



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA
ELÉTRICA UTILIZANDO BIOGÁS OBTIDO DE RESÍDUOS ÚMIDOS DE
FRIGORÍFICO DE BOVINOS**

Mestranda: Mírian das Mercês Pereira da Silva
Orientador: Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

PALMAS – TO
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA
ELÉTRICA UTILIZANDO BIOGÁS OBTIDO DE RESÍDUOS ÚMIDOS DE
FRIGORÍFICO DE BOVINOS**

Mestranda: Mírian das Mercês Pereira da Silva

Orientador: Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Agroenergia.

PALMAS – TO

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Mírian das Mercês Pereira.

Viabilidade técnica e econômica de um sistema de energia elétrica utilizando biogás obtido de resíduos úmidos de frigorífico de bovinos. Mírian das Mercês Pereira da Silva. /Palmas, 2017.

Dissertação (mestrado acadêmico) – Fundação Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós Graduação em Agroenergia, 2017.

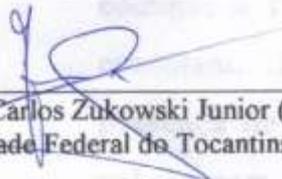
Orientador: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

1. Biomassa 2. Bioenergia. 3. Previsão. 4. Modelagem. Viabilidade técnica e econômica de um sistema de energia elétrica utilizando biogás obtido de resíduos úmidos de frigorífico de bovinos/ Mírian das Mercês Pereira da Silva/ Palmas, 2017.

**VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM SISTEMA DE ENERGIA
ELÉTRICA UTILIZANDO BIOGÁS OBTIDO DE RESÍDUOS ÚMIDOS DE
FRIGORÍFICO DE BOVINOS**

COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente:



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Orientador)
Universidade Federal do Tocantins (UFT)

Examinadores:



Prof. Dr. Flávia Lucila Tonani de Siqueira
Universidade Federal do Tocantins (UFT)



Prof. Dr. Fernando José Gondim Peixoto
Faculdade Católica do Tocantins

Palmas, 09 / 11 / 2017.

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da
Dissertação foram contempladas



Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior

“O Senhor é o meu pastor, nada me faltará. Ele me faz repousar em pastos verdejantes. Leva-me para junto das águas de descanso; refrigera-me a alma. Guia-me pelas veredas da justiça por amor de seu nome. Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte não temerei mal nenhum, porque tu estás comigo; o teu bordão e o teu cajado me consolam. Preparas-me uma mesa na presença de meus adversários, unges-me a cabeça com óleo; o meu cálice transborda. Bondade e misericórdia certamente me seguirão todos os dias da minha vida; e habitarei na Casa do Senhor para todo o sempre”.

Salmo 23

Descansa de tua dor por um instante.

Permite que o sofrer encontre pausa,

Ainda que por breves motivos de esperança.

Padre Fábio de Melo

AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus que é o meu refúgio, minha fortaleza, minha morada, razão de minha existência.

À minha Nossa Senhora, pelas intercessões e infinita proteção.

Aos meus pais, Ademar e Ivone, pelo amor incondicional. Meu melhor exemplo de vida a dois.

Aos meus irmãos: Anna Nunes, Ademar Júnior e Jayme Netto. Meus companheiros de todos os momentos. “O melhor lugar do mundo é aquele em que estamos todos juntos”.

Ao meu sobrinho e afilhado Miguel. Minha inspiração. Responsável pelos meus melhores sorrisos.

Aos meus grandes amigos. Em especial: Bruna Marcolini, Cláuber Rosanova, Felipe Bittencourt, Paulo Ricardo e Vailton Alves, por todo auxílio e disponibilidade na construção deste trabalho.

Ao professor e orientador Joel Carlos Zukowski Junior pela orientação e ensinamentos.

Aos meus alunos, pelo respeito e amizade.

À Faculdade Católica do Tocantins, representada pela coordenadora do curso de Zootecnia, Kedma Nayra Marinho, por todo apoio e compreensão.

À Universidade Federal do Tocantins, representada pela coordenadora do Programa de Pós Graduação em Agroenergia, Flávia Tonani.

À equipe do Frigorífico Jatobá, representada pelos senhores Émerson Rodrigues de França e William Pinheiro Lima, pela receptividade e disponibilidade dos dados.

**Dedico este trabalho ao meu pai, Ademar, meu mártir, meu herói:
Pai, o senhor foi o melhor presente que Deus me entregou. Obrigada
pelo amor, carinho, cuidado e presença eterna em minha vida. Sonhei
muito em
entregar este trabalho em suas mãos...não foi possível...Mas Deus tudo
sabe...aceitemos os seus desígnios. Em recompensa a tudo que fizestes
por mim, lhe honrarei para sempre. Te amo, meu pai! aguardo o dia
de nosso reencontro na Glória de Deus...**

**A minha mãe, Maria Ivone, minha heroína...mulher de muita fé e
muita garra.**

**“Aquela Maria que sorri quando se deve chorar...”. Obrigada mãe, por
não me deixar desistir quando a vida nos apresenta motivos para
perder a esperança. Te amo infinitamente...**

RESUMO

A população mundial, desde a década de 1960, aumentou expressivamente. Atualmente, o planeta apresenta 7,2 bilhões de habitantes. Com esse aumento populacional, aumentou-se também a geração de energia elétrica, produção de alimentos, geração de resíduos sólidos e conseqüentemente a queima de combustíveis fósseis que são responsáveis pela emissão dos chamados gases do efeito estufa (GEE) e estão diretamente relacionadas à intensificação do efeito estufa e à ocorrência de mudanças climáticas. A geração e utilização de biogás consolida-se como importante alternativa para o processo de sustentabilidade ambiental. A expressiva produção agropecuária indica um potencial significativo de produção de biogás a partir de resíduos dos animais abatidos, com o aproveitamento do biogás, em substituição aos combustíveis fósseis. Neste contexto a presente pesquisa teve como objetivo estimar a produção de energia oriunda da biomassa, avaliando a viabilidade técnica e econômica do sistema. Para viabilidade técnica foi apresentada uma série temporal através do modelo Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) para previsão mensal de animais abatidos, produção de biomassa e de energia elétrica. A viabilidade econômica foi avaliada por meio de indicadores de análise de investimentos: Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Recuperação do Capital (*Payback*). O método auto-regressivo linear ARIMA gerou dados dentro do intervalo de confiança de 95%. O modelo foi significativo, com $p < 0,05$, entre a observação e a projeção da série a qual se mostrou praticamente constante para o horizonte previsto de seis meses. Os valores resultantes da análise da viabilidade econômica foram favoráveis, apresentando *payback* descontado de 8,11 anos, TMA de 5% e TIR de 9,78%. O estudo demonstrou que existe viabilidade técnica e econômica na implantação de um sistema de biodigestão utilizando resíduos úmidos de frigorífico de bovinos, possibilitando dessa forma, aperfeiçoar o uso dessa importante fonte de energia renovável.

Palavras-chave: Biomassa. Bioenergia. Previsão. Modelagem.

ABSTRACT

The world population, since the 1960, has increased significantly. Currently, the planet has 7.2 billion inhabitants. With this increase in population, electric power generation, food production, solid waste generation and, consequently, the burning of fossil fuels that are responsible for the emission of so-called greenhouse gases (GEE) and are directly related to the intensification of the greenhouse effect and the occurrence of climate change. The generation and use of biogas is consolidated as an important alternative for the process of environmental sustainability. The significant agricultural and livestock production indicates a significant potential of biogas production from waste from the slaughtered animals, using biogas, instead of fossil fuels. In this context, the present study aimed to estimate the biomass energy production, evaluating the technical and economic feasibility of the system. For technical feasibility, a time series was presented using the Integrated Automatic Regressive of Moving Average (ARIMA) model for monthly forecast of slaughtered animals, production of biomass and electric energy. Economic viability was evaluated through investment analysis indicators: Net Present Value (VPL); Internal Rate of Return (TIR) and Payback Period. The ARIMA linear autoregressive method generated data within the 95% confidence interval. The model was significant, between observation and projection of the series, which was practically constant for the forecast horizon of six months. The values resulting from the analysis of the economic viability were favorable, presenting discounted payback of 8.11 years, TMA of 5% and TIR of 9.78%. The study demonstrated that there is a technical and economical feasibility in the implementation of a biodigestion system using humid residues from cattle refrigerators, making possible to improve the use of this important source of renewable energy.

Keywords: Biomass. Bioenergy. Prediction. Modeling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Matriz energética brasileira.....	17
Figura 2. Composição da geração por biomassa	18
Figura 3. Representação esquemática das etapas da digestão anaeróbica.....	21
Figura 4. Fluxograma do abate de bovinos	23
Figura 5. Modelo de biodigestor indiano	27
Figura 6. Modelo de biodigestor chinês	28
Figura 7. Modelo de biodigestor canadense	29
Figura 8. Vista aérea das instalações do frigorífico.....	40
Figura 09. Lagoa de decantação.....	41
Figura 10. Projeção do número de animais abatidos	46
Figura 11. Projeção da quantidade de biomassa gerada	47
Figura 12. Projeção da produção de energia	48
Figura 13. Projeção do consumo de energia.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Biogás produzido por diversos resíduos.....	19
Tabela 2. Composição do biogás.....	20
Tabela 3. Composição dos co produtos do abate de bovinos	25
Tabela 4. Média de animais abatidos e estimativa da quantidade de biomassa, biogás e energia elétrica produzidos	50
Tabela 5. Estimativa de consumo e custos de energia consumida da concessionária ao mês.....	51
Tabela 6. Abatimento no consumo de energia utilizando o sistema de biodigestão	52
Tabela 7. Custos de energia com o abatimento	53
Tabela 8. Avaliação dos custos nos dois cenários	53
Tabela 9. Planilha orçamentária	54
Tabela 10. Despesas ao ano para funcionamento e manutenção do sistema	55
Tabela 11. Fluxo de caixa acumulado	56

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA	17
3.2 BIOMASSA	18
3.3 BIOGÁS	20
3.4 FLUXOGRAMA DO ABATE DE BOVINOS	22
3.4.1 Linhas de efluentes	24
3.4.2 Resíduos úmidos do frigorífico de bovinos	25
3.5 TIPOS DE BIODIGESTORES	26
3.5.1 Classificação dos biodigestores	29
3.6 MOTORES QUE UTILIZAM BIOGÁS	30
3.6.1 Motores térmicos à combustão.....	30
3.7 MODELAGEM MATEMÁTICA.....	31
3.7.1 Séries temporais.....	31
3.7.2 Modelos de Previsão.....	31
3.7.2.1 Modelos Auto-regressivos Lineares Estacionários.....	32
3.7.2.2 Modelos Auto-regressivos Lineares não Estacionários.....	32
3.7.2.3 Modelo ARIMA	32
3.7.3 Estacionaridade da Série	35
3.7.4 Critérios de Avaliação do Modelo.....	36
3.7.5 Modelagem para análise econômica	37
3.7.5.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)	37
3.7.5.2 Valor Presente Líquido (VPL).....	37
3.7.5.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)	38
3.7.5.4 <i>Payback</i>	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1 LOCAL E PERÍODO DE COLETA DE DADOS.....	40
4.1.1 Caracterização da unidade frigorífica.....	40
4.2 ANÁLISE TÉCNICA	42
4.2.1 Identificação do Modelo.....	42
4.2.2 Estimativa do Modelo	43
4.2.3 Verificação do Modelo	43
4.2.4 Previsão do Modelo	43
4.3 ANÁLISE ECONÔMICA.....	43
4.3.1 Cálculo de estimativa de produção de biomassa	44

4.3.2 Cálculo de estimativa de produção de biogás	44
4.3.3 Cálculo de estimativa de produção de energia	44
4.3.4 Tempo de retorno do capital investido.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA	45
5.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA.....	50
6 CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

A população mundial, desde a década de 1960, aumentou expressivamente, apresentando atualmente, 7,2 bilhões de habitantes. Com esse aumento populacional, aumentou-se também a geração de energia elétrica, produção de alimentos, geração de resíduos sólidos e conseqüentemente a queima de combustíveis fósseis que são responsáveis pela emissão dos chamados gases do efeito estufa (GEE) e estão diretamente relacionadas à intensificação do efeito estufa e à ocorrência de mudanças climáticas. Os principais GEE são o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄). Em primeiro lugar à emissão de dióxido de carbono (CO₂), que responde por 77% dos gases de efeito estufa e em segundo lugar está a emissão de metano, com 13%, contudo o poder de aquecimento do metano é cerca de 23 vezes mais do que o do dióxido de carbono (UNIRITTER, 2016).

A crise no setor elétrico brasileiro vem se agravando desde os anos 70. Entre 1992 e 1997 o crescimento no consumo de eletricidade foi de mais de 16%, surgindo grande preocupação com o déficit de energia e riscos de interrupção no fornecimento. Diminuir a dependência de combustíveis fósseis e não renováveis e buscar soluções ambientalmente corretas devem ser estratégias de gestão governamental e a utilização da biomassa como fonte de energia é uma alternativa que contribuirá não apenas com a diminuição dos impactos globais pela queima de combustíveis fósseis como também com a matriz energética do país (MORETTO, 2010).

O agronegócio é um dos responsáveis pela alteração climática, contudo, é um dos mais rentáveis setores produtivos do Brasil, caracterizado pelo aumento dos modelos intensivos. No ano de 2015 o Brasil se posicionou como o maior rebanho bovino (209 milhões de cabeças), o segundo maior consumidor (38,6 kg/habitante/ano) e o segundo maior exportador (1,9 milhões toneladas equivalente carcaça) de carne bovina do mundo, tendo abatido mais de 39 milhões de cabeças. Apresenta forte mercado consumidor interno (cerca de 80% do consumo), é dotado de expressivo e moderno parque industrial para processamento com capacidade de abate de quase 200 mil bovinos por dia. A exportação de carne bovina já representa 3% das exportações brasileiras e um faturamento de 6 bilhões de reais e, em termos de produto interno bruto, representa 6% do PIB brasileiro ou 30% do PIB do Agronegócio, com um movimento superior a 400 bilhões de reais, que aumentou em quase 45% nos últimos 5 anos (ABIEC, 2016).

No Estado de Tocantins há 7 frigoríficos de bovinos, destes, 03 exportam seus produtos. As cidades tocantinenses que exportam carne bovina são Araguaína que lidera com 76%, seguida por Gurupi com 9,4% e Paraíso com 1,7%. A carne e os derivados chegam a diversas regiões brasileiras e são exportados para vários países, especialmente da Ásia e Europa. Em 2007, as exportações do Estado somaram 32 milhões de dólares e ultrapassaram 17 mil toneladas. A exportação tocantinense envolve não apenas a carne, com ou sem osso, mas todos os subprodutos, a saber miúdos, couro, ossos que se transformam em ração animal, dentre outros (BESSA, 2014).

Por outro lado, este crescente aumento do abate de bovinos gera grande volume de resíduos sólidos e líquidos exigindo a busca imediata de alternativas que permitam reduzir estes efeitos e ainda agregar valor aos resíduos animais. A geração e utilização de biogás consolida-se como importante alternativa para o processo de sustentabilidade ambiental. Esta expressiva produção agropecuária indica um potencial significativo de produção de biogás a partir de resíduos dos animais abatidos, pois o aproveitamento do biogás, em substituição aos combustíveis fósseis contribui com a redução de emissões de gases de efeito estufa além de ser viável economicamente (LIMA et al., 2014).

O biogás é o produto da degradação anaeróbica, composto por metano (50% - 70%) e CO₂. Esse gás pode ser coletado dos sistemas de degradação anaeróbica e utilizado como combustível (geração de calor ou energia). A geração de biogás a partir de resíduos animais é dependente da temperatura, pH e da própria característica do resíduo, que é o substrato para o crescimento dos microorganismos no biodigestor (KUNZ; OLIVEIRA, 2006).

A estimativa da produção de biogás pode ser feita através de modelos matemáticos que utilizam a quantidade de resíduos como parâmetro de análise. Neste contexto, objetivou-se neste trabalho avaliar a viabilidade técnica e econômica de um sistema de biodigestão anaeróbia para geração de energia em indústria frigorífica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica e econômica da produção de bioenergia utilizando resíduos úmidos de frigorífico de bovinos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

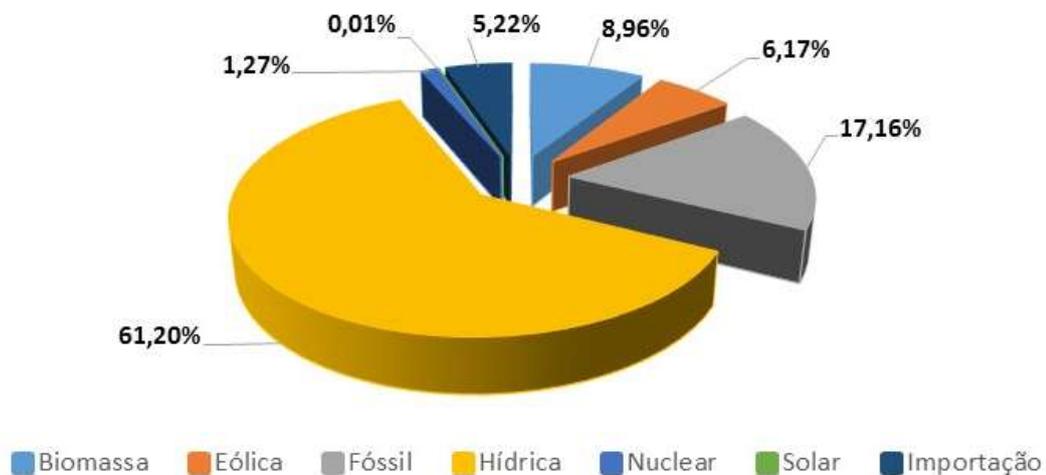
- Quantificar o número de animais abatidos mensalmente na unidade frigorífica em um período de três anos.
- Quantificar a produção mensal de biomassa oriunda de resíduos úmidos.
- Estimar a produção de biogás e de energia com a implantação do sistema de biodigestão.
- Avaliar a viabilidade técnica através do modelo Auto Regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) para previsão mensal de animais abatidos, produção de biomassa e de energia elétrica.
- Analisar a viabilidade econômica do sistema por meio de indicadores de análise de investimentos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Recuperação do Capital (*Payback*).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

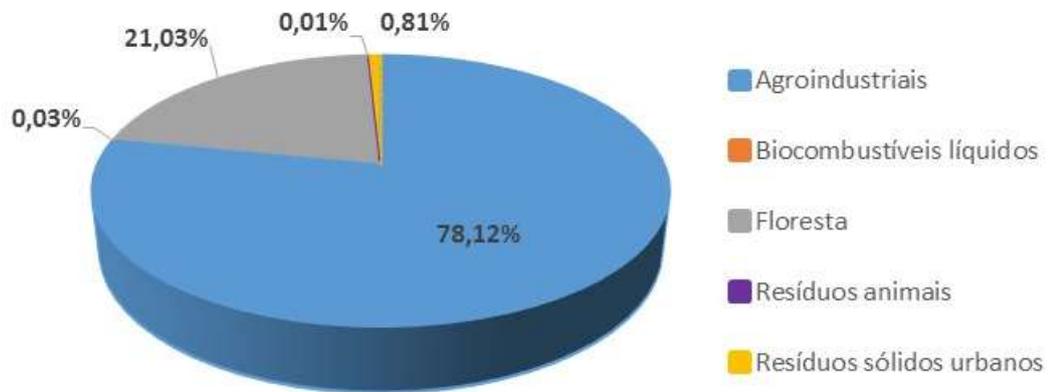
O Brasil possui uma matriz energética com 8,96 % de sua produção proveniente da utilização de biomassa (Figura 1). As usinas hidrelétricas são responsáveis pela geração de mais de 60% da eletricidade do País. O número de empreendimentos de produção de energia a partir de biogás vem crescendo nos últimos anos, alcançando um montante de 23 instalações que juntas produziram 80,6 MW de energia em 2012. Em 2016, este número evoluiu para 29 instalações e geração de 117,164 MW (ANEEL, 2017).

Figura 1. Matriz energética brasileira.



Fonte: ANEEL, 2017.

Entretanto, o biogás representa apenas 0,05% na matriz e 0,81% (Figura 2) de participação na biomassa o que é relativamente inexpressivo em virtude do potencial de geração de energia. Por outro lado, mostra um grande potencial de crescimento (ANEEL, 2017).

Figura 2 – Composição da geração por biomassa

Fonte: ANEEL, 2017

O potencial energético da bacia do médio Tocantins é da ordem de 10.000 MW (Megawatts). Atualmente, a capacidade instalada no Estado é de 2.988,80 MW, enquanto que a demanda máxima coincidente é de apenas 377,80 MW, exportando-se o excedente, ou seja, 2.611 MW, uma vez que o Estado só utiliza 12,64 % de sua capacidade instalada (ZERBIM, 2015).

3.2 BIOMASSA

A biomassa é a fração orgânica, biodegradável, de origem animal ou vegetal, oriunda de florestas, resíduos industriais ou urbanos com potencial energético. As vantagens do uso da biomassa na produção de energia são o baixo custo, o fato de ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser bem menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão. A biomassa é o elemento principal de diversos novos tipos de combustíveis e fontes de energia como o bio-óleo, o biogás, o BTL e o biodiesel. A renovação da biomassa ocorre através do ciclo do carbono, e a queima provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam esse CO₂ nos hidratos de carbono, liberando oxigênio. Assim, sua utilização, não altera a composição da atmosfera (SANTOS, MOTHÉ, 2008; FERREIRA, MINEIRO, VEIGA, 2010).

Santos e Mothé (2008) dividiram a biomassa em três classes conforme a forma de aproveitamento energético: biomassa sólida, biomassa líquida e biomassa gasosa.

A biomassa sólida é composta por resíduos florestais, agrícolas e urbanos com potencial para aproveitamento energético a partir da queima (incineração, pirólise e gaseificação), na qual se pode aproveitar o calor para geração de vapor (termoelétricas) e seus subprodutos combustíveis (alcatrão pirolítico e carvão vegetal, da pirólise e gás metano, da gaseificação).

O biodiesel e o etanol, foram classificados como biomassa líquida, que podem ser obtidas com processamento das chamadas “culturas energéticas”, a exemplo da mamona, girassol, soja, cana-de-açúcar.

A biomassa gasosa é o biogás, proveniente da decomposição anaeróbia de matéria orgânica, e pode ser obtida a partir de efluentes orgânicos industriais, esgoto doméstico e também de resíduos sólidos. O biogás contém metano, que é um gás combustível, e, a partir de sua queima, pode se obter energia térmica, mecânica e eletricidade (Tabela 1).

Tabela 1. Biogás produzido por diversos resíduos

Material	Produtividade (m ³ kg)	
	HORTA (1986)	FILHO (1981)
Esterco bovino, fresco	0,04	0,04
Esterco de galinha, seco	0,43	0,43
Esterco suíno, seco	0,35	0,25
Resíduos vegetais, secos	0,3	0,4
Resíduos de matadouro (úmido)	0,07	0,07
Lixo	0,05	0,05

Fonte: HORTA, 1986; FILHO, 1981.

3.3 BIOGÁS

O biogás é o gás natural têm o mesmo processo de formação, por meio da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. A diferença entre eles é que o gás natural não é formado pela circulação do material orgânico presente na superfície terrestre. Com a queima do gás natural, o carbono retorna para seu ciclo na atmosfera e, quando o material orgânico é convertido em biogás, não há liberação adicional de dióxido de carbono, e sim, o aproveitamento do potencial de energia que está armazenado na matéria orgânica. Em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esse poder calorífico pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura. Alguns parâmetros: 1 m³ de biogás corresponde 0,61 litros de gasolina 0,57 litros de querosene 0,55 litros de óleo diesel 0,45 kg de gás liquefeito 0,79 litros de álcool combustível 1,538 kg de lenha 1,428 kWh de energia elétrica (KARLSSON et al., 2014).

O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural. Este combustível pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, contribuindo desta forma para redução dos custos de produção (SOUZA et al., 2004). O principal componente do biogás é o gás metano, que é incolor e altamente combustível, e não produz fuligem (Tabela 2).

Tabela 2. Composição do biogás

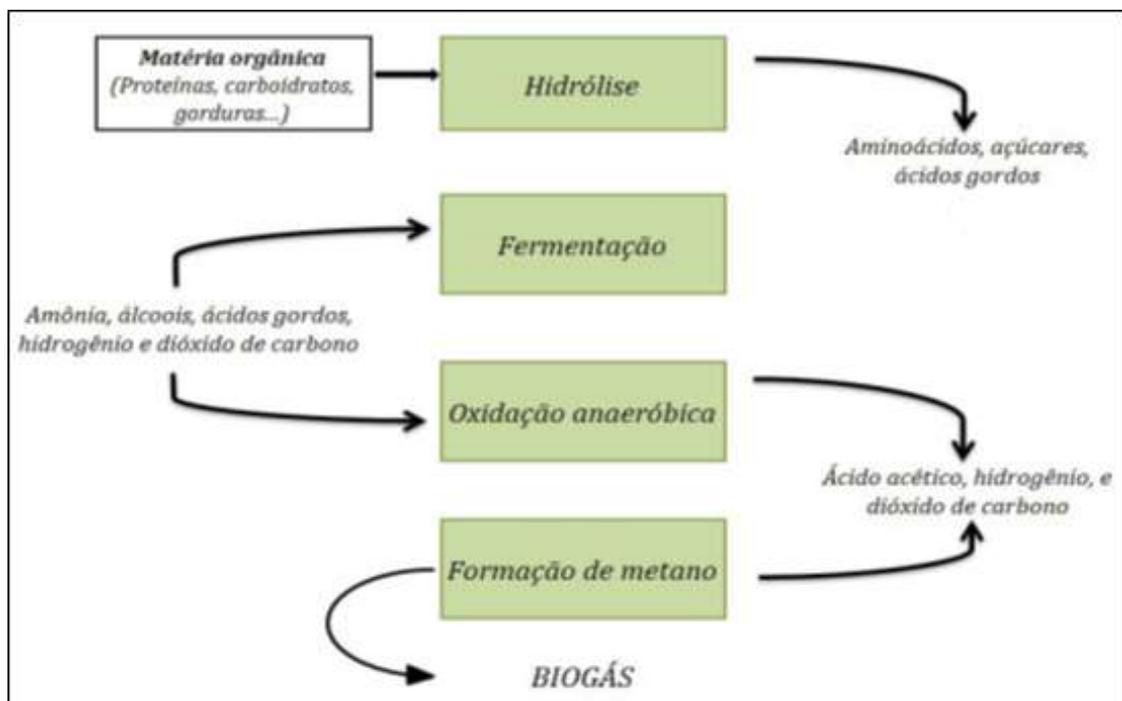
Gás	Símbolo	% no Biogás
Metano	CH ₄	50 – 80
Dióxido de Carbono	CO ₂	20 – 40
Hidrogênio	H ₂	1 – 3
Nitrogênio	N ₂	0,5 – 3
Sulfídrico e Outros	H ₂ S, CO, NH ₃ ,	1 – 5

Fonte: LA FARGE, 1979.

Para produção de biogás, são necessários diferentes grupos de microrganismos, que atuam juntamente com uma série de fatores, como, por exemplo: pH, temperatura e tipo

de substrato. O metano se forma naturalmente o tempo todo, e um fator importante para que haja formação de gás metano a partir de material orgânico é que não tenha presença de oxigênio no ambiente (Figura 3). O biogás se forma a partir de lama de lagos e pântanos e, também, no rúmen de ruminantes. Quanto melhor for a digestão por parte das bactérias produtoras de metano, melhor será a qualidade do biogás produzido. Normalmente é denominado biogás o gás que ainda não passou pelo processo de purificação. Se o biogás é purificado, ou seja, constituído apenas por metano, pode ser utilizado para geração de energia e como combustível veicular (KARLSSON et al., 2014).

Figura 3. Representação esquemática das etapas da digestão anaeróbica



Fonte: KARLSSON et al., 2014.

Conforme a Figura 3 a digestão anaeróbica divide-se em quatro etapas:

Hidrólise - o material orgânico submetido ao processo de digestão deve ser quebrado em pequenas moléculas para que os microrganismos consigam se alimentar delas. As bactérias disponíveis no biodigestor também segregam enzimas que rompem as moléculas

de proteína e as transformam em aminoácidos, hidratos de carbono em açúcares simples e álcoois e graxas em ácidos graxos.

Fermentação - A maioria dos microrganismos que estava ativa na etapa de hidrólise também estará ativa nesta etapa. Os componentes menores derivados da ruptura de moléculas grandes na hidrólise continuam a ser quebrados em moléculas sempre menores. Nesta etapa, ácidos são formados por meio das reações e dividem-se em ácidos orgânicos, álcoois e amoníaco, além de hidrogênio e dióxido de carbono. Exemplos de ácidos orgânicos são o acético, butírico e láctico.

Oxidação anaeróbia - é a etapa que antecede a formação de gás metano. Nesta etapa, as moléculas, rompidas durante as fases de hidrólise e fermentação, rompem-se em moléculas ainda menores pela oxidação anaeróbia, sendo necessário que haja boa interação entre os microrganismos produtores de metano. Esta etapa também é conhecida como acetogênese. As bactérias acetogênicas convertem o material degradado nas etapas anteriores em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono.

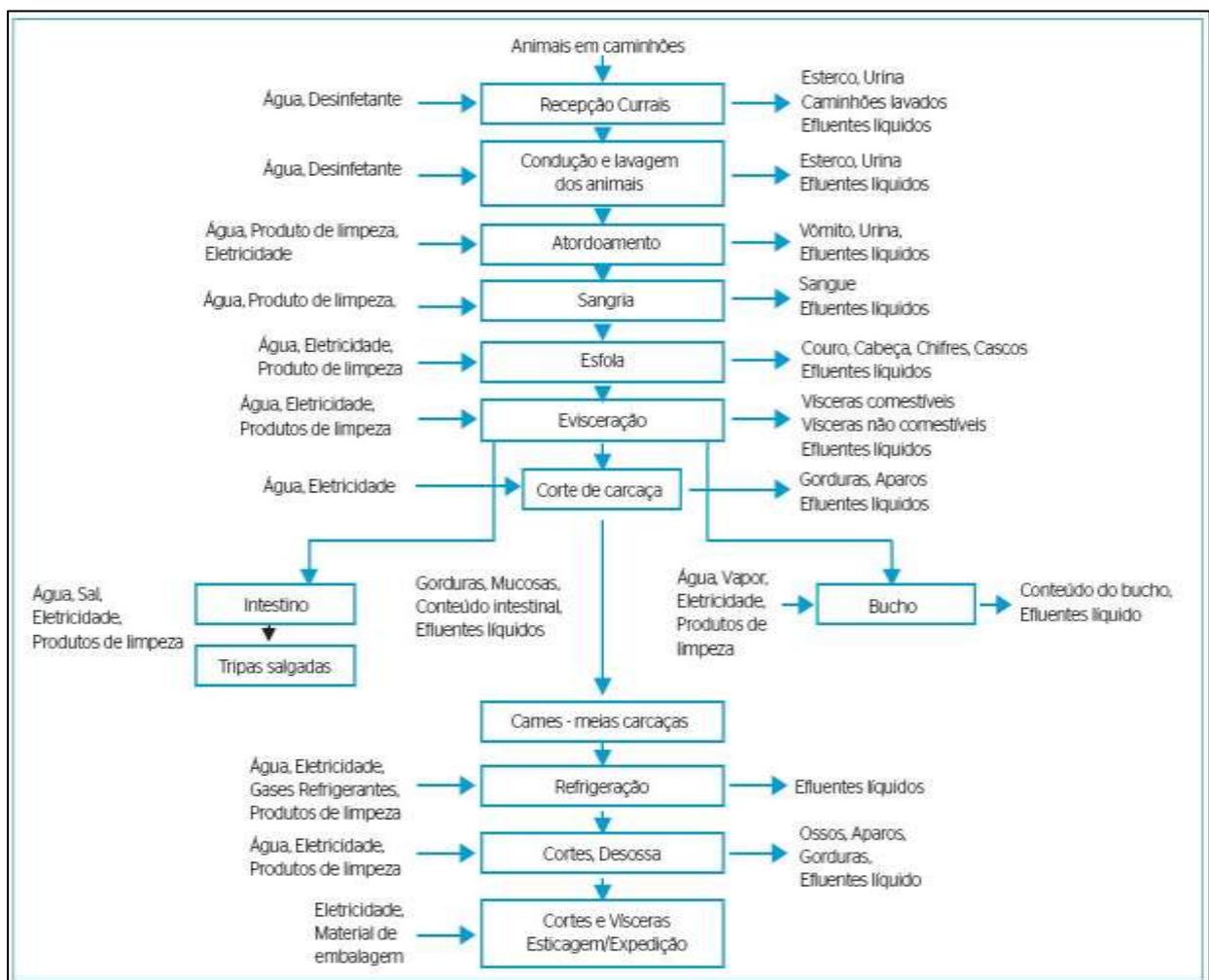
Formação de metano – também chamada metanogênese, é a fase de formação do metano. O metano formado pelos microrganismos metanogênicos necessitam, para sua formação, de ácido acético e CO₂ e de mais alguns produtos de menor importância. São subprodutos das três etapas anteriores, sendo na fase metanogênica também formados dióxido de carbono e água.

3.4 FLUXOGRAMA DO ABATE DE BOVINOS

A qualidade da carne que chegará para o consumidor recebe grande influência que vai desde manejo do animal na propriedade rural até o momento do abate, sendo necessário que o abate ocorra sem sofrimentos para o animal para diminuir a carga de estresse e a carne ficar mais macia (Figura 4). Quando se fala de abate de bovinos alguns cuidados devem ser tomados, pois existem etapas neste processo que são consideradas críticas para a contaminação de carcaças por microrganismos. Para realização de um bom abate os animais não devem ser estressados desnecessariamente, a sangria realizada deve ser eficiente, evitando as contusões da carcaça e todas as normas do RIISPOA (Regulamento de Inspeção Industrial e Sanitária dos Produtos de Origem Animal) deverão ser seguidas (SARCINELLI et al., 2007).

Segundo Pacheco e Yamanaka (2008), geralmente a finalidade do processamento e da destinação dos resíduos ou subprodutos do abate se dá em função das características locais ou regionais, como a existência ou a situação de mercado para os vários produtos resultantes e de logística adequada entre as operações. O sangue por exemplo pode ser vendido para processamento visando a comercialização de seus componentes, também pode ser enviado para graxaria para produção de farinha de sangue. Portanto, em atendimento às leis e normas vigentes na parte sanitária e ambiental, o processamento e a destinação correta devem ser dadas a todos os subprodutos e resíduos do abate.

Figura 4. Fluxograma do abate de bovinos



Fonte: SARCINELLI et al., 2007

A Figura 4 representa o fluxograma do abate de animais, nela pode-se verificar as etapas empregadas no manejo do animal desde a chegada em caminhões, passando pela

recepção, de onde ficam no período de jejum e descanso, até a etapa de abate e processamento da carne para os devidos fins. Pode-se observar que em todas as etapas gera-se efluentes das mais variadas formas e volumes, efluentes estes que apresentam grande potencial de geração de biogás que posteriormente pode ser empregado na geração de energia elétrica. (SARCINELLI et al., 2007).

3.4.1 Linhas de efluentes

Os resíduos gerados no processo de abate são separados em duas linhas de efluentes, a linha verde e a linha vermelha. A linha verde é onde recebe os efluentes gerados em áreas sem presença de sangue, originados da recepção dos animais, nos currais, na condução para o abate, na lavagem dos caminhões, na bucharia e na triparia; Já a linha vermelha é caracterizada por receber os efluentes que contêm sangue, que são gerados no processamento da carne e das vísceras (Tabela 3) (RIBEIRO, 2010).

Segundo Nunes (2008), as estações de tratamentos de efluentes tradicionais costumam ser divididas em quatro etapas:

a) Tratamento preliminar: ocorre retenção de material grosseiro, flutuantes e material mineral sedimentável. Utiliza-se para isto grades, desarenadores (caixa de areia), caixas de retenção de óleo e gordura e peneiras.

b) Tratamento primário: consiste na remoção de matéria orgânica em suspensão. Os processos ocorrem através de decantação primária, precipitação química, flotação e neutralização.

De acordo com Pacheco e Yamanaka (2008), o tratamento primário é realizado separadamente para a linha “verde” e para a linha “vermelha”. Na sequência ocorre a equalização; processo que permite absorver variações significativas de vazões e de cargas poluentes dos efluentes serem processados. Este tratamento otimiza a operação da estação em geral, contribuindo para que se atinja os resultados desejados nos efluentes tratados.

c) Tratamento secundário: separação da matéria orgânica dissolvida e em suspensão. Os mais conhecidos são: estabilização, lodo ativado, sistemas anaeróbios com alta eficiência de remoção do carbono orgânico, filtros biológicos, lagoas aeradas e precipitação química.

d) Tratamento terciário: aplicado quando necessita obter um efluente de alta qualidade, ou a remoção de outras substâncias contidas nas águas residuárias. Ocorre através de adsorção de carvão ativo, osmose inversa, eletrodialise, troca iônica, filtros de areia, remoção de nutrientes, oxidação química e remoção de organismos patogênicos.

Tabela 3. Composição dos co produtos do abate de bovinos

Produto	Peso (Kg)
Peso vivo	400
Carne desossada	155
Material não-comestível para graxaria (ossos, gordura, cabeça, partes condenadas)	152
Couro	36
Vísceras comestíveis (língua, fígado, coração, rins)	19
Sangue	12
Outros (conteúdos estomacais e intestinais, perdas – sangue, carne).	26

Fonte: YAMANACA, 2008.

3.4.2 Resíduos úmidos do frigorífico de bovinos

Nos frigoríficos são gerados vários tipos de resíduos em quantidades estimadas, com destaque para o conteúdo ruminal, que é o alimento consumido pelo animal, em várias fases de fermentação, que permaneceu no rúmeme mesmo após a dieta líquida de 24 horas antes do abate. O material in natura apresenta coloração verde e é atualmente descartado no meio ambiente, sem nenhum tratamento, causando poluição e prejuízos ecológicos. Cada animal gera em média 26 kg de conteúdo ruminal e 12 kg de sangue no momento do abate, considerando um animal de 400 kg (YAMANACA, 2008).

Os efluentes de frigoríficos possuem características favoráveis à biodigestão anaeróbia, pela sua composição de nutrientes, pelo grau de tamponamento adequado ao

crescimento microbiano, além de possuir temperatura relativamente adequada, em torno de 20-30 °C (MASSÉ e MASSE, 2000).

Resíduos do processamento de carnes podem ser caracterizados como ideais e vantajosos para a produção de biogás, pela alta concentração de matéria orgânica. Porém, altas quantidades de proteínas e lipídios levam à formação de amônia e ácidos graxos de cadeia longa, causadores de inibição dos microorganismos envolvidos no processo. A fim de solucionar tal problema, diversas pesquisas são realizadas para biodisponibilizar a matéria passível de degradação, e assim aumentar a taxa de decomposição, como é o caso do pré-tratamento através da saponificação, o qual consiste na hidrólise dos lipídios transformando-os em sais de ácidos graxos e consequente liberação de glicerol. A forte presença de proteínas nos efluentes de matadouros é acompanhada pela degradação em amônia, responsável por altos níveis de inibição de micro-organismos metano gênicos, quando na forma não ionizada (NH₃) pela facilidade de transporte através da membrana celular (MOUNEIMNE et al., 2003; BATTIMELLI et al., 2009; BATTIMELLI et al., 2010).

O potencial de geração de energia hoje é baseado na produção diária de biogás, em termos teóricos 1m³ biogás teria potencial para gerar 1,3 kWh. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 1996 regulamenta a compra de energia produzida mediante biodigestores assegura que se houver excedente de produção elétrica, o produtor pode vender esse excedente para uma concessionária de energia (SANTOS e JUNIOR, 2013).

3.5 TIPOS DE BIODIGESTORES

O biodigestor é um reservatório onde se coloca a biomassa misturada com água. É no seu interior que acontece a fermentação da biomassa, dando origem ao biogás. Com a crise do petróleo, na década de 70, foi trazida para o Brasil a tecnologia dos biodigestores, sendo os principais modelos implantados o Chinês, Indiano e o Canadense. Consistem em uma câmara fechada onde os resíduos orgânicos das produções rurais ou agrícolas são armazenados sem a presença de ar atmosférico, provocando uma fermentação através de digestão anaeróbica, produzindo biogás e biofertilizante (GASPAR, 2003).

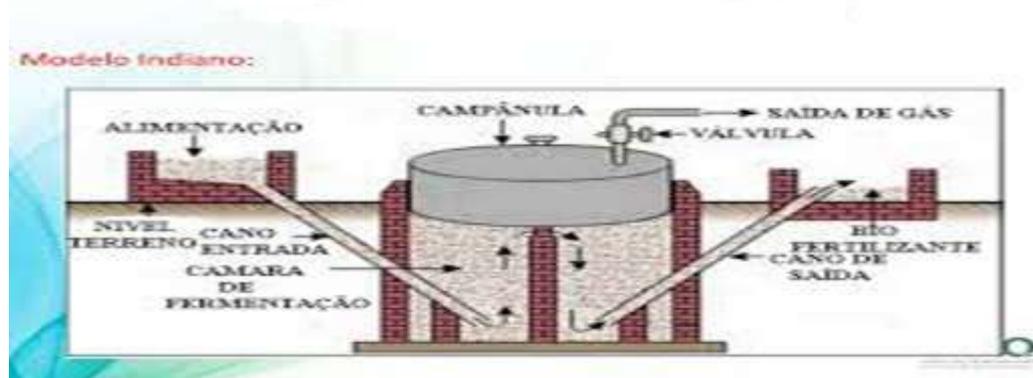
Biodigestores são centrais tecnológicas que aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica e otimizam os produtos resultantes desse processo. O biogás fica armazenado na área livre da cúpula do biodigestor, ou pode ir para um gasômetro,

com a função de acumulação do gás. O biogás pode ser canalizado para múltiplos usos como processos de aquecimento ou resfriamento, acionamento de moto geradores de energia elétrica que utilizem esse combustível, ou como combustível automotivo após a purificação que promove a remoção do CO₂ e do H₂S (GASPAR, 2003).

Assim sendo, Deganutti et al. (2002), descreveram três tipos de biodigestores:

Modelo Indiano – Feito de alvenaria apresenta fácil construção, porém a campânula, que é feita de metal, pode encarecer o biodigestor além de necessitar de manutenções constantes devido à oxidação do metal. Este tipo de biodigestor é o mais eficiente, pois seu modelo permite que a matéria orgânica circule por todo o seu interior e também por manter pressão do gás constante, pois, à medida que o gás é produzido e não é consumido, a campânula tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume e assim mantendo a pressão.

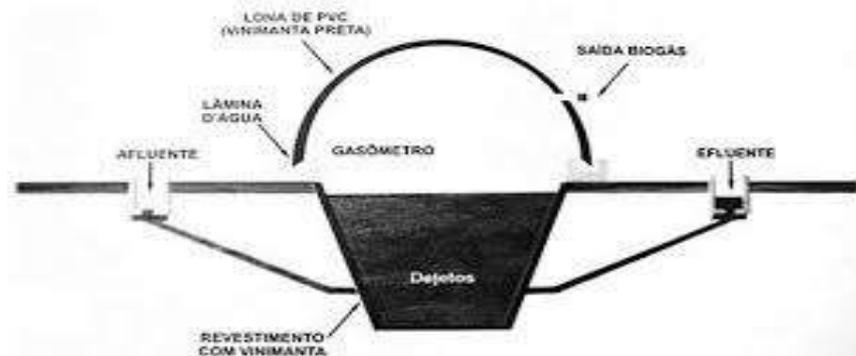
Figura 5. Modelo de biodigestor indiano



Fonte: OLIVEIRA, 2009.

Modelo Chinês - É inteiramente construído de alvenaria, dispensando o uso do aço, como é feito no modelo indiano, reduzindo os custos. Porém, devido aos solos encontrados no Brasil e o clima, constantemente ocorrem rachaduras em sua estrutura liberando o gás. Não é recomendado para instalações de grande porte, semelhante ao indiano o material orgânico deve ser fornecido continuamente.

Figura 6. Modelo de biodigestor chinês



Fonte: OLIVEIRA, 2009.

Modelo Canadense - O biodigestor Canadense, também conhecido como da marinha ou fluxo tubular, caracteriza-se por possuir uma base retangular onde o substrato é depositado, com a largura maior que a profundidade, fazendo com que há maior área de exposição ao sol, tornando maior a produção de biogás, seu gasômetro é feito em manta flexível de PVC, que apesar de caro é fácil no manuseio de limpeza, podendo ser retirado, infla como um balão conforme a produção do biogás. Esse modelo pode ser construído abaixo da terra ou não, sendo mais usado em regiões quentes, onde a temperatura ambiente ajuda a manter a temperatura do biodigestor em níveis adequados para a realização do processo de digestão, anaeróbia. Contendo assim o tanque de entrada, o tanque de saída, o gasômetro de PVC e a tubulação de saída de gás como os seus componentes. O biodigestor de fluxo tubular é amplamente difundido em propriedades rurais e é, hoje, a tecnologia mais utilizada dentre as demais. Neste tipo de biodigestor, o biogás pode ser enviado para um gasômetro separado, permitindo maior controle.

Figura 7. Modelo de biodigestor canadense



Fonte: OLIVEIRA, 2009

3.5.1 Classificação dos biodigestores

Os biodigestores podem ainda ser classificados quanto ao seu sistema de abastecimento:

Sistema descontínuo (batelada) - O biodigestor de carga descontínua é um modelo simples, próprio para produções pequenas de biogás. Este tipo de digestor recebe um carregamento de matéria orgânica, que só é substituído após um período médio de 40 dias para que ocorra a biodigestão de todo o lote. Trata-se de um comumente com tanque de alvenaria, metalon fibra de vidro, o qual é carregado, fechado e, depois de em média 15 a 20 dias de fermentação (isso em função ao tamanho do biodigestor), começa a produzir biogás. Depois de usar o gás, o biodigestor de batelada é aberto, descarregado, para logo ser limpo e novamente recarregado, reiniciando o processo. É interessante e recomendável ter duas unidades. Quando um biodigestor começa a produzir, o outro é carregado, e quando acaba o biogás de um, o outro já começa a produzir (SALOMOM; CERPCH, 2007).

Sistema contínuo - Os biodigestores de carga contínua são construídos de tal forma que podem ser abastecidos diariamente, permitindo que a cada entrada de material orgânico a ser processado exista uma saída de material já processado. Os modelos mais conhecidos de biodigestores contínuos são o Indiano e o Chinês. Ambos são construções que possuem a sua maior parte disposta abaixo do nível do solo.

Num sistema contínuo a matéria orgânica é introduzida na cuba de fermentação com uma determinada taxa de diluição (a qual depende do tipo de matéria orgânica a fermentar), onde fica retida durante vários dias. O tempo de retenção resulta de um compromisso entre o volume de gás a produzir, o grau de digestão que se pretende e a temperatura de funcionamento. Depois de carregada a cuba e iniciada a fermentação, impõe-se a estabilização do sistema. É importante a verificação de todos os parâmetros como o pH, temperatura, qualidade do efluente, produção e qualidade do gás (SALOMOM; CERPCH, 2007).

3.6 MOTORES QUE UTILIZAM BIOGÁS

3.6.1 Motores térmicos a combustão

O motor pode ser definido como uma máquina destinada a converter qualquer forma de energia térmica, elétrica, hidráulica e outras, em energia mecânica. As máquinas térmicas podem ser agrupadas em máquinas de combustão interna (motores e turbinas a gás), ou máquinas de combustão externa (caldeiras ligadas às turbinas a vapor). De acordo com seu consumo específico e rendimento térmico pode-se obter a qualidade e indicar as condições operacionais e de manutenção dessas máquinas (SANTOS, 2006).

Os motores de combustão interna geram energia mecânica através da conversão do fluido de trabalho no processo de combustão. Os produtos resultantes do processo de combustão são confinados internamente em uma câmara de combustão. Devido esses motores trabalharem com diferentes tipos de combustíveis, tanto líquidos como gasosos, são amplamente utilizados, representando assim a tecnologia mais difundida entre as máquinas térmicas. Contribuem para isso alguns fatores como a simplicidade, robustez e alta relação potência/peso, o que faz com que sejam preferidos para a geração de eletricidade (SALOMON, 2007).

Para Braz e Araújo (2013) a vantagem da utilização dos motores de combustão interna é que eles não requerem a utilização de trocadores de calor (caldeira ou condensador) no circuito como para os motores de combustão externa. O que elimina as perdas no processo de transmissão de calor, além de deixar o projeto mais simples. Em relação às vantagens, eles ainda citam que as peças nesse tipo de estrutura se comparadas às que utilizam vapor ou

turbinas à gás possuem mais eficiência por trabalharem a temperaturas muito abaixo da máxima temperatura cíclica.

3.7 MODELAGEM MATEMÁTICA

Modelagem matemática é um processo utilizado para a obtenção e validação de modelos matemáticos. É uma forma de abstração com o objetivo de previsão de tendências. A modelagem consiste, essencialmente, na arte de transformar situações da realidade em problemas matemáticos (BASSANEZI, 2004).

3.7.1 Séries temporais

Uma série temporal é uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo, durante um período específico, e que apresentam uma dependência seriada. Para representar a série temporal é utilizada a notação Z , e no momento t será Z_t , em que $t = 1, 2, \dots$, n indica o tamanho da série. Portanto, os dados devem apresentar uma dependência serial entre eles. A previsão de séries temporais estabelece valores futuros para a série, e é feita com base tanto na informação atual quanto na passada (MORETTIN, 2006).

3.7.2 Modelos de Previsão

Para que sejam estabelecidos valores futuros para a série em estudo, é necessário formular um modelo matemático que represente o comportamento e as características da série temporal que se deseja prever. Os processos estocásticos são utilizados para descrever modelos de séries temporais, ou seja, processos controlados por leis probabilísticas em uma série de dados distribuídos no tempo (MORETTIN, 2006).

Segundo Morettin e Tolo (2004), uma das suposições mais frequentes que se faz a respeito de uma série temporal é que ela seja estacionária, ou seja, desenvolve-se no tempo, aleatoriamente ao redor de uma média constante, refletindo alguma forma de equilíbrio estável. Entretanto, a maior parte das séries que é encontrado na prática apresenta alguma forma de não-estacionariedade, que geralmente é justificada devido a presença de quatro componentes:

- a) *Tendência*: verifica o deslocamento da série ao longo do tempo.
- b) *Sazonalidade*: movimento ondulatório de curta duração, em geral, inferior a um ano.
- c) *Ciclo*: movimento ondulatório que ao longo de vários anos tende a ser periódico.

d) *Ruído Aleatório*: compreende a variedade intrínseca aos dados e não pode ser modelado.

Grande parte dos métodos utilizados em séries temporais, estão ligados a linearidade e a estacionaridade. Um processo é estacionário quando, distribuições unidimensionais não variam ao passar do tempo, sendo a média e a variância constantes (MORETTIN, 2006).

3.7.2.1 Modelos Auto-regressivos Lineares Estacionários

Modelos estacionários são aqueles em que sua média, variância e autocovariância são invariáveis em relação ao tempo. São classificados em: Auto-regressivos (AR); Médias Móveis (MA) e Auto-regressivo de Médias Móveis (ARMA) (PELLEGRINI e FOGLIATTO, 2000).

3.7.2.2 Modelos Auto-regressivos Lineares não Estacionários

Modelos não estacionários são aqueles que apresentam uma média e variância que variam com o tempo. São classificados em: Auto-regressivo Integrado de Médias Móveis (ARIMA) e Auto-regressivos Sazonais Integrados de Médias Móveis (SARIMA).

3.7.2.3 Modelo ARIMA

Os modelos ARIMA – Auto-Regressivos Integrados de Médias Móveis, são muito utilizados na modelagem e previsões de séries temporais, sistematizados inicialmente em 1976, por George Box e Gwilym Jenkins (BOX et al., 1994). São modelos matemáticos que visam compreender o comportamento da autocorrelação entre os valores da série temporal, e com base nesse comportamento realizar previsões futuras.

Segundo o modelo, as variáveis apresentadas pelos valores na série temporal, são extremamente dependentes entre si, ou seja, cada valor pode ser explicado por valores prévios da série. Para Pellegrini e Fogliatto (2000), os modelos ARIMA representam a classe mais geral dos modelos usados para análise de séries temporais podendo ser usados de maneira satisfatória em séries estacionárias e não estacionárias.

Uma série é estacionária quando os dados oscilam em torno de um ponto de equilíbrio (FAVA, 2000). Ocorre quando as propriedades da variável não são alteradas ao longo do tempo. Dentre os modelos aplicados a séries estacionárias tem-se: i) Modelo Auto-Regressivo (AR), nesse caso a série é descrita por seus valores anteriores e um erro aleatório; ii) Modelo de Médias Móveis (MA), nessa modelagem a série resulta da combinação dos erros de previsão dos períodos passados com o atual e; iii) Modelo ARMA – Auto-Regressivo de Médias Móveis, que representa uma combinação dos dois anteriores.

Werner et al. (2003), afirmam que se variância e a média forem dependentes do tempo a série temporal é não estacionária. Box e Jenkins (1976), propuseram os modelos ARIMA que baseiam-se na hipótese de que uma série temporal não estacionária pode ser tratada como uma série estacionária a partir de diferenciações e da inclusão de um componente AR e um componente MA.

i) Modelos Auto-Regressivo – AR

Este modelo corresponde a um filtro tendo como entrada o ruído branco da média e o desvio padrão e como saída o sinal desejado. Para Pellegrini e Fogliatto (2000) o valor atual do processo é uma combinação linear finita de valores prévios e um ruído aleatório a_t .

Em um modelo AR, a série de dados Z_t é determinada por seus valores passados $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$ e pelo ruído branco. A estrutura autoregressiva total é apresentada na Equação 01:

$$\tilde{Z}_t = \phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \phi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + a_t \quad (01)$$

Onde os coeficientes $\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p$ descrevem como os valores de Z_t relacionam-se com as variáveis passadas $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$.

ii) Modelo de Médias Móveis

Os modelos de MA são criados a partir da combinação linear do ruído aleatório, a_t , ocorrido no período atual e no período passado. Nesse modelo, \tilde{Z}_t , que representa Z_t subtraída da média μ , depende linearmente de um número finito q de valores prévios do ruído aleatório a_t . Para Pellegrini e Fogliatto (2000), um processo aleatório de ordem k é dado pela Equação 02:

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (02)$$

Onde os coeficientes $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$ são parâmetros da estrutura de Z_t .

iii) Modelo AR e MA – ARMA

Neste modelo, tem-se uma combinação dos modelos AR e MA, no qual Z_t é obtido por seus valores passados e pelos ruídos aleatórios a_t atual e passado. Box et al. (1994), afirmam que algumas séries são melhor modeladas com a inclusão de termos AR e MA, o resultado é um modelo misto ARMA de ordem (p, q) como apresentado na Equação 03:

$$\tilde{Z}_t = \phi_1 \tilde{Z}_{t-1} + \phi_2 \tilde{Z}_{t-2} + \dots + \phi_p \tilde{Z}_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (03)$$

O modelo possui $p + q + 2$ parâmetros desconhecidos, que podem ser estimados a partir dos valores observados na série temporal. Normalmente, os valores de p e q são menores que 2 para séries estacionárias (BOX et al., 1994).

iv) Modelagem ARIMA

A análise e previsão de séries temporais nos quais os processos estocásticos não são estacionários podem ser realizados de forma satisfatória através da aplicação dos

modelos ARIMA (BOX e JENKINS, 1994). Morretin et al. (1985), afirmam que nesse caso, a série original deverá ser diferenciada a fim de torná-la estacionária.

A associação de três componentes denominadas “filtros” representa a classe desse modelo, são eles: o componente auto-regressivo (AR), o filtro de integração (I) e o componente de médias móveis (MA). O número necessário de diferenciação para tornar a série não estacionária em estacionária é chamado de ordem de integração (d) (WERNER et al., 2003).

Para Morretin et al. (1985), será suficiente no máximo duas diferenças para que a série se torne estacionária. A inclusão do termo, ordem de integração (d), permite que sejam, utilizados modelos ARIMA (p, d, q) dados pela Equação 04.

$$w^d = \phi_1 w_{t-1} + \dots + \phi_p w_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 \varepsilon_{t-1} - \dots - \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (04)$$

Onde: $w_t = \Delta^d Z_t$, os coeficientes ϕ representam os operadores auto-regressivos de ordem p e θ os operadores de médias móveis de ordem q .

3.7.3 Estacionaridade da Série

A aplicação do modelo ARIMA exige que a série seja estacionária (BOX e JENKINS, 1994). Nesse caso, deve-se haver um desenvolvimento em torno de uma média, variância e autocovariância constantes na série, caso isso não ocorra é necessário a transformação da série de forma que ela se torne estacionária. Existem vários testes que podem ser usados para verificação da estacionaridade, que são denominados testes de raiz unitária, dentre eles: ADF, KPSS, Ljung-Box, Phillips-Perron, entre outros (MORETTIN e TOLOI, 1986).

Neste estudo optou-se pelo teste *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) (DICKEY e FULLER, 1979), eliminando-se assim o problema de autocorrelação dos resíduos através da

incorporação de defasagens na expressão do teste. Essas defasagens são indicadas pelos critérios estatísticos *Akaike Information Criterion* (AIC) e *Schwarz Bayesian Criterion* (SBC). Nesse caso, baseou-se no critério (AIC) (ARÊDES e PEREIRA, 2008).

A equação do teste de raiz unitária ADF, com o componente constante é representado pela equação 05:

$$\Delta Y_t = \beta_1 + \delta Y_{t-1} + \alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i} + \varepsilon_t \quad (05)$$

sendo Δ o operador de diferença de Y_t ; β_1 é o parâmetro constante, δ é o parâmetro da variável defasada e $\alpha_i \sum_{i=1}^m \Delta Y_{t-i}$ é o termo de diferenças defasadas (ARÊDES e PEREIRA, 2008).

3.7.4 Critérios de Avaliação do Modelo

Baseado em um ciclo iterativo, a construção do modelo proposto ARIMA (p, d, q) é feita com referência aos próprios dados da série (MORETTIN e TOLOI, 1987). Segundo Box e Jenkins (1976), são necessárias três etapas para a criação do modelo: Identificação, Estimação e verificação:

- 1) Identificação: Consiste em descobrir qual a melhor versão do modelo ARIMA deverá ser usado para descrever o comportamento da série, sendo esta sazonal ou não. A identificação do modelo se dá pelo comportamento das funções de autocorrelação (FAC) e das funções de autocorrelação parciais (FACP). Makridakis et al. (1998), apresentam mais detalhes referentes à obtenção das funções FAC e FACP e quais os comportamentos que representam o modelo abordado.
- 2) Estimação: É estabelecer os parâmetros do componente auto-regressivo (AR), os parâmetros do componente de médias móveis (MA) e a variância do erro aleatório.
- 3) Verificação: Consiste em analisar se o modelo estimado é adequado para descrever o comportamento dos dados.

Caso o modelo não seja adequado, repete-se o ciclo, retornando a fase de identificação, caso seja satisfatório, passa-se para a última etapa, no caso, realizar as previsões da série.

Para Granger e Newbold (1986), a metodologia Box e Jenkins deve ser aplicada em séries temporais com mais de vinte observações, onde as características estruturais são desconhecidas. Fischer (1982), ressalta outro importante aspecto dos modelos ARIMA, relacionado ao limite do cenário de previsão, no qual, os modelos apresentam a característica geral de suas previsões em reverterem à média quando o cenário de previsão aumenta. Nesse sentido, o potencial de previsão destes modelos diminui à medida que o horizonte de previsão aumenta.

3.7.5 Modelagem para análise econômica

3.7.5.1 Taxa Mínima de Atratividade (TMA)

Entende-se por taxa mínima de atratividade a taxa mínima a ser alcançada em determinado projeto; caso contrário o mesmo deve ser rejeitado. É também, a taxa utilizada para descontar os fluxos de caixa quando se usa o método do (VPL), valor presente líquido e o parâmetro de comparação para a TIR (NOGUEIRA, 2009).

O autor citado acima afirma que o fluxo de caixa descontado atualiza para o momento presente, o valor dos fluxos de caixa obtidos durante a vida de um empreendimento, mediante o desconto de uma taxa de juros normalmente denominada TMA.

3.7.5.2 Valor Presente Líquido (VPL)

O VPL significa, em valores monetários atuais, a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de todo o projeto. A aceitação do investimento está condicionada ao valor do VPL, ou seja, se o VPL for maior que zero, sinaliza que o investimento deve ser aceito. É uma técnica de orçamento sofisticada, utilizada para avaliar propostas de investimento de capital, e o seu valor é determinado pela subtração do valor inicial de um projeto, do valor presente dos fluxos de entrada de caixa, descontados a uma taxa igual ao custo do capital da empresa (NOGUEIRA, 2009).

De acordo com Assaf Neto (2003), o Valor Presente Líquido expressa o resultado econômico atualizado do investimento e pode ser calculado, usando-se a seguinte expressão:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FCL_j}{(1 + TMA)^j} \quad (6)$$

3.9.5.3 TIR (Taxa Interna de Retorno)

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é definida como a taxa de juros que torna recebimentos e desembolsos equivalentes na data presente. Em termos matemáticos, a TIR é a taxa que iguala o Valor Presente Líquido a zero. O *Payback* ou período de retorno do investimento pode ser calculado de duas formas: *Payback* simples, onde se calcula o número de períodos necessários para se recuperar o investimento inicial, sem levar em conta o fluxo de caixa e o valor do dinheiro no tempo, e o *Payback* descontado, que calcula o número de períodos necessários para recuperar o investimento, considerando-se o valor do dinheiro no tempo e ajustando-se os fluxos de caixa a uma taxa de desconto (CASAROTTO FILHO e KOPITTKKE, 2007).

Conforme os autores citados acima a TIR caracteriza-se pela remuneração de um empreendimento durante um período de tempo e fluxo de caixa pré-estabelecido. Ela representa a rentabilidade interna de um projeto, obtida pelo desconto do fluxo de caixa observado nos períodos de análise e que anule o valor do investimento inicial. A taxa interna de retorno obtida pelo projeto é comparada a uma taxa mínima de atratividade desejada e arbitrada como retorno pelo investidor. O método prediz que se a TIR for maior que a TMA, o projeto deve ser aceito; se a TIR for igual à TMA significa que o projeto é indiferente ao projeto e quando a TIR for menor que a TMA, o projeto deve ser rejeitado.

$$0 = \sum_{j=0}^n \frac{FCL_j}{(1 + TIR)^j} \quad (7)$$

3.7.5.4 Payback

Payback que em português significa “*retorno*” é uma técnica utilizada nas empresas para análise do prazo de retorno do investimento em um projeto. É o período de tempo necessário para recuperar o capital investido, e consiste na identificação na identificação do prazo em que o montante do dispêndio do capital efetuado seja recuperado por meio dos fluxos líquidos de caixa gerados pelo investimento (ALVES, 2014).

$$PB = J - \frac{SAR_j}{FCL_{j+1}} \quad (8)$$

SAR-Saldo a recuperar

FCL-Fluxo de caixa líquido

J-Último período negativo

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL E PERÍODO DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada em frigorífico de bovinos (Figura 8), localizado na cidade de Porto Nacional, região sul do Estado de Tocantins, a $10^{\circ}42'29''$ de latitude sul, $48^{\circ}25'02''$ de latitude Oeste e altitude de 212 metros, em solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, textura franco arenosa.

Os dados foram coletados no departamento de administração da empresa através de relatórios mensais de abate dos animais, no período de janeiro de 2014 a setembro de 2017.

Figura 8. Vista aérea das instalações do frigorífico



Fonte: GOOGLE MAPS, 2017.

4.1.1 Caracterização da unidade frigorífica

A unidade frigorífica apresenta SIE - Serviço de Inspeção Estadual e seus produtos são destinados ao mercado local e a cidades vizinhas. Possui capacidade de abate de 3000 animais/mês. Os animais apresentam peso médio no abate de 400 kg, na sua maioria

fêmeas. O abate é realizado no período da manhã, com duração de seis horas, em 22 dias ao mês. O fornecimento de energia elétrica é feito em alta tensão de distribuição, por um transformador de 225KVA de propriedade da Concessionária, enquadrada como tarifa horossazonal verde, com demanda de 115 kwh/mês.

Optou-se pelo referido frigorífico para realização da pesquisa em virtude da grande quantidade de resíduos gerados. Os efluentes líquidos são destinados a uma lagoa de decantação (Figura 09) e os resíduos sólidos são depositados nos solos, causando danos ao meio ambiente. Com o intuito de minimizar a problemática, recomendou-se a implantação de um biodigestor modelo canadense, destinado ao tratamento desses resíduos, por meio do sistema de biodigestão anaeróbica.

Figura 09. Lagoa de decantação



Fonte: DADOS DA PESQUISA, 2017

Para verificar a viabilidade do projeto foram realizadas análises técnica e econômica.

4.2 ANÁLISE TÉCNICA

Inicialmente, analisou-se uma série de dados mensais de animais abatidos entre os anos de 2014 e 2017 para se estimar a produção de biomassa e de energia, com projeções até o mês de agosto de 2018.

A metodologia utilizada para análise dos dados fundamentou-se na implantação de modelos ARIMA – *Autoregressive Integrated Moving Average*.

Para a concepção do modelo, através da metodologia Box e Jenkins, seguiu-se o ciclo iterativo que iniciou com identificação do modelo, passando para a estimação dos parâmetros, logo em seguida a verificação, sendo o modelo adequado, realizou-se as previsões, caso contrário, retorna-se à estimação dos parâmetros e realiza-se novamente o ciclo.

4.2.1 Identificação do Modelo

A partir dos dados das séries temporais das variáveis em estudo, verificou-se a estacionariedade das mesmas através do teste de raiz unitária ADF, em casos onde a série era não-estacionária, foram realizadas diferenças sucessivas na série original até que a mesma se tornasse estacionária.

O próximo passo foi analisar as funções de autocorrelações (FAC) e de autocorrelações parciais (FACP), que indicaram os valores p e q do modelo ARIMA (p, d, q) . O comportamento dessas funções indica qual o modelo a ser utilizado, bem como auxilia no uso dos testes de raízes unitárias para confirmar a estacionariedade da série. As funções FAC e FACP indicaram a ordem dos modelos autoregressivos e de média móvel, contudo, foi necessário verificar a estacionariedade da série após cada diferenciação.

Assim, em virtude da evidência de não estacionariedade da série, tomou-se a diferença da série original. Utilizando a primeira diferença e reaplicando o teste ADF, até obter a estacionariedade da série. Nesse caso, as indicações da ordem de integração do modelo, ou seja, $d = 1$ para primeira diferenciação e $d = 2$ para segunda diferenciação, quando necessário.

4.2.2 Estimativa do Modelo

Uma vez identificado os valores (p, d, q) do modelo ARIMA, foram estimados os parâmetros do modelo proposto, da variância do resíduo e da constante, todos a 5% de significância $p < 0,05(p\text{-valor})$. O processo de estimação requereu um método iterativo de cálculo. Inicialmente, identificou-se os componentes do modelo através de testes de raiz unitária e análise do correlograma.

Após a estimação, procedeu-se com a verificação do modelo. Esta etapa foi realizada através da análise do comportamento dos resíduos. Quando estes apresentaram um processo tipo ruído branco, no qual a média é próxima de zero a variância é constante e as correlações não são significativas, a série foi tida como estacionária (ABRAHAM e LEDOLTER, 1983).

4.2.3 Verificação do Modelo

Nessa etapa, de posse do modelo identificado e estimado verificou-se se o mesmo era ou não adequado. Em caso positivo, ele foi utilizado para fazer previsões. Em caso negativo, foi identificado outro modelo e repetiu-se as etapas de estimativa e verificação. Para Fava (2000), as formas de verificação mais utilizadas são: análise de resíduos e avaliação da ordem do modelo, neste estudo optou-se pela primeira.

4.2.4 Previsão do Modelo

Após a realização dos três passos: identificação, estimação e verificação, foram calculadas as previsões para os valores futuros das séries em estudo. Para estimação dos testes e dos modelos supracitados, utilizou-se o software econométrico livre GRETl versão 1.9.14. Em todas as séries temporais a hipótese de não estacionariedade foi aceita em nível de 95% de significância, ou seja, $p < 0,05(p\text{-valor})$.

4.3 ANÁLISE ECONÔMICA

Para análise econômica foram feitas médias mensais de animais abatidos, produção de biomassa e estimativa de produção de energia, utilizando fatores de conversão.

4.3.1 Cálculo de estimativa de produção de biomassa

Para estimar a produção de biomassa mensal foram considerados por animal 38 Kg de resíduos gerados na linha de abate (conteúdos estomacais, conteúdos intestinais, perdas de carne e sangue).

4.3.2 Cálculo de estimativa de produção de biogás

Para o cálculo da produção de biogás considerou – se a quantidade de efluentes e seu fator de conversão (0,07 m³ de biogás) conforme equação 9.

$$V \text{ biogás} = Q \text{ resíduos} * N \text{ animais} * F \text{ conversão} \quad (9)$$

4.3.3 Cálculo de estimativa de produção de energia

Em posse da estimativa de quantidade de biogás gerado mensalmente, calculou – se a conversão em eletricidade, utilizando o fator de conversão (1,3 kw/m³ de biogás), conforme Equação 10.

$$E \text{ elétrica} = V \text{ biogás} * F \text{ conversão} \quad (10)$$

Para determinar o valor de investimento inicial, foram levantados os custos de implantação do biodigestor, assim como despesas com materiais de construção, horas de escavação e mão de obra.

O abatimento anual previsto na energia elétrica considerou o valor cobrado pela concessionária nos horários de ponta, fora de ponta e demanda contratada.

4.3.4 Tempo de retorno do capital investido

Para determinar o tempo de retorno do capital investido na implantação do biodigestor e na aquisição dos equipamentos para utilização do biogás, foram calculados os custos anuais com depreciação, juros sobre o capital fixo e custos de manutenção e operação.

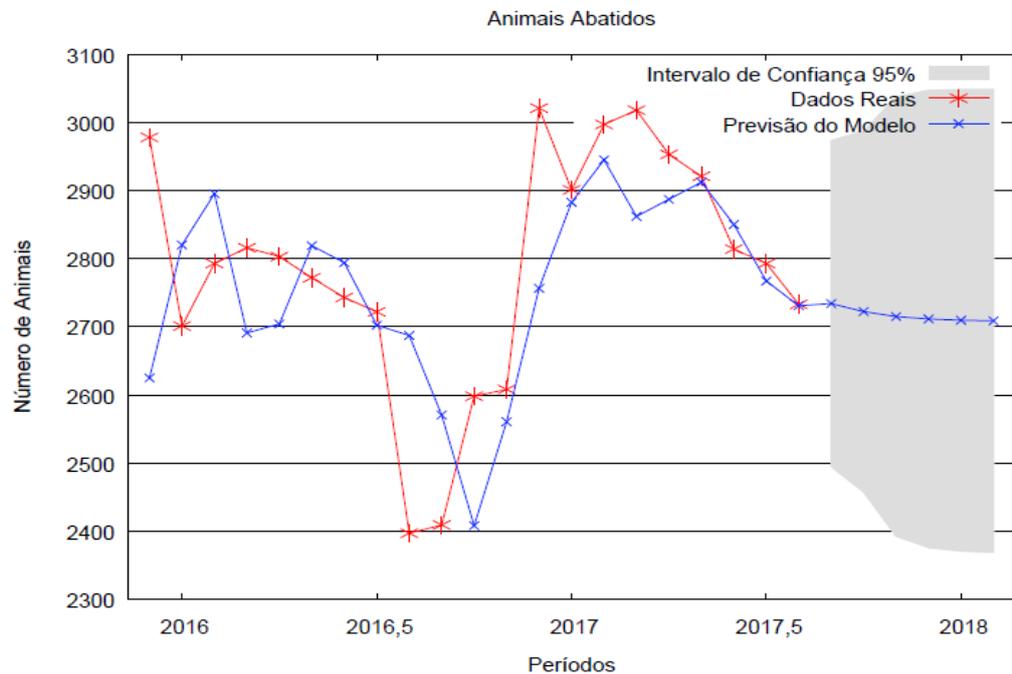
De posse dos dados referentes aos custos e benefícios originados com a implantação do biodigestor, procedeu-se a análise da viabilidade econômica do sistema, por meio de indicadores de análise de investimentos: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Recuperação do Capital (*Payback*).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA

O estudo de previsão por séries temporais consiste em utilizar dados passados e presentes para se obter dados futuros, por meio de modelos descritos e variáveis que estão sendo analisadas. Para esse estudo foram priorizados dados relativos ao abate de animais, produção de biomassa, produção de energia e consumo de energia pela empresa. A previsão de uma atividade é de grande importância para a empresa, pois o volume de produção é altamente relacionado a fatores econômicos e políticos responsáveis pela variação de produção no decorrer dos anos.

As observações e as previsões da quantidade de animais abatidos, produção de biomassa, produção de energia e consumo de energia com seus respectivos intervalos de confiança ao nível de 95%, são apresentados nas Figuras 10, 11, 12 e 13. As figuras demonstram os resultados encontrados na estimação dos modelos e na previsão da viabilidade técnica do sistema proposto de biodigestão

Figura 10. Projeção do número de animais abatidos

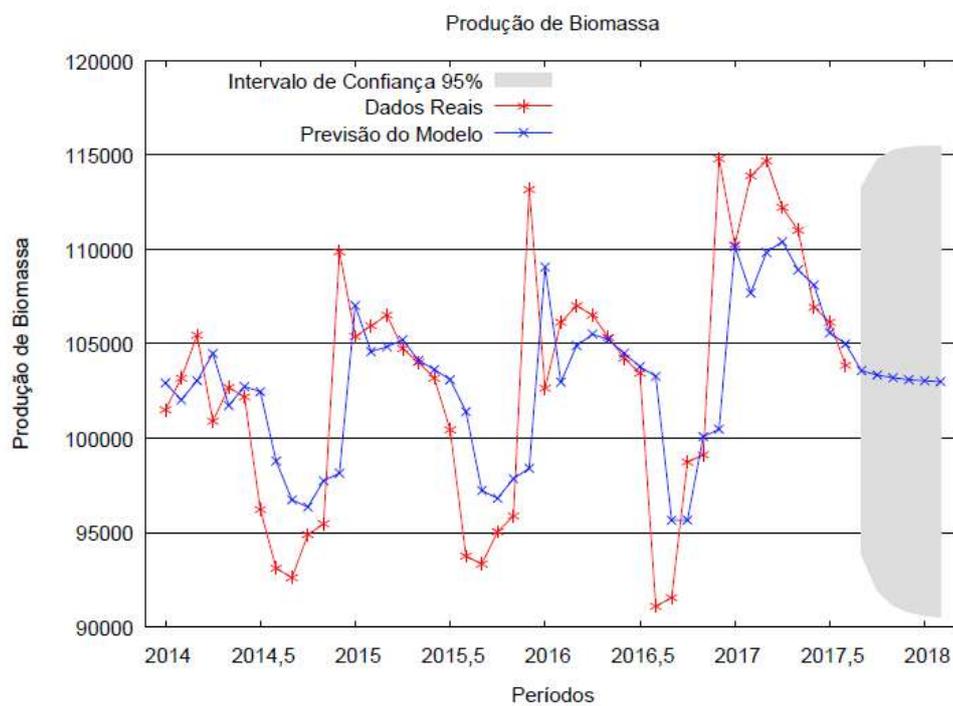
Fonte: DADOS DA PESQUISA.

Observa-se na Figura 10 que há um decréscimo significativo no número de animais abatidos e consequentemente, na produção de biomassa entre os meses de junho e novembro em todos os anos analisados. Esse fato justifica por ser o período de seca no Estado do Tocantins. Santos et al. (2002), afirmaram que uma vez que a exploração é baseada no modelo extrativista, os baixos índices relacionam-se com a baixa qualidade dos pastos e a capacidade suporte desses. Entre os meses de novembro e maio, observa-se um aumento significativo no abate, visto que há um consumo preferencial de carne bovina neste período em que ocorre a chegada das chuvas, melhoria das pastagens e consequentemente, maior ganho de peso dos animais.

Os grandes territórios e a crescente demanda de mercados consumidores locais, nacionais e internacionais, viabilizam a bovinocultura de corte e o abastecimento de frigoríficos espalhados por todo o estado do Tocantins, que se destaca como uma das unidades da Federação com maior tradição nesta atividade. Destacam-se, ainda, as ações de marketing empreendidas no sentido de criar uma boa imagem para a carne brasileira junto aos países importadores, ressaltando fatores como a criação do gado a pasto, segurança alimentar e sanidade animal.

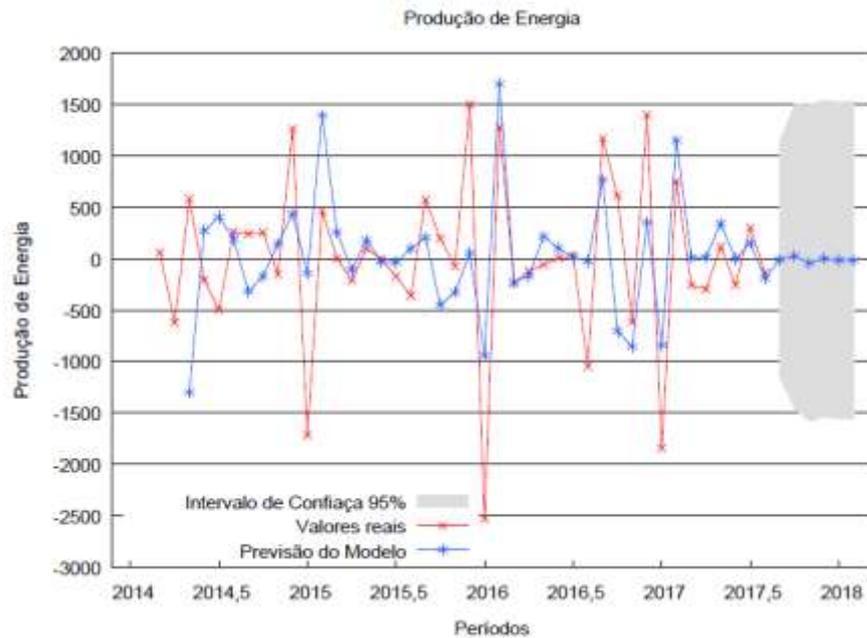
Sendo assim, Detmann et al. (2004) afirmaram que o pasto deve ser entendido como um componente do sistema de produção com elevada complexidade, uma vez que este fornece substratos aos animais e apresenta uma variação qualitativa e quantitativa ao longo do ano, influenciada principalmente por fatores abióticos (precipitação, temperatura e radiação solar). Portanto, a criação em pasto é altamente influenciada pelos efeitos climáticos, visto que estes promovem uma estacionalidade na produção de forrageiras concentrando aproximadamente 80 % da produção no período das águas e 20 % no período seco, podendo variar com o nível de intensificação adotado no manejo do pasto (EUCLIDES et al., 2007).

Figura 11. Projeção da quantidade de biomassa gerada



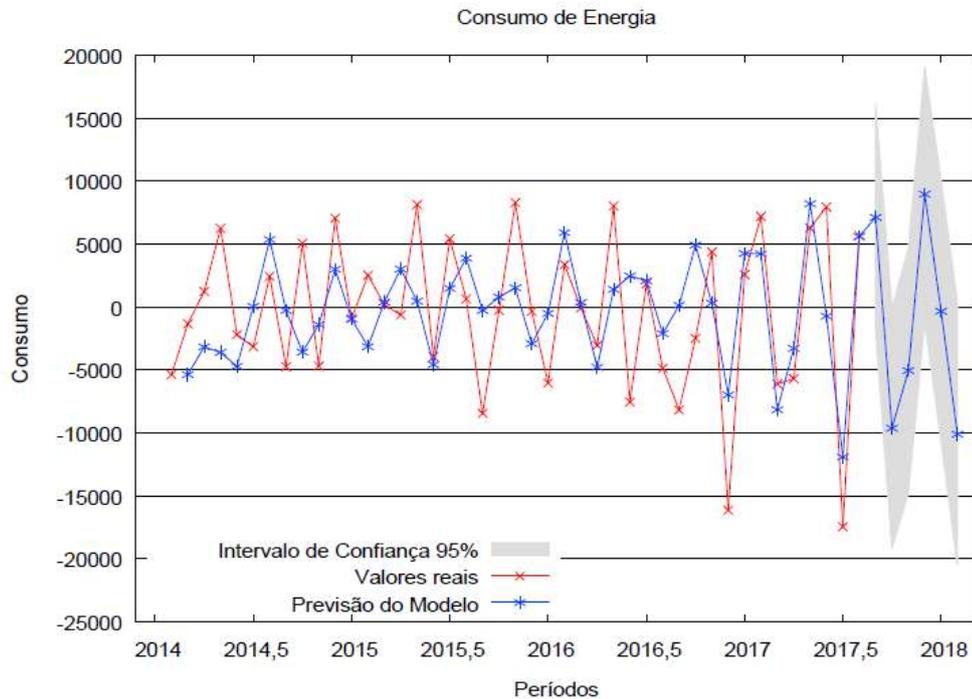
Fonte: DADOS DA PESQUISA.

Na Figura 11 observa-se que a previsão de produção de biomassa é constante para este modelo, uma vez que esta estimativa é dependente do número de animais abatidos na unidade frigorífica, apresentando intervalo de confiança de 95%.

Figura 12. Projeção da produção de energia

Fonte: DADOS DA PESQUISA.

Na Figura 12 são apresentadas as projeções para estimativa de produção de energia oriunda do sistema proposto de biodigestão com base na série observada. O modelo ARIMA foi utilizado para mostrar o comportamento da produção de energia, apresentando quatro períodos curtos de queda ao longo do período projetado. Entretanto observa-se que a produção apresentou estabilidade no período de projeção correspondente aos seis meses posteriores. E um potencial de crescimento no período analisado com tendência de crescimento no horizonte de seis meses.

Figura 13. Projeção do consumo de energia

Fonte: DADOS DA PESQUISA.

As projeções realizadas para todas as séries da quantidade de animais abatidos, produção de biomassa e de energia, apresentaram na sua maioria um potencial de crescimento no período analisado, com exceção da quantidade energia consumida no primeiro semestre de 2017, como pode ser confirmado na Figura 13.

A redução significativa no consumo de energia é explicada pelo estabelecimento de programas de capacitação de funcionários para controle de consumo de energia assim como substituição de máquinas, uma vez que o número de animais abatidos não sofreu alteração.

As Figuras mostram os valores observados na série temporal de 2014 a 2017 e as projeções para o número de animais abatidos em um horizonte de seis meses. O modelo foi significativo, com $p < 0,05$, entre a observação e a projeção da série a qual se mostrou praticamente constante para o horizonte previsto.

O modelo se mostrou capaz de realizar previsões confiáveis em um período de seis meses. Roldan e Miyake (2004) relatam que, quanto mais próxima da realidade for a previsão, maior será o grau de atendimento da demanda pela produção programada.

O trabalho apresenta contribuição tecnológica, pois evidencia a importância do uso de métodos quantitativos de previsão no suporte à decisão empresarial. A confiabilidade dos dados gerados pode proporcionar melhor ajuste no planejamento das operações, melhorar a qualidade do processo de decisões da empresa. Os resultados desse trabalho indicaram que a metodologia Box e Jenkins é um modelo apropriado para previsão de demandas em frigoríficos de bovinos.

5.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Para análise econômica do projeto foi considerada a média de animais abatidos na unidade, estimativa da produção de biomassa, biogás, energia e consumo de energia (Tabela 4).

Tabela 4. Média de animais abatidos e estimativa de produção de biomassa, biogás e energia elétrica

Quantidade de animais abatidos (unidades/mês)	Produção de biomassa (kg/mês)	Produção de biogás (m ³ /mês)	Produção de energia elétrica (kw/h/mês)
2.891	10.9858	7.690	9.997

Fonte: DADOS DA PESQUISA.

A Tabela 4 apresenta a média mensal de animais abatidos na unidade. A partir deste valor estimou-se a previsão da quantidade de biomassa, biogás e de energia produzidos no mesmo período analisado.

O frigorífico apresentou neste mesmo período média de consumo na ponta de 2049 kw/h/mês e consumo de 23686 kw/h/mês fora de ponta, que corresponde a 93% do consumo total (Tabela 5). O estabelecimento se encontra no subgrupo A4, onde os valores tarifários são: R\$ 2,07029 (Ponta), R\$ 0,25223 (Fora da Ponta) e R\$ 36,00 (Demanda contratada) (ENERGISA, 2017).

Tabela 5. Estimativa de consumo e custos de energia consumida da concessionária ao mês

Período	Ponta	Fora da Ponta	Demanda	Total
Consumo (kwh)	2049	23686	115	-
Valor com impostos R\$/kwh	3,02	0,37	36,72	-
Custos/R\$/mês	6.187,98	8.763,82	4.222,80	19.174,60
Custos/R\$/ano	-	-	-	230.095,20

Fonte: DADOS DA PESQUISA

Horário de ponta é o período de 3 (três) horas consecutivas exceto sábados, domingos e feriados nacionais, definido pela concessionária, em função das características de seu sistema elétrico. Em algumas modalidades tarifárias, nesse horário a demanda e o consumo de energia elétrica têm preços mais elevados. Horário fora de ponta corresponde às demais 21 horas do dia.

A estrutura tarifária do frigorífico é horo sazonal verde. Essa modalidade tarifária exige um contrato específico com a concessionária, quando se estabelece demanda pretendida pelo consumidor, independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta. A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem. A demanda de potência deve ser obrigatoriamente e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).

Os impostos são regulados pela ANEEL, que tem a missão de garantir uma tarifa justa ao consumidor e, paralelamente, preservando a estabilidade financeira das concessionárias, então segundo essa agência de regulação e fiscalização, o cálculo de tais tributos (PIS, COFINS e ICMS) se dá da seguinte maneira:

$$Tarifa_{contributos} = \frac{Tarifa_{normal}}{[1 - (PIS + COFINS + ICMS)]} \quad (11)$$

Aplicando os valores de imposto e utilizando o valor da tarifa estipulado pela energisa para a classe de consumo da empresa em estudo, chega-se ao valor de R\$ 0,36828 por kWh no horário fora ponta e R\$ 3,022829 por kWh no horário de ponta para o ano inicial. E demanda contratada (115 kwh) no valor de R\$ 36,00 por kwh (Tabela 5). Posteriormente foram feitos cálculos avaliando os dois cenários: com consumo de energia apenas da concessionária e consumo de energia com implantação do sistema de biodigestão. Através destas avaliações foi possível determinar o abatimento nos custos anuais da empresa (Tabelas 6 e7) e a economia gerada.

Tabela 6. Abatimento no consumo de energia utilizando o sistema de biodigestão

Abatimento sobre o consumo na ponta (kwh/mês)	Abatimento sobre o consumo fora da ponta (kwh/mês)
7.948	15.738

Fonte: DADOS DA PESQUISA

Conforme a Tabela 6 o abatimento sobre o consumo na ponta seria de 7948 kwh/mês (9997-2049 kwh/mês) e o abatimento fora da ponta de 15738 kwh/mês (23686-7948 kwh/mês). Verifica-se que com o sistema de biodigestão a unidade não teria custos com consumo de energia no horário de ponta, o que leva a uma grande economia visto que o valor tarifário neste período é de R\$ 3,022829 por kWh. A Tabela 7 demonstra os custos de energia com o novo sistema.

Tabela 7. Custos de energia com o abatimento

Custos fora de ponta (R\$)	Custos da demanda contratada (R\$)	Custos ao mês (R\$)	Custos ao ano (R\$)	Custos ao ano com a manutenção do sistema (R\$)
5.823,06	4.222,80	10.045,86	120.550,32	132.550,32

Fonte: DADOS DA PESQUISA

Na Tabela 7 estão demonstrados os custos no período fora de ponta (15738 kwh x R\$ 0,37= R\$ 5823,06); os custos da demanda contratada (115kwh x R\$ 36,72 = 4222,80) e os custos anuais, acrescidos do valor total da manutenção do sistema (Tabela 10). Os custos dos dois cenários estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Avaliação dos custos nos dois cenários

*I cenário	*II cenário	Economia com o sistema de biodigestão
R\$ 230.095,20	R\$ 132.550,32	R\$ 97.544,88

*Custos de energia consumida da concessionária/**Custos de energia com implantação do sistema de biodigestão.

Fonte: DADOS DA PESQUISA

Com a implantação do sistema de biogás se obterá uma economia de R\$ 97.544,88 ao ano (Tabela 8). Para o planejamento orçamentário foi realizado levantamento de preços com empresas que atuam na região (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9. Planilha orçamentária

Itens	Quant.	Valor Total (R\$)
Sistema de 2 biodigestores (996m ³) e 1 lagoa de decantação de biofertilizante (1116m ³)	3	290.000,00
Conjunto de Agitadores automatizados para biodigestor	1	55.000,00
Grupo gerador a biogás 180 KVA	1	195.000,00
Quadro de conexão/chave seccionadora e cabeamento	1	60.000,00
Filtro de H ₂ S e desumidificador para biogás	1	33.000,00
Projeto e aprovação da geração junto à concessionária	1	5.000,00
Terraplanagem	1	2.000,00
Total	-	640.000,00

Fonte: DADOS DA PESQUISA

O investimento para a construção do biodigestor, a aquisição e a instalação de equipamentos para aproveitamento do biogás foi de R\$ 640.000,00. O biodigestor em estudo, apresenta capacidade de armazenar 996m³ de matéria orgânica (resíduos e água), cada um, com tempo de retenção da matéria de 45 dias.

As despesas anuais com manutenção e operação do biodigestor e equipamentos compõem os custos totais de implantação e estão ilustrados na Tabela 10.

Tabela 10. Despesas ao ano para funcionamento e manutenção do sistema

Custo de manutenção anual	Quantidade	Preço da unidade (R\$)	Preço Total (R\$)
Troca de filtro do Biogás	24	90,00	2.160,00
Troca de óleo e filtro do grupo gerador	6	400,00	2.400,00
Energia consumida pelos equipamentos do sistema (kwh)	20.2000	0,3683	7.440,00
Total	-	-	12.000,00

Fonte: DADOS DA PESQUISA

A produção média diária de resíduos é de 3.661 kg, que produzirão diariamente, 256 m³ de biogás. Em condições ideais de operação e manutenção, o biodigestor tem capacidade para funcionar os 365 dias ao ano. Nesse caso, a produção de biogás será de 93.440 m³ de biogás equivalente a aproximadamente, 121.000 kwh/ano. Nesse contexto, o potencial energético de 1 m³ de biogás equivale a 1,3 kWh, valor inferior ao encontrado por Sganzerla (1983) e Nogueira (1986), em que o potencial energético de 1 m³ de biogás equivale a 1,43 kWh, ao que seria possível obter 134.000 kwh/ano consumindo os mesmos 93.440 m³ de biogás.

A partir dos custos para implantação manutenção e economia gerada com o novo sistema foram calculados o VPL, a TIR e o *payback* para estimativa da viabilidade econômica (Tabela 11).

Tabela 11. Fluxo de caixa acumulado

Períodos (Anos)	Receita (R\$)	Investimentos (R\$)	TMA A.P. (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	<i>Payback</i> descontado em períodos (Anos)
11	97.544,88	640.000,00	5%	170.248,18	9,78	8,11

Fonte: DADOS DA PESQUISA.

Para o cálculo da viabilidade econômica, por meio do VPL, TIR e *Payback*, foi considerado um cenário de 11 anos, tempo médio da vida útil de alguns equipamentos do sistema de biodigestão. Brown et al. (2007), trabalhando com diversos cenários de produção, demonstraram, por meio de análises econômicas, que a energia elétrica gerada a base do biogás não é economicamente viável para todos os tamanhos de propriedades agrícolas estudadas, enfatizando que, em propriedades de médio e grande porte, o benefício gerado é maior. Com relação à produção de energia e à capacidade de funcionamento de um conjunto moto gerador, Coldebella et al. (2006), em estudo sobre a viabilidade da cogeração de energia elétrica com biogás proveniente da bovinocultura de leite, afirmaram que os custos da energia elétrica, gerada via biogás, estavam relacionados aos tempos de recuperação do investimento e de operação do sistema, traduzidos em quantidade de energia produzida e valor da tarifa praticada pela concessionária local.

Outro aspecto importante, refere-se aos benefícios ambientais da utilização do biogás como fonte geradora de energia elétrica. Metha (2002) classificou os benefícios da produção de biogás, por meio da biodigestão anaeróbia, em benefícios monetários e ambientais. Goodrich et al. (2005) também admitiram que, para uma completa avaliação da viabilidade econômica do biogás importante relacionar não só os benefícios financeiros, mas também os ambientais.

Os valores resultantes da análise da viabilidade econômica são favoráveis à construção de biodigestores anaeróbios modelo canadense em frigoríficos de pequeno a médio

porte.com a finalidade de produzir biogás possibilitando dessa forma, aperfeiçoar o uso dessa importante fonte de energia renovável.

Observa-se que o payback descontado é de 8,11 anos. A TIR é a taxa de juros que faz com que o VPL seja nulo, ou seja, VPL maior ou igual a zero, significa que o projeto é viável. Nesse contexto, o valor do VPL corresponde a R\$ 170.248,18 isto é, o investidor aplicou R\$ 640.000,00 e ainda ganhou o VPL. A TIR é 9,78%, valor considerável, já que é maior que a TMA. Portanto, o projeto apresentado é considerado viável economicamente.

6 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que existe viabilidade técnica e econômica na implantação de um sistema de biodigestão utilizando resíduos úmidos de frigorífico de bovinos. Foi apresentada uma série temporal para número de cada produto somado à confiabilidade da ferramenta e o método auto-regressivo linear ARIMA gerou dados dentro do intervalo de confiança de 95%.

Os valores observados na série temporal de 2014 a 2017 e as projeções para o número de animais abatidos em um horizonte de seis meses. O modelo foi significativo, com $p < 0,05$, entre a observação e a projeção da série a qual se mostrou praticamente constante para o horizonte previsto. Os resultados desse trabalho indicaram que a metodologia Box e Jenkins é um modelo apropriado para previsão de demandas em unidades frigoríficas.

A viabilidade econômica foi comprovada através da avaliação dos investimentos considerando o potencial de geração de energia dos resíduos. O *payback* descontado será de 8,11 anos. A TIR de 9,78%, maior que a TMA (5%). Portanto, o sistema de geração de energia a biogás no frigorífico analisado é uma alternativa atrativa, além de proporcionar ganho ambiental com tratamento de efluentes e redução da emissão de gases de efeito estufa.

REFERÊNCIAS

- ABIEC. **Perfil da pecuária brasileira**. 2017. Disponível em: <http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp>. Acesso em: 30 de outubro de 2017.
- ABRAHAM, B.; LEDOLTER, J. **Statistical Methods for Forecasting**. New York, John Wiley & Sons, 1983. 445 p.
- ALVES, F. **Como calcular o payback?** 2014. Disponível em: <https://www.industriahoje.com.br/como-calcular-o-payback>. Acesso em: 20 de outubro de 2017.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Matriz brasileira de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>> 2017. Acesso em: 22 de outubro de 2017.
- ARÊDES, A. F. DE; PEREIRA, M. W. G., Potencialidade da utilização de modelos de Séries temporais na previsão do preço do trigo no estado do Paraná. *Rev. de Economia Agrícola*, São Paulo, v. 55, n. 1, p. 63-76, jan./jun. 2008.
- ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. São Paulo: Atlas, 2003.
- BESSA, M. L. et al. **Estado do Tocantins: a Produção e Exportação de Carne Bovina**. 63^a Reunião Anual SBPC. Disponível em: <<http://www.sbpnet.org.br/livro/63/resumos/7701.htm>>. Acesso em: 05 de junho de 2017.
- BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática**. São Paulo: Ed. Contexto, 2004. 389 páginas. Modelos de Previsão – Conceitos Básicos.
- BATTIMELLI, A.; CARRÈRE, H.; DELGENÈS, J. P. Saponification of fatty slaughterhouse wastes for enhancing anaerobic biodegradability. *Bioresource Technology*, v. 100, n. 15, p. 3695-3700, 2009.
- BATTIMELLI, A.; TORRIJOS, M.; MOLETTA, R.; DELGENÈS, J. P. Slaughterhouse fatty waste saponification to increase biogas yield. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 10, p. 3388-3393, 2010.
- BROWN, B. B.; YRIDOE, E. K.; GORDON, R. Impact of single versus multiple policy options on the economic feasibility of biogas energy production: Swine and dairy operations in Nova Scotia. *Energy Policy*, Nova Scotia, v. 35, p. 4597-4610, 2007.
- COLDEBELLA, A. Viabilidade do uso do biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais. 2006. **Dissertação** (Mestrado – Pós-Graduação em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel.
- DEGANUTTI, R. P. et al. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Departamento de Arquitetura, Artes e Representações Gráficas, UNESP: Bauru, 2002.

BOX, G. E. P.; JENKINS, G. M. **Time series analysis forecasting and control**. San Francisco: Holden Day. Edição revisada. 1976.

BRAZ, O. S.; ARAÚJO, R. A.. **Grupo Motor Gerador de energia elétrica movido a biogás**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade de Franca, Franca.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. **Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial**. 11 Ed. São Paulo. Ed. Atlas, 2007. 411p.

ENERGISA. **Extrato e Segunda Via da Conta**. 2017. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/paginas/servicos-online/autoatendimento/extrato-e-2via.aspx?cdc=8/590601-1>>. Acesso em: 10 de setembro de 2017.

ESPÍNDOLA, A. M. S. 2013. Inteligência competitiva e modelos de séries temporais para previsão de consumo: o estudo de uma empresa do setor metalúrgico. 2013. 134 f. **Dissertação** (Mestrado em Administração – Administração da produção) – Universidade Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2013.

FAVA, V.L. **Análise de Séries de Tempo**. In: Vasconcellos, M.A.S.; Alves, D. Manual de econometria: nível intermediário. São Paulo: Atlas, 2000.

FISCHER, S. Séries univariantes de tempo: metodologia de Box e Jenkins. Porto Alegre, FEE, 1982 186 p. **Dissertação** (Mestrado em Economia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1982.

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**, Florianópolis, 2003.

_____. **Geografia de Porto Nacional**. 2016. Disponível em: <https://jornalismoambiental.uniritter.edu.br/?p=1178>. Acesso em: 19 de junho de 2017. Disponível em: <http://pt.db-city.com/Brasil--Tocantins--Porto-Nacional>. Acesso em: 12 de Junho de 2017.

GOODRICH, P. R.; SCHMIDT, D.; HAUBENSCHILD, D. Anaerobic digestion for energy and pollution control. **Agricultural Engineering International: E. Journal**, St. Paul, USA , v. 7, pp. Manuscript EE 03 001, 2005.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: 10 de julho de 2017.

GRANGER, C. W. J.; NEWBOLD, P. **Forecasting Economic Time Series**. London, Academic Press, 1986. 211p.

GRETLL 2015. Disponível em: < http://gretl.sourceforge.net/win32/index_pt.html>. Acesso em: 10 de Agosto de 2017.

HORTA, L.A. N.. **Biodigestão A Alternativa Energética**. São Paulo: Nobel, 1986.

_____. **Jornalismo Ambiental UNIRITTER.** 2016. Disponível em: <https://jornalismoambiental.uniritter.edu.br/?p=1178>. Acesso em: 19 de junho de 2017.

KARLSSON, T. **Manual básico de biogás.** Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/p>. Acesso em: 12 de junho de 2017.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás.** 2006. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63324/1/Paginas-de-pol-agr-03-20064-p.-28-35.pdf>. Acesso em: 04 de julho de 2017.

LA FARGE, B. **LE BIOGAZ. Procèdes de Fermentation Méthanique.** Paris, Masson, 1979.

LIMA, A. K. C et al. **Aproveitamento energético do biogás a partir de resíduos sólidos.** 2014. Disponível em: <http://www.educacaopublica.rj.gov.br/biblioteca/quimica/0021.html>. Acesso em: 02 de agosto de 2017.

MASSÉ, D. I.; MASSE, L. Characterization of wastewater from hog slaughterhouse in Eastern Canada and evaluation of their in-plant wastewater treatment systems. **Canadian Agricultural Engineering**, v. 42, p. 139-146, 2000.

MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S.; HYNDMAN, R. J. **Forecasting methods and applications.** 3. ed. New York: John Wiley e Sons, 1998.

METHA, A. **The economics and feasibility of electricity generation using manure digesters on small and mid-size dairy farms.** Madison: University of Madison, 2002.

MOUNEIMNE, A. H.; CARRÈRE, H.; BERNET, N.; et al. Effect of saponification on the anaerobic digestion of solid fatty residues. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 1, p. 89-94, 2003.

MORETTO et al., **Administração pública municipal de resíduos sólidos em Santa Maria – RS: Uma Reflexão Ambiental.**V(1), n°1, p. 99-114, 2010. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental** REGET-CT/UFSM.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. **Análise de séries temporais.** Blucher, 2006.

MOORE, D. S. **The Basic Practice of Statistics.** New York, 200 p., 2007.

MORETTIN, P. A.; BUSSAB, W. O. **Estatística Básica.** 6. ed. – São Paulo: ISBN. 978-85-02-08177-2. Saraiva, 2010.

NOGUEIRA, E. Análise de Investimentos. In. BATALHA, M. O. (Coord.). **Gestão Agroindustrial:** GEPAl: grupo de estudos e pesquisas agroindustriais. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 419 p.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias industriais**. Gráfica Editorial J Andrade. Aracaju - SE, 2008, 315p.

OLIVEIRA, R.D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. Trabalho de conclusão de curso. São Carlos – SP. 2009.

PACHECO, J. W.; YAMANAKA, H. T. **Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno) – série P+L**. São Paulo, CETESB, 2008.

PELLEGRINI, F. R.; FOGLIATTO, F. S. Passos para Implantação de Sistemas de Previsão de Demandas Técnicas e Estudo de Caso. **Revista Produção**, v. 11 n. 1, Novembro de 2001.

RIBEIRO, E. A. **Tratamento de efluentes de abate bovinos com lagoas de estabilização e impacto do lançamento sobre o corpo receptor**. Anápolis, 2010.

ROLDAN, F.; MIYAKE, D. **Mudanças de forecast na indústria automobilística: Iniciativas para a estruturação dos processos de tomada de decisão e processamento da informação**. v. 11, n. 3, p. 413-427, 2004. Disponível em : <
<http://www.scielo.br/pdf/gp/v11n3/a13v11n3>> Acesso: 10 agosto de 2017.

SALOMOM, K. , R.; FILHO, G., L., T. **Biomassa - Série de Energias Renováveis**, 1º edição Itajubá, 2007.

SANTOS, P. **Guia Técnico de biogás**. CCE – Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN – Agência para Energia, Amadora, Portugal, 200. 117p. 2006.

SANTOS, E.L.B.; JUNIOR, G. N. **Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal**. Tekhne e Logos, Botucatu – SP, v 4, n 2, 2013.

SANTOS, M.G.R.S; MOTHÉ, C.G. Fontes alternativas de energia. **Revista Analytica**, n.32, p.56-70, 2008.

SARCINELLI, M.F. ; VENTURINI, K. S.; SILVA, L. C. **Abate de bovinos**. Universidade Federal do Espírito Santo - UFES Pró-Reitoria de Extensão - P r o g r a m a Institucional de Extensão Boletim Técnico - PIE-UFES:007 - Editado: 01.08.2007.

WERNER, L. e RIBEIRO, J. L. D. Previsão de Demanda: Uma aplicação dos modelos Box-Jenkins na área de assistência técnica de computadores pessoais. **Revista Gestão e Produção**, v. 10, n. 1, p. 47-67, abr. 2003.

ZERBINI, T. **Energia elétrica: o Tocantins é doador de ICMS. 2015**. Disponível em: <
<http://www.clebertoledo.com.br/n67555>>. Acesso em: 01 de julho de 2017.