmetro para avaliação econômica” (NOGUEIRA, 1997, p. 243).

Essa taxa deve representar o custo do capital investido, principalmente quando captado no mercado para financiamento do investimento, ou seja, “a taxa de juros que deixa de ser obtida na melhor aplicação alternativa quando há emprego de capital próprio, ou é a melhor taxa de juros que tem de ser paga quando recursos de terceiros são aplicados” (SOUZA e CLEMENTE, 1997, p. 26-27). Em outras palavras, conforme abordado por Casarotto Filho (2002), deve ser considerado o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em outros projetos.

A taxa de juros utilizada na avaliação de retorno e atratividade em projetos de investimento é denominada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA). Essa é uma taxa associada a baixo risco, ou seja, na pior das hipóteses, qualquer sobra de caixa pode ser aplicada a essa taxa. Assim, a nova proposta para ser atrativa deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente à rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco (CASAROTTO FILHO, 2002).

Geralmente, a TMA utilizada em projetos para pessoas físicas, no Brasil, é igual à rentabilidade da caderneta de poupança, já para as empresas, a determinação da TMA pode ser mais complexa e depende do prazo ou da importância estratégica das alternativas (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 1996).

Neste estudo deu-se preferência por utilizar como taxa mínima de atratividade (TMA) o valor de 10%, considerando ganhos equivalentes a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) referente ao mês de dezembro de 2013.

Nogueira (1997) elencou alguns aspectos que influenciam na determinação da TMA, a saber: (i) disponibilidade de recursos; (ii) custo dos recursos; (iii) taxa de juros no mercado por grandes bancos ou por títulos governamentais; (iv) horizonte de planejamento do projeto, a curto ou longo prazo; (v) oportunidades estratégicas que o investimento pode oferecer; e, (vi) aversão ou a propensão ao risco que o investidor possa ter.

3.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O método do Valor Presente Líquido (VPL) consiste em transferir para o instante presente todas as variações de caixa esperadas, descontadas a uma

determinada taxa de juros (a TMA), e somá-las algebricamente (NOGUEIRA, 1997). O cálculo do VPL é dado pela fórmula:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{x_j}{(1+i)^j} \quad (9)$$

Em que: X_j = fluxo de caixa no período j ; i = taxa de desconto; e j = período do investimento.

A aprovação do investimento irá depender da variação do VPL. Como exposto por Gitman (2001), quando este indicador é usado para tomar decisões do tipo “aceita-rejeita”, deve-se considerar que: (i) se o VPL é maior do que zero, deve-se aceitar o projeto, ou seja, a empresa vai obter um resultado maior do que seu custo de capital; mas, se o VPL é menor do que zero, o projeto deverá ser rejeitado, ou seja, o retorno do investimento é inferior ao mínimo esperado.

Para Nogueira (1997), no caso de o VPL ser igual a zero, significa que o retorno do projeto é igual a TMA, ou, no caso, ao custo do capital da empresa, o que não torna o projeto atrativo.

3.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é a taxa de juros que torna uma série de recebimentos e desembolsos equivalentes na data presente (NOGUEIRA, 1997). Isto é, conforme Gitman (2001), a TIR é a taxa de desconto que iguala o VPL a zero.

Em síntese, é a taxa anual de resultados capitalizada que a empresa vai obter, se ela investir no projeto e receber os fluxos de entrada de caixa fornecidos (GITMAN, 2001).

Segundo Casarotto Filho e Kopittke (1996), se os investimentos com TIR forem maior do que a TMA, estes são considerados rentáveis e são passíveis de análise. Logo, se a TIR da alternativa de investimento for superior a TMA o investimento é aprovado, caso contrário, rejeita-se. Esses critérios garantem que a empresa consiga pelo menos seu retorno exigido.

3.5.4 Tempo de Retorno de Capital (TRC) ou Payback descontado

Assim, conforme colocado por Souza e Clemente (1997), a primeira ideia que surge numa decisão de investir é o retorno esperado, ou seja, quanto maior for o ganho futuro que pode ser obtido no investimento, mais atraente esse investimento parecerá para qualquer investidor.

O Tempo de Retorno de Capital (TRC) é um dos métodos mais simples e, talvez por isto, de utilização muito difundida. Segundo Nogueira (1997), o método consiste, essencialmente, em determinar o número de períodos necessários para recuperar o capital investido. Isto é, o tempo necessário para que o somatório das parcelas anuais seja igual ao investimento inicial (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 1996).

A utilidade de conhecer o TRC é que ele pode ser interpretado também como uma medida do grau de risco do projeto. De acordo com Souza e Clemente (1997), as incertezas associadas a um projeto tendem a aumentar à medida que as previsões das receitas e dos custos se afastam da data inicial (ano zero), podendo, dessa forma, mensurar o risco associado ao projeto.

Assim, quanto maior for o TRC mais incerto será a recuperação do capital investido. Para Gitman (2001), se o período de *payback* descontado é menor do que o período de *payback* máximo aceitável pelo investidor deve-se aceitar o projeto; mas, se é maior do que o período de *payback* aceitável, o projeto deve ser rejeitado.

3.5.5 Índice Benefício-Custo (IBC)

O índice benefício-custo (IBC) é uma medida de quanto se ganha por unidade de capital investido, ou seja, mensura a rentabilidade do projeto. Para Souza e Clemente (1997), a hipótese implícita no cálculo do IBC é que os recursos liberados ao longo da vida útil do projeto seriam reinvestidos à taxa de mínima atratividade.

O IBC é dado pela razão entre o fluxo esperado de benefícios de um projeto e o fluxo esperado de investimentos necessário para realizá-lo (SOUZA e CLEMENTE, 1997). Assim, o IBC pode ser calculado através da fórmula:

$$IBC = \frac{\sum_{j=0}^n \frac{R_j}{(1+i)^j}}{\sum_{j=0}^n \frac{C_j}{(1+i)^j}} \quad (10)$$

Em que: R_j = receitas no período j ; C_j = custos no período j ; i = taxa de desconto; e j = período do investimento. Sua interpretação dá-se pelo indicador IBC . Se IBC for maior que 1, o projeto deve ser aceito, porém, se menor que 1, o mesmo deve ser rejeitado.

3.5.6 Análise de Sensibilidade

A análise de sensibilidade é uma técnica utilizada para variar alguns componentes do fluxo de caixa e compará-los com os valores atuais do projeto de investimento. Como exemplificado por Souza e Clemente (1997), é o caso de pequenas variações na TMA, no investimento inicial, nos preços recebidos e/ou pagos, alterando as receitas e os benefícios líquidos periódicos.

É uma técnica simples de ser aplicada, tornando possível verificar quão sensível é a variação do VPL a uma variação de um dos componentes do fluxo de caixa (SOUZA e CLEMENTE, 1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção visa apresentar os principais resultados obtidos sobre a viabilidade econômica para implantação de um condomínio de agroenergia localizado na microbacia do Lajeado Grande, município de Toledo/PR, cujo potencial é a geração de energia a partir do biogás. É apresentada breve caracterização da área de estudo, bem como o potencial de geração de dejetos, biogás, energia elétrica, térmica e veicular, além de estimar os custos para a implantação de sistemas de biodigestão, tratamento e transporte do biogás e a análise de viabilidade econômica dos investimentos necessários para o uso do biogás e cada finalidade.

Para essa etapa, buscou-se fundamentação técnica junto ao Centro Internacional de Energias Renováveis – Biogás (CIBiogás-ER), uma associação sem fins lucrativos de direito privado, criada pela Itaipu Binacional, Centrais Elétricas Brasileira S/A – Eletrobras e a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial – ONUDI com o propósito de desenvolver e disseminar soluções tecnológicas, econômicas, ambientais e sociais para viabilização sustentável da cadeia de suprimentos do biogás.

Para tanto, as informações técnicas de produção de biogás e os investimentos necessários para produção, transporte, purificação e transformação da energia do biogás foram desenvolvidos pela equipe do CIBiogás-ER e compartilhados para a execução deste trabalho.

4.1 Caracterização da área de estudo – Lajeado Grande – Toledo/PR

O município de Toledo/PR é um dos maiores produtores pecuários, o qual possui rebanho equivalente a 455 mil cabeças de suínos, 46,2 mil cabeças de bovinos e 4,0 milhões de aves (IBGE, 2013). Esse elevado número de animais gera cerca de 69,5 milhões de toneladas de dejetos a cada ano. Assim sendo, torna-se potencial a aplicação e desenvolvimento de tecnologias para o tratamento dos resíduos animais,

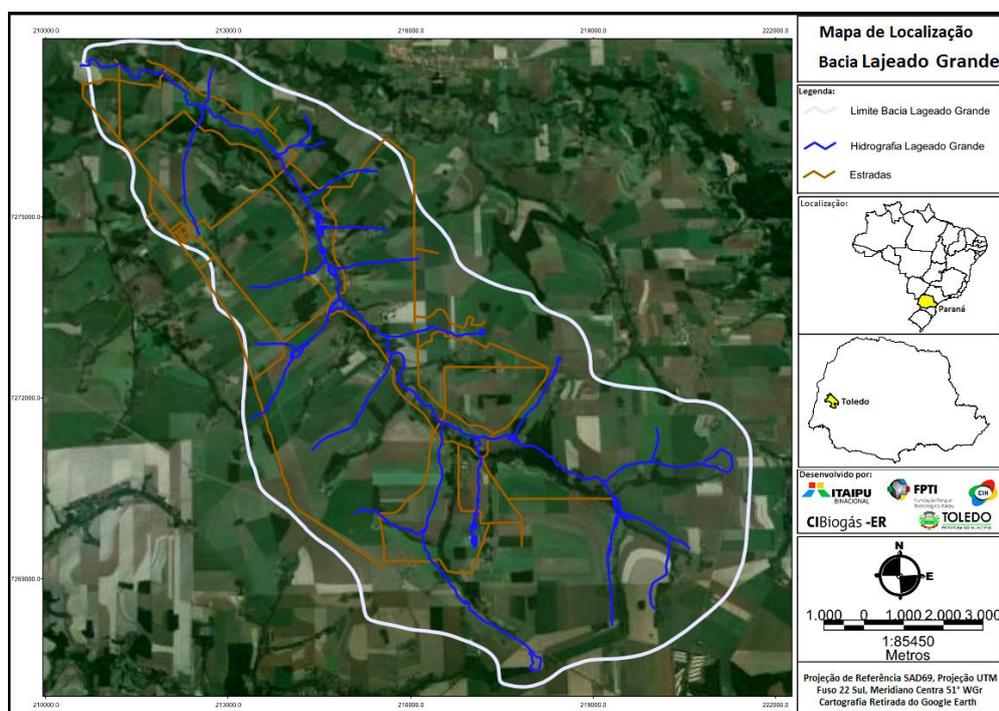
Há neste município uma comunidade caracterizada por ser grande produtora animal e localiza-se dentro da microbacia do Lajeado Grande.

Buscando minimizar os impactos já conhecidos da produção animal, o município criou o Programa de Desenvolvimento Ambiental Sustentável, que juntamente com a Agência Francesa de Desenvolvimento possibilitou investimentos que visem ações para a sustentabilidade do município em diversos segmentos, entre elas o tratamento dos resíduos agropecuários. Para tanto, buscou-se analisar a viabilidade da implantação de um condomínio de agroenergia nessa região.

O condomínio consiste na implantação de sistemas de biodigestão nas propriedades para o correto tratamento da biomassa residual e geração de biogás, o biogás produzido será conduzido por um biogasoduto construído, interligando as propriedades rurais até uma central de tratamento e purificação do biogás gerado, que será empregado, inclusive, para geração de energia para mobilidade veicular, resultando em desenvolvimento e geração de renda para os produtores e sociedade toledana.

Na Figura 9 pode-se observar o mapa de distribuição da Microbacia do Lajeado Grande no município de Toledo/PR, local potencial para implantação de um Condomínio de Agroenergia.

Figura 9 - Mapa de localização da Microbacia do Lajeado Grande, no município de Toledo – PR, ano de 2013



Fonte: CIBiogas-ER, de acordo com Centro Internacional de Hidroinformática – CIH, 2013

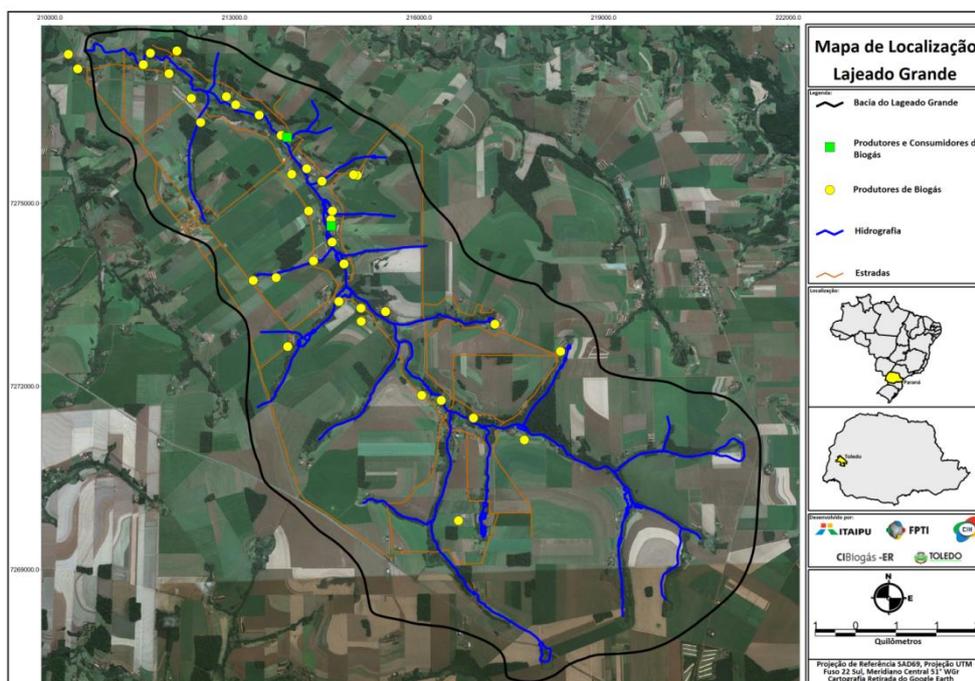
Inicialmente foi realizado, pela EMATER Toledo, um breve levantamento das propriedades, identificando 51 propriedades, sendo 39 destas com atividades de produção animal. A partir desse levantamento, foi realizada uma reunião na Associação de Moradores União Lajeadense para explicação do programa, seus objetivos e o envolvimento da população local.

Após essa mobilização, os questionários foram implementados para levantamento dos dados pertinentes ao potencial energético produzido e demandado pela comunidade e seu entorno.

As propriedades participantes caracterizam-se como familiar, cujas atividades estão ligadas à produção animal (suinocultura, bovinocultura de leite e avicultura) e à agricultura (principalmente soja e milho), sendo estas as principais fontes (uma ou ambas) de renda para as famílias.

A localização das unidades selecionadas na comunidade pode ser visualizada na Figura 10.

Figura 10 - Mapa de localização das propriedades rurais no Lajeado Grande, no município de Toledo – PR, ano de 2013



Fonte: CIBiogás-ER, de acordo com CIH, 2013

O plantel de animais das propriedades, por sistema categoria animal, é apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Plantel de animais da comunidade do Lajeado Grande, por sistema de produção animal, ano 2013

Categoria animal	Nº de animais (cabeças)
Suínos – Terminação	25.850
Suínos – Matrizes	1.500
Suínos – Creche	16.800
Bovinocultura de leite	507
Bezerros e novilhas	127
Avicultura	240.700
Total de animais	285.484

Fonte: Dados da pesquisa

Além do número de animais, no questionário buscou-se conhecer o peso médio dos animais, o sistema de produção (extensivo, confinado ou semi-confinado), tempo de confinamento e sistema de manejo dos dejetos. Dessa forma, têm-se as variáveis necessárias para estimar a produção de dejetos e biogás.

O potencial de produção de dejetos e de são apresentados na Tabela 11, conforme metodologia de cálculo apresentada na seção 3.

Tabela 11 - Potencial de produção de dejetos e de biogás da comunidade do Lajeado Grande

Potencial produtivo	Diária (m³/dia)	Mensal (m³/mês)	Anual (m³/ano)
Produção estimada de dejetos	251,18	2.796,85	85.024,07
Produção estimada de biogás	4.680,23	130.800,70	1.569.608,39

Fonte: Dados da pesquisa

Isto posto, levantou-se os investimentos necessários para implantação do Condomínio de agroenergia na comunidade do Lajeado Grande.

4.2 Investimentos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande

As informações presentes neste tópico foram adquiridas juntamente ao CIBiogás-ER, uma vez que o detalhamento técnico não foi objetivo deste estudo, porém é fundamental o dimensionamento dos custos e receitas que são imprescindíveis na análise econômica.

Inicialmente, os investimentos levantados foram aqueles referentes às obras e benfeitorias, aos equipamentos para produção, purificação, transporte do biogás, além dos custos de aquisição, instalação, operação e manutenção destes, conforme é apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Custos do sistema de biodigestão para produção, transporte e purificação do biogás no Condomínio de agroenergia do Lajeado Grande

Descrição	Valor (R\$)
Sistemas de biodigestão	1.516.050,00
Lagoas secundárias	191.289,34
Biogasoduto	3.400.317,75
Tratamento e purificação	200.000,00
Monitoramento	139.600,00
Investimento total	5.447.257,09

Fonte: Dados da pesquisa

Os valores referentes ao sistema de biodigestão são representados pela aquisição dos equipamentos e pela mão de obra para instalação do sistema de recirculação da biomassa, do gasômetro para armazenamento do biogás, da casa de máquinas, dos filtros para retirada da umidade e redução prévia da concentração de gás sulfídrico, além do painel elétrico.

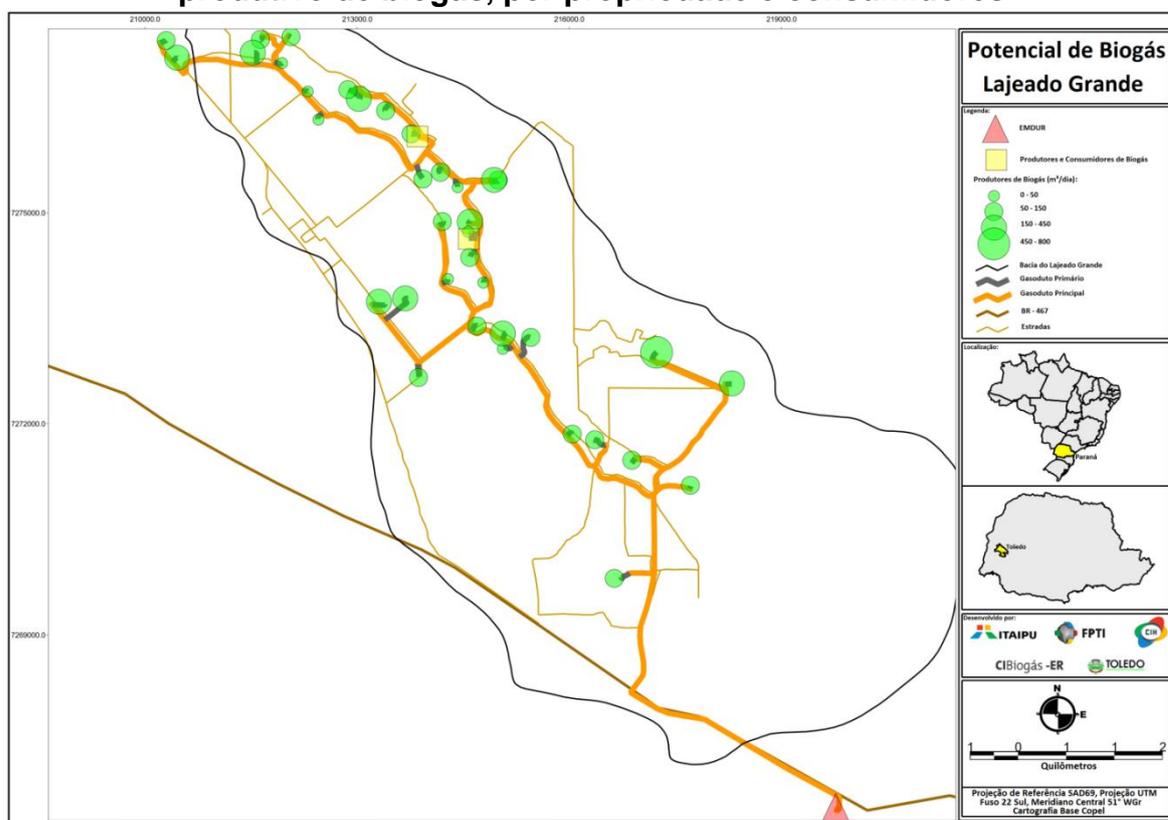
Já os valores das lagoas secundárias são representados pelos custos de escavação e cobertura das lagoas para recepção do biofertilizante.

Os biogasodutos têm a função de transportar o biogás, interligando as propriedades produtoras e são dimensionados de acordo com o destino final. Neste estudo, ao direcioná-lo para produção de energia térmica, o biogasoduto foi calculado de acordo com as distâncias dos aviários consumidores de calor; se for para produção de energia elétrica ou veicular, destinou-se para área da prefeitura municipal de construção de asfalto, Empresa de Desenvolvimento Urbano e Rural de Toledo (EMDUR), localizado a aproximadamente 7 km da comunidade Lajeadense.

Denomina-se “biogasoduto primário” aquele localizado dentro de cada propriedade, ligando a produção de biogás ao “biogasoduto principal”, que é aquele que faz a conexão das propriedades e direciona o biogás ao destino final (aviários ou EMDUR).

Para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande serão necessários 34.458,40 metros de biogasoduto, sendo 5.393,20 metros primários e 29.065,20 metros principal, conforme pode-se visualizar na Figura 11 a localização das propriedades e o traçado dos biogasodutos conforme necessidade.

Figura 11 - Mapa do traçado do biogasoduto de acordo com o potencial produtivo de biogás, por propriedade e consumidores



Fonte: CIBiogás-ER, de acordo com CIH, 2013

Os custos referentes a esta tecnologia são referentes aos materiais, à escavação, ao reaterro e à instalação dos biogasodutos.

O sistema de tratamento e purificação tem a função de remover os gases que interferem na qualidade do biogás, e é representado por quatro unidades: i) de compressão, ii) de remoção de gás carbônico, iii) de remoção de gás sulfídrico, e iv) regeneração do leito.

Já os investimentos em monitoramentos incluem os equipamentos para realizar medições qualitativas e quantitativas do biogás, além de análises laboratoriais dos efluentes de entrada e saída do sistema de biodigestão, verificando periodicamente o biogás produzido. Tais custos referem-se ao medidor de fluxo de gás, sensor para vazamento, medidor portátil eletroquímico, medidor de gás e aos ensaios físico-químicos realizados em laboratório.

4.3 Custos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande

Os custos relacionados ao funcionamento do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande são descritos como de operação, de manutenção e de monitoramento.

Tornam-se necessários recursos humanos para operacionalização do condomínio, sendo um engenheiro capacitado para gerenciar todo o sistema e dois profissionais de nível técnico para auxiliar na operação, manutenção e monitoramento do sistema, em que apresentam a estrutura de custos apresentado na Tabela 13.

Tabela 13 - Custo com recursos humanos

Profissional	Quantidade	Valor total (R\$/ano)
Engenheiro	1	90.000,00
Técnico	2	52.700,60
Total	3	142.700,60

Fonte: Dados da pesquisa

Além disso, são necessários custos com manutenção preventiva, visando ampliar a vida útil dos equipamentos, evitando ineficiência dos sistemas. Tais custos serão realizados nos sistemas pertencentes ao condomínio, cabendo aos produtores realizarem as manutenções individuais dentro da propriedade (biodigestor). Dessa forma, foram mensuradas as manutenções direcionadas ao biogásoduto (R\$ 48.000,00/ano) e a unidade de purificação de biogás (R\$ 48.000,00/ano).

Já o posto combustível e o motogerador (unidades de recebimento e distribuição do biogás convertido) serão incluídos nas análises correspondentes ao uso das energias correspondentes.

Destarte, foram mensuradas as receitas oriundas da substituição das energias do biogás e seus respectivos direcionamentos, em que se buscou analisar a produção e venda de energia elétrica; térmica e veicular de acordo com algumas possibilidades presentes na região de estudo.

4.4 Cenário 1 – Produção e uso de energia elétrica

Para produção e venda da energia elétrica oriunda do biogás, é necessário um investimento, além dos descritos até o momento, com o motogerador e painel de conexão. Nesse sentido, foi considerada, como parâmetro-base, a “vazão diária de biogás”, ou seja, a quantidade de biogás produzida diariamente que será conduzida para o motogerador, para geração de energia elétrica.

As unidades consumidoras consideradas neste estudo foram a EMDUR, em virtude da localização; e a PMT, por ser a responsável pela implantação do condomínio e seus respectivos custos.

Outro ponto importante na decisão da quantidade e da potência do motogerador é o regime de operação do motogerador em que a energia elétrica convencional será substituída, que devem levar em conta os horários de trabalho das unidades consumidoras. Para tanto, foi considerado o período correspondente a 13 horas de funcionamento, utilizando a energia gerada no horário das 6 às 19 horas (horário “comercial”), considerando que o motogerador deverá ser ligado antes das cargas maiores para obter melhor rendimento.

Desta forma, verificou-se a necessidade de dois motogeradores de combustão interna (Ciclos Diesel e Otto), que geram energia elétrica pela conexão do gerador ao motor, com potência de 440 KVA cada, que têm custos de aquisição estimados em R\$ 675.000,00 cada um e custos de instalação, adaptação elétrica e painéis de conexão na ordem de R\$ 145.000,00. O custo de manutenção dos motogeradores é na ordem de R\$ 60.507,30/ano em peças e mão de obra técnica especializada.

Os dados de rendimento das máquinas são fornecidos pelo fabricante, que nesse caso foi equivalente a 1,44 kWh/m³ de biogás. Com isso, pode-se calcular o potencial de produção de energia elétrica e o custo evitado pela substituição, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 - Potencial de produção de energia elétrica

Potencial	kWh/dia	kWh/mês	kWh/ano
Energia elétrica gerada	6.739,57	204.995,25	2.459.943,05

Fonte: Dados da pesquisa

Para calcular o potencial de substituição de energia elétrica, buscou-se analisar o consumo de energia elétrica convencional (em kWh) da EMDUR e da PMT no ano de 2012, conforme pode ser visualizado na Tabela 15. Vale destacar que o consumo da PMT é referente ao prédio principal, desconsiderando demais departamentos situados no entorno da cidade.

Tabela 15 - Consumo de energia elétrica convencional pela EMDUR e PMT, ano 2012

Mês/ ano	Consumo EMDUR (kWh/mês)	Consumo PMT (kWh/mês)	Total de energia elétrica demandada (kWh/mês)	Produção energia do biogás (kWh/mês)	Saldo (kWh/mês)
01/12	30.723,00	376.437,02	407.160,02	204.995,25	-202.164,77
02/12	38.310,00	390.303,98	428.613,98	204.995,25	-223.618,73
03/12	42.713,00	369.897,55	412.610,55	204.995,25	-207.615,30
04/12	40.257,00	5.814,76	496.071,76	204.995,25	-291.076,51
05/12	40.188,00	459.667,67	499.855,67	204.995,25	-294.860,42
06/12	41.896,00	391.827,21	433.723,21	204.995,25	228.727,96
07/12	40.281,00	432.334,98	472.615,98	204.995,25	-267.620,73
08/12	35.227,00	393.887,83	429.114,83	204.995,25	-224.119,58
09/12	37.192,00	383.482,19	420.674,19	204.995,25	-215.678,94
10/12	37.531,00	430.588,24	468.119,24	204.995,25	-263.123,99
11/12	36.698,00	470.466,26	507.164,26	204.995,25	-302.169,01
12/12	41.784,00	469.672,86	511.456,86	204.995,25	-306.461,61
Média	38.566,67	418.698,38	457.265,05	204.995,25	-252.269,80
Total	462.800,00	5.024.380,55	5.487.180,55	2.459.943,05	-3.027.237,50

Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que a produção de energia abastece toda a energia demandada pela EMDUR e parte da PMT, cerca de 39,75%, sendo o restante do consumo de energia convencional da concessionária local.

Ao analisar os valores médios pagos mensalmente pela EMDUR e PMT na energia elétrica, pelo período de janeiro a dezembro de 2012, chega-se ao valor de R\$ 0,42/kWh (valor de referência pago à concessionária local). Com isso, torna-se possível estimar o custo que poderá ser evitado pelo emprego do biogás em sistemas motogeradores para geração de energia elétrica, conforme pode ser visualizado na Tabela 16.

Tabela 16 - Estimativa do custo evitado com a produção de energia elétrica do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande, por ano

Custo evitado (R\$/ano) EMDUR	Custo evitado (R\$/ano) PMT	Custo evitado (R\$/ano) Total
194.376,68	838.800,08	1.033.176,76

Fonte: Dados da pesquisa

Destarte, verificou-se a viabilidade econômica de implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica, em que se partiu dos investimentos totais, conforme apresentado na Tabela 17.

Tabela 17 - Informações necessárias para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica

Descrição	Total (R\$)
Sistema de biodigestão	1.516.050,00*
Lagoas secundárias	191.289,34*
Biogasoduto	3.400.317,75**
Sistema de purificação	200.000,00
Sistema de monitoramento	139.600,00
Motogerador	1.350.000,00
Painel de conexão/adaptação elétrica	145.000,00
Investimento total	6.942.257,09

Fonte: Dados da pesquisa

*Os valores referentes a produção e transporte do biogás foram calculados para cada propriedade e encontram-se descritos no APÊNDICE B – Tabela 30.

**Os valores do biogasoduto foram categorizados em primário (dentro da propriedade) e principal (que liga a um central receptora do biogás).

O quadro descritivo do fluxo de caixa encontra-se como parte anexa a este trabalho, no APÊNDICE C, Tabela 31.

O horizonte de planejamento analisado foi de 20 anos em virtude da depreciação dos equipamentos. Utilizou-se como taxa mínima de atratividade (TMA) 10% ao ano, considerando ganhos equivalentes a taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia) referente ao mês de dezembro de 2013.

Não foi considerado Imposto de Renda (IR) uma vez que a receita estimada é baseada na economia gerada (custo evitado com energia elétrica).

Na Tabela 18 são apresentados os indicadores econômicos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na produção de biogás para geração de energia elétrica.

Tabela 18 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica

Indicadores econômicos	Unidade	Valor
Investimentos	R\$	6.942.257,09
TIR	%	13,42
VPL	R\$	2.124.273,10
TRC Simples	Anos	8
TRC Descontado	Anos	14
IBC	%	1,31

Fonte: Dados da pesquisa

Este cenário verificou-se como uma solução viável, uma vez que apresenta indicadores econômicos positivos. O investimento realizado é recuperado em aproximadamente 14 anos, visto o Tempo de Retorno de Capital Descontado, cujos valores levam em consideração os juros do período.

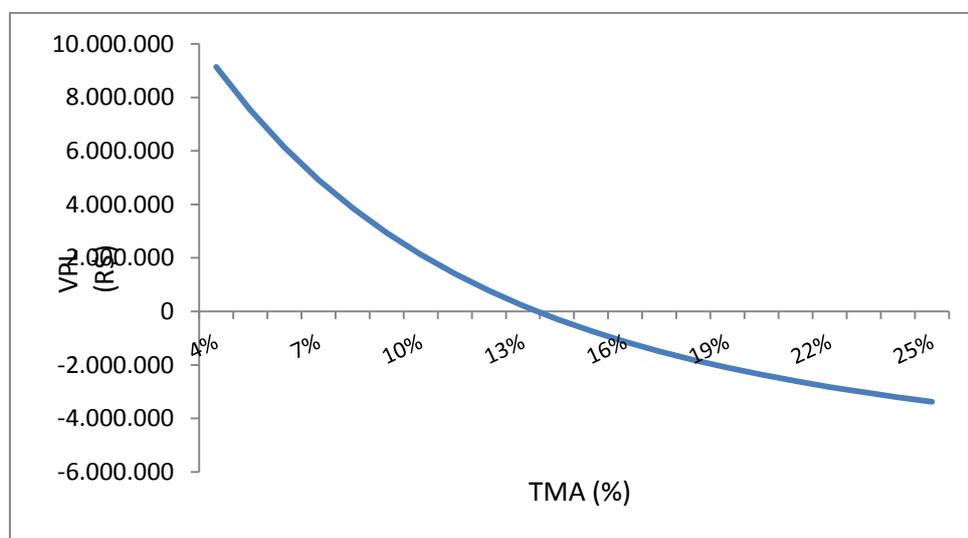
Ao interpretar o Valor Presente Líquido (VPL) como lucro obtido pela atividade, observa-se um valor R\$ 2.124.273,10, descontados a taxa de juros de mercado (que nesse caso foi de 10% ao ano) e os investimentos. Portanto, valores positivos indicam que a atividade é viável economicamente.

Outro indicador importante na análise é a Taxa Interna de Retorno (TIR), que nessa análise foi de 13,42% ao ano, apresentando-se superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), tornando o arranjo viável. Esse indicador representa a taxa que remunera essa atividade, em que ao considerar a taxa de retorno usualmente utilizada no mercado energético (11% ao ano) torna-se atrativa.

Já o Índice Benefício Custo (IBC) também mostra viabilidade econômica deste arranjo, uma vez que foi superior a 1, indicando que os benefícios são 31% superiores aos custos.

A análise de sensibilidade realizada analisou variações nos indicadores econômicos de acordo com alterações na TMA e no preço da energia, como pode ser observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Variações na Taxa Mínima de Atratividade para a geração de energia elétrica



Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que o VPL torna-se negativo a taxas acima de 15%, ou seja, acima da TIR encontrada para este arranjo (15,03% ao ano). Vale destacar que se considerar o custo de capital (TMA) acima de 15% ao ano o projeto é inviável economicamente. Já as variações no “preço da energia”, mantendo demais variáveis constantes, são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Análise de sensibilidade do preço da energia para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia elétrica

Variação	Preço da energia (R\$/kWh)	VPL (R\$)	TIR (%)
-30%	0,30	-1.737.444,56	6,79
-10%	0,38	837.033,88	11,40
0	0,42	2.124.273,10	13,42
10%	0,46	3.411.512,32	15,32
30%	0,55	6.307.800,56	19,29

Fonte: Dados da pesquisa

Com isto, tem-se que, ao modificar -10% e 10% das variáveis citadas, o VPL variou em 60% (para mais e para menos), enquanto a TIR alterou em -15,02% ao ano e 14,15% ao ano, respectivamente. Isso mostra que as variáveis analisadas são consideradas sensíveis para este arranjo. Vale destacar que o preço da energia inferior a R\$ 0,35/kWh ou TMA acima de 13,5% tornam este cenário inviável.

4.5 Cenário 2 – Produção e uso de energia térmica

Para a geração da energia térmica originada do biogás produzido no Condomínio de Agroenergia do Lajeado Grande foi considerada a substituição da lenha.

Para tanto, o parâmetro-base utilizado como fator de conversão do poder calorífico biogás/lenha foi de 1,98 kg de lenha/m³ de biogás produzido. Segundo informações do Centro de Tecnologias do Gás - CTGás (2013), 1m³ de lenha é proporcional a 340 quilogramas. Dessa forma, temos uma oferta de 3.101.992,86 kg de lenha/ano, ou em outras unidades 9.123,51 m³ de lenha/ano, o que gera uma receita total anual pela substituição de R\$ 547.410,50/ano, considerando R\$ 97,94/m³ de lenha, preço médio pago no estado do Paraná no último trimestre do

ano de 2013 (dados da Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do estado do Paraná – SEAB).

Na comunidade do Lajeado Grande foram selecionados oito aviários com consumo médio de 720 m³ de lenha/ano. Dessa forma, há um excedente de 8.403,51 m³ de lenha/ano que poderá ser destinado para uma agroindústria localizada próxima ao Condomínio.

Vale destacar que para utilização do biogás no aquecimento das granjas torna-se necessária a adaptação do sistema de queima de lenha, cujo custo de aquisição e instalação foi estimado em R\$ 25.000,00 por aviário, enquanto que para adaptação do secador da agroindústria estima-se um custo de R\$ 50.000,00.

Destarte, verificou-se a viabilidade econômica de implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica, em que se partiu dos investimentos totais, conforme apresentado na Tabela 20.

Tabela 20 - Informações necessárias para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica

Descrição	Total (R\$)
Sistema de biodigestão	1.516.050,00*
Lagoas secundárias	191.289,34*
Biogasoduto	3.400.317,75**
Sistema de purificação	200.000,00
Sistema de monitoramento	139.600,00
Adaptação dos queimadores	250.000,00
Investimento total	5.697.257,09

Fonte: Dados da pesquisa

*Os valores referentes a produção e transporte do biogás foram calculados para cada propriedade e encontram-se descritos no APÊNDICE B – Tabela 30.

**Os valores do biogasoduto foram categorizados em primário (dentro da propriedade) e principal (que liga a um central receptora do biogás).

O quadro descritivo do fluxo de caixa encontra-se como parte anexa a este trabalho, no APÊNDICE C, Tabela 32.

O horizonte de planejamento, TMA e taxas do imposto de renda foram considerados os mesmos utilizados na análise de energia elétrica.

Na Tabela 21 são apresentados os indicadores econômicos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na produção de biogás para geração de energia térmica.

Tabela 21 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica

Indicadores econômicos	Unidade	Valor
Investimentos	R\$	5.697.257,09
TIR	%	13,17
VPL	R\$	1.606.492,13
TRC Simples	Anos	8
TRC Descontado	Anos	14
IBC	%	1,28

Fonte: Dados da pesquisa

Este cenário verificou-se como uma solução viável, uma vez que apresenta indicadores econômicos positivos. O investimento realizado é recuperado em aproximadamente 14 anos, visto o Tempo de Retorno de Capital Descontado, cujos valores levam em consideração os juros do período.

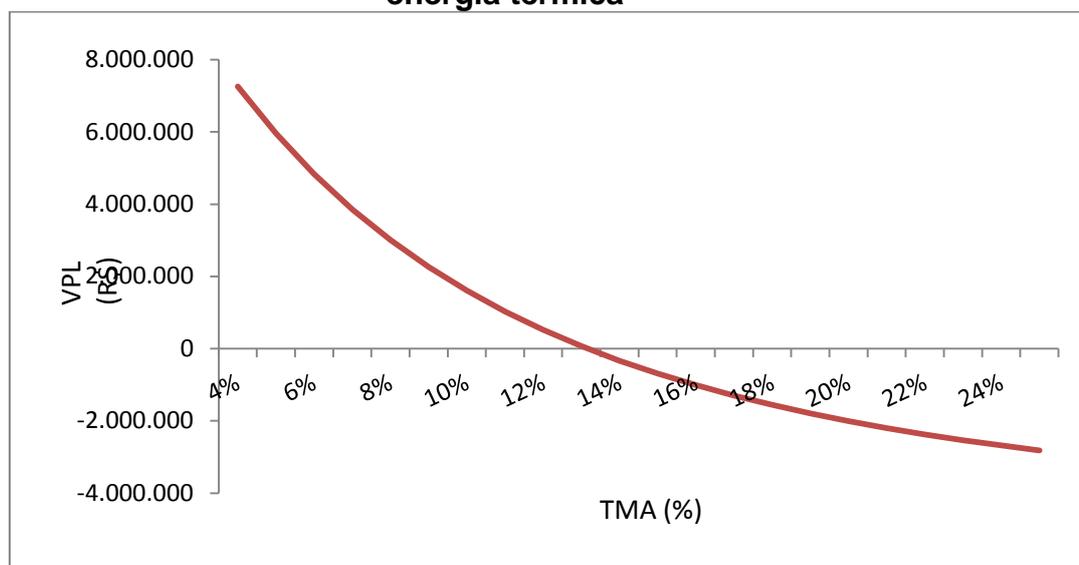
Ao interpretar o Valor Presente Líquido (VPL) como lucro obtido pela atividade, observa-se um valor de R\$ 1.606.492,13, descontados a taxa de juros de mercado (que nesse caso foi de 10% ao ano), a inflação e os investimentos. Portanto, valores positivos indicam que a atividade se sustenta economicamente e gera valor para o condomínio a ser implantado.

Outro indicador importante na análise é a Taxa Interna de Retorno (TIR), que nessa análise foi de 13,17% ao ano, apresentando-se superior à Taxa Mínima de Atratividade (TMA), tornando o arranjo viável.

Já o Índice Benefício Custo (IBC) também mostra que a atividade é viável economicamente, uma vez que foi superior a 1, indicando que os custos são inferiores aos rendimentos obtidos.

A análise de sensibilidade realizada verificou a variação dos indicadores econômicos de acordo com variações na TMA e no preço da lenha. Vale ressaltar que essa análise fez-se *ceteris paribus*, ou seja, todas outras variáveis mantidas constantes e podem ser visualizadas no Gráfico 2.

Gráfico 2 - Variações na Taxa Mínima de Atratividade para a geração de energia térmica



Fonte: Dados da pesquisa

Observa-se que taxa superiores a TIR encontrada inviabilizaria o projeto, ou seja, taxas acima de 15,13% ao ano tornam o VPL do arranjo para geração de energia térmica negativo, não gerando valor para o condomínio a ser implantado. Já os resultados da sensibilidade analisada para o preço da lenha são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Análise de sensibilidade do preço da lenha para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia térmica

Variação	Preço da lenha (R\$/m ³)	VPL (R\$)	Variação no VPL (%)	TIR (%)	Variação na TIR (%)
-30%	68,56	-1.900.118,97	-218,28	5,6	-57,46
-10%	88,15	438.019,61	-72,73	10,9	-17,21
0	97,94	1.606.492,13	-	13,17	-
10%	107,73	2.774.964,65	72,73	15,28	16,05
30%	127,32	5.113.103,24	218,28	19,20	45,84

Fonte: Dados da pesquisa

Nota-se que o preço da lenha é sensível para este cenário, uma vez que variações de positivas e negativas em 10% e 30% alteram-se os resultados acima do percentual alterado. Vale destacar que o preço da lenha abaixo de R\$ 84,00/m³ inviabilizaria o arranjo.

4.6 Cenário 3 – Produção e uso de energia veicular

Além do uso para energia térmica e elétrica, o biogás pode ser empregado com combustível veicular, substituindo diesel, gasolina e/ou etanol.

Embora ainda limitado, esse uso tem apresentado interesse crescente em diversos países em função do seu grande potencial e dos diversos benefícios ambientais, especialmente a ausência de emissões de monóxido de carbono e nitrogênio.

A Resolução ANP nº 16, de 17 de junho de 2008, apresenta as características físico-químicas do gás natural. Dessa forma, considera-se que o biogás deverá ser purificado a fim de atingir as especificações do gás natural, para então ser utilizado nos veículos adaptados para esse tipo de combustível (ANP, 2008).

A composição do biogás proveniente da produção animal é em torno de 60% de CH₄ (IPCC, 2006). O biometano para ser comercializado deve ter o percentual mínimo exigido pela ANP de 87% de CH₄, atingindo percentuais do Gás Natural Veicular - GNV (PETROBRAS, 2013).

De acordo com informações do fornecedor, o filtro pode gerar biometano de 96%, que será o valor utilizado para cálculos neste estudo. Além disso, para possibilitar o uso do biogás como energia veicular torna-se necessária a implementação (além dos investimentos na produção, transporte e purificação do biogás) de um posto de combustível que contém compressor, cuja função é comprimir o biogás produzido; cabine; *dispenser* (abastecimento dos veículos adaptados), armazenador; painel incorporado ao compressor e motor. O custo de aquisição e implantação do posto é na ordem de R\$ 325.000,00, sendo o custo de manutenção anual em torno de R\$ 60.000,00.

Cabe ressaltar que o investimento com adaptação dos veículos não foram considerados neste estudo, uma vez que dependerá de cada responsável a execução desta etapa.

A geração de biometano poderá ser negociado com a Companhia Paranaense de Gás – COMPAGÁS, inserindo o investimento de uma unidade de tratamento e purificação do biogás (já incluído no arranjo) e de compressor ao custo de R\$ 393.000,00.

Considerando os valores de produção de biogás (1.569.608,39m³/ano) e o percentual de metano de 96%, obtém-se 981.005,24 m³/ano de biometano. Dessa

forma, utilizando o valor de referência de venda para o biometano de R\$ 1,14/m³ (valor médio pago pela COMPAGÁS no Estado do Paraná em setembro de 2013), tem-se a receita equivalente a R\$ 1.118.149,78/ano.

Com essas informações foi possível analisar a viabilidade econômica de implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia veicular, em que se partiu dos investimentos totais, conforme apresentado na Tabela 23.

Tabela 23 - Informações necessárias para implantação do Condomínio de agroenergia Lajeado Grande com foco na geração de energia veicular

Descrição	Total (R\$)
Sistema de biodigestão	1.516.050,00*
Lagoas secundárias	191.289,34*
Biogasoduto	3.400.317,75**
Sistema de purificação	200.000,00
Sistema de monitoramento	139.600,00
Posto de combustível	325.000,00
Licenças	1.000.000,00
Investimento total	6.772.257,09

Fonte: Dados da pesquisa

*Os valores referentes a produção e transporte do biogás foram calculados para cada propriedade e encontram-se descritos no APÊNDICE B – Tabela 30.

**Os valores do biogasoduto foram categorizados em primário (dentro da propriedade) e principal (que liga a um central receptora do biogás).

Como nas demais análises, foram considerados os mesmos indicadores, tais como: horizonte de planejamento, TMA e taxas do imposto de renda.

Na Tabela 24 são apresentados os indicadores econômicos para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na produção de biogás para geração de energia veicular.

Tabela 24 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia com foco na geração de energia veicular

Indicadores econômicos	Unidade	Valor
Investimentos	R\$	6.772.257,09
TIR	%	15,52
VPL	R\$	3.469.621,06
TRC Simples	Anos	7
TRC Descontado	Anos	12
IBC	%	1,51

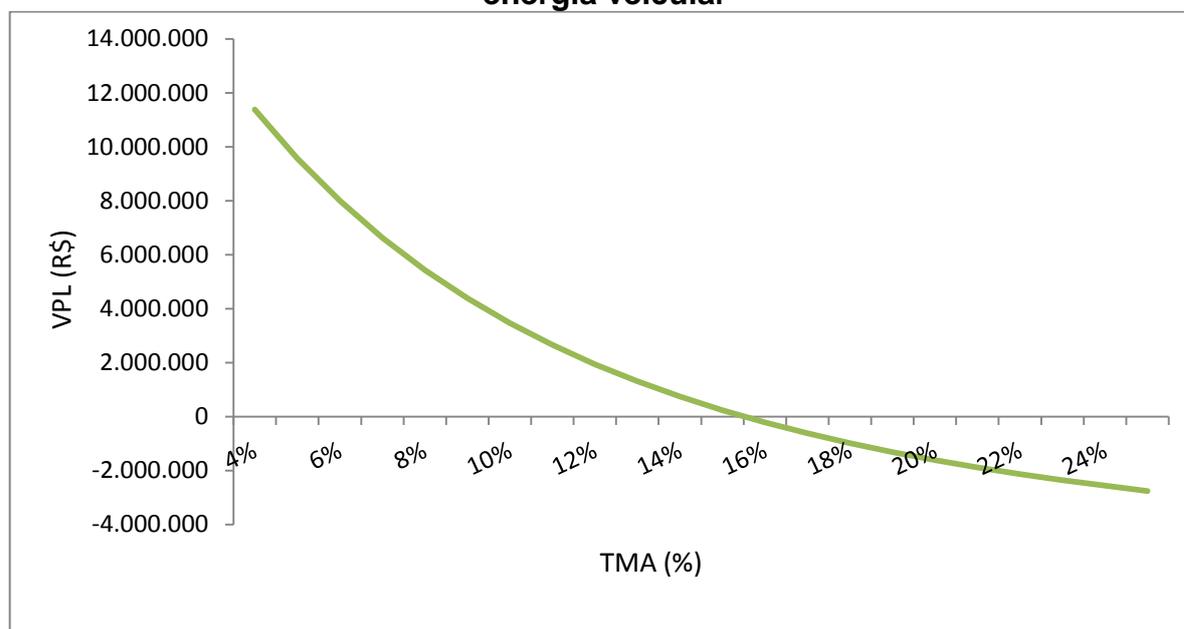
Fonte: Dados da pesquisa

O quadro descritivo do fluxo de caixa encontra-se como parte anexa a este trabalho, no APÊNDICE C, Tabela 33.

Este cenário verificou-se como uma solução viável, uma vez que apresenta indicadores econômicos positivos. O investimento realizado é recuperado em aproximadamente 12 anos, visto o Tempo de Retorno de Capital Descontado, cujos valores levam em consideração os juros do período; o VPL apresentou valor de R\$ 3.469.621,06, a TIR foi de 15,5% ao ano, apresentando-se superior a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), tornando o arranjo viável, e o IBC de 1,51 indicando que os benefícios são superiores aos custos.

Além disso, a análise de sensibilidade realizada verificou a variação dos indicadores econômicos de acordo com alterações na TMA e no preço do biometano, mantendo as demais variáveis constantes, cujas modificações da TMA são apresentadas no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Variações na Taxa Mínima de Atratividade para a geração de energia veicular



Fonte: Dados da pesquisa

Taxas acima de 16,9% ao ano tornam o VPL negativo, inviabilizando a geração de energia veicular no Condomínio de agroenergia Lajeado Grande. Já as variações no preço do biometano podem ser visualizadas na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise de sensibilidade do preço do biometano para implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande com foco na geração de energia veicular

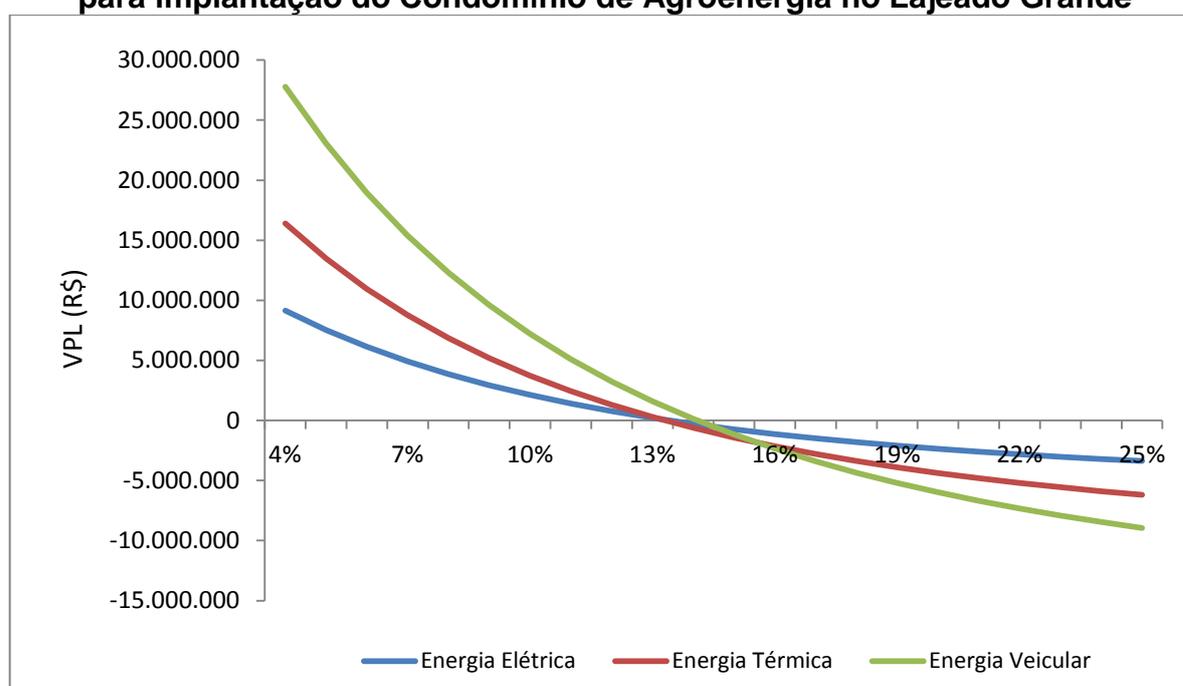
Variação	Preço do biometano (R\$/m ³)	VPL (R\$)	Variação no VPL (%)	TIR (%)	Variação na TIR (%)
-35%	0,74	1.661.213,99	-147,88	6,86	-55,78
-15%	0,97	1.290.492,02	-62,81	12,18	-21,56
0	1,14	3.469.621,06	-	15,52	-
15%	1,31	5.653.883,51	62,95	18,61	19,87
35%	1,54	8.605.589,52	148,03	22,51	45,02

Fonte: Dados da pesquisa

O preço do biometano é sensível nesse arranjo, uma vez que variações positivas e negativas em 15% e 35% alteram-se os resultados acima do percentual alterado. Vale destacar que o preço do biometano abaixo de R\$ 0,87/m³ inviabilizaria o arranjo.

Visto algumas das possibilidades de uso do biogás produzido no Condomínio de Agroenergia do Lajeado Grande (substituição a energia elétrica convencional, a lenha e ao gás natural - biometano), no Gráfico 4 é apresentado um comparativo econômico entre as opções analisadas, relacionando as alterações no VPL diante a variações na TMA do projeto.

Gráfico 4 - Comparativo econômico dos VPLs dos projetos analisados para implantação do Condomínio de Agroenergia no Lajeado Grande



Fonte: Dados da pesquisa

Também são apresentados, de forma resumida na Tabela 26, os principais resultados dos cenários analisados, em que se pode verificar as informações econômicas consideradas para o Condomínio de Agroenergia no Lajeado Grande.

Tabela 26 - Indicadores econômicos da implantação do Condomínio de agroenergia no Lajeado Grande, ano 2013

Indicadores econômicos	Unidades	Energia elétrica	Energia térmica	Energia veicular
Investimentos	R\$	6.942.257,09	5.697.257,09	6.772.257,09
Custo anual evitado	R\$/ano	1.033.176,76	893.556,41	1.118.149,78
TIR	%	13,42	13,17	15,52
VPL	R\$	2.124.273,10	1.696.492,13	3.469.621,06
TRC Descontado	Anos	14	14	12
IBC	%	1,31	1,28	1,51

Fonte: Dados da pesquisa

Desta forma, conclui-se que o melhor arranjo é a implantação do condomínio no Lajeado Grande com foco na produção de energia veicular, visto as características da comunidade, dos demandantes de energias e dos resultados econômicos, sendo o capital deste último retornado no menor tempo se comparado aos demais cenários e, ainda, possui economia de custo anual na ordem de R\$ 1,1 milhões na compra de combustíveis de origem fóssil.

Além dos resultados apresentados, há de se considerar os benefícios ambientais gerados que não foram mensurados neste estudo, tais como: redução da poluição atmosférica (emissão de gases do efeito estufa), das águas (eutrofização) e dos solos; redução no número de moscas, doenças e odores presentes na atividade animal; o possível uso dos biofertilizantes e a valorização de resíduos (dejetos animais) para eficiência energética.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante o crescimento constante da produção animal e a necessidade de buscar soluções que permitam o tratamento dos resíduos gerados, a implantação dos sistemas de biodigestão torna-se atrativa pela possibilidade de produção do biogás e conseqüente substituição por fontes energéticas.

Viu-se que criar condições de tratamento isoladas pode não ser viável, principalmente pelas características das propriedades rurais brasileiras, em grande parte, pequenas e com sistema familiar. Dessa forma, a organização de condomínios pode viabilizar a implantação dos sistemas de tratamento dos dejetos animais, além de possibilitar ganhos econômicos pela economia de custo gerada.

Dentro deste contexto, destaca-se a iniciativa pública da Prefeitura Municipal de Toledo que promove, no município, ações de incentivo à sustentabilidade ambiental por meio do Programa de Desenvolvimento Ambiental Sustentável, que juntamente à Agência Francesa de Desenvolvimento possibilitará investimentos para implantação de um condomínio de agroenergia nesta região.

A viabilidade econômica para implantação deste condomínio mostrou que, dentre os cenários analisados, a produção e uso da energia veicular, substituindo os combustíveis fósseis, foram os que apresentaram melhores resultados. Os demais cenários (energia elétrica e térmica) também se mostraram viáveis, porém, devido aos altos custos com investimentos em equipamentos e manutenções, reduziram significadamente os resultados econômicos encontrados, além dos preços dos substitutos (energia elétrica e lenha).

Desta forma, a implantação do condomínio de agroenergia no Lajeado Grande possibilitará: a redução de combustíveis convencionais (diesel, gasolina e etanol); benefícios ambientais (redução de poluições do ar, águas e solos); redução de doenças, proporcionando à comunidade e região melhorias na qualidade de vida; e ganhos econômicos, visto os custos evitados com a compra de combustíveis; resultando, assim, em desenvolvimento e geração de renda para os produtores e sociedade toledana.

Essa pesquisa contribuiu para a academia na aquisição de conhecimento e na possibilidade de análise crítica da geração e uso de uma energia limpa e alternativa, o biogás; para o município, visto que seus resultados possibilitarão análise da melhor opção de investimento na comunidade, o que viabilizará

incremento de renda à população e, conseqüentemente, ao município; e para a academia, uma vez que aborda uma temática atual e relevante, ou seja, a inserção de novas fontes renováveis de energia.

Algumas limitações foram identificadas, tais como: quantificação do plantel animal e levantamento dos preços dos equipamentos e dos produtos. A identificação da quantidade de animais presentes no condomínio foi feita em um determinado período de tempo. Essa variável afeta diretamente os resultados desta pesquisa, uma vez que alteram os valores de produção de dejetos e de biogás, o dimensionamento dos equipamentos e a geração das energias. Da mesma forma, o levantamento dos preços também foi feito pontualmente para elaboração desta pesquisa, e, são alterados periodicamente. Assim, devem ser revistos na elaboração de novos estudos de viabilidade para efetiva implantação do Condomínio de Agroenergia Lajeado Grande.

Espera-se que novos trabalhos possam surgir a partir deste, analisando a valoração do biofertilizante (outro produto originado do processo de digestão anaeróbia); a produção de biogás pelo aproveitamento dos dejetos avícolas (uma vez que esse trabalho quantificou apenas os dejetos suínos e bovinos); a possibilidade de geração múltipla de energias; a possibilidade de inserção de novos (e/ou outros) consumidores das energias geradas pelo condomínio; as melhorias sociais alcançadas; e, não menos importante, a quantificação dos benefícios ambientais auferidos pelo tratamento dos dejetos animais do condomínio.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. W.S. **Diagnostico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. Dissertação de mestrado, PIPGE/USP, São Paulo, 2000.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Autorizativa Nº. 1.482, de 29 de julho de 2008**. Autoriza Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental apresentado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL como projeto piloto de implantação de geração distribuída em baixa tensão. Disponível em: < <http://www.aneel.gov.br/cedoc/rea20081482.pdf> >. Acesso em: 06 Abr. 2013.

ANJOS, L. H. C dos, RAIJ, B. V. Indicadores de processos de degradação de solos. In: ROMEIRO, A. R. (org.). **Avaliação e contabilização de impactos ambientais**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, p. 87-111, 2004.

ANP, Agência Nacional do Petróleo. **Portaria ANP Nº. 128, de 28 de agosto de 2001**. Aprova o Regulamento Técnico ANP nº 3/2001 que estabelece a especificação do gás natural, de origem nacional ou importado, a ser comercializado no País. Disponível em: < http://nxt.anp.gov.br/nxt/gateway.dll/leg/folder_portarias_anp/portarias_anp_tec/2001/agosto/panp%20128%20-%202001.xml >. Acesso em: 28 Mai. 2013.

_____. **Resolução ANP Nº. 16, de 17 de junho de 2008**. Estabelece o Regulamento Técnico ANP parte integrante desta Resolução, a especificação do gás natural, nacional ou importado, a ser comercializado em todo o território nacional. Disponível em: < <http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll?f=templates&fn=default.htm&vid=anp:10.1048/enu> >. Acesso em: 25 set. 2013.

AVELLAR, L.H.N. **A valorização dos subprodutos agroindustriais visando a cogeração e a redução da poluição ambiental**. Tese de doutorado, UNESP, Guaratinguetá, 2001.

BARBOSA, George; LANGER, Marcelo. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. **Unoesc e Ciência** – ACSA, v. 2, n. 1, p. 87-96, jan./jun. Joaçaba, 2011.

BARROS, A. de J. P. de; LEHFELD, N. A. de S. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. 20ª ed. Petrópolis: Vozes, 2010. 127p.

BARROS, A. de J. P. de; LEHFELD, N. A. de S.. **Fundamentos de metodologia científica: um guia para a iniciação científica**. 2ª ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BECK. A. de M.. O biogás de suínos como alternativa energética sustentável. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Foz do Iguaçu, 09 a 11 de outubro de 2007.

BLEY JUNIOR, C. **Reflexões sobre a economia do biogás**. Assessoria de Energias Renováveis: ITAIPU Binacional, 2010.

BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. **Agroenergia da biomassa residual**: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais. 2ª ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação: TechnoPolitik Editora, 2009.

BRASIL, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2012**: Ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Resolução Nº. 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em: 22 Mai. 2013.

BRASIL, Presidência da República. **Lei Nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de conduta e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm>. Acesso em: 02 Abr. 2013.
CASAROTTO FILHO, N.. **Projeto de negócio**: estratégias e estudos de viabilidade – redes de empresas, engenharia simultânea, plano de negocio. São Paulo: Atlas, 2002.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITCKE, B. H.. **Análise de Investimentos**: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão e estratégia empresarial. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 1996.

CASTAÑÓN, N. J. B., **Biogás originado a partir dos rejeitos rurais**. São Paulo, 2002. 66p.

CATAPAN, D. C.; CATAPAN, A.; CATAPAN, E. A.. **Energia limpa**: as novas tendências para o tratamento de dejetos da suinocultura. In: PorkExpo 2010 e V Fórum Internacional de Suinocultura. Curitiba, 14 a 16 de setembro de 2010.

CERVI, Ricardo G.; ESPERANCINI, Maura S. T.; BUENO, Osmar de C. Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica. **Revista de Engenharia Agrícola**, v.30, n.5, p.831-844, set./out. Jaboticabal, 2010.

CIBIOGÁS, Centro Internacional de Energia Renovável – Biogás. **Acervo local**. Foz do Iguaçu, 2013.

CMMAD, Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Relatório Brundtland. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1988.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. 75f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.

COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; FERRI, Priscila; KOLLING, Evandro Marcos. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Informe Gepec** – Vol. 12, nº2, jul./dez. Toledo, 2008.

CÔNSOLI, M. A.; LOPES, F. F.; NEVES, M. F. Análise financeira de projetos em sistemas de alimentos e bioenergia. In: NEVES, M. F. (coord.). **Agronegócios e desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Atlas, p.117-127, 2007.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C.. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. In: **Boletim Informativo de Pesquisa e Extensão – BIPERS**, Ano 10, nº.14, 2002.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais (2010)**. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/geesp/file/docs/publicacao/nacional/2_comunicacao_nacional/rr/agricultura/brasil_mcti_fermentacao_enterica.pdf>. Acesso em: 02 Abr. 2013.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Influência do Manejo da Produção Animal sobre a Emissão de Metano em Bovinos de Corte (2004)**. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/proclima/file/publicacoes/agropecuaria/portugues/12921.pdf>>. Acesso em: 02 Abr. 2013.

FAO, Food and Agriculture Organization. **Manual de Biogás**. Santiago de Chile: FAO, 2011.

FREITAS, Gabriela Souza de; BORSATO, Jaluza Maria Lima Silva. Um estudo sobre a utilização de biogás como fonte renovável de energia em uma fazenda de criação de suínos em Minas Gerais. In: XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária. **Trabalhos publicados**. Uberlândia, 15 a 19 de outubro de 2012.

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**. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIL, A. C.. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008, 200 p.

GIROTTI, A. F.; CHIOCHETTA, O.. Aspectos econômicos do transporte e utilização dos dejetos. In: OLIVEIRA, P. A. V. de. (coord.). **Tecnologias para o manejo de**

resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004.

GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira:** Essencial. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 617p.

GRESSLER, L. A.. **Introdução à pesquisa:** projetos e relatórios. 2ª ed. São Paulo: Loyola, 2004, 295p.

ICLEI. Governos Locais pela Sustentabilidade. Secretariado para América Latina e Caribe. **Manual para aproveitamento do biogás:** volume um, aterros sanitários. 2009. 80 p. Escritório de projetos no Brasil, São Paulo.

IEA, International Energy Agency. **Statistics.** Disponível em: <http://www.iea.org/stats/regionresults.asp?COUNTRY_CODE=29&Submit=Submit>. Acesso em: 21 Mai 2013.

IPARDES, Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. **Municípios e Regiões.** Disponível em: < <http://www.ipardes.gov.br/>>. Acesso em: 16 Abr. 2013.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for national greenhouse gas inventories.** v. 4. Afolu: Agriculture Forestry and ther land use, 2006.

KUNZ, A. OLIVEIRA, P. A. V. de. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás.** In: Revista de Política Agrícola. Ano XV. nº.3. p. 28-35, 2006.

KUNZ, A. OLIVEIRA, P. A. V.. **O uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais.** Embrapa, 2008. (folheto)

LIRA, João Carlos Umbelino. **Análise econômica e balanço energético do biogás em granjas de suínos.** 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Plano Nacional da Agroenergia 2006-2011.** 2.ed.rev. – Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológica, 2006. 110 p.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa ABC.** Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc/>>. Acesso em: 02 Abr. 2013.

MARTINS, Franco M.; OLIVEIRA, Paulo A. V. de. Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. **Revista de Engenharia Agrícola,** v.31, n.3, p.477-486, maio/jun. Jaboticabal, 2011.

MATTOS, Luis Cláudio; KREHBIEL, Joel. Impacto de um biodigestor domiciliar na economia de emissões de gases de efeito estufa em uma propriedade da agricultura

familiar do Cariri Paraibano. A Conferência da Terra: Aquecimento global, sociedade e biodiversidade. **Trabalhos publicados**. 2010.

MDA, Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Programas**: Crédito Rural. Disponível em: <<http://portal.mda.gov.br/portal/saf/programas/pronaf/2258856>>. Acesso em: 22 Mai. 2013.

MME, Ministério de Minas e Energia. **PROINFA**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>. Acesso em: 22 Mai. 2013.

NAVARRO, Guilherme; MAIA, Rafael. **Nada se perde**: Dejetos de suínos são a base de projeto que une educação e bioenergia. Revista Sistema Eletrobrás, ano 6 – nº 15. Fev-Abril, 2010.

NEVES, M. F.; CONEJERO, M. A. Cenário sociocultural e a produção de alimentos, fibras e bioenergia. In: NEVES, M. F. (coord.). **Agronegócios e desenvolvimento Sustentável**. 1ª ed, São Paulo: Atlas, p.20-24, 2007.

NOGUEIRA, E. Análise de investimentos. In: BATALHA, M. O. (coord.). **Gestão Agroindustrial**: GEPAI, Grupo de estudos e pesquisas agroindustriais. São Paulo: Atlas, p. 223-288, 1997.

OLIVEIRA, L. A.; MARQUES, F. S.; HOEPERS, A.. **Dimensionamento do Potencial de geração distribuída pela biomassa animal residual na bacia do Paraná 3**. ADEOP – Agência de Desenvolvimento Regional do Extremo Oeste do Paraná, Foz do Iguaçu, 2010.

OLIVEIRA, P. A. V. de, (coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: Embrapa CNPSA, 1993. 188p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. (coord.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Produção e aproveitamento do biogás (2004a). In: OLIVEIRA, P. A. V. de. (coord.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p.

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

OLIVEIRA, S. L.. **Tratado de metodologia científica**: projetos de pesquisa, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 1997, 320 p.

PARCHEN, C. A. P. **Algumas informações sobre manejo de esterco de bovinos e suínos**. [S.l.]: Emater, 1981. 14 p.

PASQUAL, N.; PASQUAL, J. C. A viabilidade técnica e econômica do uso de biodigestores para geração de energia elétrica a partir de dejetos de suínos – granja

São Roque. In: **VI SINSUI – Simpósio Internacional de Suinocultura**. Porto Alegre, 10 a 13 de maio de 2011.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE TOLEDO. **AFD**: Agência Francesa de Desenvolvimento. Disponível em: < <http://www.toledo.pr.gov.br/portal/afd/afd> >. Acesso em: 20 Mai. 2013.

RATHUNDE, Paulo Henrique. **Viabilidade econômica da geração distribuída do biogás de dejetos animais no município de Cruz Machado**. 149f. Dissertação (Mestrado em Organizações e Desenvolvimento) – Pós-Graduação multidisciplinar em organizações e desenvolvimento, Centro Universitário Franciscano (FAE), Curitiba, 2010.

REZENDE, A.P.; PRADO, N.J.S.; SANTOS, E.P. A energia renovável e o meio ambiente. In: Simpósio Energia, Automação e Implementação. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. **Trabalhos publicados**. Poços de Caldas: [s.n.], p.1-17, 1998.

SALOMOM, R. K.; TIAGO FILHO, G. L.. **Biomassa**. Itajubá, MG: FAPEPE, 2007. 36p. (Série Energias Renováveis)

SCHUCH, Sérgio Luís. **Condomínio de agroenergia**: Potencial de disseminação na atividade agropecuária. 51f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

SEAB/PR, Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná. **Números da Pecuária Paranaense**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/nppr.pdf>> Acesso em: 16 Mai. 2013.

SEAB/PR, Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Paraná. **Preços Florestais**. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=129> > Acesso em: 22 Jan. 2014.

SEVERO, L. S. **Evolução da sustentabilidade no processo produtivo de suínos da Cooperativa de Suinocultores de Encantado Ltda.** – COSUEL 175f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SHIKIDA, Pery Francisco Assis; JUNGES, Dóris Mariani; KLEINSCHMITT, Sandra Cristiana, RAIMUNDO DA SILVA, Josemar. Análise econômico-financeira da implantação do sistema de biodigestores no município de Toledo – Paraná. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural. **Trabalhos publicados**. Rio Branco, Acre, 20 a 23 de julho de 2008.

SIDRA/IBGE, Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 02 Abr. 2013.

SIDRA/IBGE, Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Pesquisa Pecuária Municipal**. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?z=t&o=24&i=P>>. Acesso em: 02 Abr. 2013.

SILVA, C. L. da; RABELO, J. M. de O.; RAMAZZOTTE, V. das C. B.; ROSSI, L. F. dos S.; BOLLAMANN, H. A.. A cadeia de biogás e a sustentabilidade local: uma análise socioeconômica ambiental da energia de resíduos sólidos urbanos do aterro da Caximba em Curitiba. In: **Revista Innovar: Gestión de Operaciones y Tecnología**, v. 19, nº. 34, 2009.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A.. **Decisões Financeiras e Análise de Investimentos: fundamentos, técnicas e aplicações**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 1997. 142p.

SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; PEREIRA, William Caldart; NOGUEIRA, Carlos Eduardo Camargo; PAVAN, André A.; SORDI, Alexandre. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. In: **Acta Scientiarum. Technology**, v. 26, nº. 2, p. 127-133, Maringá, 2004.

ZAHN, J. A.; HATTFIELD, J. L.; LAIRD, D. A.; HART, T. T.; DO, Y. S.; DISPIRITO, A. A. Functional Classification of swine manure management systems based on effluent and gas emission characteristics. **Journal of Environment Quality**, v. 30, p.635-647, 2001.

ZANETTE, André Luiz. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 105f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Corpo Docente do Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

APÊNDICE A



Formulário para levantamento de informações técnicas visando a elaboração de projeto de produção de Energia Renovável (Biogás) na região do Lajeado Grande.

Data: ____ / ____ / 2013.

1 - Identificação

Proprietária/o: _____ Reside no imóvel: () Sim () Não
 N°. de Telefone para contato: _____ N° do CPF: _____ - _____
 N°. da Matrícula do Imóvel: _____ Microbacia rio/riacho: _____
 N° de funcionários fixos: _____; temporários _____ N° de pessoas da família: _____
 Endereço da residência: _____
 Possui SISLEG: () Sim () Não / Coordenadas geográficas: _____ Sul; _____ Oeste

Área Total (ha)	Lavoura (ha)	Pastagem (ha)	Reserva / Mata	Outras áreas (ha)

Categoria	N° de animais	Período de produção (Dias)	Peso médio (kg)	N° dias vazio sanitário-média	Observações
Terminação (UCT)					
Matrizes (UPL)					
Leitões (até 25 dias)					
Leitões Crechário					
Reprodutor					
Leitoas					
Vacas leiteiras					
Novilhas/os					
Terneiras/os					
Aves					
Outros/as					

2 - Atividades agropecuárias

2.1 - Suinocultura: () Possui () Não Possui

() UPL – Unidade de Produção de Leitões; () UCT – Unidade de Crescimento e Terminação; () Crechário

- Empresa integradora: _____

- Possui canaletas para condução de dejetos? () sim () não

- As caixas de passagem de dejetos permanecem abertas? () sim () não

- Os beirais permitem a entrada de água da chuva sobre: Canaletas () sim () não / Baias () sim () não
- Existe parte das instalações sem: Beirais () sim () não / Calha () sim () não
- As águas das enxurradas atingem: Canaletas () sim () não;
Interior das instalações () sim () não
- Método de limpeza : () Raspagem e/ou varredura do piso
() Raspagem e lavagem com mangueira de baixa pressão
() Lavagem com mangueira de baixa pressão
- Periodicidade de limpeza: _____ Volume de água utilizado na limpeza/lavagem: _____

Observar se as canaletas de captação e condução de dejetos estão adequadas: () sim () não

- São efetuadas manutenções preventivas nos equipamentos hidráulicos (encanamentos, braçadeira, bebedouros, etc.)? () Sim () não.
- Tratamento de dejetos existente: () Biodigestor: () Ativo () Inativo () Esterqueira
- Quanto ao biodigestor está: () Satisfeito () Insatisfeito; Por quê?: _____
- Qual o uso atual do biogás: _____
- Pretende ampliar a produção de suínos, no futuro: () Não; () Sim, Quando?____; Quanto?____
- Se não tem biodigestor pretende construir: () Sim () Não Porquê: _____
- Do que depende sua decisão para construção do biodigestor e da lagoa de oxigenação:

- Pretende financiar a construção/reforma e aquisição de equipamentos: () Sim () Não
- Qual a linha de crédito: () PRONAF () PRONAMP () Programa ABC () Recursos Próprios
- Qual o uso pretendido para o seu biogás:
(1) consumo próprio.
(2) venda de excedente de biogás para atividades na comunidade.
(3) venda de biogás para compradores diversos do município de Toledo
(4) venda para empresa de biometano
(5) não sabe
- O Depósito do efluente do biodigestor (lagoa de oxigenação) construído em:
() Alvenaria () Escavado e sem revestimento () Escavado com paredes revestidas com manta
- Estado de conservação: () Bom () Necessita de reformas/repares
- Utiliza todo o dejetos/efluente na propriedade: () Sim, total () Sim, parcial () Não
- Qual o destino atual ou futuro do dejetos/efluente: _____

2.2. Avicultura: () Possui () Não Possui

- Nº de aviários: _____ Nº. de cabeças alojadas: _____
- Empresa integradora: _____
- Utiliza gás para aquecimento: () Não; () Sim; Quantos botijões/kg de gás GLP / ano: _____
- Em média, quantos dias por ano utilizam o gás GLP para aquecimento: _____

- Utiliza lenha para aquecimento do aviário: () Não () Sim Quantos m3 por ano: _____
- Tem interesse em substituir o gás e a lenha por biogás limpo: () Sim () Não; Por quê? _____
- Tem interesse em comprar biogás: _____ Qual o volume de compra: _____
- Qual o destino da cama de frango: () Uso próprio () Venda para terceiros () Ambas situações

2.3. Bovinocultura de Leite: () Possui () Não possui

Nº de vacas leiteiras:

Nº. de novilhas:

Nº. de bezerras:

Nº. de terneiros:

Nº. de animais confinados:

Tem esterqueira para os dejetos bovinos: () Sim () Não

Tem biodigestor: () Sim; () Não; Pretende construir: () Sim () Não

Se positivo pretende financiar a construção, reforma de estábulo e aquisição de equipamentos:

Qual a linha de crédito: () PRONAF () PRONAMP () Programa ABC () Recursos Próprios

3. Propriedade apenas com exploração agrícola:

- Pretende iniciar alguma atividade pecuária: () Sim () Não
- Se positivo qual atividade: _____ Nº. de cabeças: _____
- Previsão de início da atividade: () até 2 anos () até 5 anos () até 10 anos

4. Uso atual de Energia na Propriedade:

- **Botijões (13 ou 45 kg-destacar!) de gás** consumidos por mês, em média: _____;
- **Metros cúbicos (m3) de lenha**, consumidos por mês, em média: _____;
- **Kw/h energia elétrica** consumidas por mês, em média: _____;
- **Litros de óleo diesel** consumidos mensalmente, em média: _____;
- **Litros de gasolina** consumidos mensalmente, em média: _____;
- Quais os principais usos de energia na propriedade possíveis para substituir por biogás:

- Tem ideia sobre o que fazer com o biogás que sobrar na propriedade: _____

QUADRO COM ESPECIFICAÇÕES DE EQUIPAMENTOS = CONSUMO ENERGIA ELÉTRICA

Item	Equipamento	Quantidade	Uso (h/dia)	Potência (kW)	Potência total (kW)	Intervalo de uso - horários	Obs.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

5. Questões finais:

- Em algum momento, em tempos recentes, ouviu comentários de que produtoras/es que não possuem biodigestores terão que desistir de suas atividades pecuárias? () Nunca; () Sim;
- Caso positivo, seria possível informar qual(is) as fontes dessa notícia/informação?

Muito Obrigado!

APÊNDICE B

Tabela 27 - Plantel de animais no Condomínio de Agroenergia Lajeado Grande, por propriedade

Nº de Propriedade Participante	Nº de Identificação	Quantidade de Animais (cabeças)				
		Suínos			Bovinos	
		Term.	Matriz	Creche	Leite	Bez./Nov.
1	1	-	1.100	-	-	-
2	6	900	-	-	11	-
3	7	-	400	-	-	-
4	8	-	-	1.800	-	-
5	9	1.700	-	-	-	-
6	11	-	-	-	20	-
7	12	-	-	-	12	-
8	16	400	-	-	-	-
9	17	1.300	-	-	-	-
10	19	-	-	-	26	-
11	23	650	-	-	10	-
12	25	420	-	-	36	-
13	26	-	-	-	10	-
14	28	400	-	-	25	-
15	29	900	-	-	-	-
16	31	210	-	-	20	-
17	32	1.100	-	-	-	-
18	33	800	-	-	-	-
19	36	1.300	-	-	-	-
20	37	900	-	-	15	-
21	39	-	-	-	50	-
22	40	-	-	-	25	-
23	41	-	-	5.000	-	-
24	42	650	-	-	50	-
25	43	-	-	-	70	-
26	44	1.200	-	-	-	-
27	45	1.400	-	-	-	-
28	47	700	-	-	-	-
29	48	850	-	-	-	-
30	49	-	-	-	50	-
31	50	-	-	4.000	-	-
32	51	1.480	-	-	-	-
33	52	650	-	-	10	12
34	53	640	-	-	-	-
35	54	700	-	-	20	-
36	55	-	-	2.000	7	5
37	56	1.400	-	-	-	-
38	57	-	-	4.000	-	-
39	58	5.200	-	-	40	110
TOTAL		25.850	1.500	16.800	507	127

Fonte: Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER, 2013)

Tabela 28 - Potencial de produção diária e anual de dejetos, por propriedade

Número de identificação	Volume diário de dejetos (m³/dia)	Volume anual de dejetos (m³/ano)
1	29,70	10.840,50
6	6,42	2.114,69
7	10,80	3.942,00
8	2,52	919,80
9	11,90	3.927,00
11	0,21	64,97
12	0,13	39,04
16	2,80	924,00
17	9,10	3.003,00
19	0,28	84,49
23	4,66	1.534,14
25	3,32	1.087,32
26	0,11	32,64
28	3,07	1.005,44
29	6,30	2.541,00
31	1,68	550,07
32	7,70	2.541,00
33	5,60	1.848,00
36	9,10	3.003,00
37	6,46	2.127,80
39	0,53	162,57
40	0,27	81,44
41	7,00	2.555,00
42	5,08	1.664,07
43	0,75	227,84
44	8,40	2.772,00
45	9,80	3.234,00
47	4,90	1.617,00
48	5,95	1.964,50
49	0,53	162,57
50	5,6	2.044,00
51	10,36	3.418,80
52	4,73	1.561,88
53	4,48	1.478,40
54	5,11	1.681,97
55	2,91	1.056,56
56	9,80	3.234,00
57	5,60	2.044,00
58	37,52	12.396,64
TOTAL	251,18	85.024,07

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 29- Potencial de produção diária e anual de biogás, por propriedade

Número de identificação	Volume diário de biogás (m ³ /dia)	Volume anual de biogás (m ³ /ano)
1	177,19	64.674,35
6	135,41	44.648,14
7	64,43	23.517,95
8	55,50	20.256,01
9	253,03	83.499,02

Número de identificação	Volume diário de biogás (m ³ /dia)	Volume anual de biogás (m ³ /ano)
11	2,64	805,05
12	1,58	483,03
16	59,54	19.646,83
17	193,49	63.852,19
19	3,43	1.046,57
23	98,07	32.328,62
25	67,26	22.078,27
26	1,32	402,53
28	62,84	20.653,14
29	133,96	44.205,36
31	33,90	11.119,64
32	163,72	54.028,77
33	119,07	39.293,65
36	193,49	63.852,19
37	135,94	44.809,15
39	6,60	2.012,63
40	3,30	1.006,32
41	154,16	56.266,68
42	103,34	33.938,73
43	9,24	2.817,69
44	178,61	58.940,48
45	208,38	68.763,90
47	104,19	34.381,95
48	126,51	41.749,51
49	6,60	2.012,63
50	123,32	45.013,35
51	220,28	72.693,26
52	98,65	32.543,65
53	95,26	31.434,92
54	106,83	35.187,00
55	62,83	22.878,04
56	208,38	68.763,90
57	123,32	45.013,35
58	784,65	258.989,95
TOTAL	4.680,23	1.569.608,39

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 30 - Investimentos estimados para implantação dos sistemas de biodigestão, lagoa secundária e biogasoduto primário*, por propriedade

Número de Identificação	Valor total do sistema de biodigestão (R\$)	Valor total da lagoa secundária (R\$)	Valor total do biogasoduto primário (R\$)	Valor total do investimento por propriedade (R\$)
1	70.950,00	21.517,65	R\$ 833,91	93.301,56
6	40.950,00	5.346,48	R\$ 853,43	47.149,91
7	43.950,00	7.824,60	R\$ 540,82	52.315,42
8	30.950,00	1.825,74	R\$ 256,29	33.032,03
9	45.950,00	8.621,55	R\$ 2.447,31	57.018,86
11	30.350,00	192,90	R\$ 883,26	31.426,16
12	26.000,00	115,92	R\$ 587,87	26.703,79
16	30.950,00	2.028,60	R\$ 862,16	33.840,76
17	40.950,00	6.592,95	R\$ 2.168,62	49.711,57
19	37.350,00	250,86	R\$ 796,38	38.397,24

Número de Identificação	Valor total do sistema de biodigestão (R\$)	Valor total da lagoa secundária (R\$)	Valor total do biogasoduto primário (R\$)	Valor total do investimento por propriedade (R\$)
23	35.950,00	3.880,10	R\$ 1.143,48	40.973,58
25	33.950,00	2.769,47	R\$ 616,83	37.336,30
26	26.000,00	96,90	R\$ 217,19	26.314,09
28	33.950,00	2.555,35	R\$ 1.665,16	38.170,51
29	35.950,00	4.564,35	R\$ 1.059,81	41.574,16
31	30.950,00	1.402,23	R\$ 941,18	33.293,41
32	40.950,00	5.578,65	R\$ 337,15	46.865,80
33	35.950,00	4.057,20	R\$ 691,18	40.698,38
36	40.950,00	6.592,95	R\$ 341,19	47.884,14
37	40.950,00	5.382,31	R\$ 827,40	47.159,71
39	39.850,00	482,70	R\$ 832,58	41.165,28
40	37.350,00	241,80	R\$ 1.962,82	39.554,62
41	35.950,00	5.071,50	R\$ 5.661,88	46.683,38
42	35.950,00	4.235,03	R\$ 1.196,47	41.381,50
43	39.850,00	676,50	R\$ 612,49	41.138,99
44	40.950,00	6.085,80	R\$ 2.372,77	49.408,57
45	40.950,00	7.100,10	R\$ 10.200,64	58.250,74
47	33.950,00	3.550,05	R\$ 1.097,00	38.597,05
48	35.950,00	4.310,78	R\$ 1.673,39	41.934,17
49	39.850,00	482,70	R\$ 1.143,89	41.476,59
50	35.950,00	4.057,20	R\$ 4.844,93	44.852,13
51	40.950,00	7.505,82	R\$ 1.540,44	49.996,26
52	35.950,00	3.943,42	R\$ 2.045,25	41.938,67
53	33.950,00	3.245,76	R\$ 774,66	37.970,42
54	35.950,00	4.260,02	R\$ 334,48	40.544,50
55	30.950,00	2.422,04	R\$ 1.042,54	34.414,58
56	40.950,00	7.100,10	R\$ 1.627,40	49.677,50
57	40.950,00	4.057,20	R\$ 2.333,45	47.340,65
58	85.950,00	31.264,06	R\$ 3.844,93	121.058,99
	1.516.050,00	191.289,34	R\$ 63.212,61	1.770.551,95

Fonte: dados da pesquisa.

*Biogasoduto implantado dentro da propriedade rural. O custo do biogasoduto principal é R\$ 1.629.765,80

APÊNDICE C

Tabela 31 - Fluxo de Caixa para o Cenário 1 - Energia Elétrica

Fluxo de Caixa Cenário 1	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6		Ano 20
Investimento	6.942.257,09								
(+) Receitas		1.033.176,76	1.095.167,36	1.160.877,40	1.230.530,05	1.304.361,85	1.382.623,56		3.125.979,08
(-) Custos		818.373,25	836.325,73	855.355,35	875.526,75	896.908,43	688.607,43		666.088,76
(=) Lucro Bruto		214.803,50	258.841,63	305.522,05	355.003,30	407.453,41	694.016,13		2.459.890,31
(+) Depreciação		519.165,35	519.165,35	519.165,35	519.165,35	519.165,35	479.165,35		192.560,35
(-) Reinvestimento		0,00	0,00	0,00	0,00	40.942,96	0,00		40.942,96
(=) Fluxo de Caixa	-6.942.257,09	733.968,86	778.006,99	824.687,41	874.168,65	885.675,81	1.173.181,49		2.611.507,71
FC Acumulado	-6.942.257,09	-6.208.288,23	-5.430.281,25	-4.605.593,84	-3.731.425,19	-2.845.749,38	-1.672.567,89		23.098.158,75

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 32 - Fluxo de Caixa para o Cenário 2 - Energia Térmica

Fluxo de Caixa Cenário 2	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6		Ano 20
Investimento	-								
(+) Receitas		893.556,41	947.169,80	1.003.999,99	1.064.239,99	1.128.094,39	1.195.780,05		2.703.543,84
(-) Custos		691.865,95	709.787,99	728.785,35	748.922,55	770.267,98	752.894,14		1.100.308,74
(=) Lucro Bruto		201.690,46	237.381,81	275.214,64	315.317,44	357.826,41	442.885,91		1.603.235,10
(+) Depreciação		393.165,35	393.165,35	393.165,35	393.165,35	393.165,35	353.165,35		196.560,35
(-) Reinvestimento		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
(=) Fluxo de Caixa	5.697.257,09	594.855,81	630.547,16	668.379,99	708.482,79	750.991,76	796.051,27		1.799.795,45
FC Acumulado	-5.697.257,09	-5.102.401,28	-4.471.854,11	-3.803.474,12	-3.094.991,33	-2.343.999,57	-1.547.948,30		14.944.665,71

Fonte: dados da pesquisa.

Tabela 33 - Fluxo de Caixa para o Cenário 3 - Energia Veicular

Fluxo de Caixa Cenário 3	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6		Ano 20
Investimento	-								
(+) Receitas		1.118.149,78	1.185.238,76	1.256.353,09	1.331.734,27	1.411.638,33	1.496.336,63		3.383.073,40
(-) Custos		693.115,95	711.037,99	730.035,35	750.172,55	771.517,98	754.144,14		1.106.558,74
(=) Lucro Bruto		425.033,82	474.200,77	526.317,74	581.561,72	640.120,35	742.192,49		2.276.514,66
(+) Depreciação		394.415,35	394.415,35	394.415,35	394.415,35	394.415,35	354.415,35		202.810,35
(-) Reinvestimento		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
(=) Fluxo de Caixa	6.772.257,09	819.449,18	868.616,13	920.733,09	975.977,08	1.034.535,70	1.096.607,85		2.479.325,02
FC Acumulado	-6.772.257,09	-5.952.807,91	-5.084.191,79	-4.163.458,70	-3.187.481,62	-2.152.945,91	-1.056.338,07		22.131.465,27

Fonte: dados da pesquisa.