



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE  
BIOGÁS EM GRANJAS DE SUINOS, POR MEIO DA  
ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Felipe Luis Rockenbach**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE  
BIOGÁS EM GRANJAS DE SUINOS, POR MEIO DA  
ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**

**Felipe Luis Rockenbach**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração em Gerência da Produção, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia de Produção**

**Orientador: Prof. Dr. Adriano Mendonça Souza**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Rockenbach, Felipe Luis

VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM GRANJAS DE SUINOS, POR MEIO DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS

Felipe Luis Rockenbach.-2014.

70 p.; 30cm

Orientador: Adriano Mendonça Souza

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS, 2014

1. Biodigestores 2. Biogás 3. Energia Renovável 4.

Renda 5. Séries Temporais I. Souza, Adriano Mendonça II.

Título.

© 2014

Todos os direitos reservados a Felipe Luis Rockenbach. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Bonfim, 2077, Jardim La Salle, Toledo, PR. CEP 85902-080

Fone: (45) 9973 1685 – E-mail: felipelr@sanepar.com.br

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS  
EM GRANJAS DE SUINOS, POR MEIO DA ANÁLISE DE  
SÉRIES TEMPORAIS**

elaborada por  
**Felipe Luis Rockenbach**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia de Produção**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Adriano Mendonça Souza, Dr. (UFSM)**  
Presidente/Orientador

---

**João Helvio Righi de Oliveira, Dr.(UFSM)**  
Membro da Banca

---

**Vera Lúcia Bodini, Dra.(UNISC)**  
Membro da Banca

Santa Maria, 06 de março de 2014.

## DEDICATÓRIA

Dedico este estudo para  
minha esposa Terezinha Maria Schardong Rockenbach  
e aos meus filhos Lucas Felipe e Mateus Luís Rockenbach.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pelo dom da vida e pelo objetivo alcançado.

A minha esposa Terezinha, pelo apoio e compreensão em todos os momentos.

Aos meus filhos Lucas e Mateus, pelo apoio e acompanhamento em vários momentos.

Aos meus pais, pelo incentivo de que o caminho do ensino é para toda a vida.

Ao orientador Professor Dr. Adriano Mendonça Souza, pela competência, apoio fundamental, encorajamento no Mestrado e pelo apoio na elaboração deste estudo.

A banca examinadora, em especial ao Professor Dr. João Helvio Righi de Oliveira, pelas contribuições prestadas ao estudo.

Ao Juliano de Souza, proprietário da empresa Biogás Motores Ltda., que, prontamente, sempre auxiliou no repasse de informações e esclarecimentos.

Aos suinocultores Jenuíno e Tito Troian, pelo repasse de dados de produção, consumo e imagens das granjas.

Aos diversos Técnicos e Colaboradores da Empresa BRF, pelo auxílio na coleta de dados e esclarecimentos de dúvidas.

Aos Colaboradores, Técnicos e Diretoria da Associação Municipal de Suinocultores de Toledo, no repasse de dados e esclarecimentos.

Aos colegas, em especial a Severino Augusto Bezerra, Leoclides Roso Bisognin e André Fernando Hein, pelo incentivo e apoio desde o início até a conclusão desta jornada.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria, pelo conhecimento e pelas orientações transmitidas.

A todos os Colaboradores da Universidade Federal de Santa Maria, em especial aos do Centro de Tecnologia – Moacir, Jari, Márcia e Fernando, pela amizade e pela pronta dedicação no atendimento.

Aos Colegas do Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da UFSM, que auxiliaram nas dificuldades encontradas.

E aos colegas e aos novos amigos desta jornada que, de alguma forma, auxiliaram para que este estudo fosse concluído.

*Sou um só, mas ainda assim sou um. Não posso fazer tudo, mas posso fazer alguma coisa. Por não poder fazer tudo, não me recusarei a fazer o pouco que posso.*

(Edward Everett Hale (1823-1909), clérigo e escritor norte-americano).

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabulação dos dados do sistema de queima de biogás Sadia .....	40
Tabela 2 – Suínos alojados diariamente e o volume produzido de dejetos em Toledo.....	46
Tabela 3 – Volume e custo parcial do sistema de produção de biogás .....	48
Tabela 4 – Volume equivalente diário de outras fontes de energia em relação ao biogás previsto e estimado para todas as granjas de Toledo ao dia .....	49
Tabela 5 – Relação de consumo biogás, produção de energia elétrica e custo dos equipamentos .....	50
Tabela 6 – Modelagem granja de matrizes.....	52
Tabela 7 – Previsão da produção (m <sup>3</sup> ) de biogás <i>per capita</i> por matriz.....	54
Tabela 8 – Modelagem granja de terminação.....	56
Tabela 9 – Previsão da produção (m <sup>3</sup> ) de biogás <i>per capita</i> por terminado.....	57
Tabela 10 – Volumes previstos em bibliografia e obtidos de produção de energia elétrica e créditos de carbono em granjas de Toledo .....	58
Tabela 11 – Custos e período previsto para retorno do investimento com créditos de carbono e energia elétrica.....	60
Tabela 12 – Custos e período previsto para retorno do investimento com energia elétrica .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz suína e sua prole .....	22
Figura 2 – Suínos terminação .....	23
Figura 3 – Esquema de funcionamento de biodigestor anaeróbio.....	28
Figura 4 – Sistema completo: biodigestor, depósito, medidor e queimador .....	29
Figura 5 – Conjunto motogerador Ciclo Otto.....	30
Figura 6 – Etapas para previsões .....	32
Figura 7 – Acesso ao banco de dados.....	38
Figura 8 – Acesso ao banco de dados.....	39
Figura 9 – Acesso ao banco de dados.....	39
Figura 10 – Fluxograma das etapas da metodologia utilizada.....	41
Figura 11 – Produção diária (m <sup>3</sup> ) de biogás <i>per capita</i> por matriz.....	51
Figura 12 – FAC e a FACP do volume original diário de produção de biogás <i>per capita</i> por matriz .....	51
Figura 13 – Função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial para os resíduos do modelo AR(1) com constante, do volume diário de biogás <i>per capita</i> por matriz.....	53
Figura 14 – Valores reais, ajustados e resíduos (m <sup>3</sup> ) do modelo AR(1) com constante do volume diário de biogás produzido por matriz .....	53
Figura 15 – Produção diária (m <sup>3</sup> ) de biogás <i>per capita</i> por terminado .....	55
Figura 16 – FAC e a FACP do volume original diário de produção de biogás <i>per capita</i> por terminado .....	55
Figura 17 – Função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial para os resíduos do modelo AR(1) com constante do volume diário de biogás <i>per capita</i> por terminado .....	56
Figura 18 – Valores reais, ajustados e resíduos (m <sup>3</sup> ) do modelo AR(1) com constate, do volume diário de biogás produzido na granja de terminação .....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	<i>Akaike Information Criteria</i>
AMST	Associação Municipal dos Suinocultores de Toledo
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BIC	<i>Schwartz Bayesian Criteria</i>
BRF	Empresa do ramo de produtos alimentícios e proteínas animais
CCE	Centro para conservação de energia
CER	Certificados de Emissões Reduzidas
CFC	Cloro Flúor Carbono
CH <sub>4</sub>	Gás metano
CIRAM	Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAC	Função de Autocorrelação
FACP	Função de Autocorrelação Parcial
GEE	Gases de Efeito Estufa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas)
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
N <sub>2</sub> O	Óxido Nitroso
O <sub>3</sub>	Gás ozônio
ONU	<i>United Nations</i> (Organização das Nações Unidas)
PNMA	Programa Nacional do Meio Ambiente
PTI	Instituto Parque Tecnológico de Itaipu
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SEAB	Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Paraná
t CO <sub>2</sub> e/ano	Toneladas de gás carbônico equivalente ao ano

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção  
Universidade Federal de Santa Maria

### **VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM GRANJAS DE SUÍNOS, POR MEIO DA ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**

AUTOR: FELIPE LUIS ROCKENBACH

ORIENTADOR: ADRIANO MENDONÇA SOUZA

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 06 de março de 2014.

O presente estudo visa reunir, analisar e interpretar o potencial e a viabilidade econômica do sequestro de gás carbônico e/ou a geração de energia renovável proveniente do tratamento de dejetos suínos, por meio da análise de séries temporais, com utilização dos modelos de previsão Box e Jenkins (1970). Como os sistemas de produção de suínos geram grande quantidade de dejetos altamente poluentes e impactantes no meio ambiente, principalmente os gases de efeito estufa, estes, ao serem tratados, produzirão o gás metano e dentro deste o biogás que, ao ser eliminado corretamente é convertido em energia elétrica e em créditos de carbono, restando na propriedade um biofertilizante de alta qualidade. Cenário do sequestro de gás carbônico que só foi possível após a aprovação do Protocolo de Quioto que prevê o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER) e, no âmbito da energia elétrica, pela Resolução Regulamentadora 482/2012 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para o levantamento dessas informações, contou-se com o apoio da Associação Municipal dos Suinocultores de Toledo (AMST) e da Empresa BRF. Esta pesquisa demonstra que é viável a utilização do biogás e que o período de retorno obedece a uma escala de produção com um funcionamento diário dos equipamentos de 10 horas ou mais. Dessa forma, o período do retorno do investimento será entre 70 a 80 meses, com a produção de energia elétrica e/ou em conjunto com a produção de créditos de carbono. Mostra também que o volume de produção é viável, desde que aloje um número mínimo de suínos. Além disso, o uso de modelos de previsão é importante ferramenta, pois antecipam o comportamento da série em estudo, fornecendo ao produtor subsídios para que o investimento seja feito reduzindo o risco ao suinocultor, tanto nos aspectos financeiros, pois a granja terá mais uma fonte de renda, quanto na redução dos custos de produção, já que terá autonomia no fornecimento de energia elétrica ininterruptamente, o que é necessário nos sistemas de criação cada vez mais tecnificados.

**Palavras-chave:** Biodigestores. Biogás. Energia Renovável. Renda. Séries Temporais.

## **ABSTRACT**

### **ECONOMIC VIABILITY OF PRODUCING BIOGAS ON SWINE FARMS, THROUGH TIME SERIES ANALYSIS**

This study aims to gather, analyze, and interpret the potential and economic feasibility of sequestering carbon dioxide and/or generating renewable energy from the processing of pig manure, via time series analysis, using the Box and Jenkins (1970) models for future prediction. Swine production systems generate large amounts of waste which are highly polluting and impact the environment, principally greenhouse gases. When treated, these gases produce methane gas and in turn biogas, which when removed correctly is converted into electricity and carbon credits, leaving behind a high quality biofertilizer. This scenario of carbon dioxide sequestration was only possible after the adoption of the Kyoto Protocol, which provides for the Clean Development Mechanism (CDM) and the sale of Certified Emission Reductions (CER); electrical energy was affected by Regulatory Resolution 482/2012 of the National Electric Energy Agency (ANEEL). Data were gathered with the support of the Municipal Association of Swine Producers of Toledo (AMST) and the BRF Company. This study demonstrates that it is feasible to use biogas and that the payback period follows a production scale with equipment operating 10 hours or more daily. Consequently, the payback period will be between 70 and 80 months, with production of electrical energy and/or in conjunction with the production of carbon credits. The study also shows that the production volume is feasible and should accommodate a minimum number of pigs. In addition, prediction models are important tools since they anticipate the behavior of the series under study, providing support so that investments can be made, reducing risks to the both the swine producer (in the area of finances) and to the farm, as well as allowing for another source of income. By reducing production costs, autonomy is guaranteed in ensuring an uninterrupted supply of electricity, which is needed for swine operations which become more and more dependent on technology.

**Keywords:** Digesters. Biogas. Renewable Energy. Income. Time Series Analysis.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Tema da pesquisa</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 Justificativa e importância do trabalho</b> .....	<b>15</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>16</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos:.....	16
<b>1.4 Delimitação da pesquisa</b> .....	<b>16</b>
<b>1.5 Organização do trabalho</b> .....	<b>16</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 Destinação ambientalmente correta e o retorno financeiro do biogás</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2 Protocolo de Quioto</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3 Dejetos suínos, de vilão à fonte de energia elétrica e renda na suinocultura</b> .....	<b>23</b>
<b>2.4 A digestão da matéria orgânica em biodigestor</b> .....	<b>28</b>
<b>2.5 A energia elétrica advinda do biogás</b> .....	<b>30</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>37</b>
<b>3.1 Etapas metodológicas</b> .....	<b>41</b>
<b>4 ESTUDO DE CASOS</b> .....	<b>45</b>
<b>4.1 Granjas de matrizes e de terminação</b> .....	<b>45</b>
4.1.1 Modelagem Box e Jenkins dos valores obtidos em granja de matrizes .....	51
4.1.2 Modelagem e valores obtidos em granjas de terminação.....	54
4.1.3 Valores futuros obtidos através da modelagem .....	57
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>5.1 Recomendações para pesquisas futuras</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>66</b>
<b>GLOSSÁRIO</b> .....	<b>70</b>

## INTRODUÇÃO

Com a assinatura do Protocolo de Quioto, pela Organização das Nações Unidas (ONU (1997)), surgiu uma nova oportunidade de negócio no mercado internacional: a comercialização de créditos de carbono por meio da redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), pois, na década de 80 esses efeitos tornaram-se mais visíveis e notórios, desencadeando estudos mais aprofundados sobre sua origem e de formas de mitigar, globalmente, os impactos no meio ambiente.

Uma das medidas encontradas foi a de remunerar os países que reduzissem as emissões dos gases que ocasionam o efeito estufa, aqueles que atuam diretamente na camada de ozônio. A remuneração por créditos de carbono reduzidos refere-se aos gases com maior fator poluidor: o dióxido de carbono ou gás carbônico (CO<sub>2</sub>); o cloro flúor carbono (CFC); o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); o dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>); e o metano (CH<sub>4</sub>), este último, um gás altamente inflamável, sem fuligem, inodoro, incolor e nocivo ao meio ambiente.

Logo, para reduzir a poluição é necessário diminuir a produção industrial ou de animais ou aplicar medidas de redução desses fatores poluentes. Neste último, enquadra-se a redução dos GEE por intermédio da transformação em poluentes menos agressivos, como a queima do gás metano, contido no biogás advindo da digestão da matéria orgânica proveniente do tratamento dos dejetos. Os suínos são utilizados na alimentação humana e a população, com a melhoria da qualidade de vida, passa a consumir mais alimentos, elevando assim, a quantidade de subprodutos poluentes, como os dejetos e outros resíduos.

Diante disso, este mercado produtivo apresenta possibilidades de remuneração com a produção sustentável e com a preservação ambiental, utilizando-se do tratamento de dejetos animais, os quais, sem tratamento adequado, produzem uma imensurável agressão ao meio ambiente, conforme Miele (2006), tanto no solo, quanto na água e no ar.

No solo, o excesso de nutrientes provoca o desbalanceamento das necessidades dos vegetais cultivados. Na água, contribui para a poluição dos mananciais utilizados nas indústrias e na dessedentação humana e dos animais. Isso ocorre tanto nos lençóis subterrâneos quanto nos superficiais devido ao excesso de matéria orgânica e pela nitrificação dos corpos hídricos. No ar, produz um odor desagradável e agressivo, além de representar uma das causas do aquecimento global, com os GEE, que contribuem para o aumento no buraco da camada de ozônio.

O potencial e a aptidão natural e histórica da região oeste do Paraná para a produção agropecuária, aliado ao clima ameno favorável e aos avanços tecnológicos, contribuem para o

aumento da produtividade e uma agricultura de alta performance. Alia-se a isso um sistema de fomento estruturado e de parcerias, que contribuem para o aumento da produtividade dando ao produtor condições de competir nos mercados nacionais e internacionais. Esta conjuntura garante um retorno financeiro satisfatório para todos os participantes da cadeia produtiva, hoje em franca expansão, principalmente nos estados do Sul do Brasil, expandindo-se para outras regiões do País.

Culminando com estes fatores, está se consolidando o aproveitamento de uma matriz energética esquecida no Brasil: o correto tratamento e a destinação dos resíduos da suinocultura por meio da utilização do tratamento anaeróbio. Pelo sistema, os dejetos passam a produzir o biogás, que contém o gás metano – a parte combustível do biogás – além de ser a matéria prima para a produção de energia elétrica e a forma de obtenção dos créditos de carbono.

Os estudos mostram que o processo somente é viável se aliado à grande volume de dejetos, alta tecnologia, genética aplicada nas granjas produtoras, qualidade de produção e quantidade de animais, pré-requisitos existentes na região, considerando a tradição de décadas da região em criações pecuárias de suínos, bovinos, caprinos, aves, peixes e outros animais, além da agricultura altamente tecnificada, com o plantio de soja, milho, trigo e outros grãos.

A produção agropecuária diversificada é importante na agregação de valores e na comercialização e/ou compensação do excedente, proporcionando um retorno financeiro satisfatório para os participantes dos processos produtivos, o mesmo devendo ocorrer com o biogás, que passará a ser uma alternativa de renda, como fonte de energia e obtenção de créditos de carbono, além de garantir o tratamento adequado de dejetos, viabilizando a propriedade de forma sustentável.

Visando auxiliar o produtor rural na tomada de decisão sobre a viabilidade e sobre o período de retorno financeiro na implantação do sistema de tratamento de dejetos suínos, com vistas à produção de biogás, neste estudo, foi utilizada a ferramenta de análise estatística de séries temporais e os valores atualizados com o auxílio de ferramentas matemáticas computacionais.

Para tanto, a fundamentação teórica utilizada foi baseada no método de Box e Jenkins (1970) para tratar as séries temporais e consiste na busca de um modelo estatístico que represente o processo estocástico gerador da série temporal em estudo. Assim, utilizaram-se os modelos Auto-regressivos Integrados de Médias Móveis (ARIMA), os quais captam o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação entre os valores da série temporal

passada e, com base nesta, pode-se realizar previsões futuras da produção de biogás nas granjas de suínos.

Após levantar o número de suinocultores, o potencial de produção e de poluição, pode ser estimado o potencial de produção de créditos de carbono e/ou de energia elétrica, comparando-os com o previsto em bibliografia e o efetivamente obtido/medido nas granjas de matrizes e de terminação.

Procura-se, portanto, demonstrar a viabilidade econômica e o período necessário para o retorno do capital investido no sistema de tratamento de dejetos suínos originado da venda de créditos de carbono e/ou de compensação de energia elétrica em granjas de suínos.

### **1.1 Tema da pesquisa**

A presente pesquisa visa analisar a viabilidade econômica do tratamento de dejetos suínos por meio da obtenção dos créditos de carbono e/ou da produção de energia elétrica, auxiliado pelas previsões dos modelos Box e Jenkins (1970) sobre o volume de biogás produzido diariamente por suínos em granjas de matrizes e de terminação.

### **1.2 Justificativa e importância do trabalho**

O mercado de créditos de carbono e produção de energia elétrica, a partir do tratamento dos dejetos dos suínos no Brasil é recente e emergente. Embora com altas e baixas nos valores, apresenta inúmeras possibilidades de remuneração devido à produção sustentável e à preservação ambiental por meio do tratamento de dejetos animais, que antes produziam uma imensurável agressão ao meio ambiente, tanto no solo, quanto na água e no ar.

Visando quantificar o valor monetário que se pode obter com a queima racional do biogás nas propriedades rurais, deve-se avaliar a viabilidade econômica do projeto com o retorno obtido com o sequestro de gás carbônico e da geração de energia elétrica.

Devido à crise europeia e mundial, o mercado do sequestro de gás carbônico apresenta-se em decadência. Por outro lado, é interessante economicamente, se o foco for a geração de energia elétrica. Ao ser consumida na propriedade, ela reduz os riscos de perdas ocasionadas pela sua interrupção e os custos de produção, promovendo a geração de renda ao produtor, ao mesmo tempo que preserva o meio ambiente, agregando mais uma fonte de rendimento ao produtor e viabilizando a permanência do homem no campo.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo Geral**

Mostrar a viabilidade econômica do tratamento de dejetos suínos, por meio da obtenção dos créditos de carbono e/ou da produção de energia elétrica, com o uso de ferramenta de análise estatística.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos:**

- a) levantar o número de suinocultores no município de Toledo – PR e o seu potencial de produção e de poluição;
- b) comparar o volume que poderá ser produzido de créditos de carbono e/ou de energia elétrica;
- c) levantar e comparar bibliograficamente os volumes previstos na produção de biogás e os produzidos em granjas monitoradas, modelando com ferramenta de análise estatística de séries temporais os valores medidos e prevendo os volumes futuros;
- d) verificar o período para o retorno do investimento; e
- e) demonstrar a viabilidade econômica da atividade.

### **1.4 Delimitação da pesquisa**

Este estudo procura demonstrar a produção efetiva de biogás nas granjas de matrizes e de terminação de suínos, que possuem o sistema de tratamento de resíduos em biodigestores e realizam a medição e queima do biogás. Também é limitado pela técnica de previsão que será utilizado somente os modelos da classe geral ARIMA.

### **1.5 Organização do trabalho**

O presente estudo divide-se em 6 capítulos. No Capítulo 1, é apresentada a introdução, o tema, problema, justificativa e os objetivos propostos.

No Capítulo 2, apresentam-se a revisão bibliográfica sobre o tratamento de dejetos suínos, a problemática causada por intermédio dos dejetos no meio ambiente, a produção de energia elétrica a partir do tratamento anaeróbico de dejetos de suínos em biodigestores, produção de energia renovável, o sequestro de gás carbônico tomando rumos e definições a partir do Protocolo de Quioto e as variações e definições no mercado de créditos de carbono.

No Capítulo 3, são apresentadas a metodologia e suas etapas metodológicas.

No Capítulo 4, apresenta-se o estudo de casos, a modelagem, os valores futuros previstos, os aspectos econômicos, o período de retorno do investimento e a viabilidade econômica.

Finalizando, as conclusões e recomendações, apresentam-se no Capítulo 5.

No capítulo 2, a revisão de literatura trará os caminhos percorridos e a percorrer dentro do tratamento de resíduos na suinocultura, que passa de fonte de produção dos mais variados e sérios impactos ambientais, a mais uma atividade econômica agregada à propriedade rural e fonte de retorno econômico para os suinocultores, com o uso de ferramentas estatísticas para auxiliar na tomada de decisão do investimento mais economicamente viável.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A produção de alimentos segue em paralelo com a ampliação do volume de resíduos e estes devem receber um tratamento ambientalmente correto, com vistas à mitigação dos impactos ao meio ambiente. Porém, junto com esta redução deve-se agregar um retorno financeiro ao biogás produzido, de acordo com as regras definidas no Protocolo de Quioto de como remunerar a redução da poluição, criando-se um mercado mundial para os créditos de carbono e os cálculos das emissões de poluição.

Nesta sistemática, com tal tratamento, os dejetos de suínos deixam de ser os vilões da poluição e passam a gerar ganhos financeiros por meio da geração de energia elétrica e de créditos de carbono.

Com o uso da metodologia de Box e Jenkins é possível prever-se a produção futura de biogás *per capita* por suíno, matriz e de terminação, mostrando-se a viabilidade econômica da implantação do sistema de tratamento anaeróbio de dejetos suínos e da geração de créditos de carbono e ou energia elétrica.

### 2.1 Destinação ambientalmente correta e o retorno financeiro do biogás

Segundo o IPCC (1997), as atividades econômicas e industriais têm provocado alterações na biosfera, resultando num aumento considerável da concentração de GEE na atmosfera e pode provocar um aumento na temperatura média de 1,4 a 5,8°C no planeta nos próximos 100 anos.

Em vista disso, o cenário de agressões ao meio ambiente vem recebendo diversos estudos e atenção especial na última década, após décadas de degradação na natureza, sendo significativo o gás metano, presente no biogás, que é muito danoso, interfere diretamente no aumento do buraco na camada de ozônio e auxilia no efeito estufa do aquecimento global.

O buraco na camada de ozônio sobre a Antártida cresceu em 2006, atingindo o segundo maior nível já registrado, alerta a agência meteorológica das Nações Unidas. O buraco atingiu pelo menos o tamanho de 27,9 milhões de quilômetros quadrados, o mesmo registrado em 2003, de acordo com Geir Braathen, especialista da Organização Meteorológica Mundial (OMM), conforme citado no Jornal Estadão Online (2006). Esta situação pode ser mitigada com o uso de técnicas para redução de GEE, dentre elas o biogás.

Nicolaiewsky et al (1998) cita que este panorama foi agravado a partir da década de 70, quando a capacidade de produção deste resíduo orgânico excedeu em grande parte a capacidade de absorção do impacto pelo meio ambiente.

Notoriamente, as informações sobre os danos causados ao meio ambiente pelos dejetos de suínos e as possíveis alternativas de soluções, envolvendo novas tecnologias, juntamente com a possibilidade de renda extra para o suinocultor demonstram a oportunidade/necessidade de inserir-se em um mundo globalizado por meio das tecnologias, como é o caso dos biodigestores.

Visando, contribuir para a redução do atual quadro de poluição do planeta, condição indispensável para a continuidade da existência da vida na Terra, criam-se oportunidades de negócios com a finalidade de reduzir a poluição e os custos de produção, elevando a competitividade nacional e internacional dos países em desenvolvimento, fator indispensável para a sobrevivência no mercado globalizado.

Conforme publicação da Organização das Nações Unidas (ONU), o Relatório da Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, posteriormente denominado “Nosso Futuro Comum”, dissemina o conceito de desenvolvimento ecologicamente sustentado, que é aquele que responde à necessidade do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras.

O conceito de desenvolvimento sustentado tem três vertentes principais: crescimento econômico, equidade social e equilíbrio ecológico. Isso induz a um espírito de responsabilidade comum com o processo de mudança, no qual a exploração de recursos naturais, os investimentos financeiros e as rotas de desenvolvimento tecnológico deverão adquirir sentido harmonioso.

Conforme estabelecido pelo Protocolo de Quioto, a partir de 2008, os países industrializados deveriam começar a cumprir as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa. Os países desenvolvidos poderão comprar contratos de projetos em países em desenvolvimento que reduzam as emissões de gases, dentre eles o metano, que está entre os que mais agride a camada de ozônio, contribuindo para o crescimento do buraco na camada de ozônio.

Mesmo assim, as emissões de gases continuam na suinocultura, pois é uma atividade importante do ponto de vista econômico e social, principalmente como instrumento de fixação do homem no campo. A atividade passou por grandes transformações nas últimas décadas, concentrando-se em algumas regiões do Brasil, especialmente no Sul, e expandiu-se para o Centro-Oeste.

Os avanços tecnológicos da atividade suinícola e o aumento da produção não foram acompanhados pelo tratamento dos resíduos. A produção intensiva e o crescimento da produtividade resultaram em um aumento de poluição pelos dejetos advindos dessa atividade.

O volume gerado e seu potencial de contaminação têm causado desequilíbrios ecológicos em diversos municípios da região Sul do Brasil.

Assim, inovações tecnológicas voltadas à problemática ambiental são necessárias. Estas podem ser de produto ou de processo e um dos elementos importantes para suas conquistas são as atividades de pesquisa e desenvolvimento. Já os investimentos em capacitação tecnológica são considerados de risco e exigem a intervenção do Estado para que aconteçam. O interesse em investir nesse tipo de tecnologia, no entanto, está ligado ao padrão de desenvolvimento de cada país.

De olho no mercado que envolve o tratamento de resíduos, em Toledo e região, surgem empresas com a finalidade de desenvolver e faturar neste mercado emergente, tais como a AGCERT, EcobioCarbon, Instituto Sadia, entre outros. Algumas já estão presentes em vários países, construindo parcerias com os produtores rurais, para a destinação correta dos dejetos de animais em biodigestores, principalmente na suinocultura. O biogás é queimado, e não lançado na atmosfera, produzindo desta forma créditos de carbono e/ou energia elétrica.

## **2.2 Protocolo de Quioto**

O Protocolo de Quioto é a carta de intenção assinada em 11 de novembro de 1997, em Quioto, no Japão, em que as nações industrializadas se comprometeram a reduzir suas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis de 1990, para o primeiro período do compromisso, entre os anos de 2008 a 2012, conforme consta no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo da Câmara de Mudanças Climáticas do Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS).

Para que essas intenções sejam concretizadas há um longo caminho a ser percorrido, com a concordância de muitos países. Conforme a organização Greenpeace, para entrar em vigência, o Protocolo de Quioto deve ser ratificado por, no mínimo, 55 governos que contabilizem 55% das emissões de CO<sub>2</sub> produzidas pelos países industrializados. Essa fórmula implica que os Estados Unidos não podem bloquear o Protocolo sem o respaldo de outros países. Inicialmente, o protocolo foi ratificado por 23 países. Outros 84, dentre eles os Estados Unidos, assinaram o protocolo apenas em 7 de agosto de 2008.

Essa carta de intenções pode ser considerada o marco propulsor para incentivar e viabilizar as metodologias de MDL nas produções dos países em desenvolvimento, pois nos países desenvolvidos, por suas próprias características/necessidades de solo e fatores

climáticos, estão limitadas as produções devido à poluição gerada. Por conta disso, estes países necessitam compensar esta poluição ou deixar de produzir.

Também foram estabelecidos três “mecanismos de flexibilidade”, que permitem que esses países cumpram com as exigências de redução de emissões, fora de seus territórios. Estes mecanismos são a Implementação Conjunta, Comércio de Emissões e o MDL, que possibilitam atividades entre os hemisférios Norte e o Sul, com o objetivo de apoiar o desenvolvimento sustentável.

A redução da emissão de poluição traz junto outros fatores que devem ser considerados, como a queda de índices de produção, aumento dos custos de produção e conseqüentemente perda de poder de competitividade no mercado mundial, o que pode gerar nestes países desenvolvidos a redução da produção e do número de empregos.

Com a finalidade de flexibilidade, o texto da carta está sempre aberto à assinatura e sujeito à ratificação por todos os países.

Tudo isso demonstra uma necessidade global de que se está repensando e tendo atitudes, com a finalidade de minimizar problemas que estão ocorrendo constantemente com a natureza e seus habitantes, dentre eles os seres humanos.

Outra fonte de emissão relevante na produção de suínos para o aquecimento global é o óxido nitroso (NO<sub>2</sub>), que representa parcela significativa da emissão total atribuída à agricultura nos grandes centros produtores. O potencial de aquecimento global é 310 vezes o potencial de aquecimento do CO<sub>2</sub>, conforme IPCC (1997). Neste estudo não será discutido o sequestro do óxido nitroso.

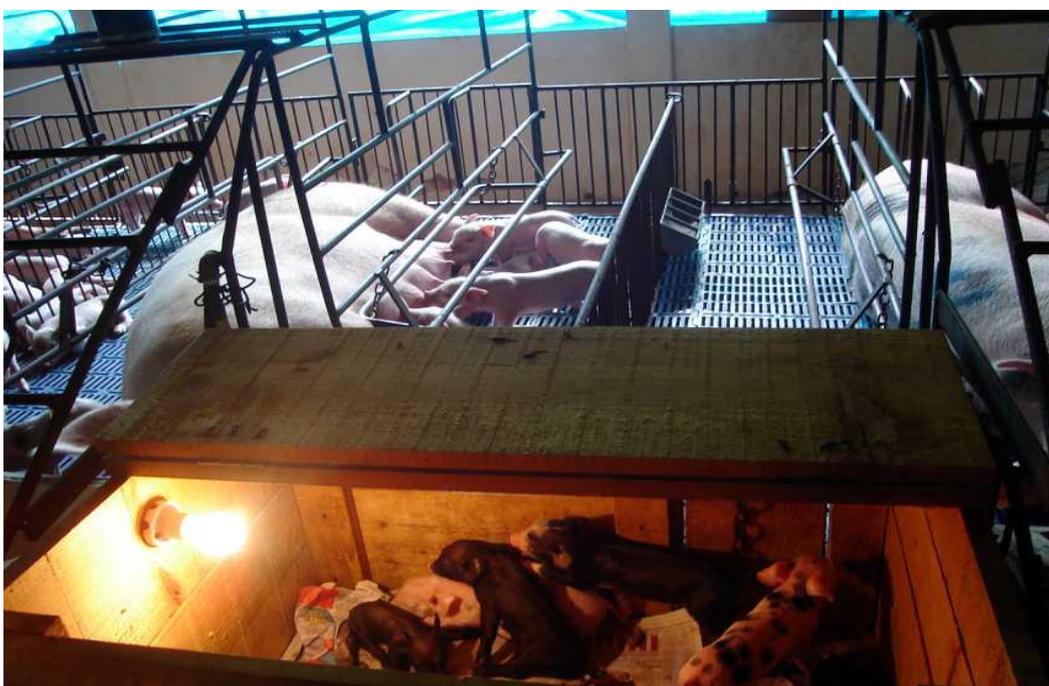
O parâmetro oficial para a certificação mundial, constante no Protocolo de Quioto, segue um caminho para obtenção da certificação, definido no CEBDS, sendo:

1. modelo de dinâmica de aprovação para projetos de MDL no Brasil;
2. etapas a serem consideradas na elaboração de projetos de MDL roteiro empresarial básico; e
3. linha de base das emissões.

A linha de base das emissões refere-se ao volume potencial de produção de determinado sistema de poluição, quem está poluindo no momento da certificação e não mais poluirá com a metodologia de MDL.

Como exemplo, uma propriedade que já possui instalado o biodigestor e não participa da certificação por nenhuma empresa no momento da execução, posteriormente não será contemplado no MDL.

Conforme descrito no indicativo simplificado de base e no acompanhamento de metodologias selecionadas para a atividade na categoria de pequeno projeto de MDL, IIID / Versão 15, no capítulo 13, do IPCC AMS-III D versão 15, que trata sobre o valor dos Sólidos Voláteis (SV) a ser utilizado para os plantéis em países desenvolvidos ou não desenvolvidos, neste estudo, foi utilizado o valor europeu de  $SV = 0,46$ , pois, as rações são formuladas e produzidas com altos teores de proteína por empresas reconhecidas (rastreadas), a genética utilizada é de linhagens aprimoradas com ganhos de peso e conversão alimentar competitivas, os ciclos de criação e abate são regidos pela semelhança com os mercados mundiais, conforme pode ser observado nas Figuras 1 e 2, condições estas que fazem com que a suinocultura artesanal seja inviável e não utilizada na região Oeste do Paraná.



Fonte: Granja Troian – Toledo – PR.

Figura 1 – Matriz suína e sua prole

Os cálculos das emissões produzidas por um suíno matriz ou um suíno na terminação foram realizados conforme a metodologia AMS-III D, versão 15 do IPCC, que é a metodologia empregada para cálculos de créditos de carbono em função do manejo de dejetos, Linha de Base das Emissões ( $BE_y$ ) (t  $CO_2e$ /ano) no parágrafo 09 e as Emissões do projeto ( $PE_{PL,y}$ ) (t  $CO_2e$ /ano) no parágrafo 18, que são os valores totais de emissões produzidas nas granjas de suínos e as perdas aceitáveis do projeto de 10%, respectivamente.

Visando ainda corrigir distorções e incertezas do projeto é utilizado o fator de correção do modelo ( $UF_b$ ) para ter em conta as incertezas do modelo, num valor de 0,94, ou seja, 94%, utilizado como coeficiente de segurança.

Conforme prevê a metodologia AMS-III D, versão 15 do IPCC, do parágrafo 23 ao 34, os métodos e instrumentos utilizados para a medição, registro e tratamento dos dados obtidos devem ser descritos no projeto/documento e monitorados durante o período de contabilização, sendo que, nesse plano de monitoramento, devem-se incluir as inspeções em cada propriedade do projeto onde a atividade é executada e o período de cada verificação, que é de um ano para medições dentro do nível de confiança, inclusive, sobre procedimentos em caso de troca/demolição do equipamento e da rastreabilidade dessa troca até a correspondência de confirmação de aceitação da alteração pela empresa certificadora.



Fonte: Granja Troian – Toledo – PR.

Figura 2 – Suínos terminação

### **2.3 Dejetos suínos, de vilão à fonte de energia elétrica e renda na suinocultura**

Conhecido como um grande vilão para o meio ambiente, os dejetos produzem as mais variadas formas de rejeição e descarte, em vias públicas, solo, ar, ou diretamente em rios.

Para os empreendimentos instalados ou a se instalar no estado do Paraná, que causam as mais diversas formas de poluição, existem regras rígidas definidas para a obtenção de

Licenças, Anuências e ou Outorgas do Instituto Ambiental do Paraná (IAP). No tocante a recursos hídricos de captação de água ou lançamento de efluentes e resíduos sólidos, a autorização é de competência do Instituto das Águas do Paraná (IPAGUAS). Situação esta, que passou a disciplinar muito mais a produção, industrialização e até o remanejamento das edificações e culturas das áreas das margens de nascentes, sangas, córregos e rios, denominadas de Área de Preservação Permanente (APP).

Para alterar este cenário, as empresas que, de forma indireta, produzem os dejetos, também buscam, em conjunto com seus parceiros, a solução desses problemas.

“Com biodigestores já instalados em 1.104 propriedades de suinocultores parceiros da Sadia, o projeto tem a finalidade principal de envolver os cerca de 3,5 mil produtores integrados na redução das emissões de gases do efeito estufa e na comercialização de créditos de carbono, usando o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto no Protocolo de Quioto”. (Informativo Sadia, 2008, pg. 02).

“A Sadia, que colocou 250 milhões de reais (60 milhões do BNDES) num projeto para queimar o metano dos dejetos de porcos, espera acumular 12 milhões de toneladas de créditos de carbono. No preço atual, o valor mal cobriria o capital investido. Gilberto Meirelles Xandó, diretor comercial da Sadia, diz que a ideia não é obter lucros, mas reinvestir o dinheiro na auto-suficiência dos suinocultores. Ou, como diz Wladimir Abreu, advogado do escritório Tozzini, Freire, Teixeira e Silva: "Os créditos não pagam os projetos. Eles são apenas a cereja do sundae". Cereja ou sorvete, o fato é que a depressão nesse novíssimo mercado tem impacto real numa área de empreendedorismo nascente no país.” (Revista Exame, dez/2006, pg. 30).

No Portal Instituto Sadia [200-], Xandó, diretor-superintendente do Instituto Sadia, frisa que a renda obtida com a venda dos créditos de carbono será usada para antecipar os pagamentos dos biodigestores que estão sendo instalados em granjas de integrados em Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina, locais onde a empresa mantém unidades. Também será usada na implementação de ações de sustentabilidade da empresa, de acordo com o Comitê de Sustentabilidade da Sadia.

No projeto aprovado pela Sadia, ...

...“na primeira fase o gás metano produzido pelos dejetos dos suínos, serão simplesmente queimados e gerará o gás carbônico, que é cerca de vinte e uma vez menos poluente, que o gás metano, amenizando o impacto sobre o meio ambiente. Na segunda fase os criadores que desejarem poderão acoplar equipamentos para gerar energia elétrica na propriedade a partir do gás metano” (Redação Portal Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), 17/02/2006, pg. 02).

Conforme publicado na Agência Minas (2006), uma granja que produz 12,5 mil metros cúbicos de biogás por dia, produz o equivalente a 480 botijões de gás de cozinha, suficientes para gerar 2.400 kW/dia. Só para ter ideia da economia que o biodigestor está trazendo em Gontijo (MG), essa energia pode manter acesas 960 lâmpadas de 100 Watts durante 24 horas.

Segundo Bertoldi (2009), no dia 03 de fevereiro de 2009, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) assinou os primeiros contratos para adquirir o excedente de produção de energia elétrica, produzida a partir da biodigestão de resíduos orgânicos, da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR (Foz do Iguaçu)), Cooperativa Lar (Matelândia, Itaipulândia e Foz do Iguaçu), Granja Colombari (São Miguel do Iguaçu) e Fazenda Star Milk (Céu Azul).

Esta situação não teria sido possível antes dos estudos e dos trabalhos realizados pela Itaipu Binacional e pela COPEL, em enviar a energia elétrica produzida nas granjas para a rede da concessionária, definindo critérios de segurança e equipamentos necessários, que culminaram com a criação e padronização de procedimentos que serviram como parâmetros e base para a efetivação da Resolução Regulamentadora 482/2012, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que entrou em vigor no dia 01/01/2013.

Se o biogás for utilizado em motores de combustão interna acoplado a equipamento de produção da granja ou a um gerador de energia elétrica (Figura 5) este último produzirá energia elétrica e ambos farão com que os custos de produção sejam reduzidos. No caso da energia elétrica, o excedente retornará à granja, quando o consumo for maior que a produção. Com o repasse deste excesso de produção, as concessionárias de energia elétrica fazem a compensação, mesmo que não seja na mesma propriedade, não gerando custos de instalação e de transmissão, ainda que seja de uma granja para outra, da granja para a residência na cidade ou para outro município. O proprietário terá que ser o mesmo e interligado dentro da rede da concessionária.

Desta forma, o produtor terá vias alternativas de consumo do excedente de energia elétrica produzido no sistema biointegrado na mesma propriedade, preocupação apresentada na conclusão dos estudos de Cervi, Esperancini e Bueno (2010).

Na prática, o micro e ou minigerador faz a geração da energia elétrica e a envia para a rede da concessionária, e, quando for necessário, utiliza-a sem limite de potência. Se em 36 meses houver saldo de energia para o produtor, a concessionária não paga. Ainda assim é um bom negócio para o produtor, pois o custo de armazenagem de energia em baterias é elevado. Estão sendo feitos estudos sobre a produção de energia em horários diferenciados, o que, com certeza, proporcionará um retorno financeiro maior, colaborando para aliviar a demanda do horário de pico, das 18 às 21 horas, quando são oferecidos descontos consideráveis no custo da energia para os grandes consumidores.

O consumo de energia é medido em quilowatt-hora (kWh) e varia de equipamento para equipamento, como demonstram estes exemplos: motor de 1 CV = 736W; motor de 1 kVA = 1.000W; televisão = 60W; ferro elétrico= 1.200W; chuveiro de 4.000 a 7.500W.

Com certas adaptações, pode-se obter um desempenho similar ao de uma fornecedora de energia elétrica pública. Geralmente ocorrem consumos elevados em espaços de tempo reduzidos, como exemplo, no caso específico do chuveiro, poderá ser utilizada uma resistência com menor potência, digamos de 500 Watts, o que aquecerá aproximadamente o mesmo volume, só que levando em torno de 10 horas, em relação a um chuveiro de 5.000W.

Também o conjunto moto bomba da granja, que leva a água do poço até o reservatório 4 horas por dia. Este equipamento pode ser dimensionado para funcionar, por exemplo, durante 10 a 20 horas por dia, com um mesmo volume final de produção diária, pois o recomendado é possuir uma reserva mínima para 24 horas.

Outro uso seria a utilização de trituradores de grãos, os quais são dimensionados para trabalhar poucas horas por dia. Eles poderiam ser operacionalizados durante 20 ou 24 horas por dia, otimizando os custos para não instalar conjuntos geradores maiores, que são mais caros e funcionam em um número menor de horas por dia.

Os equipamentos não são utilizados/dimensionados para uso prolongado com baixas correntes/potência, pois os agricultores não necessitam adquirir demandas contratuais das concessionárias de energia elétrica, como ocorre com os outros grandes consumidores. Assim, independente do uso racional dos equipamentos, o custo do kWh é o mesmo para o produtor rural.

Seguindo os exemplos acima, o recomendado é que os motores Ciclo Otto operem diretamente acoplados aos eixos dos equipamentos, pois a eficiência será maior, já que ao transformar a energia mecânica em energia elétrica, a potência convertida fica em torno de 25 a 40%, segundo estudos técnicos da empresa Biogás Motores Ltda. Os outros 60 a 75% são convertidos em energia térmica, sendo 25 a 35% nos gases do escape, 12 a 18% na água do arrefecimento do motor, 5 a 10% no óleo do motor e 10 a 25% perdido por radiação e pelo baixo rendimento do motor, associado ao baixo rendimento do gerador.

Com estes valores despendidos em energia térmica, também se pode utilizar a energia na cogeração de aquecimento das mais diversas utilidades, como aquecimento de água para banho ou caldeira, no aquecimento dos suínos ou outros animais na própria granja, ou mesmo no aquecimento dos dejetos para auxiliar na melhoria da eficiência da digestão dos dejetos, inclusive, conforme Dias et al. (2013), também para geladeira a gás, demonstrando que este equipamento pode operar sem a conversão do biogás em energia elétrica.

Se for considerado, que para o aquecimento de água, em aquecedor de água a gás instantâneo (aquecimento por passagem da água em serpentina), o rendimento é de 83,4%, conforme consta em equipamentos da Electrolux do Brasil S.A., proporcionando um rendimento muito maior para o gás metano, se comparado com a conversão elétrica e posteriormente consumindo a mesma em chuveiro elétrico.

O incentivo ao uso de tecnologias apoiadas pelas empresas fomentadoras e reforçadas por exigências ambientais e de mercado desenvolveram o interesse/necessidade dos produtores na utilização correta de alguns sistemas, agregando valor aos dejetos gerados, reduzindo e adequando os passivos ambientais em suas propriedades.

Neste contexto, a multiplicação dos biodigestores mostrou-se uma ferramenta eficaz de transformação de agentes poluentes em fonte de renda, preservação ambiental e manutenção no mercado. Segundo Brondani (2010), só não ocorre uma expansão maciça em função do alto custo para implantação de projetos e também a ausência de consultoria para os suinocultores, em termos de esclarecimentos dos custos e benefícios, do processo de implantação e de procedimentos de manutenção.

De acordo com o pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Kunz et al. (2005), dois fatores foram decisivos para o retorno desta tecnologia. Um deles se refere à legislação ambiental, que cobra cada vez mais do produtor a responsabilidade com o meio ambiente no tratamento dos resíduos da atividade. O outro foi a crise de energia enfrentada pelo País, que levou à busca por energias de baixo custo.

Diante disso, esse é um mercado com tendência à profissionalização, cujos meandros vão sendo formados a partir da percepção do seu potencial. O trabalho em conjunto com as indústrias/integradoras pode ser uma forma de viabilizar a comercialização. Essa relação de trabalho conjunto ocorre porque são na maioria pequenos produtores que se ligam às empresas fomentadoras. Eles teriam poucas chances de entrar sozinhos no mercado de crédito de carbono, por não reduzirem a emissão de carbono em quantidade suficiente por unidade isolada.

Assim, ao surgir esse mercado do sequestro de gás carbônico, que pode ser negociando no mercado de *commodities*, os países em desenvolvimento serão remunerados por ações que reduzem as formas de poluição instaladas a fim de diminuir o impacto dessas emissões. Anteriormente, os dejetos de suínos eram raramente tratados. Agora estão sendo, e de forma ambientalmente correta, dando direito ao recebimento de créditos de carbono. Este cenário passa por um período de expectativas em decorrência da crise mundial que, nos últimos anos, afeta principalmente os países europeus, fazendo com que valor do crédito,

anteriormente comercializado a 12,00€, atingisse a marca de 0,57€, segundo informações do Instituto Sadia (2013).

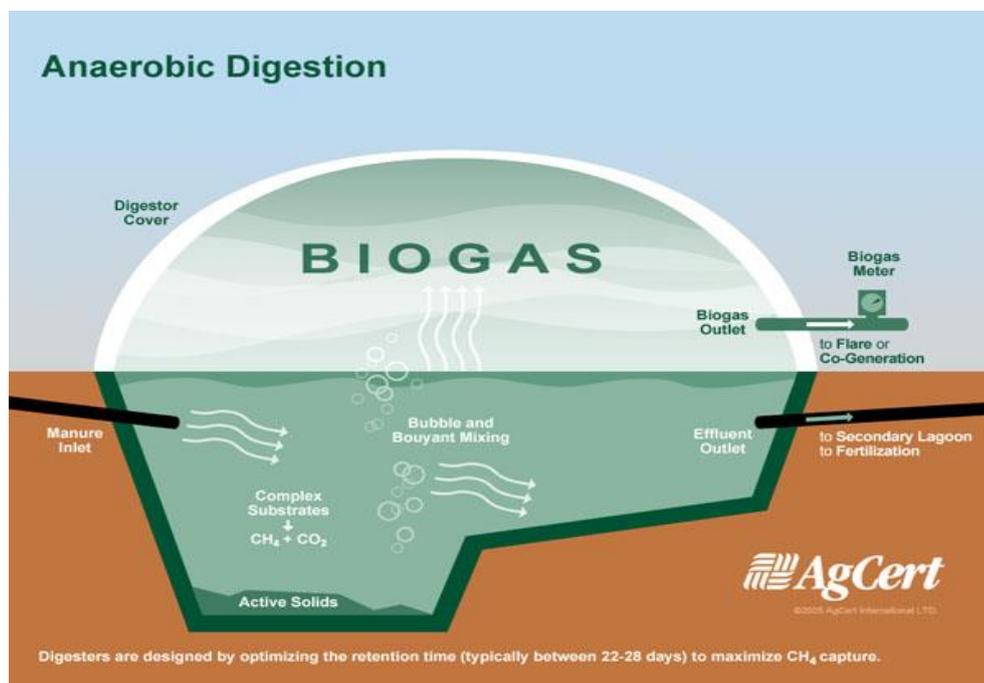
Ao quantificar o valor monetário que poderá ser obtido do biogás nas propriedades rurais, parte-se, então, para avaliar a viabilidade econômica do projeto.

Ao levantar os custos de instalação do sistema de tratamento de dejetos suínos e de produção de energia, um caminho de duplo sentido se apresenta. Por um lado está o mercado do sequestro de gás carbônico e por outro, o mercado de produção de energia elétrica. Ambos provenientes da transformação do biogás pela queima racional, sem considerar o ganho em melhoria ambiental com o adubo produzido, que passa a não mais agredir o solo, ar e água.

#### 2.4 A digestão da matéria orgânica em biodigestor

Como na natureza nada se perde, tudo se transforma, surgem novos mercados para a utilização dos produtos como os dejetos animais transformados em biogás, biofertilizante, energia elétrica e *commodities*, originários do processo de fermentação anaeróbio, dentro de biodigestores, conforme Figura 3.

Conforme Portal AgCert™ (2004), para uma boa digestão da matéria orgânica, o melhor período de retenção está em um intervalo mínimo entre 22 a 28 dias, para maximizar CH<sub>4</sub> capturado, conforme representado na Figura 3.



Fonte: AgCert™

Figura 3 – Esquema de funcionamento de biodigestor anaeróbio

Oliveira, Higarashi e Nunes (2004) citam algumas vantagens da digestão anaeróbia: a alta redução de demanda bioquímica de oxigênio (DBO); produção de biofertilizante; pouca área para instalação do biodigestor; pequena produção de lodo; baixos custos operacionais e de investimento; e, possibilidade de sistemas descentralizados de tratamento de resíduos.

“O biogás, por sua vez, é composto por metano (60 – 70%), gás carbônico (40 – 30%) e gás sulfídrico (traços)” (EPAGRI/CIRAM, 2007).

Já Pecora (2006) cita que, dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40 e 80% de gás metano.

Conforme o Observatório de Políticas Públicas Ambientais da América Latina e do Caribe (OPALC), a eliminação do gás metano poderá ocorrer através da incineração em queimadores a céu aberto, em microturbinas ou dentro de um motor de combustão interna ciclo Otto, conforme pode ser observado na Figura 5.



Fonte: Granja Troian – Toledo – PR.

Figura 4 – Sistema completo: biodigestor, depósito, medidor e queimador

A entrada dos dejetos se dá afogada dentro do manto de lodo, onde se encontram as bactérias anaeróbias que realizam a degradação/consumo da matéria orgânica. Ficam no fundo o lodo digerido e nas saídas da tubulação afogada o dejetos tratados e na superior o biogás, dentro do gasômetro, conforme Figura 3.

A construção do sistema de biodigestão (Figura 4) ocorre geralmente em uma escavação no solo. Para reduzir os custos de construção e de consumo de energia para elevar

os resíduos, pode ser utilizado, na parte inferior, um revestimento com tijolos recobertos com argamassa, concreto ou com lonas próprias para esta finalidade. O gasômetro pode ser coberto com concreto ou com lona para esta finalidade.



Fonte: Biogás Motores Ltda.

Figura 5 – Conjunto motogerador Ciclo Otto

Os biodigestores mais difundidos mundialmente são os modelos verticais indiano e chinês e o horizontal canadense, sendo enterrados para sofrerem menor e mais lenta variação de temperatura dos dejetos em digestão. Ainda, para Castanho e Arruda (2008), o modelo canadense, utilizado neste estudo, é mais apropriado em razão da largura ser maior que a profundidade, uma maior área fica exposta ao sol, condição favorável no Brasil, possibilitando uma maior produção de biogás.

## 2.5 A energia elétrica advinda do biogás

Como norteador/base de apoio para a realização dos cálculos da linha de base das emissões e emissões do projeto (perdas de biogás que ocorrem nas várias fases no processo de tratamento dos resíduos), foi utilizado o parâmetro oficial para certificação mundial constante no Protocolo de Quioto, em que é utilizado o que preconiza a ONU através do Painel Intergovernamental Sobre as Alterações Climáticas (IPCC) III.D versão 15, do indicativo simplificado de base e acompanhamento de metodologias selecionados para pequenos projetos de MDL por atividade categorias da Convenção das Nações Unidas sobre o Quadro das Alterações Climáticas (United Nations Framework Convention on Climate Change

(UNFCCC)).([cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html](http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html)). Este também é utilizado pela Coordenadoria de Energias Renováveis da Usina Hidrelétrica de Itaipu Binacional, que desenvolve na região Oeste do Paraná, nas circunvizinhanças ao lago de Itaipu, um trabalho de conservação dos recursos hídricos denominado “Programa Cultivando Água Boa” e mantém na planta da Usina o Instituto Parque Tecnológico de Itaipu (PTI).

A Itaipu Binacional (2008), por meio do PTI, possui uma parceria com a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), através dos cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Matemática e Ciências da Computação, e com a Incubadora de Projetos e Pesquisa. Nessa Universidade foi aprimorada a tecnologia para veículos elétricos e, desde o final do ano de 2008, ela utiliza esta tecnologia para mover carrinhos de coleta de materiais recicláveis, que foram repassados sem custos aos Agentes Ambientais da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis da cidade de Foz do Iguaçu – PR e outras, popularmente conhecidos como catadores de papel.

Itaipu Binacional e UNIOESTE aperfeiçoam estudos em caminhão elétrico, com capacidade para até 4 toneladas, com autonomia para pequenas propriedades, sendo esta energia armazenada em baterias, que serão utilizadas para mover o caminhão.

## 2.6 Metodologia Box e Jenkins

Os modelos Box e Jenkins, genericamente conhecidos por ARIMA, são modelos matemáticos que visam captar o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação entre os valores de uma série temporal e, com base nesse comportamento, realizam-se previsões futuras.

Entre as técnicas utilizadas para previsão, a metodologia foi descrita por George Box e Gwilym Jenkins, em 1970, supõe que os valores da série poderão ser explicados por valores obtidos previamente e a partir destes prever tendências futuras. Como os dados são coletados sequencialmente ao longo do tempo, espera-se que apresentem correlação seriada no tempo e, portanto, úteis para a aplicação da metodologia de Box e Jenkins.

Segundo Morettin e Tolo (2004), uma série temporal consiste em uma sequência de dados obtidos em intervalos regulares de tempo e que apresentam dados equidistantes com a presença de autocorrelação. Se a série histórica for denominada como  $Z_t$ , o valor da série no momento  $t$  pode ser escrito como:

$$Z_t \text{ com } t = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

A metodologia de Box e Jenkins (1970) refere-se ao método sistemático de identificação, ajuste, checagem na estimação da classe geral de modelos lineares denominados de Modelos Auto-regressivos Integrados e de Médias Móveis (ARIMA). O uso de modelos ARIMA é útil na solução de muitos problemas de previsão, pois pode proporcionar previsões acuradas, em especial, nos casos e estudos de produção.

A etapa de verificação da metodologia de Box e Jenkins consiste em verificar se o modelo identificado e estimado está adequado. Esta etapa é baseada na análise dos resíduos do modelo estimado,  $\epsilon_t$ , os quais devem comportar-se como um *ruído branco*, isto é, com média zero e variância constante e não autocorrelacionados. Em particular, seus coeficientes de autocorrelação devem ser estatisticamente iguais a zero. Portanto, para verificar se isso ocorre, podem ser feitos testes individuais e testes conjuntos para os coeficientes de autocorrelação dos resíduos  $r_k(\epsilon_t)$ , tal como na etapa de identificação.

A previsão é uma das principais razões da popularidade desta metodologia e, em muitos casos, principalmente de curto prazo, são melhores que as obtidas com base nos modelos econométricos tradicionais.

Conforme Morettin e Toloí (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. Todavia, as maiores partes das séries que são encontradas na prática apresentam alguma forma de não-estacionariedade, geralmente justificada devido à presença de efeitos de tendência e/ou sazonalidade.

A estratégia utilizada para a construção de modelos pela metodologia Box e Jenkins é baseada num ciclo iterativo composto de várias etapas conforme a Figura 6.



Fonte: Adaptado da metodologia de Box e Jenkins

Figura 6 – Etapas para previsões

#### Etapa 1 – Identificação

O processo de identificação consiste em determinar quais dos filtros ARIMA  $(p,d,q)$  devem ser utilizados para representar a série em estudo, bem como quais são suas respectivas ordens, isto é, o número de parâmetros  $p$ ,  $d$  e  $q$ .

Nesse momento, utiliza-se a função de autocorrelação (FAC), a função autocorrelação parcial (FACP) e as representações gráficas da FAC e da FACP contra o tamanho da

defasagem Gujarati (2000). A aplicação dessas técnicas possibilitará a escolha do melhor filtro dentre aqueles que o modelo Box e Jenkins oferece. Nesta etapa, também é útil o gráfico da série original, que auxilia na indicação da violação da condição de estacionariedade da série.

#### Etapa 2 – Estimação

Após, identificados os valores apropriados para os modelos utilizados, deverá ocorrer a estimativa dos parâmetros do modelo ARIMA, por meio do método de mínimos quadrados ordinários ou de máxima verossimilhança, onde se estimam os parâmetros auto-regressivos e/ou de médias móveis.

##### - Modelos auto-regressivo – AR (p)

De ordem  $p$ , corresponde à defasagem da série  $Z_t$ , denotado por  $AR(p)$ , em que  $p$  indica a ordem do modelo, isto é, o número de defasagens conforme equação 2.

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + e_t \quad (2)$$

Onde  $Z_t$  representa a série original no instante  $t$ ,  $t-p$  as  $p$  defasagens e  $\phi_p$  os  $p$  parâmetros auto-regressivos e  $e_t$  os *resíduos* com características de ruído branco, com média zero e variância constante e não autocorrelacionados.

A identificação do modelo adequado começa pelos valores dos parâmetros, ou seja, o modelo será considerado estacionário, se  $|\phi_1| < 1$ , satisfizer à condição da estacionariedade.

##### - Modelos de médias móveis – MA (q)

De ordem  $q$ , é a combinação do *ruído branco* ( $a_t$ ), do período atual com os ocorridos anteriormente. A notação do modelo é  $MA(q)$ , na qual  $q$  indica a ordem do modelo, dado na equação (3).

$$Z_t = \mu + e_t - \phi_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q}. \quad (3)$$

Onde:  $Z_t$  representa a série original no instante  $t$ ,  $t-q$  as  $q$  defasagens e  $\theta_q$  os  $q$  parâmetros de médias móveis e  $e_t$  os *resíduos* com características de ruído branco.

Dessa forma, identificando-se a condição de estacionariedade, o processo apresenta ordem finita, portanto, será sempre estacionário.

##### - Modelo auto-regressivo de médias móveis – ARMA (p,q)

Conforme Bueno (2011), esse modelo é a união dos modelos vistos anteriormente, os auto-regressivos e o de médias móveis. Ele é utilizado em séries em que apenas os modelos AR ou MA isoladamente possam representara as séries encontradas, desta forma lança-se mão da forma combinada composta de uma parte autoregressiva e de outra parte de médias móveis, formando assim o modelo ARMA. Na prática, ganha-se na economia de parâmetros a serem estimados, pois em geral é necessário estimar-se uma quantidade menor de parâmetros quando se utiliza a forma combinada do que quando se utiliza o modelo puro AR ou MA.

“Os modelos auto-regressivos são bastante populares em algumas áreas, como em economia, onde é natural pensar o valor de alguma variável no instante  $t$  como função de valores defasados da mesma variável” (Morettin e Tolo, 2004, p. 124), dado pela equação 4.

$$\hat{Z}_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + e_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

Como o modelo ARMA é um misto do AR e do MA, os seus componentes já foram definidos. Percebe-se que as condições de estacionariedade de um processo ARMA  $(p,q)$  são as mesmas que as de um processo AR  $(p)$ , e as condições de invertibilidade são as mesmas que as de um processo MA  $(q)$ .

- Modelos auto-regressivos integrados de médias móveis – ARIMA  $(p,d,q)$

Morettin e Tolo (2004), descrevem que se  $W_t = \Delta^d Z_t$  for estacionária, podemos representar  $W_t$  por um modelo ARMA  $(p,q)$ , nota-se que  $W_t$  é a série original que sofreu diferenciações até se tornar estacionário. O modelo ARIMA é representado pela equação 5.

$$\phi(B)W_t = \theta(B)a_t \quad (5)$$

Se  $W_t$  for uma diferença de  $Z_t$ , então  $Z_t$  é uma integral de  $W_t$ , daí pode-se dizer que  $Z_t$  segue um modelo auto-regressivo integrado de médias móveis, ou modelo ARIMA, conforme equação 6.

$$\phi(B) \Delta^d Z_t = \theta(B)a_t, \quad (6)$$

de ordem  $(p,d,q)$  e escrevermos ARIMA  $(p,d,q)$ , se  $p$  e  $q$  são as ordens de  $\phi(B)$  e  $\theta(B)$ , respectivamente.

Segundo Werner e Ribeiro (2003), são modelos matemáticos que captam o comportamento da correlação seriada ou autocorrelação entre os valores da série temporal e, com base nesses comportamentos, há a possibilidade de realizar previsões futuras.

Principalmente no curto prazo, estas previsões são melhores que as obtidas com base nos modelos econométricos tradicionais.

O número de diferença necessária para a estacionarização de uma série, representada pela letra  $d$  e, isto é o que diferenciam os modelos estacionários (ARMA) dos não-estacionários (ARIMA).

#### Etapa 3 – Adequação

Escolhido o modelo ARIMA e estimados os parâmetros, verifica-se se o modelo em questão ajusta-se aos dados da série temporal de produção, pois outros modelos podem também se ajustar ao modelo em questão.

Os critérios penalizadores mais utilizados são *Akaike Information Criteria* (AIC) e *Schwartz Bayesian Criteria* (BIC), que podem ser definidos pelas equações 7 e 8.

$$AIC = T \ln (SQR) + 2n \quad (7)$$

$$BIC = T \ln (SQR) + n \ln(T) \quad (8)$$

Onde,  $T$  é o tamanho da amostra;  $SQR$  é a soma dos quadrados dos resíduos e  $n$  é o número de parâmetros.

Para apurar a verificação da utilização do melhor modelo, o que apresenta o menor valor de AIC e BIC, também a escolha deverá levar em consideração os modelos parcimoniosos, ou seja, aqueles que apresentam o menor número de parâmetros. Ao fim, é recomendável que esses critérios sejam avaliados conjuntamente, pois são complementares e não excludentes.

#### Etapa 4 – Previsão

Após selecionar o modelo estimado mais adequado, realizam-se as previsões da série  $Y_t$  em instantes de tempo posteriores ao delimitado pela amostra.

Conforme Box e Jenkins (1970), para um modelo auto-regressivo de primeira ordem, o previsor  $h$  passo a frente é dado por:

$$\hat{Z}_t(h) = \phi_1^h Z_t + \mu - \mu \phi_1^h \quad (9)$$

Onde:  $\hat{Z}_t(h)$  é a previsão  $h$  passos a frente com base no tempo  $t$ ;  $\phi_1$  é o coeficiente da variável em estudo defasada um período; e  $\mu$ , a média do processo.

Nesse item, descreveu-se a teoria necessária para o desenvolvimento da pesquisa que servirá de base para a representação da produção e para verificar se a mesma é estável. Busca-

se, então, a evidência da hipótese de que poderá ser feito o investimento de maneira responsável no sentido financeiro e ambiental, em que o retorno financeiro suporte a quitação do empréstimo tomado para as instalações de sequestro de carbono e ou geração de energia elétrica.

O descrito neste capítulo mostrou como um problema ambiental de grandes proporções pode transformar-se em uma solução, tanto ambiental como econômica, por meio da definição de regras e estudos para tanto.

A seguir serão apresentados os caminhos metodológicos utilizados no cumprimento dos objetivos descritos neste estudo.

### 3 METODOLOGIA

O município de Toledo, localizado no Oeste do Paraná, a 550 Km da Capital, com uma população, em 2013, estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 128.448 toledanos, em uma área territorial de 1.197,002 Km<sup>2</sup>, conta com um dos melhores índices de qualidade de vida do Brasil. Sua infraestrutura é considerada excelente pelo porte do município, com todas as vias urbanas asfaltadas e com galerias de água pluviais, além de mais de 260 Km de estradas rurais asfaltadas.

Na área urbana, todos os distritos e propriedades rurais tem água canalizada e na sede do município em torno de 80% do esgoto é coletado e 100% tratado, conforme dados da SANEPAR (12/2013).

No município de Toledo, no final de dezembro de 2012, das cerca de 600 granjas de suínos, pouco mais de 200 conjuntos de biodigestores anaeróbios e queimadores estavam instalados, sendo, na quase totalidade da BRF.

Em Toledo, devido à vocação e aptidão dos seus colonizadores, na maioria gaúchos e catarinenses, desde as décadas de 60 e 70, a exploração do solo é para a agricultura e para criação de animais. Esta experiência, juntamente com os primeiros passos ou ensaios das cooperativas agropecuárias e com um frigorífico instalado, abatendo suínos e bovinos a pleno vapor, movimentou o que atualmente se denomina de agroindustrialização.

Conforme Piacenti (2009), Toledo está localizado na mesorregião Oeste, onde concentram-se diversas cooperativas e empresas do ramo agropecuário, graças principalmente às férteis e planas terras dessa região, que garantem ao município uma posição de prestígio entre os maiores produtores de grãos do Estado do Paraná. Toledo ocupa o primeiro lugar em valor da produção agropecuária do Estado. Está associada à operação de um complexo agroindustrial moderno e competitivo, articulado aos eixos dinâmicos do país e do exterior. O agronegócio cooperativo e de fomento serve de base para a progressiva expressão no âmbito do setor primário estadual. A moderna base agropecuária tem sido capaz de compatibilizar a preponderância de mão de obra familiar com alto desempenho produtivo.

A predominância de pequenas propriedades no Município, bem tecnificadas, um dos maiores produtores nacionais, fez com que, em 2011, o PIB rural atingisse um bilhão de reais em doze meses. Segundo Junges et al. (2009), a suinocultura garante a sobrevivência de 30% da população.

Os produtores rurais estão organizados em sindicatos rurais; Associação Municipal de Suinocultores de Toledo (AMST), filiada à Associação Paranaense de Suinocultores (APS);

empresas fomentadoras; entre outras entidades. Pequenos produtores realizam em cinco pontos de vendas da cidade a Feira Permanente do Produtor, que permite a comercialização de produtos hortifrutigranjeiros. Nos últimos anos, a implementação do Programa da Agricultura Familiar (PAA) e o Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE) está trazendo novo alento ao produtor rural. Eles estão comercializando diretamente os produtos da agricultura familiar, fornecendo alimentos para a cozinha social, que prepara as refeições servidas nos seis restaurantes populares de Toledo, 35 escolas municipais e 22 centros de educação infantil (CEMEI's).

Uma única indústria emprega 9 mil colaboradores diretos e mais de 15 mil indiretos. Outra indústria reúne mais 3 mil colaboradores e mais uma dezena de empresas que empregam de 150 a 500 colaboradores cada. Todos estes números trazem também interesse em novos investimentos, inclusive na área de suinocultura.

Segundo o informativo AGCERT (2004), no distrito de Vila Nova, em Toledo – PR, a Agcert International mantém parceria com o produtor Elton Alceu Endler, da Granja Müller. Desde fevereiro de 2006 o volume de biogás produzido na propriedade era monitorado.

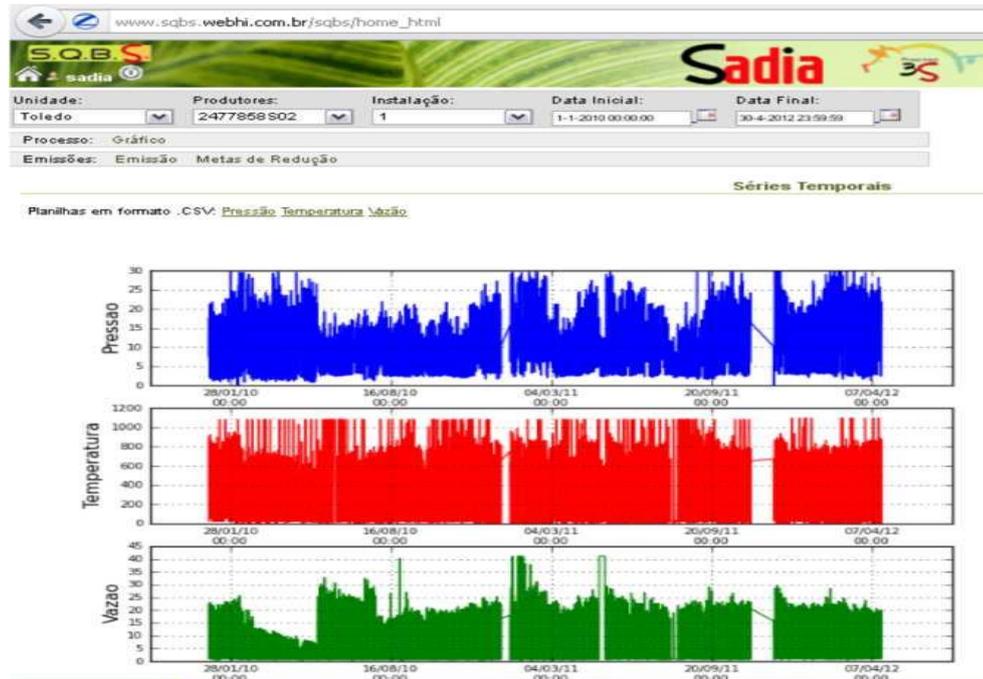


Fonte: Sistema de Queima de Biogás Sadia da BRF

Figura 7 – Acesso ao banco de dados

O grande impulso para a correta destinação dos dejetos dos suínos, em Toledo, veio da empresa Sadia, atualmente BRF, por intermédio do Instituto Sadia, com o Programa 3S, que

arcou com todo o investimento e vem fomentando e instalando biodigestores, queimadores e toda a estrutura para a produção, medição e queima do biogás.



Fonte: Sistema de Queima de Biogás Sadia da BRF

Figura 8 – Acesso ao banco de dados



Fonte: Sistema de Queima de Biogás Sadia da BRF

Figura 9 – Acesso ao banco de dados

Os dados utilizados nesta pesquisa são os obtidos somente das granjas parceiras da BRF, que possuem o sistema de tratamento dos dejetos, de forma anaeróbia, com medição e queima de biogás. Pode-se observar os acessos, nas Figuras 7, 8 e 9, no banco de dados do programa de Sistema de Queima de Biogás da Sadia (SQBS) e na tabulação da Tabela 1.

Tabela 1 – Tabulação dos dados do Sistema de Queima de Biogás Sadia

Data de início	07/04/2011	12/04/2011	17/04/2011	22/04/2011
Data de término	11/04/2011	16/04/2011	21/04/2011	26/04/2011
Emissão de linha de base – BE (ton CO2 eq)	1,46	1,39	1,32	1,32
Metano destruído –Mdflare (ton CO2 eq)	1,12	0,92	2,2	1,96
Metano destruído –Mdfuel (ton CO2 eq)	0	0	0	0
Metano destruído – MD (ton CO2 eq)	1,12	0,92	2,2	1,96
Emissões de projeto - PEflare (ton CO2 eq)	0,12	0,1	0,24	0,22
Emissões de projeto –Peelh (ton CO2 eq)	0,0002	0,0002	0,0004	0,0003
Emissões de projeto - PEpainel (ton CO2 eq)	3E-08	3E-08	3E-08	3E-08
Emissões de projeto – PETotal (ton CO2 eq)	0,12	0,1	0,25	0,22
Redução de emissão – ER (ton CO2 eq)	1	0,81	1,96	1,75
Biogás medido no período – TM RG,h (m <sup>3</sup> )	136,25	111,39	267,66	238,56
Tempo de queima contabilizado (h)	5,56	4,29	10,5	9,31
Vazão totalizada (m <sup>3</sup> )	142,32	116,92	278,77	250,07
Tempo de queima total (h)	6,02	4,64	11,27	10,13
Vol. biogás produzido por suíno	0,14	0,12	0,28	0,25
Concentração de metano	65	65	65	65
Número de animais na granja	200	200	200	200

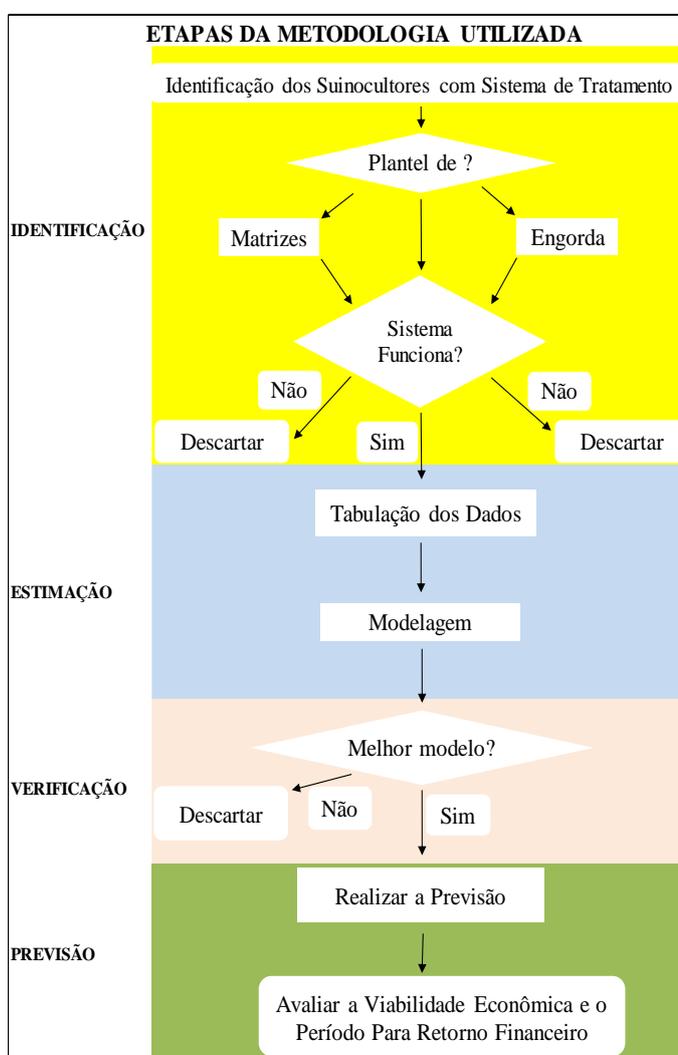
Fonte: SQBS

Como neste estudo testou-se vários conjuntos de modelos ARIMA. Foram escolhidos aqueles que representam significativamente a série original por meio de critérios penalizadores.

### 3.1 Etapas metodológicas

Os dados foram extraídos do sistema de medição e queima da BRF, fomentadora e parceira da criação de suínos no município de Toledo – PR, em algumas granjas de matrizes e terminação de suínos, que possuem o sistema de tratamento dos dejetos de forma anaeróbia, com medição e queima de biogás. Foram consideradas 100 amostragens em 820 dias, no período de junho de 2010 a setembro de 2012. Foi feita a somatória de produção de biogás em períodos de cinco dias e divididos pelo número de animais alojados, obtendo-se o volume diário *per capita* em m<sup>3</sup> de biogás por suíno.

Para melhor visualização, segue na Figura 10 o fluxograma das etapas da metodologia utilizada.



Fonte: Autor

Figura 10 – Fluxograma das etapas da metodologia utilizada

Na Figura 10, as seguintes etapas foram seguidas para a realização da pesquisa:

1. identificar, por meio do acesso ao sistema de dados da BRF, os suinocultores que possuem sistema completo de tratamento anaeróbico monitorados, no município de Toledo;
2. estratificar os suinocultores com plantéis de matrizes e de terminação, como pequenos, médios e grandes, e, após a definição do plantel comparar as produções para verificar se elas não apresentam variações significativas, em função do número de animais alojados em uma granja;
3. escolher os suinocultores que apresentam o sistema em funcionamento, pois em muitas granjas o sistema não funciona adequadamente devido à demora em corrigir os problemas no sistema de biodigestão;
4. tabular os dados coletados, demonstrando a produção *per capita* diária por suíno, e, com isso, verificar o volume de produção por animal, isto é, se ocorre uma variação significativa ou não nas mais variadas granjas;
5. modelar, com a metodologia de Box e Jenkins, de modo a explicar o fenômeno em estudo, realizar a análise dos resíduos e utilizar os critérios penalizadores AIC e BIC para identificar o modelo mais favorável;
6. realizar a previsão futura; e
7. avaliar a viabilidade econômica e o período de retorno do investimento para verificar o montante do retorno financeiro e qual o período de tempo necessário para liquidar o valor investido, utilizando os valores previstos da etapa anterior.

De modo a cumprir o objetivo proposto foram realizados os seguintes passos:

Inicialmente, analisou-se a estabilidade das séries a serem estudadas por meio da inspeção gráfica e pelas funções de autocorrelação (ACF) e funções de autocorrelações parciais (PACF) e o teste Ljung-Box.

As expressões para o cálculo da estatística de Ljung-Box dado pela equação 10.

$$Q = n + (n + 2) \sum_{k=1}^h \frac{r_k^2}{(n - k)} \quad (10)$$

Onde:  $Q^*$  tem distribuição de Qui-quadrado com  $K-p-q$  graus de liberdade,  $n$  é o número de observações da série,  $r_k$  é o coeficiente de autocorrelação e  $k$  é o número de defasagens.

Por meio desta análise foi possível, além de verificar a estacionariedade da série, obter informações a respeito da possível identificação do modelo, o qual poderá ser um AR, MA, ARMA ou ARIMA.

Determinada a possível identificação do modelo passou-se à estimativa dos parâmetros representativos dos possíveis modelos. Nesta etapa utilizou-se do Método de Mínimos Quadrados Ordinários, uma grande variedade de modelos que são denominados de modelos concorrentes. A estimativa dos modelos foi realizada com 93 observações, pois as 7 observações restantes, que compunham as 100 observações do banco de dados, foram utilizadas para a validação das previsões.

Estes modelos concorrentes foram analisados em relação a sua adequação, isto é, nesta etapa utilizou-se dos resíduos de cada um dos modelos para verificar se apresentavam a característica de *ruído branco* (RB). Um  $RB \approx N(0, \sigma^2)$  e suas observações são não autocorrelacionadas. Esta característica garantia que o modelo gerado tinha captado todas as informações importantes apresentadas na variável estudada e que os resíduos não possuíam mais nenhuma informação, pois não mais apresentavam estrutura de autocorrelação.

Dos modelos concorrentes que apresentaram a característica de *ruído branco* escolheu-se o modelo representativo para as variáveis analisadas, mas utilizando-se dos critérios penalizadores, porque levam em consideração o número de parâmetros estimados, e os que apresentam menores valores para o AIC e o BIC.

Selecionados os modelos, que passarão a representar as variáveis de produção de biogás para a granja de matrizes e para a granja de terminação, eles foram utilizados para representar essas produções e para realizar as previsões futuras de curto prazo – de 7 períodos a frente.

Dentre as medidas de avaliação dos erros de previsão existentes na literatura, foram utilizadas o Erro Percentual Médio Absoluto (MAPE), expressão (11), a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE), expressão (12) e o Coeficiente de Desigualdade de Theil (U-Theil), expressão (13).

$$MAPE = \sqrt{\frac{1}{n} \left| \frac{x_i - \hat{x}_i}{x_i} \right|} * 100 \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(x_i - \hat{x}_i)^2}{n}} \quad (12)$$

$$U = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \hat{x}_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - x_{i-1})^2}} \quad (13)$$

Nas expressões acima,  $n$  corresponde ao número de previsões realizadas, padrões;  $x_i$ , representa o valor real no instante  $i$ ;  $\hat{x}_i$  representa o valor previsto no instante  $i$ ;  $e_i$  é o valor da variável em estudo no instante  $i-1$ .

A estatística U-Theil é um índice que mede os resultados. Ela permite mensurar se eles melhoraram em relação à previsão inicial, que pode ser ingênua ou trivial. Segundo Amorim Júnior et al. (2004), a previsão ingênua afirma que a melhor estimativa de um valor para amanhã é o valor de hoje. Se  $U = 1$ , o erro do modelo é maior que o erro ingênuo, ou seja, as previsões do modelo não são melhores que uma previsão ingênua; se  $U < 1$ , o erro do modelo é menor que o erro ingênuo, ou seja, o modelo é aceitável, pois as previsões do modelo são melhores que uma previsão ingênua.

Desta forma, depois de cumprida a metodologia proposta, pretendeu-se visualizar e compreender melhor a dinâmica de produção do biogás. Para isso, foram escolhidas duas granjas (uma de matrizes e uma de terminação) que apresentavam uma produção de biogás representativa das demais granjas de Toledo, isto é, adotavam os mesmos procedimentos no manejo e na destinação final de dejetos.

Para demonstrar o comportamento futuro dos valores obtidos no levantamento, com a utilização dos programas computacionais, foram escolhidas as modelagens EViews 7.0 e planilhas eletrônicas.

## 4 ESTUDO DE CASOS

Com o objetivo de analisar a viabilidade econômica do retorno do investimento em sistema de tratamento de dejetos suínos, por meio da comercialização dos créditos de carbono e/ou da energia elétrica gerada, obtidas na eliminação de biogás, foram escolhidas duas granjas, uma de matrizes e uma de terminação, com sistemas implantados de tratamento de dejetos suínos, que produzem volumes de biogás semelhantes a outras granjas com sistemas instalados. Os valores foram extraídos do SQBS da BRF, fomentadora e parceira da criação de suínos em granjas de matrizes e de terminação.

### 4.1 Granjas de matrizes e de terminação

Nas granjas de matrizes ocorre a gestação. Elas amamentam sua prole (leitões) e os leitões são desmamados (creche). O período de creche vai de após a desmama até os leitões adquirirem aproximadamente 35 quilos. São nessas instalações que as matrizes recebem cuidados intensivos de controle de cruzamentos industriais, visando a obtenção de uma boa genética para gerar animais resistentes e de excelente conversão alimentar.

Os suínos trazidos das creches das granjas de matrizes, com cerca de 35 quilos, serão alojados nas granjas de terminação até o ponto de abate, quando atingem em torno de 120 quilos.

Além da genética, também são rigorosos os cuidados com a saúde, água tratada, alimentação balanceada, controle de ruídos e ambiente climatizado.

Para o levantamento dos dados, como número de animais, granjas e equipamentos instalados, este estudo contou com o apoio da AMST e da BRF, através dos seus colaboradores e técnicos, incluindo desde o envio de ofício às empresas fomentadoras e frigoríficas que produzem ou abatem suínos em Toledo a tarefas mais complexas. A compilação e a formatação dos dados recebidos foram de consenso junto aos técnicos da AMST.

A suinocultura concentra-se mais em algumas regiões do Brasil, especialmente na Região Sul, com ênfase na cidade de Toledo – Paraná. Pode-se observar (Tabela 2) que no final de 2012 havia um plantel alojado de 28.500 matrizes, 800 machos reprodutores e 500.000 vagas de alojamento para terminação. Anualmente, segundo dados da AMST, eram abatidos em torno de 1.650.000 suínos.

Nem todos os leitões nascidos ou desenvolvidos nas creches são terminados no município de Toledo. Assim como, muitos terminados são oriundos de outros municípios

pertencentes às regiões oeste, sudoeste e noroeste do Paraná, Santa Catarina e do Mato Grosso do Sul.

Tabela 2: Suínos alojados diariamente e o volume produzido de dejetos em Toledo

Fase / Ciclo	<sup>1</sup> Número de Animais Alojados (em 2012)	<sup>2</sup> Número de Dias (fase / ciclo)	<sup>2</sup> Quilos de Estrume (animal /dia)	<sup>2</sup> Quilos Estrume e Urina (animal/ dia)	<sup>2</sup> Litros Estrume e Urina (animal/ dia)	<sup>1</sup> Número de Vagas (animais/ alojados/ dia)	Volume Total de Dejetos (m <sup>3</sup> /dia)
Matrizes em Gestação	24.500	314	3,60	11,00	16,00	24.500	76,930
Matrizes em Amamentação com prole	4.000	51	6,40	18,00	27,00	4.000	3,627
Leitões em Creche	748.000	39	0,35	0,95	1,40	80.000	3,033
Terminação	1.145.600	150	2,30	4,90	7,00	500.000	383,333
Reprodutores	800	365	3,00	6,00	9,00	800	2,433
<b>Total</b>	<b>1.922.900</b>					<b>609.300</b>	<b>469,357</b>

Fonte: <sup>1</sup>AMST (2013)

<sup>2</sup>CCE (2000)

O elevado plantel de suínos, somado ao alojamento médio diário, no final de 2012, era em torno de 4.000.000 aves, 46.000 bovinos de corte e leiteiro, além dos ovinos, caprinos e equinos no município de Toledo, conforme dados da Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB-PR (2013)) e IBGE (2013). Estes dados mostram que há um alto potencial poluidor, agredindo violentamente o meio ambiente do município de Toledo e dos municípios vizinhos, pois a região oeste concentra o maior plantel de animais no estado paranaense.

Além desses animais e seus resíduos poluidores, existe ainda o abate anual em torno de 1.650.000 suínos, de 100.830.619 frangos e os abatedouros de bovinos e peixes; indústrias de bebidas, fecularia, laticínio, têxteis e de medicamentos; a frota de veículos, caminhões, equipamentos agrícolas e outros que fazem com que esta poluição seja acrescida consideravelmente. Ressalte-se que as outras fontes de poluição não fizeram parte deste estudo, a não ser, o biogás advindo somente da produção de suínos.

Segundo PNMA II (2004), a carga orgânica poluidora dos dejetos suínos é 3,5 vezes maior do que a do esgoto humano e convertendo-se este plantel, alojado diariamente de 609.300 suínos, apura-se o equivalente de 2.132.550 pessoas no município de Toledo – PR. Se considerarmos a população de Toledo e o volume de esgoto tratado pela SANEPAR,

conforme dados já citados, a poluição provocada pela população é bem pequena, se comparada a do plantel de suínos, somada a outros milhares de animais criados no município.

Se compararmos pela medição da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5), referencial que traduz, de maneira indireta, o conteúdo de matéria orgânica de um resíduo por intermédio da medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica por um período de 5 dias, a DBO5 do esgoto doméstico é em torno de 200mg/l e para o dejetos suíno em torno de 40.000mg/l. Conclui-se daí que os suínos são em torno de 200 vezes mais poluentes que os humanos.

Por fim convém salientar, por exemplo, que a Bacia Hidrográfica do Rio Toledo já se encontra saturada por essa atividade. Conforme advertem os técnicos do Escritório Regional de Toledo do IAP, não é possível admitir novas construções, nem ampliações das granjas existentes.

Na Tabela 2, pode-se observar os volumes de dejetos gerados diariamente pelos suínos em todas as fases do sistema produtivo. Sendo o estrume (massa fecal de forma sólida), a urina (parte líquida), e o volume, a soma dos dois difere em termos de quilos e litros devido à diferença da densidade. Também se demonstra o potencial de produção de biogás, segundo o Centro para a Conservação de Energia (CCE) (2000) em m<sup>3</sup>/animal/dia (*per capita*) e o número de dias nas respectivas fases ou ciclos.

Neste estudo, para o dimensionamento dos biodigestores, foi utilizado o volume de dejetos, ou seja, a somatória dos volumes de urina e de estrume, sendo que a matéria orgânica produtora do biogás é proveniente do estrume.

O dimensionamento do tamanho do biodigestor obtém-se utilizando o volume de dejetos em m<sup>3</sup>/animal/dia. Dependendo da finalidade da granja, como ciclo completo, unidade produtora de leitões, reprodutores ou de terminação. Assim, o biodigestor pode ser projetado juntamente com a pocilga, devendo ser considerado um percentual dele para o armazenamento da água utilizada na limpeza, banhos nos animais, desinfecção das instalações e desperdícios dos bebedouros.

Os volumes do biodigestor para 200 matrizes é, em torno de 140 m<sup>3</sup>, com depósito de 280 m<sup>3</sup> e, para 1.000 em terminação, em torno, de 230 m<sup>3</sup> e um depósito de 460 m<sup>3</sup>.

Para manter a eficiência será necessário em torno deste volume, num período mínimo de detenção dentro do biodigestor de 30 dias, um dos pré-requisitos para validação dos créditos de carbono. Para tanto, neste estudo foi utilizado um volume de armazenagem de segurança para 40 dias, parâmetro utilizado pela BRF. Existem algumas alterações baseadas em sistemas de criação que utilizam variáveis em volumes de água no seu processo de

produção e limpeza, e também as variações de temperatura, que, quanto mais altas, maior será a digestão e o conseqüente aumento na produção de biogás.

Os custos da Tabela 3 envolveram os valores da manta inferior, R\$ 15,00m<sup>2</sup>, manta superior, R\$ 25,00m<sup>2</sup> e a mão de obra (variável).

Tabela 3 – Volume e custo parcial do sistema de produção de biogás

Fase / Ciclo	Número de Suínos Alojados	Volume		Custo			
		Biodigestor (m <sup>3</sup> )	Depósito (m <sup>3</sup> )	Biodigestor (R\$)	Depósito (R\$)	Mão de obra (R\$)	Total Sistema (R\$)
Matrizes	200	140	280	3.600,00	3.100,00	4.000,00	10.700,00
	500	350	700	8.000,00	6.100,00	4.000,00	18.100,00
	750	525	1.050	11.600,00	8.900,00	5.000,00	25.500,00
Terminação	1.000	230	460	5.400,00	4.500,00	6.000,00	15.900,00
	2.500	575	1.150	12.000,00	9.400,00	7.000,00	28.400,00
	5.000	1.050	2.100	23.000,00	17.700,00	12.000,00	52.700,00

Fonte: Instituto Sadia – BRF (12/2013)

As fontes de matéria-prima para produção de biogás podem ser provenientes das mais diversas origens orgânicas, tanto de dejetos animais como de indústrias, pois o que faz a reação de digestão dentro do biodigestor é a matéria orgânica, ou seja, o alimento para as bactérias se alimentarem, sobreviverem e reproduzirem-se. Para haver uma perfeita digestão, a entrada de matéria orgânica no biodigestor deve ser contínua, com recirculação interna de parte do volume, para poder manter uma digestão mais regular, pois as bactérias não têm condições de realizarem sua própria movimentação.

A empresa Biogás Motores Ltda., adaptado do CCE (2000), utiliza que o rendimento do m<sup>3</sup> de biogás por kg de dejetos para produção de biogás varia dependendo do animal, sendo:

- 0,25 kg de esterco de bovinos;
- 0,56 kg de esterco suíno;
- 0,50 kg de dejetos de cervejaria;
- 0,60 kg de leite e derivados e;
- 0,45 kg de matadouros.

De acordo com a empresa FOCKING; BRANCO MOTORES (2009), considera-se que 1 m<sup>3</sup> de biogás, com 65% de gás metano na mistura, gera 1,8 kWh de potência (1.800 Watts); a CCE (2000) considera 6,73kWh. a AGRENER (2008) considera que um metano entre 50 e

80% gera entre 4,95 e 7,92 kWh, sendo que em Nogueira (1986), utiliza 1,43 kWh. Este estudo considera a última por conter números mais conservadores.

Os valores equivalentes a 1 m<sup>3</sup> de biogás, em relação a outras fontes energéticas, variando em termos de valor monetário, de R\$ 0,16 a R\$ 1,80, podem ser observadas na Tabela 4, podendo ocorrer variações dependendo das demandas e ofertas de mercado.

Levando-se em conta os valores de energia elétrica consumidos em Toledo – PR., em 2008, dos mais de 394.000 MWh/ano, em torno de 176.000 MWh/ano foram consumidos exclusivamente pela planta industrial da BRF, o maior frigorífico de aves e suínos da América Latina, desconsiderando o consumo de todas as granjas próprias ou dos fomentados no Município.

Desta forma, a comparação monetária em relação a outras fontes de energia, como a gasolina, o óleo diesel e GLP, dão ao biogás uma considerável vantagem competitiva, diminuindo consideravelmente o gasto com combustíveis, o que representa um menor custo de produção ou retorno financeiro para o produtor. No valor equivalente do biogás de R\$ 0,425, são R\$0,068 de créditos de carbono e R\$ 0,357 de energia elétrica.

Tabela 4 – Volume equivalente diário de outras fontes de energia em relação ao biogás previsto e estimado para todas as granjas de Toledo ao dia

	<sup>1</sup> Biogás (65% CH <sub>4</sub> ) m <sup>3</sup>	<sup>2</sup> Gasolina Litro	<sup>2</sup> Óleo Diesel Litro	<sup>3</sup> Lenha Quilo	<sup>4</sup> Eletrici- dade kWh	<sup>2</sup> GLP Quilo
<sup>1</sup> Equivalência	1,000	0,60	0,55	1,60	1,430	0,45
Valor Unitário	0,425	3,00	12,30	0,10	0,250	3,83
Equivalente	0,425	1,80	1,27	0,16	0,357	1,72
Matrizes previsto total (R\$/dia)	11.300,96	47.862,90	33.636,98	4.254,48	9.492,81	45.828,73
Matrizes obtido total (R\$/dia)	2.289,26	9.695,70	6.813,92	861,84	1.922,98	9.283,63
Terminação previsto total (R\$/dia)	169.787,50	719.100,00	505.367,50	63.920,00	142.621,50	688.538,25
Terminação obtida total (R\$/dia)	19.465,00	2.440,00	57.937,00	7.328,00	16.350,60	78.936,30

Fonte: <sup>1</sup>Biogás Motores Ltda. Toledo – PR, adaptado do CCE (2000)  
<sup>3</sup>BRF (10/2013)

<sup>2</sup>Preço de mercado (12/2013)  
<sup>4</sup>COPEL (12/2013)

O custo do conjunto motogerador e do sistema de tratamento varia, dependendo do tamanho. O mesmo ocorre com o consumo de biogás e com a produção de energia elétrica e créditos de carbono, que são diretamente proporcionais, conforme demonstrado na Tabela 5, sendo que os custos do queimador e do quadro de comando são fixos, de R\$ 20.000,00 e R\$ 5.000,00, respectivamente.

Tabela 5 – Relação de consumo biogás, produção de energia elétrica e custo dos equipamentos

<sup>1</sup> Potência do motor (CV)	<sup>1</sup> Consumo de biogás (m <sup>3</sup> /h)	<sup>1</sup> Consumo de biogás (m <sup>3</sup> /dia)	<sup>1</sup> Produção (kVA)	<sup>1</sup> Produção (Watts)	<sup>1</sup> Produção (kWh)	<sup>1</sup> Custo moto gerador (R\$)
100	25	600	40	32.000	32	60.000,00
80	20	480	30	24.000	24	40.000,00
50	15	360	20	16.000	16	25.000,00
30	10	240	10	8.000	8	15.000,00

Fonte: <sup>1</sup>Biogás – Motores Estacionários Ltda. Toledo – PR, adaptado do CCE(2000)

Deve-se também observar a hipótese sobre a utilização de dois equipamentos geradores com potências menores e iguais operados por um quadro de comando. O equipamento poderia ser utilizado somente de dia e/ou nos horários de pico ou nos períodos de manutenção corretiva ou preventiva periódica, considerando que o motor necessita ser retificado em média a cada 5.000 horas. Pelo sistema, a produção de energia seria permanente permitindo a operacionalização da granja, além do aproveitamento do biogás durante a noite. Se não for desprezado, o biogás deverá ser lançado na natureza. A Resolução Regulamentadora da ANEEL 482/2012 ainda não definiu regras específicas para estas situações.

Quando comparado o potencial da energia elétrica que poderá ser produzida pela suinocultura de Toledo – PR, na Tabela 4, em relação a outras fontes renováveis ou não, são obtidos números consideráveis, demonstrando que todo este potencial não deve continuar sendo desperdiçado, principalmente quando existe a possibilidade de ser convertido em valores monetários. Outro aspecto cada vez mais importante e que precisa ser considerado é o impacto ambiental que ocorre com a não destinação correta dos dejetos.

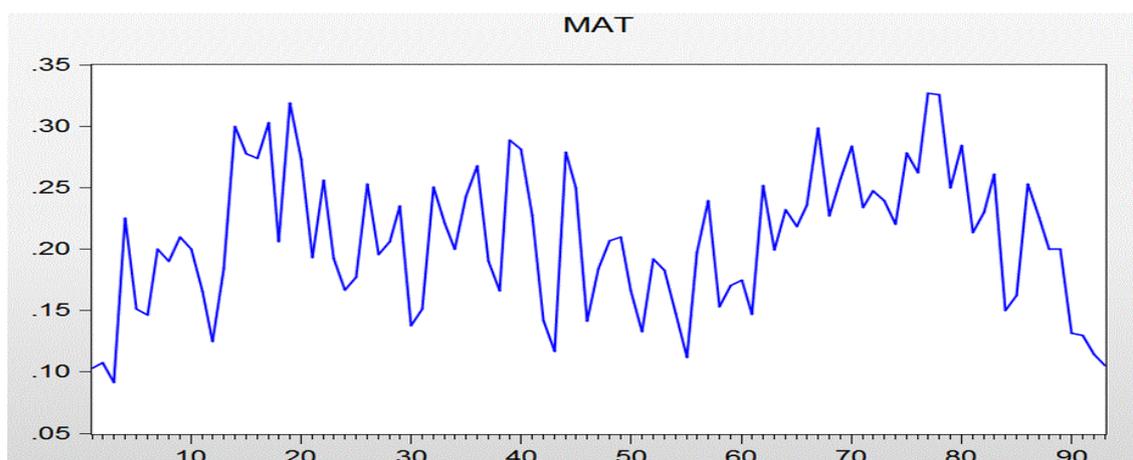
Para a aplicação da metodologia de Box e Jenkins (1970), utilizou-se uma amostra com intervalos de cinco dias, de junho de 2010 a setembro de 2012. A variável de interesse da pesquisa, neste caso, o volume de biogás produzido, foi medido diariamente por suíno, matriz e terminado, nos biodigestores anaeróbios instalados em granjas fomentadas pela BRF.

#### 4.1.1 Modelagem Box e Jenkins dos valores obtidos em granja de matrizes

No período de análise, observou-se que as operações deixaram a desejar, pois, segundo informações do responsável técnico pelas granjas, está sendo feito o mínimo necessário para manter os equipamentos em operação e, em alguns casos, muito deles não estão operando. Uma justificativa para isto seria a falta de remuneração aos produtores, ocasionando a operação inadequada do sistema de geração de biogás.

Na análise do gráfico do tempo, pode-se identificar na Figura 11, da série em estudo, apresenta-se bastante variável.

Na Figura 11, observa-se uma flutuação na produção diária de biogás com altas e baixas, e em torno das observações 2, 13, 43, 55 e 93 observam-se valores inferiores. Em contrapartida, também apresentam pontos de alta em torno das observações 18 e 76, mas, em geral, a produção está acima da média original de 0,2092 m<sup>3</sup>/matriz. Foi necessário utilizar as FAC e de FACP para testar a estacionariedade e verificar o possível modelo a ser estimado.



Fonte: SQBS de granja de matrizes da BRF

Figura 11 – Produção diária (m<sup>3</sup>) de biogás *per capita* por matriz

A Figura 12 apresenta a FAC e a FACP do volume original diário de produção de biogás *per capita* por matriz, o qual se apresenta com características estacionárias e sugere um modelo auto-regressivo.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.276	-0.276	7.2519	
		2	-0.352	-0.463	19.141	0.000
		3	0.228	-0.059	24.171	0.000
		4	-0.098	-0.259	25.107	0.000
		5	0.161	0.185	27.672	0.000
		6	-0.073	-0.098	28.210	0.000
		7	-0.102	0.059	29.263	0.000
		8	0.081	-0.105	29.935	0.000
		9	0.010	0.066	29.945	0.000
		10	0.079	0.067	30.597	0.000
		11	-0.196	-0.139	34.702	0.000
		12	0.104	0.110	35.863	0.000
		13	0.272	0.252	43.957	0.000
		14	-0.331	-0.057	56.072	0.000
		15	0.042	0.073	56.270	0.000

Fonte: Modelagem dados SQBS granja de matrizes BRF

Figura 12 – FAC e a FACP do volume original diário de produção de biogás *per capita* por matriz.

A FACP mede a correlação entre o valor de  $Z_t$  e  $Z_{t-k}$ , descontadas a influência dos valores de  $Z_{t-1}$ , até  $Z_{t-k+1}$ , observa-se que apenas a autocorrelação da defasagem 1 é significativa, reforçando-se a indicação de um modelo AR(1).

Na Tabela 6 apresenta-se o melhor modelo estimado, baseando-se nos critérios de *ruído branco*, AIC e BIC.

Tabela 6 – Modelagem granja de matrizes

Variável	Coefficiente	Erro padrão	teste $t$	$p$ -valor
*C	0.20920	0.00993	21.06748	0.00000
AR(1)	0.47987	0.09240	5.19355	0.00000
Estatísticas de ajustes				
Estatísticas Durbin-Watson			2.02272	
Erro quadrático			0,04064	
Coefficiente de desigualdade de Theil			0,11464	
AIC			-3,15057	
BIC			-3,09575	

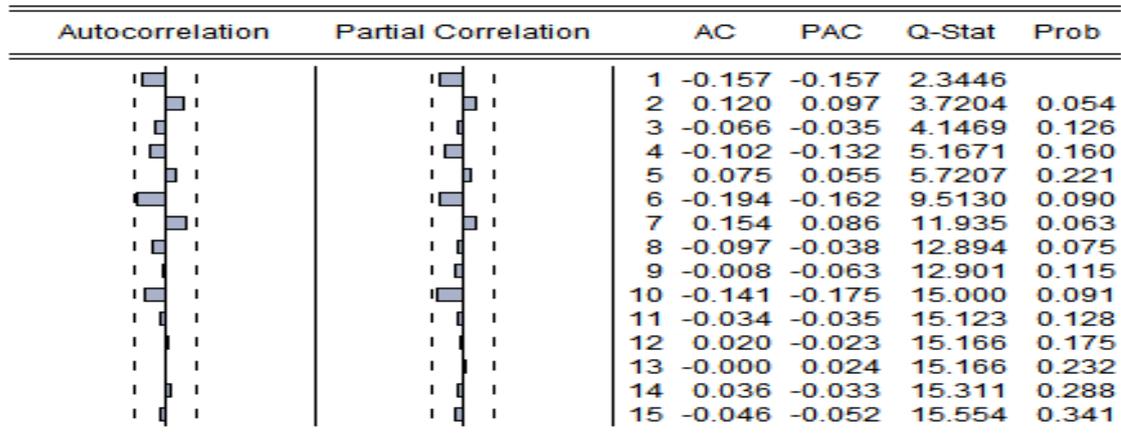
Fonte: Modelagem dados SQBS granja de matrizes BRF

\*Constante

As estatísticas de ajuste do modelo são o AIC = -3,15057 e BIC = -3,09575. Observa-se também que este modelo apresenta melhores estatísticas para o erro quadrático = 0,04064 e o coeficiente de desigualdade de Theil = 0,11464, como o valor da estatística DW está em torno de 2, é sinal de que a série residual é não autocorrelacionada, dentre os modelos concorrentes para a variável volume diário de produção de biogás *per capita* por matriz.

Entre os modelos auto-regressivo, o melhor modelo encontrado foi um AR(1) com constante, pois apresenta as características de *ruído branco*, com média zero, variância

constante e não autocorrelacionada, como se pode verificar pela função de autocorrelação e autocorrelação parcial dos resíduos, na Figura 13.

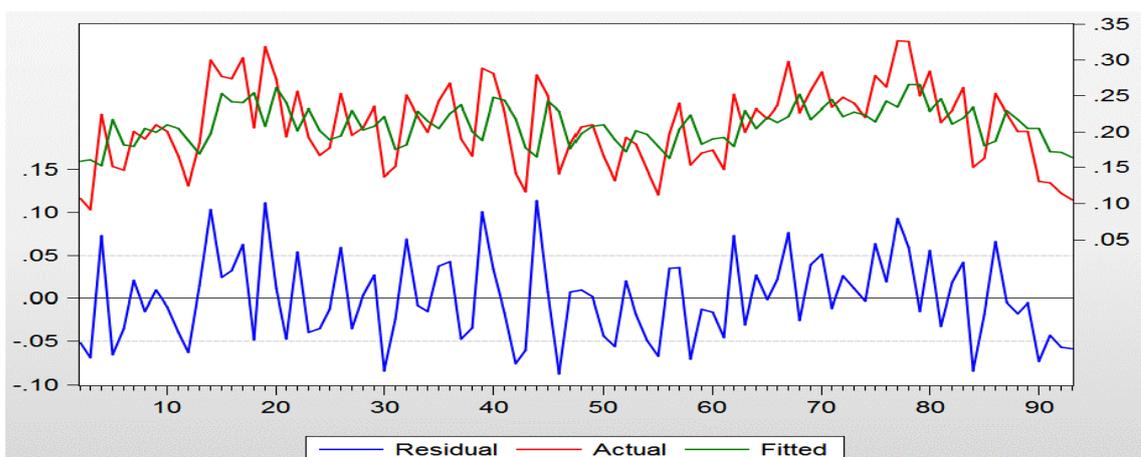


Fonte: Modelagem dados SQBS granja de matrizes BRF

Figura 13 – Função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial para os resíduos do modelo AR(1) com constante do volume diário de biogás *per capita* por matriz

Nesta etapa, foi verificado se o modelo identificado e estimado é adequado, pois o correlograma dos resíduos e o correlograma parcial estão dentro dos limites esperados, mostrando que não existe mais dependência entre as observações residuais.

Para verificar o bom ajuste do modelo, mostrados na Figura 14, é importante observar o comportamento dos resíduos, (demostrados na linha central que inicia em torno de - 0.05). Observa-se que os resíduos são aleatórios e que a curva original (linha que inicia logo acima de 0.10) está bem próxima da curva ajustada (linha que inicia logo acima de 0.15).



Fonte: Modelagem dados SQBS granja de matrizes BRF

Figura 14 – Valores reais, ajustados e resíduos ( $m^3$ ) do modelo AR(1) com constante, do volume diário de biogás produzido por matriz

A realização do ajuste do modelo e da previsão (forecast) futura para sete períodos a frente resultou na Figura 14, que, pela visualização no gráfico, apresenta uma produção um pouco mais reduzida que a média anterior, situação esta confirmada na Tabela 7.

Na modelagem, o modelo adotado AR(1) com constante, conforme consta na Tabela 7, foi testado para a previsão de produção diária *per capita* de biogás, num período correspondente a 7 (sete) períodos a frente, os valores ajustados apresentaram um valor médio de 0,1890 m<sup>3</sup>, abaixo da média original de 0,2092 m<sup>3</sup>/matriz, sendo o desvio de aproximadamente 9,65%.

Tabela 7 – Previsão da produção (m<sup>3</sup>) de biogás *per capita* por matriz

Observação	Real	Ajustado	Resíduos
94	0,1486	0,1588	-0.0102
95	0,1977	0,1797	0.0180
96	0,1981	0,2033	-0.0052
97	0,1729	0,2035	-0.0307
98	0,1516	0,1914	-0.0398
99	0,2016	0,1811	0.0205
100	0,2216	0,2052	0.0164

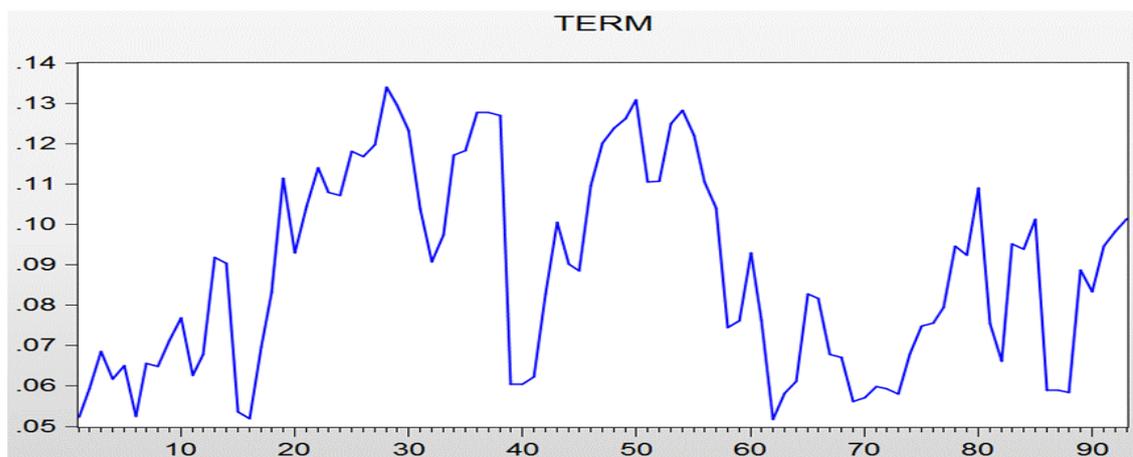
Fonte: Modelagem dados SQBS granja de matrizes BRF

As estatísticas para a previsão apresentaram os seguintes valores: MAPE = 20,8814, RMSE = 0,004762 e U-Theil = 0,1124, mostrando que as previsões realizadas são adequadas para o período.

#### 4.1.2 Modelagem e valores obtidos em granjas de terminação

Por meio da análise do gráfico do tempo da série das granjas de terminação, Figura 15, percebe-se que a série em estudo apresenta-se estacionária em relação a sua média original de 0,09081 m<sup>3</sup>, mas com variabilidades, a maior e menor.

Na Figura 15, observa-se uma flutuação na produção diária de biogás com altas e baixas, e em torno das observações 1, 6, 16, 40 e 62 percebem-se valores inferiores acentuados, em contrapartida, também apresentam pontos de alta, em torno das observações 28, 38, 50, e 54, as quais apresentam constantemente produções variadas durante o período em análise. Foi necessário utilizar as FAC e de FACP para testar a estacionariedade e verificar o possível modelo a ser estimado.



Fonte: SQBS granja de terminação da BRF

Figura 15 – Produção diária ( $m^3$ ) de biogás *per capita* por terminado

A Figura 16, apresenta a FAC e a FACP do volume original diário de produção de biogás *per capita* por terminado, o qual se apresenta com características estacionárias, pois há uma queda rápida da ACF e a PACF, mostram que apenas 1 *lag* significativo, isto é, fora dos intervalos de confiança, reforçando a ideia de um modelo auto-regressivo de ordem 1 (AR(1)).

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.776	0.776	62.069	0.000
		2	0.573	-0.073	96.294	0.000
		3	0.430	0.022	115.71	0.000
		4	0.394	0.179	132.21	0.000
		5	0.382	0.055	147.88	0.000
		6	0.329	-0.064	159.59	0.000
		7	0.271	0.018	167.62	0.000
		8	0.208	-0.030	172.42	0.000
		9	0.173	0.004	175.75	0.000
		10	0.080	-0.180	176.48	0.000
		11	0.020	0.009	176.53	0.000
		12	-0.033	-0.048	176.66	0.000
		13	-0.044	0.009	176.89	0.000
		14	-0.059	-0.033	177.30	0.000
		15	-0.083	-0.013	178.12	0.000

Fonte: Modelagem dados SQBS granja de terminação BRF

Figura 16 – FAC e a FACP do volume original diário de produção de biogás *per capita* por terminado

O modelo selecionado, dentre os modelos estimados, encontra-se na Tabela 8, juntamente com os seus respectivos critérios de avaliação.

As estatísticas de ajuste do modelo são o AIC = -5,59914 e BIC= -5,54432. Observa-se também que este modelo apresenta melhores estatísticas para o erro quadrático = 0,01440, coeficiente de desigualdade de Theil = 0,07878. Como o valor da estatística DW está em torno de 2, é sinal de que a série residual é não autocorrelacionada dentre os modelos concorrentes para a variável volume diário de produção de biogás *per capita* por terminado.

Tabela 8 – Modelagem granja de terminação

Variável	Coefficiente	Erro padrão	Teste $t$	$p$ -valor
*C	0.09081	0.00750	12.10992	0.00000
AR(1)	0.79638	0.06193	12.85996	0.00000
Estatísticas de ajustes				
Estatísticas Durbin-Watson		1,82832		
Erro quadrático		0,01440		
Coeficiente de desigualdade de Theil		0,07878		
AIC		-5,59914		
BIC		-5,54432		

Fonte: Modelagem dados SQBS granja de terminação BRF

\*Constante

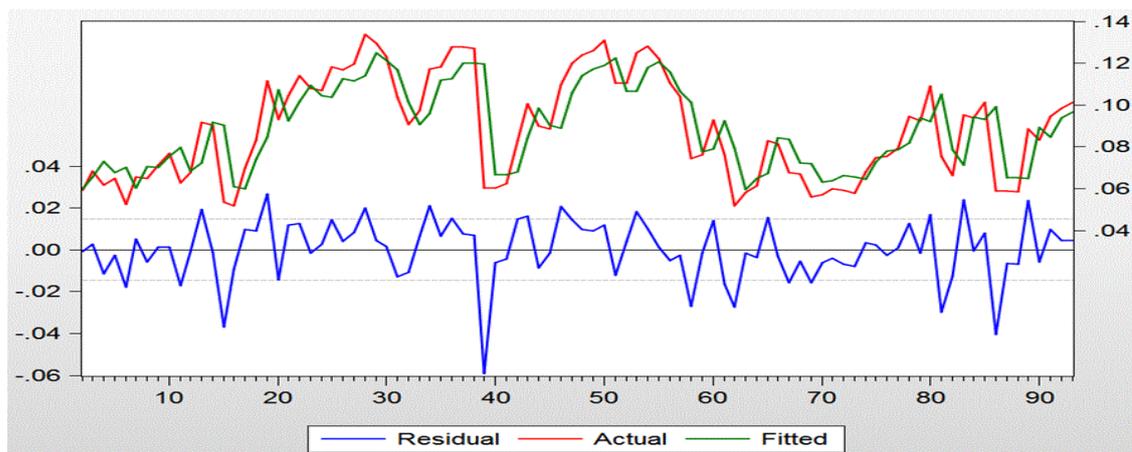
Entre os modelos Auto-regressivo, o melhor encontrado foi um AR(1) com constante, pois apresenta as características de *ruído branco*, com média zero, variância constante e não autocorrelacionado, como se verifica pela função de autocorrelação e autocorrelação parcial na Figura 17.

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 -0.106	-0.106	1.0656	
		2 -0.061	-0.073	1.4252	0.233
		3 0.061	0.047	1.7859	0.409
		4 0.009	0.017	1.7939	0.616
		5 0.057	0.068	2.1177	0.714
		6 -0.084	-0.074	2.8347	0.725
		7 -0.011	-0.023	2.8477	0.828
		8 -0.013	-0.035	2.8640	0.897
		9 -0.062	-0.064	3.2681	0.916
		10 -0.119	-0.139	4.7656	0.854
		11 -0.005	-0.032	4.7687	0.906
		12 -0.059	-0.081	5.1430	0.924
		13 -0.089	-0.097	6.0131	0.915
		14 0.018	-0.008	6.0485	0.944
		15 -0.055	-0.061	6.3902	0.956

Fonte: Modelagem dados SQBS granja de terminação BRF

Figura 17 – Função de autocorrelação e função de autocorrelação parcial para os resíduos do modelo AR(1), com constante do volume diário de biogás *per capita* por terminado

Para verificar o bom ajuste do modelo, mostrados na Figura 18, é importante observar o comportamento dos resíduos, (demonstrados na linha central que inicia em torno de 0.00), também se observa que os resíduos são aleatórios e que a curva original (inicia junto com a curva ajustada e termina ligeiramente acima desta) e está bem próxima da curva ajustada.



Fonte: Modelagem dados SQBS granja de terminação BRF

Figura 18 – Valores reais, ajustados e resíduos ( $m^3$ ) do modelo AR(1) com constante, do volume diário de biogás produzido na granja de terminação

Na modelagem, o modelo adotado AR(1) com constante, conforme consta na Tabela 9, foi testado para a previsão de produção diária *per capita* de biogás, num período correspondente a 7 (sete) períodos a frente, os valores ajustados apresentaram um valor médio de  $0,09081 m^3$ , acima da média original de  $0,0911 m^3$  por terminado, sendo o desvio em torno de 0,37%.

Tabela 9 – Previsão da produção ( $m^3$ ) de biogás *per capita* por terminado

Observação	Real	Ajustado	Resíduos
94	0,0935	0,0990	-0,0055
95	0,0587	0,0929	-0,0342
96	0,0879	0,0658	0,0221
97	0,0838	0,0885	-0,0047
98	0,1077	0,0853	0,0224
99	0,1060	0,1039	0,0021
100	0,1025	0,1026	-0,0001

Fonte: Modelagem dados SQBS granja de terminação BRF

As estatísticas para a previsão apresentaram os seguintes valores: MAPE = 13,7322, RMSE = 0,01467 e U-Theil = 0,0802, mostrando que as previsões realizadas são adequadas para o período.

Os resultados mostram que a produção é estável, transmitindo confiança no volume de produção futura de biogás nas granjas de matrizes e de terminação.

#### 4.1.3 Valores futuros obtidos através da modelagem

Efetivamente, o previsto futuro *per capita* diário de biogás, conforme Tabela 10, foi somente de  $0,1890 m^3$  por matriz e de  $0,0911 m^3$  por terminado em torno de 20 e 10% do volume bibliográfico de referência, respectivamente. Esta diferença de volume de produção

deve-se a vários fatores interferentes na degradação dos dejetos pelas bactérias, conforme Gaspar (2003), sendo os principais a temperatura, pH, presença ou não de oxigênio, substâncias tóxicas às bactérias (antibióticos, inseticidas e desinfetantes), período de detenção (números de dias de armazenamento dentro do biodigestor), pressão interna do biodigestor, qualidade do estrume, operação e manutenção constante dos equipamentos, sendo que estas duas últimas situações ainda estão em estágio de aprendizado pelos suinocultores. Foram considerados 28.500 alojamentos diários para matrizes e 500.000 alojamentos diários para terminação nas granjas de Toledo – PR.

Tabela 10 – Volumes previstos em bibliografia e obtidos de produção de energia elétrica e créditos de carbono em granjas de Toledo

Fase/ Ciclo	<sup>1</sup> Volume Biogás (m <sup>3</sup> / suíno/ dia)	<sup>1</sup> Qtidade kWh (suíno/ dia)	<sup>1</sup> Qtidade Créditos Carbono (suíno/ dia)	<sup>2</sup> Valor Energia Elétrica		<sup>3</sup> Valor Créditos Carbono	
				(R\$/ suíno/ dia)	(R\$/ Toledo mês)	(R\$/ suíno/ dia)	(R\$/ Toledo mês)
Matrizes bibliografia	0,9330	1,3342	0,0444	0,3335	289.143,99	0,0760	65.858,97
Matrizes obtido	0,1890	0,2136	0,0090	0,0534	46.284,62	0,0154	13.341,21
Terminação bibliografia	0,7990	1,1426	0,0380	0,2856	4.344.146,35	0,0651	989.475,89
Terminação obtido	0,0911	0,1035	0,0044	0,0259	393.546,04	0,0075	113.436,79

Fontes: <sup>1</sup>CCE(2000)

<sup>2</sup>COPEL

<sup>3</sup>Indicativo simplificado de base e acompanhamento de metodologias selecionados para a atividade na categoria de pequeno projeto de MDL, III.D. / Versão 15

Considerando-se os valores da Tabela 10, da totalidade do plantel do Município, o volume de energia elétrica obtido geraria um valor mensal de R\$ 439.830,67, que, somados aos créditos de carbono, de R\$ 126.777,99, resultaria um valor considerável. Como até o momento não houve retorno financeiro aos produtores, o volume obtido está muito aquém do previsto, conforme Tabela 10.

A Copel cobra dos produtores rurais, desde que o produtor/micro ou minigerador consuma na área rural, o valor de R\$ 0,250 o kWh. Se a energia for consumida na indústria, comércio ou residência no perímetro urbano, os valores são em torno de R\$ 0,396 o kWh, perfazendo uma diferença em torno de 36%. Demonstra-se, assim, que estes valores são mais baixos e o que vier a somar trará números financeiros mais favoráveis.

Os valores são para baixa tensão, sem contratos de demanda, e negociados junto aos consumidores comerciais e industriais. Eles variam de acordo com a opção tarifária negociada, principalmente pelas indústrias, que são as maiores consumidoras. No horário de

maior consumo (pico), 18 às 21 horas, a diferença poderá chegar a 80%, com o agravante de multas tarifárias no caso de excesso do consumo predeterminado.

Deve-se considerar também que o custo de manutenção do biodigestor é insignificante. É necessária apenas a manutenção do motor, a cada 5.000 horas, com retífica, óleo lubrificante, filtros, líquido de arrefecimento, correias, rolamentos e outros que giram em torno de 25% do custo do conjunto motogerador novo.

Para apurar os valores e período de retorno financeiro foram utilizados os dados de uma granja de matriz com 200 matrizes e uma granja de terminação com 1.000 terminados, pois foram destas a coleta dos valores medidos e modelados, utilizados na Tabela 10 e extrapolados para os dados das Tabelas 11 e 12.

Para o dimensionamento do biodigestor para 40 dias e depósito para 80 dias, foi utilizado o volume do estrume e urina da Tabela 2; para compor na granja de matriz foram consideradas as matrizes em gestação, matrizes em amamentação com prole e os leitões em creche. Para a granja de terminação, considerou-se apenas a terminação.

Para o cálculo do número de meses para o retorno do investimento, foi considerada uma taxa de retorno de 6% ao ano e, para atualizar o valor presente, através de planilha eletrônica, foi utilizada a fórmula abaixo:

$$=VA(x\%;y;-z) \quad (14)$$

Onde: VA – Valor presente; x% – Taxa de juros mensais; y – Número de parcelas; e, z – Número de prestações.

Fonte: Fazaconta.com

Nesta análise, foram utilizadas duas hipóteses para o cálculo da viabilidade econômica: a primeira com sistema com motogerador e com queimador, na Tabela 11, e, a segunda, somente com motogerador, Tabela 12.

Analisando-se, na Tabela 11, o período de retorno do investimento no sistema de tratamento de dejetos suínos com a obtenção de créditos de carbono e de energia elétrica, apresenta-se mais rápido em granjas a partir de 500 matrizes ou 1.000 terminados.

Porém, a crise econômica mundial dos últimos anos fez com que o valor dos créditos de carbono praticamente inviabilizasse qualquer investimento para obtenção de retorno somente com a obtenção desses créditos. O seu valor caiu de 12,00 para 0,57€, inviabilizando o retorno financeiro em períodos menores que 10 anos e em granjas com mais de 5.000 suínos em terminação, características praticamente não encontradas em Toledo.

Tabela 11 – Custos e período previsto para retorno do investimento com créditos de carbono e energia elétrica

Fase/ Ciclo	Suínos alojados (Unidades)	<sup>1</sup> Custo quadro de comando (R\$)	<sup>2</sup> Custo queimador (R\$)	Custo sistema completo (R\$)	Valor obtido mensal (R\$)	Período retorno (meses)
Matrizes	200	5.000,00	20.000,00	62.500,00	418,43	277
	500	5.000,00	20.000,00	67.400,00	1.046,07	78
	750	5.000,00	20.000,00	74.100,00	1.569,10	54
Terminação	1.000	5.000,00	20.000,00	63.700,00	1.013,97	76
	2.500	5.000,00	20.000,00	89.600,00	2.534,91	39
	5.000	5.000,00	20.000,00	168.200,00	5.069,83	37

Fontes: <sup>1</sup>Biogás – Motores Estacionários Ltda. Toledo – PR<sup>2</sup>Instituto Sadia –BRF

No Brasil, a euforia do surgimento do mercado de créditos de carbono no passado próximo, em forma de *comodities*, patrocinou a retomada da implantação dos sistemas de tratamento de dejetos em biodigestores anaeróbios, com queimadores de biogás, eliminando assim o grande passivo ambiental da suinocultura.

Tabela 12 – Custos e período previsto para retorno do investimento com energia elétrica

Fase/ Ciclo	Suínos alojados (Unidade)	<sup>1</sup> Potência do motor (CV)	Horas funcionamento (dia)	<sup>1</sup> Custo quadro comando (R\$)	Custo sistema completo (R\$)	Valor mensal (R\$)	Período retorno (meses)
Matrizes	200	30	3,78	5.000,00	38.400,00	324,80	180
	500	30	9,45	5.000,00	46.300,00	812,01	68
	750	30	14,18	5.000,00	53.500,00	1.218,02	50
Terminação	1.000	30	9,16	5.000,00	41.500,00	787,09	55
	2.500	50	15,27	5.000,00	70.000,00	1.967,73	40
	5.000	80	18,32	5.000,00	154.000,00	3.935,46	44

Fontes: <sup>1</sup>Biogás – Motores Estacionários Ltda. Toledo – PR<sup>2</sup>Instituto Sadia – BRF

A Tabela 11, mostra a obtenção de energia elétrica e créditos de carbono. Na Tabela 12, o retorno do investimento somente com energia elétrica será num prazo inferior a 70 meses e com funcionamento mínimo do motogerador de 10 horas diárias, demonstrando o ganho em escala, pois o custo desse sistema de tratamento é proporcional ao número de animais, matriz ou terminado, semelhante ao do conjunto motogerador, salvaguardando as proporções, sendo que o quadro de comando apresenta custo fixo.

A instalação do queimador seria uma forma de garantir que nos momentos de manutenção do motor, a cada 5.000 horas de funcionamento, em média, seja eliminado. O biogás seria liberado de forma ambientalmente correta, conforme convencionado em contrato e com a rastreabilidade para a manutenção da certificação.

Ainda, na segunda hipótese, em função do tamanho médio das granjas em Toledo – PR., o valor do queimador é praticamente o mesmo do conjunto motogerador. O quadro de comando pode ser utilizado para mais de um conjunto, viabilizando a compra de um segundo conjunto, ao invés de um queimador. Atualmente o número de granjas com o conjunto é praticamente incipiente, pois os conjuntos geradores foram adquiridos pelos suinocultores. Nesta hipótese, também poderão ser obtidos créditos de carbono, se esta sistemática tiver sido certificada, o que poderá ocorrer no futuro, pois o motor Ciclo Otto apresenta a mesma eficiência que o queimador no sequestro de gás carbônico e conseqüentemente na obtenção de créditos.

A opção pela utilização do queimador é mundial. Já os motores Ciclo Otto são utilizados há menos de uma década na região, pois são pouco conhecidos, embora a tecnologia tenha sido difundida em estudos e trabalhos patrocinados por órgãos vinculados à educação e ao ensino superior (MEC/CAPES). Estes estudos mostram que uma produção em escala reduzirá os custos de produção das propriedades, através do aproveitamento de energia elétrica pelos micro e/ou minigeradores, agregando valor à produção. Além disso, os produtores terão a segurança da garantia ininterrupta do fornecimento de energia elétrica, algo comum em casos de adversidades técnicas ou climáticas e ocorrências sazonais de tempestades em grandes proporções. A falta de energia nestes casos, agravado pelas longas extensões de rede de alta tensão, com mais de 30 quilômetros, resulta em demora no restabelecimento da energia, trazendo prejuízos aos produtores.

Situações como estas podem resultar na mortandade total de um lote com milhares de frangos e ou de centenas de suínos, causando enormes prejuízos. Nas criações em parcerias e comodatos, num sistema integrado, as indústrias também assumem estes riscos. Os prejuízos são indiretamente rateados por todos os participantes. Mesmo assim, a perda financeira será elevada e irreversível para o produtor afetado.

Para evitar isto, exemplos práticos podem ser listados, demonstrando-se a viabilidade da implantação do sistema de geração de energia elétrica, mesmo sem a obtenção de créditos de carbono, tanto no Oeste paranaense, como em outras regiões do Brasil. Em uma granja de matrizes, o custo mensal de energia elétrica por matriz gira em torno de R\$ 2,00. Logo, 500 matrizes resultam em R\$ 1.000,00, valor suficiente para cobrir os custos mensais para liquidação do investimento realizado.

Outro exemplo: a existência de centenas de aviários de frangos de corte instalados, isolados ou em baterias, com capacidade em torno de 16.000 frangos. Cada aviário utiliza mensalmente em torno de R\$ 600,00 em energia elétrica para iluminação,

refrigeração/climatização das instalações e abastecimento de água (climatização e consumo), de R\$ 100,00 para a residência e de R\$ 400,00 em madeira para o aquecimento das aves. Para a produção de energia para um aviário acima citado serão necessárias granjas em torno de 500 matrizes ou 1.250 terminados.

Considerando-se que nestas situações aproveita-se somente em torno de 25 a 45% do potencial do biogás na produção de energia elétrica, restando, ainda a cogeração de 25 a 35% do escapamento, de 12 a 18% do arrefecimento do motor, esta sobra pode ser aplicada ou em dias de baixa temperatura, para o aquecimento necessário do piso, das instalações dos leitões junto com as mães e na creche, ou nos dias de alta temperatura, em que a climatização e a refrigeração demandarão grandes volumes de energia para a movimentação dos sistemas de ventilação e bombeamento de água para consumo e climatização.

Com a produção em escala, é cada vez maior a criação de aves e suínos na mesma propriedade, ou em outras propriedades do mesmo proprietário. Neste estudo não foram considerados os gastos em energia elétrica com bovinos leiteiros e na aeração e bombeamento da água na piscicultura, atividades comuns em um grande número de propriedades rurais do mesmo proprietário, nem a melhoria na qualidade do fertilizante após o tratamento, bem como a mitigação do passivo ambiental.

Já nas granjas de terminação, a tecnificação não está tão avançada e o custo da energia elétrica por terminado é de poucos centavos de real.

Nos dois exemplos, demonstrou-se que os valores gastos na implantação do sistema podem ser facilmente retornados aos produtores. Considerando-se que muitos produtores possuem criações de suínos, de aves e de outros animais, ou áreas de indústria e comércio, embora, nem sempre na mesma propriedade, ou ainda residem na área urbana, isso não acrescenta custo ou transtorno algum, pois a Resolução Regulamentadora da ANEEL 482/2012, propicia esta flexibilidade de produção em um local e gasto em vários outros do mesmo proprietário.

Analisando-se o projeto completo do retorno dos créditos de carbono e da geração de energia elétrica e, considerando-se que, na Tabela 12, o volume de biogás é o efetivamente medido, a previsão de retorno com a energia demonstra valores dentro da realidade. Mas, se fosse baseado nos volumes das bibliografias, que podem ser comparados na Tabela 10, que citam uma produção muito superior, conseqüentemente, os valores obtidos teriam um valor bem mais expressivo, bem como os custos mais elevados da energia elétrica fora do ambiente rural. Assim, o retorno do investimento será em período inferior ao apresentado.

## 5 CONCLUSÕES

Esta pesquisa foi realizada no período de junho de 2010 a setembro de 2012, utilizando-se os volumes de biogás produzidos em biodigestores anaeróbios, em granjas de suínos no município de Toledo, no oeste do Estado do Paraná. Estas granjas são integradas/parceiras e possuem um processo ambientalmente correto de disposição final dos dejetos, produzindo o biogás, que, na sua composição, possui o gás metano, 21 vezes mais poluente e agressivo que o gás carbônico para a camada de ozônio, auxiliando no aquecimento global.

O biogás através da queima é eliminado e transformado em gás carbônico e este processo é denominado de sequestro do gás carbônico. Queima que pode ocorrer em queimadores ou motores de Ciclo Otto, se ocorrer nos motores e estes estiverem acoplados a um gerador, permite a produção de energia elétrica, além dos créditos de carbono.

Por meio das modelagens realizadas, com a metodologia de Box e Jenkins (1970), as análises de séries temporais, tanto para as granjas de matrizes e terminação, mostraram características estacionárias, sugerindo um modelo auto-regressivo de ordem 1 ((AR)1) com constante, pois apresentou as características de *ruído branco*, com média zero, variância constante e não autocorrelacionada. No modelo o comportamento dos resíduos são aleatórios e a curva original está bem próxima da ajustada.

Para a previsão futura, de produção *per capita* diária de biogás, os resultados mostram que a produção é estável, transmitindo confiança no volume de produção das granjas de matrizes e de terminação.

Quando da visita ou passagem pelas estradas próximas das granjas de suínos, nota-se que a produção de biogás não é valorizada pela maioria dos suinocultores. Como os sistemas foram focados para a obtenção de créditos de carbono e este retorno financeiro direto ao produtor não está ocorrendo, nem sempre o ganho ambiental e de qualidade de vida são considerados. Daí a falta de interesse na manutenção e na operação dos equipamentos, aliados a falta de uma política governamental de incentivo a esta fonte de energia limpa, pois se for para o suinocultor arcar sozinho, considerando com o retorno da produção da suinocultura, esta matriz energética continuará incipiente.

Demonstrou-se que é viável a utilização do biogás, em granjas a partir de determinado porte, desde que os equipamentos tenham um funcionamento diário em torno de 10 horas ou mais. Desta forma, o retorno ocorrerá em torno de 70 a 80 meses, seja com a produção exclusiva de energia elétrica e/ou conjunta com créditos de carbono.

Para viabilizar as granjas de menor porte, os dejetos deverão ser tratados na propriedade e o biogás transportado por gasodutos até um determinado ponto, formando um condomínio. O sistema tornará viável o ganho em escala pela produtividade e racionalização no uso dos equipamentos, fazendo com que os custos tenham retorno em um intervalo de tempo menor.

A pesquisa permitiu verificar também, que esta é mais uma fonte que trará aos produtores rurais incremento de renda ou redução no custo de produção e, com certeza, retorno financeiro, melhorando a competitividade, a fixação e a sobrevivência do homem no campo, além de garantir a sustentabilidade da propriedade, com a mitigação do passivo ambiental.

Fator preocupante é a queda vertiginosa do valor do crédito de carbono em função da crise europeia/mundial, que se arrasta por vários anos. Assim a implantação dos sistemas de tratamento passou a não ser mais atraente, do ponto de vista econômico, somente para obtenção de créditos de carbono.

Atualmente, o foco principal é a produção de energia elétrica, principalmente, com a entrada em vigor da Portaria Regulamentadora da ANEEL 482/2012, que possibilita a compensação dessa energia com as concessionárias, consumindo nos momentos necessários na granja ou fora dela.

Esta pesquisa atingiu o seu objetivo, pois a utilização dos modelos de previsão futura de Box e Jenkins, demonstrou os valores futuros dos volumes de produção *per capita* de biogás por suíno. Desta forma, antecipa-se o comportamento da série em estudo, buscando-se analisar a viabilidade do projeto e o período para retorno econômico, reduzindo-se o risco do suinocultor/investidor e o aumento da sua autossuficiência, onde, com a produção própria da energia, o produtor reduz os impactos quando da falta de energia, provocada por fatores climáticos ou acidentes na rede elétrica, que no interior percorre longas distâncias.

Salienta-se ainda, que outras fontes de energia elétrica limpa estão sendo introduzidas na matriz energética nacional, com estudos e investimentos maciços, como a solar e a eólica. Elas poderão, em um futuro próximo, ser também competitivas.

### **5.1 Recomendações para pesquisas futuras**

Sugere-se, ampliar estudos em projetos de sistema de transportes de biogás por meio de tubulações para pequenas centrais de geração de energia elétrica em motores de combustão interna e/ou turbinas a gás, facilitando a operacionalização do repasse da energia elétrica produzida ao sistema público de distribuição. Se forem juntadas uma ou duas dezenas de

propriedades próximas – característica comum das propriedades do município de Toledo – PR – sendo necessários menos pontos de interligação as concessionárias.

Sugere-se também a realização de estudos de queima direta do biogás para aquecimento de caldeiras e em sistemas de secagem de grãos. A eficiência no rendimento pela geração térmica é maior que a eficiência na produção de energia elétrica, situação viabilizada pelo gasoduto e pela existência de armazéns de secagem de grãos e de algumas indústrias no interior do Município.

Recomendam-se ainda estudos para o aproveitamento da produção de energias da cogeração, nas granjas ou em condomínios; a instalação prévia nos biodigestores de dispositivos para a retenção de sólidos sedimentáveis contidos nos dejetos, como a areia do desgaste das instalações e a contida naturalmente na ração; leitos de secagem para desidratação do lodo proveniente da digestão da matéria orgânica depositada no fundo do biodigestor. O material poderá ser utilizado em plantadeiras, substituindo adubos químicos; realização na propriedade de análises de baixo custo e facilidade de execução para manter o controle operacional de todas as fases do processo, tais como pH, temperatura e sólidos sedimentáveis.

Nesta pesquisa não foram abordadas outras grandes fontes produtoras de energias renováveis a partir do biogás, como os lixões, aterros sanitários, cervejarias, fecularias, abatedouros, estações de tratamento de dejetos humanos, indústrias com altas emissões de matéria orgânica fermentáveis, estábulos de outros animais, e outros que possam produzir energia através da biodigestão. Outra fonte não tratada foi a utilização da energia solar para aquecimento das granjas e para a produção de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGCERT Canadá. **Instalação de Biodigestores de Temperatura Ambiente**. AgCert Proprietary Information. Brasil. Set. 2004. 32 pg. Disponível em: <<http://www.atividaderural.com.br/artigos/4e9dad8ae5ecd.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2007.
- AGCERT.JPG. Altura: 480 pixels. Largura: 600 pixels. True Color 24 bits. 57,3 Kb. Formato JPEG. **Anaerobic Digestion**. AgCert International. [s.n.], 1 p.
- AGÊNCIA MINAS. **Minas Gerais desenvolve projetos de energia alternativa**. Infraestrutura, 13 fev. 2006. Disponível em: <<http://www.agenciaminas.mg.gov.br/noticias/minas-gerais-desenvolve-projetos-de-energia-alternativa/>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- AGRENER. **Revista Eletrônica da UNICAMP**. Campinas, São Paulo, 2008.
- AMORIM JÚNIOR, H. P.; MOREIRA, T. C.; PESSANHA, V. G.; JACINTO, A. M. Previsão da demanda de passageiros no Sistema de Transporte Coletivo utilizando as Redes Neurais Artificiais e os Algoritmos Genéticos. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO DE COMPUTAÇÃO – CBCOMP, 2004, Itajaí – SC. **Anais...** Itajaí - SC. Universidade do Vale do Itajaí (Univali), 2004. p. 306 – 312.
- AMST. ASSOCIAÇÃO MUNICIPAL DE SUINOCULTORES. Toledo – PR. 2013.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 482/2012**. Brasília, 2012. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2012.
- AWMS GHG. **Mitigation Project BR05-B-08, Paraná and Rio Grande do Sul, Brazil – UNFCCC Clean Development Mechanism, Project Design Document**, AGCERT, Versão 3.1, 15 mai. 2006. 55 p. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/VQHA5KITDY2MQTMLYPY2VC9PORYZYN>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- \_\_\_\_\_. **Mitigation Project BR05-B-08, Paraná and Rio Grande do Sul, Brazil – UNFCCC Clean Development Mechanism Monitoring Report, Clean Development Mechanism (CDM)**, AGCERT.08 out. 2007. 11 p. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/7PL4I7A16LVSMCR0EX5DVK5BUGMRU1>>. Acesso em: 15 jan. 2013.
- BERTOLDI, A. Biomassa vai virar energia elétrica no PR. **Folha de Londrina**, Londrina, 04 fev. 2009. Caderno inicial. Disponível em: <[http://www.profissionaisdoano.com.br/mostrar\\_noticia.aspx?id=71](http://www.profissionaisdoano.com.br/mostrar_noticia.aspx?id=71)>. Acesso em: 20 jun. 2009.
- BIOGÁS MOTORES LTDA. **Energia de graça para sua propriedade**. Toledo – PR: [s.n.], 2 p.
- BIOGÁS MOTORES LTDA.JPG. Altura: 648 pixels. Largura: 864 pixels. True Color 24 bits. 71,9 Kb. Formato JPEG. **Motogerador Ciclo Otto**. Disponível em: <<http://biogasmotores.com.br/institucional.html>>. Acesso em: 26 ago. 2013.
- BOX, G. E. P. & JENKINS, G. M. **Time Series Analises, forecasting and control**, San Francisco. Holden Day, 1970. 537 p.
- BRONDANI, J. C. **Biodigestores e biogás: Balanço energético, possibilidades de utilização e mitigação do efeito estufa**. 2010. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia

de Produção) – Centro tecnológico – Universidade Federal de Santa Maria – Santa Maria, 2010.

BUENO, R. L. S. **Econometria de séries temporais**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 299p.

BURACO da camada de ozônio aumenta e aproxima-se de recorde. **Jornal Estadão Online**. São Paulo, 22 set. 2006 Disponível em: <<http://ecofalante.terra.com.br/sub/noticias.php?set=1322>>. Acesso em: 18 mai. 2012.

CASTANHO, D. S; ARRUDA, H. J. de. **Biodigestores**. In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Ponta Grossa, v.02, nº 21, 2008. 7 pg.

CCE. CENTRO PARA A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA. **Guia Técnico de Biogás**, Agência Para a Energia – AGEEN, 2000. 120 p. Alges – Portugal.

CDM – EXECUTIVE BOARD. **Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories, III.D – Methane recovery in animal manure management systems**, Version 15, UNFCCC/CCNUCC.12 p. Disponível em: <[http://cdm.unfccc.int/Panels/ssc\\_wg/meetings/021/ssc\\_021\\_an05.pdf](http://cdm.unfccc.int/Panels/ssc_wg/meetings/021/ssc_021_an05.pdf)>. Acesso em: 11 jul. 2012.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. Viabilização econômica da utilização do biogás produzido em granja de suinocultura para a geração de energia elétrica. **Revista Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, V. 30, nº 5, p. 831 – 844, Set/out. 2010.

CIRAM. CENTRO DE INFORMAÇÕES DE RECURSOS AMBIENTAIS E DE HIDROMETEOROLOGIA DE SANTA CATARINA – EPAGRI. **Biogás**. Florianópolis Disponível em: <[http://ciram.epagri.rct-sc.br:8080/cms/mudancas\\_climaticas/agricultura.jsp](http://ciram.epagri.rct-sc.br:8080/cms/mudancas_climaticas/agricultura.jsp)>. Acesso em: 15 mai. 2012.

CONPET. PROGRAMA NACIONAL DA RACIONALIZAÇÃO DO USO DOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL. **Notícias**. Rio de Janeiro. Disponível em: <[http://www.conpet.gov.br/quoto/noticia.php?segmento=corporativo&id\\_noticia=657](http://www.conpet.gov.br/quoto/noticia.php?segmento=corporativo&id_noticia=657)>. Acesso em: 15 mai. 2012.

COPEL. COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. **Energia mais barata também para suinocultores do Paraná**. Curitiba. Disponível em: <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2Froot%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2>>. Acesso em: 20 set. 2012.

DIAS, M. I. A.; COLEN, F.; FERNANDES, L. A.; SOUZA, R. M.; BUENO, O. C. Viabilidade econômica do uso do biogás proveniente da suinocultura, em substituição a fontes externas de energia. **Revista Energia na Agricultura**. Botucatu, V. 28, nº 3, p. 155 – 164, Jul/set. 2013.

EMPRESAS FOCKING; BRANCO MOTORES, Panambi, RS; Curitiba, PR, 2009.

EIEWS.COM. **Product Information**. Disponível em: <<http://www.eviews.com/home.html>>. Acesso em 27 mar. 2012.

FAZ A CONTA. **Valor presente**. Disponível em: <<http://fazaconta.com/valor-presente-parcelamentos.htm>>. Acesso em: 10 set. 2013.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo – PR**.

2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GUJARATI, D. N. **Econometria básica**. São Paulo: Makron Books, 2000. 846 p.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores – População – Economia – Geociências**. Brasília, 2013. Disponível em: <<http://www.ibge.com.br>>. Acesso em: 05 mar. 2013.

ITAIPIU BINACIONAL. **Biomassa – Fomentando a Economia Local**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://www.plataformaitaipu.org/energia/biomassa>>. Acesso em: 22 mar. 2012.

JUNGES, D. M.; SHIKIDA, P. F. A.; KLEINSCHMITT, S. C.; SILVA, J. R. Análise econômico – financeira da implantação do sistema de biodigestores no município de Toledo – PR. **Revista de Economia**, Ed. UFPR. Curitiba, v. 35, nº 1, p. 7 – 30, Jan/abril – 2009.

KUNZ, A. et al. **Comparativo de custos de implantação de diferentes tecnologias de armazenagem/tratamento e distribuição de dejetos suínos**. EMBRAPA. Circular Técnica 42. ISSN 0102-3713. Concórdia: 2005.

MCT. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Protocolo de Quioto**. Editado e traduzido pelo Ministério da Ciência e Tecnologia com o apoio do Ministério das Relações Exteriores da República Federativa do Brasil, Brasília, 29 p.

MIELE, M. **Contratos, especialização, escala de produção e potencial poluidor na suinocultura de Santa Catarina**. 2006. 278 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2006.

MORETTIN, P. A. **Econometria financeira um curso em séries temporais financeiras**. 1. ed., São Paulo: Edgar Blücher, 2008. 336 p.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de Séries Temporais**. São Paulo: E. Blücher, 2004. 535p.

NICOLAIEWSKY et al. **Sistemas de produção de suínos**. In: \_\_\_\_\_. Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho. Brasília, DF: EMBRAPA, 1998.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: a alternativa energética**. São Paulo: Nobel, 1986. 93 p.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M.M.; NUNES, M.L.A. **Emissões de gases, na suinocultura, que provocam o Efeito Estufa**. Concórdia. EMBRAPA – CNPSA, 2004. 12 p.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Protocolo de Quioto**. Quioto, Japão. 1997.

PECORA, V. **Implantação de Uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Tratamento de Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso**. 152 f. Dissertação (Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia) EP/FEA/IEE/IF – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PIACENTI, C. A. **O potencial de desenvolvimento endógeno dos municípios paranaenses**. 2009. 201 f. Tese (Doutorado em Economia Rural) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2009.

PNMA. PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE II – Gestão Integrada de Ativos Ambientais. **Manual de Gestão Ambiental na Suinocultura**. Curitiba, Convênio MMA-PNMAII/SEMA/IAP/FUNPAR, 2004. 164 p.

SADIA. **ONU Aprova Projeto da Sadia Para Captação de Gases de Efeito Estufa**, [200-] Informativo Sadia. Disponível em: <[http://www.sadia.com.br/br/instituto/noticia\\_37950.asp](http://www.sadia.com.br/br/instituto/noticia_37950.asp)>. Acesso em: 18 mai. 2012.

\_\_\_\_\_. **Programa de Suinocultura Sadia é destaque no relatório da ONU**, 14/11/2008, Informativo Sadia. Disponível em: <[http://www.sadia.com.br/br/empresa/informativo\\_41963.asp](http://www.sadia.com.br/br/empresa/informativo_41963.asp)>. Acesso em: 23 fev. 2013.

\_\_\_\_\_. **Sadia é incluída em relatório da ONU sobre desenvolvimento**, 12/8/2008, Informativo Sadia. Disponível em: <[http://www.sadia.com.br/br/empresa/informativo\\_41833.asp](http://www.sadia.com.br/br/empresa/informativo_41833.asp)>. Acesso em: 20 out. 2012.

\_\_\_\_\_. **Sadia e Instituto Sadia de Sustentabilidade Formalizam Primeira Venda de Créditos de Carbono**, [200-]. Disponível em: <[http://www.sadia.com.br/br/instituto/noticia\\_38176.asp](http://www.sadia.com.br/br/instituto/noticia_38176.asp)>. Acesso em: 18 mai. 2012.

\_\_\_\_\_. **SQBS – Sistema de Queima de Biogás Sadia**. Sistema corporativo. Base de dados. Online.

SANEPAR. COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ. **Sanepar Participa de Projeto Inédito de Controle Ambiental**. Curitiba. 29 mar. 2005. Disponível em: <<http://www.aenoticias.pr.gov.br/modules/news/print.php?storyid=10527>>. Acesso em: 18 mai. 2012.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Informações – SIS**. Base de dados. Online. Dados dez. 2013.

SEAB. SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ. **Levantamento da Produção Agrícola do Estado do Paraná – safra 11/12**, SEAB PR/DERAL, Curitiba, 2013.

TEIXEIRA JUNIOR, Sérgio. Novo clima para os negócios. **Revista Exame**. Edição 883, Pg. 30, dez/2006.

UFSM. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e pesquisa. **Estrutura e Apresentação de Monografias, Dissertações e Teses – MDT**. Biblioteca Central, 8ª Edição – Santa Maria: Ed. da UFSM, 2012. 72 p. Disponível em: <[http://www.coral.ufsm.br/ppgepro/attachments/article/99/MDT\\_revisada\\_%2002\\_11.pdf](http://www.coral.ufsm.br/ppgepro/attachments/article/99/MDT_revisada_%2002_11.pdf)>. Acesso em: 14 dez. 2013.

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

## GLOSSÁRIO

- AIC – Critério de informação Akaike – critério penalizador para identificar o modelo mais favorável.
- BIC – Critério bayesiano de Schwartz – critério penalizador para identificar o modelo mais favorável.
- Biogás – é o gás advindo da digestão anaeróbia de matéria orgânica; é composto por metano (60 – 70%), gás carbônico (30 – 40%) e gás sulfídrico (traços).
- BRF – Empresa do ramo de produtos alimentícios e proteínas animais, surgiu através da fusão das ações da Sadia S.A. ao capital social da Perdigão S.A.
- Buraco da camada de ozônio – é a abertura resultante da redução da camada de ozônio na estratosfera.
- Camada de ozônio – camada de gás ozônio – situada a 30 ou 40 km de altura -, atua como um verdadeiro escudo de proteção, filtrando os raios ultravioletas emitidos pelo sol.
- Commodities – bens que têm a capacidade de serem equivalentes ou intercambiáveis com outros, como o soja, milho, trigo, algodão, CER e outros.
- Crédito de carbono – é uma espécie de moeda ambiental que pode ser conseguida por diversos tipos de projetos que absorvam GEE da atmosfera.
- Dióxido de carbono – é o gás carbônico, produzido principalmente pela queima de combustíveis fósseis, como o petróleo, carvão, queimadas e gás natural.
- Dióxido de enxofre – gás proveniente das queimas que ocorrem e é expelido pelas chaminés das fábricas.
- Gasômetro – parte superior do biodigestor onde está armazenado o biogás.
- Ottorização – é a conversão em Ciclo Otto de motores a gasolina, álcool ou diesel em motores a gás natural ou gás liquefeito de petróleo ou biogás.
- Óxido de nitrogênio – gás proveniente da queima de combustíveis fósseis expelido pelo escapamento dos veículos.
- Protocolo de Quioto – é uma carta de intenção assinada em 11 de novembro de 1997, em Quioto, Japão, onde as nações industrializadas se comprometeram a reduzir suas emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis de 1990.
- Sequestro de gás carbônico – processo que ocorre por meio da queima do gás metano antes que chegue à atmosfera transformado em gás carbônico, que é cerca de vinte e uma vez menos prejudicial para a camada de ozônio, que o gás metano.