UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP
INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE – IEE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA – PPGE

NARAISA MOURA ESTEVES COLUNA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS
PROVENIENTES DA CADEIA AGROINDUSTRIAL DA PROTEÍNA
ANIMAL NO ESTADO DE SÃO PAULO**

SÃO PAULO
2016

NARAISA MOURA ESTEVES COLUNA

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA
CADEIA AGROINDUSTRIAL DA PROTEÍNA ANIMAL NO ESTADO DE SÃO
PAULO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profª Drª Suani Teixeira Coelho

Versão Corrigida

**SÃO PAULO
2016**

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

Coluna, Naraisa Moura Esteves.

Análise do potencial energético dos resíduos provenientes da cadeia agroindustrial da proteína animal no Estado de São Paulo / Naraisa Moura Esteves Coluna; orientadora, Suani Teixeira Coelho – São Paulo, 2016.

136 f.: il.; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Energia – Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo

1. Biogás . 2. Sustentabilidade. 3. Fontes alternativas de energia. 4. Políticas públicas. 5. Resíduos agropecuários. 6. Resíduos agroindustriais. I. Título.

DEDICATÓRIA

Ao Fábio e ao Artur,
Minha vida mais deliciosa!

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Prof^ª Dr^ª Suani Teixeira Coelho, pela confiança, aprendizado e oportunidade e paciência.

À equipe do GBIO, em especial a Vanessa Pecora, pela amizade, conselhos que muito contribuíram com meu trabalho.

Aos meus pais, Mateus e Neyde, meus irmãos, Vitor e Iris, pelo incentivo e por tudo que fizeram e fazem até hoje por mim.

Ao meu querido Fábio pelo amor, companheirismo, dedicação e principalmente paciência.

Ao meu filhote Artur, por dar sentido a minha vida e força para querer sempre mais.

Aos colegas feitos no IEE, pelo cafezinho, pela troca de experiências, enfim pela amizade construída.

A Renata e Adriana da Secretaria de Pós-Graduação, pela prontidão de ajudar sempre.

Ao Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCTI n. 04 pelo apoio financeiro, e a nossa Pesquisadora Visitante Prof^ª Dr^ª Hirdan, que sempre buscou nossa evolução no Programa através da dedicação.

A todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Não basta saber, é preciso também aplicar; não basta
querer, é preciso também fazer”.

GOETHE

RESUMO

COLUNA, N.M.E. ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA CADEIA AGROINDUSTRIAL DA PROTEÍNA ANIMAL NO ESTADO DE SÃO PAULO. 2016. 136 p. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo - PPGE.

A cadeia agroindustrial de proteína animal é importante setor para a economia brasileira. A pecuária é considerada um dos principais causadores de danos ambientais, como contaminação das fontes d'água e assoreamento dos recursos hídricos; produção e emissão de gases do efeito estufa (GEE). As criações animais e os abatedouros geram elevadas quantidades de resíduos e efluentes, que possuem grande carga orgânica, podendo ser tratados por sistema anaeróbio, tendo como resultado a geração de biogás. Dentre as vantagens dessa aplicação, tem-se: o uso do biogás como fonte de energia elétrica e térmica, além da utilização do biometano, diversificação da matriz energética, com diminuição da dependência do sistema hidrológico, bem como do uso de térmicas e combustíveis fósseis. Também, registra-se o fortalecimento da geração distribuída e uma matriz mais limpa, melhorando as emissões de GEE do setor e contribuindo para a sustentabilidade direta da atividade. Apesar das vantagens amplamente conhecidas do biogás, ainda no Brasil essa fonte de energia ainda é pouco utilizada, significando cerca de 1% da matriz brasileira. O objetivo geral deste estudo é identificar regiões no Estado de São Paulo que possuam potencial de produção de biogás e biometano a partir dos resíduos agropecuários e agroindústrias do setor de proteína animal a partir de duas metodologias distintas, do IPCC e da CETESB, bem como o seu potencial energético para a geração de energia elétrica, analisando as políticas e barreiras existentes. Os resultados encontrados demonstraram grandes inconsistências entre elas e a necessidade de validarmos uma metodologia que realmente considere as diferenças de sistema de produção, climáticas, tecnologias existentes. O levantamento do potencial almeja subsidiar o desenvolvimento de políticas públicas adequadas de incentivo à sua realização, reduzindo as emissões de GEE do setor e, o mais importante, contribuir para a sustentabilidade direta da atividade atingindo a base da cadeia produtiva da agropecuária, que são os criadores e produtores familiares.

Palavras-chaves: biogás, resíduos agropecuários, resíduos agroindustriais, energia renovável, sustentabilidade, políticas públicas.

ABSTRACT

COLUNA, N.M.E. ANALYSIS OF POTENTIAL ENERGY WASTE FROM THE AGROINDUSTRIAL CHAIN ANIMAL PROTEIN IN THE STATE of São Paulo PAULO.2016. 136 p. Master's thesis - Graduate Program in Energy at the University of São Paulo - PPGE.

The agro-industrial chain of animal protein is important sector for the Brazilian economy. Livestock is considered a major cause of environmental damage, such as pollution of water sources and silting of water resources; production and emission of greenhouse gases (GHGs). Animal creations and slaughterhouses generate large amounts of waste and wastewater, which have high organic load, can be treated by anaerobic system, resulting in the generation of biogas. Among the advantages of this application, it has: the use of biogas as a source of electric and thermal energy, as well as use of biomethane, diversification of energy sources, with reduced dependence on the hydrological system and the use of thermal fossil fuels. Also, register the strengthening of distributed generation and a cleaner matrix, improving the GHG emissions from the sector and contributing to the sustainability of direct activity. Despite the widely known advantages of biogas, even in Brazil this source of energy it is still little used, meaning about 1% of the Brazilian matrix. The aim of this study is to identify regions in the State of São Paulo that have biogas production potential and biomethane from agricultural residues and agro-industries of the animal protein sector from two different methodologies, the IPCC and CETESB, as well its energy potential for the generation of electricity, analyzing existing policies and barriers. The results showed major inconsistencies between them and the need to validate a methodology that actually consider the production system differences, climate, existing technologies. The survey of the potential aims to support the development of appropriate public incentive for achieving policies, reducing GHG emissions in the industry and, most importantly, contribute to direct sustainability of the activity reaching the base of the production chain of agricultural, which are the creators and family farmers.

Keywords: biogas, agricultural residues, agroindustrial waste, renewable energy, sustainability, public policy

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Emissões brasileiras de gases de efeito estufa em termos de setores.....	26
Figura 3.2- Emissões de GEE do setor agropecuário em Mt CO ₂ e – Período 1970 a 2014.....	27
Figura 3.3- Processamento de Bovinos no abate.....	36
Figura 3.4-Cadeia Produtiva da Agroindústria de Carne Bovina.....	37
Figura 3.5- Processamento de Abate de Suínos.....	39
Figura 3.6- Processamento de Abate de Aves.....	41
Figura 3.7- Visão esquemática da ampla variedade de rotas tecnológicas para conversão e utilização da energia da biomassa.....	43
Figura 3.8 -Biodigestor UASB.....	47
Figura 3.9-Esquemática de um tratamento anaeróbio tipo lagoa coberta.....	48
Figura 3.10- Diagrama genérico do processo de geração de biogás.....	49
Figura 3.11-Número de Plantas de Biogás por País e Tipos de Fontes.....	52
Figura 3.12-Principais tecnologias de limpeza do biogás.....	54
Figura 3.13- Sistema de ciclo a vapor – Ciclo Rankine.....	57
Figura 3.14-Gasodutos no Brasil em 2012.....	60
Figura 3.15-Gasodutos nos Estados Unidos em 2008.....	60
Figura 4.1-Estados com maior participação no rebanho efetivo bovino brasileiro.....	68
Figura 4.2- Estados com maior participação no rebanho suíno brasileiro.....	69
Figura 4.3-Estados com maior participação no rebanho de galos, frangas e frangos brasileiro.....	70
Figura 4.4- Mapeamento do rebanho bovino paulista.....	71
Figura 4.5- Mapeamento do rebanho suíno paulista.....	72
Figura 4.6-Mapeamento do rebanho aves de corte paulista.....	74
Figura 4.7- Foto do biodigestor da lagoa coberta	74
Figura 4.8- Vazão de biogás (m ³ /h) provenientes da bovinocultura de corte confinada.....	83
Figura 4.9-Vazão do biogás (m ³ /h) provenientes da avicultura de corte.....	85
Figura 4.10- Vazão do biogás (m ³ /h) provenientes da suinocultura.....	87
Figura 4.11- Vazão do biogás (m ³ /h) provenientes dos resíduos agroindustriais.....	93
Figura 4.12- Vazão do biogás (m ³ /h) provenientes dos resíduos pecuários.....	95
Figura 4.13- Estimativa da vazão do biometano (m ³ /h) no Estado de São Paulo.....	95
Figura 4.14-Potencial de geração de energia (MWh/ano) no Estado de São Paulo.....	96

Figura 5.1- Mapa das Áreas de Concessão da Distribuição de Gás Canalizado em São Paulo.....	99
Figura 5.2- Oferta interna de energia elétrica por fonte, ano base 2014.....	104
Figura 5.3- Oferta interna de energia elétrica por fonte, ano base 2013.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1- Rebanho Efetivo Brasileiro de Bovinocultura de Corte.....	28
Tabela 3.2- Rebanho Efetivo de Suínos no Brasil.....	30
Tabela 3.3- Rebanho Efetivo de Galináceos no Brasil.....	33
Tabela 3.4- Produtos e Subprodutos do Abate de um Bovino de 400 kg.....	36
Tabela 3.5- Carga Orgânica Poluidora e Concentração no Efluente Líquido por Tipo de Abatedouro.....	38
Tabela 3.6- Produtos e Subprodutos do Abate de um Suíno de 90 kg.....	40
Tabela 3.7- Carga Orgânica Poluidora e Concentração no Efluente Líquido por tipo de Abatedouro.....	40
Tabela 3.8-Tipos e Número de Plantas de Produção de Biogás e de Energia.....	51
Tabela 3.9-Tecnologias de limpeza do biogás.....	54
Tabela 4.1- Parâmetros utilizados para os cálculos de vazão de metano.....	76
Tabela 4.2- Premissas adotadas o abate de animais.....	78
Tabela 4.3- Potencial Energético dos resíduos provenientes da bovinocultura confinada de corte.....	82
Tabela 4.4-Potencial Energético dos resíduos provenientes da avicultura de corte.....	84
Tabela 4.5- Potencial Energético dos resíduos provenientes da suinocultura.....	86
Tabela 4.6-Potencial Energético dos resíduos provenientes do abatedouro de aves.....	87
Tabela 4.7-Potencial Energético dos resíduos provenientes do abatedouro de suínos.....	88
Tabela 4.8-Potencial Energético dos resíduos provenientes do abatedouro de bovinos.....	89
Tabela 4.9-Potencial energético dos efluentes dos abatedouros no Estado de São Paulo.....	92
Tabela 4.10- Potencial energético dos resíduos da agropecuária no Estado de São Paulo.....	94

LISTA DE SIGLAS

ABC - Agricultura de Baixo Carbono

ABIOGAS - Associação Brasileira de Biogás e Biometano

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis

BIG - Banco de Informações de Geração

CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

GBIO - Grupo de Pesquisa em Bioenergia

GEE - Gases de Efeito Estufa

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC - *Intergovernmental Panel on Climate Change*

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAPA - Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento

MMA - Ministério de Meio Ambiente

MME - Ministério de Minas e Energia

MCTI - Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação

PCI - Poder Calorífico Inferior

SIN - Sistema Interligado Nacional

GLOSSÁRIO

BIOFERTILIZANTES - É um subproduto obtido a partir da fermentação anaeróbica (sem a presença de ar) de resíduos da lavoura ou dejetos de animais na produção de biogás.

BIOGÁS - Gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos. Possui composição típica de cerca de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e 5% de outros gases: hidrogênio, nitrogênio, amônia, ácido sulfídrico, aminas voláteis, monóxido de carbono e oxigênio. Dependendo da eficiência do processo de digestão anaeróbia, influenciado por fatores como pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano (WEREKO-BROBBY & HAGEN, 2000).

BIOMETANO - Biocombustível gasoso constituído essencialmente de metano, derivado da purificação do Biogás.

DEGRADAÇÃO ANAERÓBIA - Degradação da matéria orgânica sem a presença de oxigênio

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO) - Corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer à oxidação da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. É a quantidade de oxigênio utilizada na oxidação bioquímica da matéria orgânica, num determinado período de tempo, é expressa geralmente em miligramas de oxigênio por litro.

MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL) - É o único mecanismo por meio do qual países desenvolvidos, e com compromissos quantificados de redução e limitação de emissões estabelecidas pelo Protocolo de Quioto (comumente denominados “metas”), podem abater parte dessas metas mediante aquisição de Reduções Certificadas de Emissão (RCEs) geradas por projetos de MDL em países em desenvolvimento.

SUMÁRIO

SUMÁRIO.....	13
1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS E METODOLOGIA	22
2.1. Objetivos.....	22
2.2. Metodologia.....	23
3. ESTADO DA ARTE	25
3.1 A Agropecuária no Brasil e no Mundo	25
3.2 A Bovinocultura de Corte e os Resíduos	29
3.3 A Suinocultura e os Resíduos.....	33
3.4 A Avicultura de Corte e os Resíduos	36
3.5 Os Abatedouros de Bovinos de Corte e os Resíduos.....	38
3.6 Os Abatedouros de Suínos e os Resíduos	41
3.7 Os Abatedouros de Aves de Corte e os Resíduos	44
3.8. Aproveitamento Energético dos Resíduos Agropecuários no Brasil	45
3.8.1 Tecnologias de Tratamento dos Resíduos Agropecuários no Brasil e no Mundo	46
3.8.1.1 Compostagem	47
3.8.1.2 Tratamento Aeróbio.....	48
3.8.1.3 Tratamento Anaeróbio.....	49
3.8.2 Tecnologias de Aproveitamento Energético	53
3.8.2.1 Aproveitamento Energético do Biogás	53
3.8.2.1.1 Purificação do Biogás.....	56
3.8.2.1.2 Biogás para Fins Elétricos.....	58
3.8.2.1.3 Biogás para Fins Térmicos.....	Error! Bookmark not defined.
3.8.2.1.4 Injeção de Biometano na Rede de Gás Natural e Utilização Veicular	60
3.9. Conclusão Preliminar.....	66
4. ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO	69
4.1. Identificação das Regiões Potenciais de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais no Estado de São Paulo	69
4.2. Potencial Energético dos Resíduos Agropecuários e Agroindustriais por Regiões no Estado de São Paulo	76

4.2.1. Levantamento de Dados e Cálculo do Potencial Energético.....	83
4.3. Conclusões Preliminares	94
5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E BARREIRAS EXISTENTES PARA A EFETIVAÇÃO DESSA FONTE NA MATRIZ PAULISTA E BRASILEIRA	101
6. CONCLUSÕES	112
Referências.....	116
ANEXO A	130
ANEXO B	136

1. INTRODUÇÃO

O grande crescimento da população mundial gerou fortes pressões sobre os setores industrial e agropecuário, forçando-os a produzirem cada vez mais para atender à crescente demanda, sem que houvesse, no entanto, maiores cuidados com o meio ambiente (KUNZ, 2005).

A pecuária é considerada um dos principais causadores de danos ambientais quando não é desenvolvida de forma ambientalmente correta. Dentre os principais potenciais impactos pode-se destacar: a eliminação e/ou redução da fauna e flora nativas, como consequência do desmatamento de áreas para o cultivo de pastagens; o aumento da degradação e perdas de nutrientes dos solos, em especial devido ao pisoteio intensivo; a contaminação dos produtos de origem animal; redução na capacidade de infiltração da água no solo devido à compactação; contaminação das fontes d'água e assoreamento dos recursos hídricos; além da produção e emissão de gases do efeito estufa (GEE).

Atualmente, o Brasil detém o título de grande nação produtora de proteína animal contribuindo para a geração de renda de forma direta e indireta. A cadeia produtiva da agroindústria de proteína animal possui dois elos bem distintos e marcados por disparidades sociais, tanto na pecuária como nos abatedouros e frigoríficos. Para alcançar esse posto, foram necessárias mudanças importantes no sistema de produção animal.

A questão ambiental passou a ser encarada sob a ótica da necessidade de se conciliar o desenvolvimento do país com o aumento no consumo de água e energia, também associado à geração de resíduos (urbanos e rurais), agravando-se o aspecto relativo ao aumento de poluição. Neste sentido os diversos setores da produção animal começaram a se organizar para atender a dois requisitos com o objetivo de que seus produtos possam competir e para que tenham boa aceitação no mercado: 1) questões legais, 2) exigência de mercado interno e externo (LUCAS JR, 2000). Todo o processo de produção gera resíduo e todo resíduo armazena alguma energia. Os sistemas de produção devem reverter essa energia, reduzir seu custo de produção e funcionar de forma energeticamente equilibrada (SANTOS & LUCAS JUNIOR, 2004). Estes dois requisitos se devem associar a questão de sustentabilidade ambiental diretamente ligada à disposição adequada dos resíduos, bem como ao seu uso como fonte sustentável de energia.

Diante dessa nova realidade do setor agropecuário, o tratamento dos resíduos provenientes das criações animais torna-se uma necessidade, devido ao alto teor de matéria

orgânica ali presente e da grande quantidade gerada pela atividade. Caso esses resíduos não tenham o tratamento adequado, os riscos ao meio ambiente são significativos, causando poluição dos corpos hídricos e eutrofização do solo, entre outros.

O setor de abatedouros e frigoríficos possui elevada geração de resíduos sólidos e líquidos com expressiva carga orgânica. Entretanto, estes resíduos podem ser aproveitados para geração de energia, uma vez que a matéria orgânica existente nos efluentes pode ser tratada em sistema anaeróbio, possibilitando a geração de biogás. Outros métodos e tecnologias como gaseificação, além do tratamento aeróbio que gera elevada taxa de lodo que pode ser destinado a compostagem, serão discutidos no capítulo 3.

Como discutido em vários estudos como Coldebella (2008), Zanette (2009), IPEA (2012), Coluna (2013), Mariane (2014), ABIOGAS (2015), uma das maiores fontes de energia disponíveis nas áreas rurais e agroindustriais é a biomassa. A mesma aparece na forma de resíduos vegetais e animais, tais como restos de colheita, esterco animal, plantações energéticas e efluentes agroindustriais. Seu potencial energético depende das características dos resíduos, que varia entre os tipos de animais, e da tecnologia de tratamento utilizada.

Uma das soluções existentes para solucionar a problemática destes resíduos é o tratamento anaeróbio, no qual, a partir da degradação anaeróbia, ocorre a formação de biogás, composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

Na degradação anaeróbia, micro-organismos quebram as complexas moléculas orgânicas (carboidratos, proteínas, lipídios) transformando-as em substâncias simples (metano e dióxido de carbono). Assim, a tecnologia da biodigestão anaeróbia é importante alternativa para o tratamento e aproveitamento dos resíduos orgânicos, pois além de tratar o resíduo, permite a recuperação energética a partir do biogás. Além disso, o processo gera um lodo que pode ser utilizado como biofertilizante na produção de alimentos para os animais, reduzindo o custo com fertilizantes minerais, muitas vezes importados com elevado preço, alto investimento energético.

Entre as tecnologias e métodos de tratamento de efluentes existentes, a digestão anaeróbia possui diferentes sub-produtos que ao serem utilizados permitem ganhos econômicos, mesmo sendo uma tecnologia mais cara que o tratamento aeróbio.

O biogás produzido durante o processo de digestão anaeróbia pode ser aproveitado para fins energéticos de duas maneiras distintas: conversão em energia térmica a partir da sua queima direta em caldeiras, por exemplo, ou a conversão em energia elétrica a partir de motores ou turbinas a gás adaptadas para biogás, acoplados a geradores, como discutido detalhadamente no capítulo 3.

A utilização do biogás para geração de energia, tanto elétrica quanto térmica, pode possibilitar a viabilidade do tratamento. Mesmo sendo subutilizado, o biogás é uma alternativa para redução de gastos com o tratamento de efluentes, pois além de fortalecer a geração distribuída, devido à sua utilização local ou regional e garantindo redução nos custos da energia elétrica e/ou térmica, este uso também proporciona a redução e/ou substituição no consumo de gás natural em alguns casos, diminuindo as despesas do país com a importação desse produto e contribuindo para uma matriz de energia mais limpa e renovável. No entanto, ainda há algumas barreiras que permitam a sua plena utilização, como falta de políticas públicas específicas e custos elevados, conforme discutido no capítulo 5.

Cabe ressaltar que o potencial poluidor do biogás, quando lançado na atmosfera sem nenhum tratamento, é elevado, devido às concentrações de metano que contribui para o efeito estufa global. O potencial de aquecimento (*global warming potential*- GWP) do CH₄ é cerca de 25 vezes mais impactante no meio ambiente que o CO₂, tornando-o o principal responsável dos gases de efeito estufa e, conseqüentemente, do Aquecimento Global. Em 2010, as ações antropogênicas foram responsáveis pela emissão de metano, numa ordem de 20 GtCO₂ equivalente ao ano (IPCC, 2013).

Esse potencial é muito contestado, a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA), o metano (CH₄) é estimado para ter um GWP de 28-36 mais de 100 anos, pois o metano emitido hoje dura cerca de uma década, em média, o que é muito menos tempo do que o CO₂, mas também absorve muito mais energia do que o gás carbônico. O efeito líquido do tempo de vida mais curto e de absorção de energia mais elevado é refletida, outra questão que o metano é responsável por alguns efeitos indiretos, como ser precursor do ozônio e ozônio é em si um gás de efeito estufa (EPA,2015).

O aproveitamento energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos, além de contribuir para a preservação do meio ambiente, também traz benefícios para a sociedade e para a indústria, pois promove a utilização ou reaproveitamento de recursos “descartáveis” e/ou de baixo custo.

De acordo com Mariani (2014) há levantamentos de potencial de produção de biogás elaborado e em elaboração, mas não há informações do setor de biogás do país disponíveis e organizadas em um banco de dados único.

O Atlas de Bioenergia do Brasil, publicado em 2012 pelo CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa – atual GBIO – Grupo de Pesquisa em Bioenergia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo), apresenta os panoramas dos potenciais de geração de energia a partir de diversos tipos de biomassa, dentre elas o biogás proveniente do

tratamento de efluentes líquidos gerados na criação de suínos (CENBIO, 2012). O trabalho mostra as metodologias de cálculo de conversão energética utilizadas, bem como os mapas georrerenciados da estimativa do potencial de geração de energia dos diversos tipos de biomassa analisadas.

O diagnóstico realizado pelo IPEA (2012) analisa outras fontes em relação ao Atlas de Bioenergia, no entanto há diversas matérias-primas que podem favorecer a Geração Distribuída (GD), e carecem de informação, como diferentes agroindústrias, bem como outros resíduos pecuários no Brasil.

No Brasil, o Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) ou Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura, é uma política pública que detalha as ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima pela agropecuária para que o Brasil cumpra os compromissos assumidos de redução de emissão de GEE por este setor (MAPA/MDA, 2011). Este plano possui como mecanismo/ferramentas, facilidades em empréstimos, para implantações de recuperação de pastagem, Sistemas Agrossilvipastoris e tratamento de dejetos pecuários. No entanto o foco de atuação tem sido na grande maioria, a recuperação de pastagens e os tratamentos dos dejetos para o setor da suinocultura devida a elevada carga orgânica dos resíduos, devido a falta de conhecimento por falta de conhecimento das cooperativas e ineficiência da relação banco/produtor.

Em termos estaduais, o Estado de São Paulo, por meio do Decreto 58.659 de 04 de Dezembro de 2012, em seu artigo 1º instituiu, no âmbito da Secretaria de Energia, o Programa Paulista de Biogás, como uma estratégia de redução de GEE no Estado além de permitir a injeção do biometano¹ na rede de gás natural e redução da Base de Cálculo do imposto incidente nas saídas internas de biogás e biometano, de forma que a carga tributária seja de 12% (Art. 69, Anexo II do RICMS/SP), entre outros incentivos tributários.

No Estado do Rio de Janeiro a Lei 6361/12 e Decreto 4485/14 que estabelecem autorização para as concessionárias distribuidoras de gás natural adquirirem até 10% de seu consumo de fontes renováveis a um preço superior ao preço do gás natural “com desconto” vendido às distribuidoras.

¹ Quando sua composição for compatível com a Resolução da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP nº 16, de 17 de junho de 2008.

No Ceará há a Resolução do Conselho de Políticas Ambientais fomentando a produção de biometano no Estado e a criação de um selo verde para incentivar o produto junto ao mercado.

Já no Paraná existe o Programa Paranaense de Energias Renováveis, observadas as disposições e limites do Programa Paraná Competitivo, em relação aos seguintes setores: produção de peças, partes, componentes e ferramentais utilizados na geração de energia renovável; produção de material para uso como insumo nas obras de construção civil necessárias aos empreendimentos de geração de energia renovável; produção de mercadoria que integre a infraestrutura de conexão e transmissão necessárias para empreendimentos geradores de energia renovável a ser interligada no SIN (Decreto Paraná No 11.671/14); entre outros incentivos.

Os Estados de Minas Gerais, Pernambuco e Espírito Santo também possuem programas e leis que favorecem o biogás, isto demonstra que é uma tendência para mitigação dos GEE.

Em 2014, a ANP criou a Resolução que estabelece a especificação do biometano de origem nacional oriundo de resíduos orgânicos agrossilvopastoris destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional (Nota Técnica nº: 157/2014/SBQ/RJ / Processo nº: 48610.005948/2013-22).

Teoricamente, existem algumas iniciativas públicas para promover o incentivo dessa fonte no país, no entanto, na prática o aumento da sua participação ainda vem ocorrendo lentamente, diferentemente do que acontece no mundo, no qual é vista como estratégias efetivas de redução de GEE nos países desenvolvidos, bem como promover o acesso à energia nos países em desenvolvimento.

Nesse sentido, a fim de estudar o real potencial dessa fonte e de diferentes matérias-primas possíveis nos municípios paulistas, propor políticas específicas, demonstrar que o biogás é uma estratégia de redução de GEE e fortalecimento da Geração Distribuída a fim de proporcionar auto-eficiência energética, além de proporcionar a sustentabilidade do setor afetando a base da cadeia produtiva da agroindústria de proteína animal, que são os criadores animais, foi desenvolvido este trabalho.

Esta dissertação se divide em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução na qual é demonstrada a motivação desse estudo; o segundo capítulo apresenta o objetivo e a metodologia; já o terceiro capítulo aborda o estudo da arte que inclui a

importância da agropecuária no mundo e no Brasil, panorama dos resíduos pecuários da bovinocultura de corte, suinocultura e avicultura de corte, e dos resíduos da agroindústria dos abatedouros de bovinos, suínos e aves.

O capítulo 4 apresenta os cálculos realizados e a conclusão preliminar dos resultados. O quinto capítulo refere-se à discussão dos resultados e apresentação das barreiras para efetivação dessa fonte no Brasil, e por fim o capítulo 6 apresenta a conclusão do estudo e a citação de futuros estudos.

2. OBJETIVOS E METODOLOGIA

2.1. Objetivos

O objetivo geral deste estudo é identificar regiões no estado de São Paulo que possuam potencial de produção de resíduos agropecuários e agroindústrias do setor de proteína animal, bem como o seu potencial energético para a geração de energia elétrica, com as vantagens ambientais decorrentes, tais como redução da carga orgânica a ser lançada no corpo hídrico, geração de energia limpa e redução de custos econômicos. Este levantamento do potencial pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas adequadas de incentivo à sua realização, reduzindo as emissões de GEE do setor e, o mais importante, contribuir para a sustentabilidade direta da atividade atingindo a base da cadeia produtiva da agropecuária, que são os criadores e produtores familiares.

Os objetivos específicos são:

- Estudar o potencial energético dos resíduos agropecuários e agroindústrias ligados ao setor de proteína animal no Estado de São Paulo;
- Identificar regiões com potencial energético dos resíduos agropecuários do Estado de São Paulo, por macro, meso e microrregiões;
- Identificar o potencial energético dos resíduos e abatedouros do Estado de São Paulo, por macro, meso e microrregiões;
- Estudar as barreiras e dificuldades encontradas para a utilização dos resíduos para a geração de energia elétrica e/ou térmica.

2.2. Metodologia

A abordagem utilizada para esta pesquisa é qualitativa e quantitativa da situação atual da geração, manejo dos resíduos agropecuários e agroindustriais da cadeia produtiva em questão, diante desse fato será uma pesquisa exploratória.

Para atingir tal objetivo proposto foram realizadas as seguintes etapas:

- Contextualização da importância econômica, social e ambiental da Agroindústria de Proteína Animal no Brasil e em São Paulo.
- Contextualização do aproveitamento energético dos resíduos agropecuários no Brasil, a partir da utilização do biogás para a geração de energia elétrica, energia térmica e a utilização energética do biometano para diversos fins, foi realizada uma consulta a dados governamentais federais e estaduais, além de revisão de literatura que demonstra a situação atual e projeções futuras. O cunho tecnológico foi analisados os possíveis condicionantes e barreiras sob o ponto de vista da diversidade de processos existentes para o processo de produção de biogás, purificação, viabilidade técnica do manejo dos resíduos agroindustriais, geração de energia térmica e elétrica, do transporte de biometano em termos de infraestrutura existente e suas possibilidades de uso.
- Avaliação do potencial energético em relação à produção de biogás, biometano e geração de energia elétrica, em termos de: Potencial de produção de biogás: será efetuada uma estimativa da disponibilidade de biogás e as aplicações, como o levantamento das possíveis aplicações para o biogás considerará as modalidades de uso disponíveis (geração de energia elétrica), potencial de biometano para injeção na rede de distribuição de gás natural e uso veicular, tecnologia disponível para cada modalidade de uso pesquisada.
 - Análises e conclusão: com os dados e informações obtidos nas análises feitas nos itens anteriores, é possível identificar de que forma o biogás está sendo subutilizado, e verificar as barreiras para tal fato, propor políticas específicas.

O instrumental a ser empregado na pesquisa consiste no levantamento bibliográfico dos temas a serem estudados e que estão descritos anteriormente, da legislação, e de programas nacionais e regionais de fomento ao uso de biogás/biometano, aspectos regulatório do setor energético sobre esta fonte.

A partir disso foi realizado a compilação e sistematização de dados secundários necessários para as avaliações qualitativas e análises quantitativas.

Estes dados secundários serão obtidos em publicações das principais entidades e instituições governamentais relevantes ao tema da pesquisa, entre outras: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA; Ministério de Minas e Energia – MME; Ministério de Meio Ambiente – MMA; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação- MCTI; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis - ANP; Empresa de Pesquisa Energética – EPE.

O dimensionamento da disponibilidade de biogás é baseado em técnicas validadas: A partir da estimativa do potencial de biogás dos resíduos agroindustriais e agropecuários, dados secundários obtidos das fontes mencionadas acima serão usados em conjunto com modelos matemáticos como o IPCC (2007) e da CETESB (2006).

3. ESTADO DA ARTE

Este capítulo descreve a importância econômica, social e ambiental da Agroindústria de Proteína Animal no Brasil e em São Paulo. Também aborda a pesquisa qualitativa e quantitativa da situação atual da geração, manejo dos resíduos agropecuários e agroindustriais da cadeia produtiva em questão, a partir da revisão de literatura e coleta de dados secundários sobre o tema.

3.1 A Agropecuária no Brasil e no Mundo

O crescimento da população mundial e do seu poder aquisitivo tem promovido aumento acentuado da demanda por alimentos de origem animal. Projeta-se um aumento na produção mundial de carne de 229 milhões de toneladas em 1999-2001 para 465 milhões de toneladas em 2050, e na produção de leite de 580 para 1.043 milhões de toneladas nesse mesmo período (FAO, 2006; MACHADO et al, 2011).

A pecuária de corte no Brasil teve início praticamente no mesmo período da colonização no século XVI. Primeiramente, a atividade fornecia animais para outras culturas e, em seguida, passou a atender à demanda interna por proteína animal. A partir da década de 30, com as políticas de ocupação e desenvolvimento, o governo passou a estimular a ocupação do Centro-Oeste e na década de 70 a expansão ocorreu na direção da região amazônica. Na época o Estado brasileiro enfatizou a importância do desenvolvimento da Amazônia e acabou incentivando a migração da pecuária de corte para a região, que passou a exercer papel importante como atividade econômica pioneira (SANTOS et. al., 2014). Esse estímulo foi decorrente da necessidade de defesa das fronteiras brasileiras, e tal fato ocasionou o início do desmatamento da Amazônia.

Por sua vez, na década de 1980, o setor industrial iniciou um processo de desaceleração de crescimento combinado com a crise da dívida externa, aumentou 60% e as reservas internacionais reduziram em 66%. A impossibilidade de acesso ao mercado internacional de crédito, elevação dos juros devido ao aumento das taxas internacionais (os juros pagos pelo Brasil no período de 1978 a 1982 aumentaram 282%) e a aceleração da

inflação fez com que a política macroeconômica se tornasse refém da necessidade de viabilizar internamente os pagamentos relativos à dívida externa (DELGADO, 2012).

A agricultura obteve desempenho positivo nesse período, dois elementos foram importantes para tal resultado: em primeiro lugar, o governo federal estabeleceu, em 1979, uma prioridade para esse setor em função da expectativa generalizada de uma crise de abastecimento de alimentos devido ao fraco desempenho da produção na década anterior, refletindo numa mudança na política agrícola em favor do fortalecimento da política de preços mínimos (indexando-os à inflação) e da diminuição da política de crédito rural (DELGADO, 2012).

O segundo elemento é o temor diante do desabastecimento interno de alimentos, combinado com uma conjuntura de crise da economia nacional, que obrigou o governo militar a tomar medidas para favorecer o aumento de sua produção de alimentos. Assim, com o melhor desempenho da produção agropecuária, proporcionou que a década de 1980 fosse melhor do que a década passada, favorecendo pelo menos alguns setores da agricultura familiar (DELGADO, 2012).

Na década de 90, o processo de globalização mundial e a adoção de política de abertura comercial e de relativa desindustrialização parecem ter induzido o retorno do projeto “vocação agroexportadora” defendida pelas elites agrárias a fim de redefinir o papel que a agricultura deveria desempenhar na economia (DELGADO, 2012).

A estratégia de ajustamento externo aprofundou a especialização da agricultura brasileira na produção transformando-a no principal protagonista e no grande beneficiário deste projeto no meio rural. Por outro, este cenário de fortalecimento do modelo convencional agrícola, provocou a diferenciação das categorias sociais existentes, e estas elites se tornaram protagonistas da atividade no meio político e econômico brasileiro.

Por mais que o Produto Interno Bruto (PIB) não seja considerado a variável mais adequada para analisar a importância da agropecuária na economia brasileira, pois não se considera as questões de desigualdades sociais, impactos ambientais gerados pela atividade, entre outros, é uma variável que nos permite entender a expressividade do setor no que diz respeito a balança comercial brasileira.

Em 2010, o agronegócio brasileiro (insumos, agricultura, agroindústria e distribuição) foi responsável por 15,74% do PIB nacional. O valor movimentado pelo setor passou de R\$ 423,46 bilhões, em 2000, para R\$ 578,39 bilhões em 2010 (CEPEA, 2010; IPEA, 2012). O PIB do agronegócio em 2014 representou entre 22,0% e 23,0% do PIB total da economia brasileira, com cerca de R\$ 1,1 trilhão. As atividades agrícolas representam 70% e a pecuária,

cerca de 30% do valor produzido no ano, esse resultado mostra que houve expansão, não apenas da produção das lavouras e da pecuária, mas também do setor de insumos, como fertilizantes, defensivos, máquinas e equipamentos (MAPA, 2014).

Gasques (2014) afirma que a taxa anual de crescimento da produtividade do setor agropecuário, no período de 2000 a 2012, de 4,71% ao ano, foi superior à obtida de 1975 a 2012. Este crescimento foi decorrente dos ganhos de produtividade (86%), sendo apenas 14% devido ao aumento de insumos, como terra, trabalho e capital.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística e a Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, o Estado de São Paulo representa 28,74% do PIB brasileiro (2014). A riqueza produzida pelo Estado somou mais de R\$ 1,58 trilhão, em 2014, o equivalente a mais de R\$ 37,0 mil per capita (IBGE e Seade) (SÃO PAULO, 2015).

O Estado de São Paulo tem passado por uma redução de suas atividades agropecuárias, no período de 2000 a 2012, e atualmente a cana representa a principal atividade do Estado, com 44,5% do valor da produção agropecuária em 2012 (GASQUES, 2014). O Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP) mostra a evolução do desempenho das lavouras e da pecuária ao longo do ano e corresponde ao faturamento bruto dentro do estabelecimento.

Atualmente a pecuária mundial vem sofrendo adaptações às demandas do cenário produtivo, buscando ser mais eficiente em produção, e buscando enquadrar à demanda de modelos sustentáveis para produzir, gerando trabalho, produtos e lucro, sem agredir o meio ambiente. Embargos à carne brasileira, que antigamente eram decorrentes de barreiras sanitárias, atualmente podem considerar um contexto ambiental, incluindo a discussão sobre desmatamento, ineficiência do uso da terra por sistemas pecuários e emissão de gases de efeito estufa (GEEs) (STEINFELD et al., 2006; BARBOSA et al, 2014).

Estudos sobre ecossistemas de pastagens nos biomas Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, considerando os estoques de carbono no solo em comparação à vegetação nativa, indicam que, de modo geral, solos sob pastagens bem manejadas e sob sistemas de integração lavoura/pecuária pode acumular carbono; já a pastagem degradada promove perda do carbono acumulado (CERRI et al., 2006; JANTALIA et al., 2006; MACEDO et al., 2012; BARBOSA et al, 2014). Barbosa e Souza (2007) relatam que várias pesquisas demonstraram o aumento da produtividade da pecuária de corte bovina com o uso de tecnologias como suplementação nutricional estratégica, adubação de pastagens, manejo e/ou irrigação de pastagens, integração lavoura, pecuária e florestas, melhoramento genético animal, controle sanitário, entre outros.

No entanto, a maioria da pecuária brasileira continua aquém de suas reais potencialidades, com um sistema de produção de baixa taxa de lotação (< 1 UA/ha) e

produtividade (< 120 kg de peso vivo/ha), buscando assim, o crescimento horizontal como forma de compensar essa ineficiência. Esse crescimento horizontal, na sua maioria, é conseguindo através de expansão das novas áreas de pastagens no lugar de áreas de matas e florestas que são desmatadas. Sendo assim, estratégias tecnológicas que permitam aumentar a taxa de fertilidade, o ganho médio diário, o peso da carcaça, taxa de lotação e o ganho por área, refletem em maior produtividade com expansão vertical sem a necessidade de novos desmatamentos (BARBOSA et al, 2014).

A avicultura e a suinocultura no Brasil são as atividades agropecuárias de maior industrialização e figuram entre as de maior interesse econômico. A produção mundial de suínos e aves evoluiu tecnicamente nas últimas décadas com o melhoramento genético dos rebanhos e com a estruturação dos criatórios em modernas instalações, que propiciam condições ambientais ideais para que haja a sanidade dos animais e ganhos na conversão alimentar.

Os resíduos gerados na produção animal constituem-se em substratos complexos, contendo matéria orgânica particulada e dissolvida, elevado número de componentes inorgânicos, bem como alta concentração de microrganismos patogênicos, todos de interesse na questão ambiental (ORRICO JUNIOR, et al., 2010).

É fundamental que o Brasil demonstre a sustentabilidade da atividade, considerando que produzir respeitando o meio ambiente é uma das exigências do mercado consumidor, principalmente europeu; e possibilite o questionamento técnico para barreiras não tarifárias de origem ambiental (BERNDT, 2010).

A seguir são analisados os diferentes setores da agropecuária, os resíduos gerados e seus impactos, bem como as soluções possíveis de serem empregadas, juntamente com as dificuldades.

3.2 A Bovinocultura de Corte e os Resíduos

Como foram discutidos anteriormente, os impactos ambientais da pecuária são amplamente conhecidos, indo além do desmatamento, e provocando a redução da biodiversidade devido à destruição dos biomas naturais, a compactação e erosão do solo, consequentemente no assoreamento dos rios e também expressiva de Gases de Efeito Estufa (SANTOS et. al., 2014).

Em relação às emissões, a agropecuária certamente é o setor mais relevante no Brasil, uma vez que contribui com mais de 35% das emissões de gases de GEE do país, ocupando o primeiro lugar entre os setores envolvidos, conforme apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1. Emissões brasileiras de gases de efeito estufa em termos de setores, em Mil toneladas de CO₂ equivalente por ano.

Fonte: SEEG, 2015.

A Figura 3.1 apresenta a evolução das emissões de GEE (em CO₂eq) no país desde 2000, na qual fica clara a importância do setor agropecuário nas emissões globais,

principalmente considerando a recente redução significativa nas emissões devidas à mudança no uso da terra e florestas.

Já as emissões do setor agropecuário podem ser observadas na Figura 3.2 apresenta graficamente as emissões brasileiras de GEE do setor agropecuário no período de 1970 a 2014. Pode-se observar que no período analisado as emissões de GEE referentes ao manejo de dejetos animais aumentaram em 150% em 44 anos.

Figura 3.2. Emissões de GEE do setor agropecuário em Mt CO₂e – Período 1970 a 2014.

Fonte: SEEG, 2015.

A fermentação entérica do gado bovino responde pela maior parte das emissões do setor agropecuário. Isso se deve ao tamanho do rebanho bovino brasileiro – cerca de 210 milhões de cabeças em 2014 – e ao fato desses animais serem grandes ruminantes, dependendo, portanto, da fermentação realizada por bactérias em seu sistema digestivo para converter o alimento, por exemplo forragens, em carne ou leite.

Vale atentar para o fato de que as emissões por fermentação entérica estabilizaram desde meados da década passada, crescendo apenas 2,2% entre 2005 e 2012, contra um crescimento de 6% das emissões de todo setor agropecuário. Isso se deve a uma desaceleração do aumento do rebanho para 1,5% ao ano acompanhado de um aumento da produtividade por cabeça de gado de cerca de 2 a 3% ao ano (SEEG, 2015).

Os ganhos de produtividade do setor agrícola não dependem exclusivamente da adubação nitrogenada. Muitas outras tecnologias adotadas com o objetivo de incrementar a produção implicam ou podem implicar em reduções de emissões e até no sequestro de carbono, mesmo ao incrementar a produtividade.

A ineficiência do modelo de exploração tem gerado maiores quantidades de GEE por quilograma de carne e/ou de leite produzidos (IPCC, 2007; MACHADO et al, 2011).

A mitigação das emissões de metano produzido por bovinos, ou seja, o uso de estratégias para reduzir o impacto da atividade pecuária brasileira nas mudanças climáticas globais constitui parte do compromisso firmado pelo país. A redução da produção de metano por bovinos, além de ser um compromisso nacional, também permite um aumento de eficiência no aproveitamento de energia pelos animais, refletindo em melhor desempenho econômico.

Atualmente o Brasil é o maior produtor comercial e exportador de carne bovina do mundo. O rebanho bovino brasileiro tem aumentado a cada ano (2007 a 2011) e apenas em 2012 teve pequena redução, conforme observado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1- Rebanho Efetivo Brasileiro de Bovinocultura de Corte

Rebanho (milhões de cabeça/ano)	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Bovinos de Corte	202,31	205,31	209,54	212,81	211,28	211,76

Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal- IBGE, 2014.

A redução observada é devida às alterações climáticas ocorridas em 2012, à escassez de água e a elevada temperatura, que afetou a produção de alimentos no Brasil. O que demonstra a vulnerabilidade do setor face ao aquecimento global.

Devido ao elevado número de cabeças de gado no rebanho bovino no Brasil e a grande área ocupada, cerca de 172 milhões de hectares (DIAS-FILHO, 2014), a pecuária é apontada como uma das atividades que mais prejudicam o meio ambiente. Os impactos negativos causados pela bovinocultura estão correlacionados com o principal meio de produção adotado pelo Brasil, o sistema extensivo. Este se caracteriza pelo baixo investimento em formação (principalmente quando a terra adquirida já contém algum tipo de pasto) e manutenção de pastagem (DE ZEN, 2008).

As pastagens são a forma mais econômica e prática de alimentação de bovinos. Com isso, torna-se prioridade aumentar a utilização das forragens via otimização do consumo e da disponibilidade de seus nutrientes (Zanine e Macedo Jr., 2006a). Na avaliação da produção animal sob pastejo diversos aspectos são bastantes relevantes, dentre os quais, sobressaem: o desempenho animal, a capacidade de suporte da pastagem, a produção animal por hectare, a composição botânica da pastagem, bem como a estabilidade da cobertura vegetal .

Porém já está ocorrendo mudança no processo de criação, no qual parte da engorda é feita por confinamento, chamada de pecuária intensiva. Segundo ASSCON (2013), em 2010 cerca de dois milhões de cabeças de bovinos foram criadas por este sistema, já em 2011 obteve um aumento de 67% representando 3,4 milhões de cabeças.

Os sistemas intensivos de produção animal consistem em restringir o espaço físico onde os animais são produzidos e fornecer alimento e água em cochos. O objetivo desses sistemas é aumentar a produtividade, ou seja, produzir mais em menor espaço físico e de tempo, reduzir a idade de abate dos animais, acelerar o retorno do capital investido, e reduzir a ociosidade dos frigoríficos na entressafra (MANSO e FERREIRA, 2007 apud TESTON, 2010).

As principais vantagens apontadas por VELLOSO (1984), ao se conduzir a engorda de bovinos em confinamento, são: redução da idade de abate, maior rendimento das carcaças, obtenção de carne de ótima qualidade em períodos de maior escassez, mortalidade quase nula, possibilidade de exploração intensiva em pequenas propriedades, retorno mais rápido do capital de giro investido na engorda, entre outras (WEDEKIN et al, 1994).

Os aspectos ambientais dessa prática estão relacionados principalmente à racionalização do uso de solo, que evita o desmatamento de grandes áreas para a formação de pastagens. Nesse processo de criação intensiva de bovinos, fatores relacionados ao acúmulo de dejetos, geração de resíduos líquidos com altas concentrações de carga orgânica e a possibilidade da proliferação de moscas e mosquitos, podem causar poluição direta desse local, com consequências em toda área de influência indireta, afetando a qualidade ambiental, principalmente pela possibilidade da contaminação dos recursos hídricos. Estes devem ser vistos com mais preocupação por parte dos pecuaristas e dos órgãos de fiscalização ambiental (MANSO, 2007).

Segundo Almeida (2010), criando animais em sistema extensivo, mas finalizando em confinamento, a redução da emissão de CO₂ equivalente emitido de GEE seria de 17% menor por quilograma de carne (SANTOS, 2014).

Desta maneira, a pecuária intensiva é uma forma de exploração concentrada de dejetos animais, sabidamente possuidores de grande carga poluidora para o solo, o ar e a água. A lavagem de estábulos gera grandes quantidades de efluentes (SILVA, 2011) representando 80% do consumo de água de todo confinamento.

O Brasil possui milhões de bovinos eliminando diariamente toneladas de excremento no meio ambiente. Para se ter uma ideia do potencial brasileiro para gerar energia a partir de dejetos, cerca de 18% do peso de um boi de 468 quilos, pronto para deixar a fazenda rumo ao

frigorífico, corresponde à fezes e urina (MANSO,2007; COLUNA, 2012), portanto, diariamente cada bovino gera cerca de 20 kg de esterco por dia.

Bhartolomeu et al (2007) destaca a problemática da geração de resíduos relacionados aos dejetos, que acabam poluindo a água, o solo e o ar. Neste contexto, o crescimento da produção necessita de alternativas que garantam a sustentabilidade dos recursos naturais e minimizem os impactos ambientais negativos. Os autores lembram ainda que a poluição dos recursos hídricos é decorrente da erosão e lixiviação do solo e lançamento de efluentes nas águas e lavouras, resultando em alta concentração de matéria orgânica, nutrientes e agentes patogênicos que degradam os mananciais (SILVA et al, 2012).

O grande volume de produtos residuais dos confinamentos consiste em esterco e urina, que, devido ao elevado teor de umidade, estão sujeitos aos processos de lixiviação e percolação no solo, movendo através de vários substratos para atingir a água subterrânea (PEIXOTO & PENATI, 2000).

3.3 A Suinocultura e os Resíduos

A suinocultura, a exemplo de outras cadeias produtivas, também cresceu significativamente, o que pode ser notado ao se analisar os indicadores econômicos e sociais do setor, tais como: volume das exportações, participação no mercado mundial e número de empregos. A atividade evoluiu em termos técnicos e no modelo de coordenação das atividades entre fornecedores de insumos, produtores rurais, agroindústrias, atacado, varejo e consumidores (GONÇALVES e PALMEIRA, 2006 apud ANTONELLI, 2014). Na Tabela 3.2, pode ser observada a evolução do rebanho de suínos no Brasil.

Tabela 3.2- Rebanho Efetivo de Suínos no Brasil

Rebanho (milhões de cabeça/ano)	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Suinocultura	36,82	38,05	38,96	39,31	38,79	36,74

Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal- IBGE, 2014.

A crise oriunda da barreira comercial imposta pela Rússia e a Argentina, gerou uma crise sem precedentes para suinocultura, o que não deixou alternativa para os produtores além de disponibilizar o produto no mercado interno, aumentando a oferta. O aumento dos custos

de produção, em função principalmente da alimentação, entretanto, é considerada a maior causa da crise (SCOT, 2012).

A suinocultura quando integrada na agroindústria desenvolve os seus modelos de produção em sistemas produtivos de animais confinados (SPAC), cujo manejo diário pelos produtores está associado aos procedimentos de limpeza e desinfecção das granjas (TAVARES, 2013). De acordo com Bley Junior et al. (2009), o atual modelo da suinocultura brasileira mostra uma redução do número de suinocultores com aumento efetivo de rebanho por unidade de produção, isso se traduz em um aumento da produção de dejetos por área.

Os dejetos produzidos são indicados como a principal causa dos problemas ambientais quando liberados sem controle no meio receptor natural (TAVARES, 2013).

No Brasil, os dejetos produzidos são armazenados em canaletas externas aos edifícios de produção ou, em fossas/valas localizadas internamente, em posição inferior aos animais localizados nas baias, sendo conduzidos por gravidade para os tanques de armazenamento/esterqueiras ou para os biodigestores (TAVARES, 2013).

A destinação e gestão inadequação dos sistemas de manejo e armazenamento da água residuária, levam ao lançamento errôneo dos dejetos em cursos de água, ou no solo, gerando problemas de poluição, podendo comprometer água de consumo humano e animal (AMARAL et al., 2005 apud ANTONELLI, 2014).

Segundo Konzen (2003), a utilização dos dejetos de suínos pode ser feita de forma integral ou com separação de sólidos. O líquido resultante do processo separatório pode-se destinar à fertirrigação, açudes de criação de peixes ou, ainda, como água reciclada para higienização, desde adequadamente tratado. Kunz et al. (2004) afirma que, no Brasil a forma mais utilizada de manejo de dejetos suínos é o armazenamento em esterqueiras ou em lagoas, sendo esta uma opção de menor custo para o produtor e posterior aplicação no solo com fertirrigação. No entanto, a sua utilização posterior deve considerar a necessidade da cultura e dos nutrientes no solo, uma vez que em excesso, pode causar problemas como perda de qualidade tanto no solo quanto na vegetação. Além disso, se não for bem tratado o efluente pode acarretar na contaminação do lençol freático, afetando a qualidade da água subterrânea.

No entanto, a utilização de biodigestores é uma alternativa tecnológica para o gerenciamento dos dejetos de suínos, o que permite a agregação de valor ao resíduo mediante a utilização do biogás produzido em sistemas de geração de energia e calor (PERDOMO et al., 2003). O sistema anaeróbio é mais utilizado no mundo, isto é, sistemas automatizados, resíduos com maiores teor de sólidos, com elevado índice de conversão de biogás, entre outros

(biodigestores de alta tecnologia) diferindo do Brasil que é de média e pequena tecnologia (ABIOGAS, 2015).

As granjas de suinocultura são as que mais utilizam os resíduos para geração de biogás, devido à alta carga orgânica do efluente além do sistema produtivo ser por confinamento, o que facilita o gerenciamento e manejo dos resíduos.

As águas residuárias provenientes da suinocultura, quando comparadas com o efluente doméstico possuem concentração de DBO de até 260 vezes superior. Enquanto a DBO para esgoto doméstico é de 200 mg/litro, a DBO dos dejetos de suínos oscila entre 30.000 e 52.000 mg/litro (GALBIATTI et al., 2010).

Quando comparado com bovinos e considerando a mesma base (kg de peso vivo), os suínos excretam 1,9 vezes mais dejetos que um bovino de corte e 1,3 vezes mais que um bovino leiteiro (aproximadamente 16 t/cabeça.ano) (ENSMINGER; OLDFIELD; HEINEMANN, 1990).

Um exemplo de utilização dos dejetos da suinocultura é a Granja São Pedro Colombari, localizada em São Miguel do Iguaçu, Oeste do Paraná, sendo que o seu foco econômico é a suinocultura em terminação.

A propriedade é pioneira no auto-abastecimento energético no país. Em 2006, foi instalado um biodigestor para tratar a biomassa residual das granjas, produzir biogás e gerar energia elétrica. Após dois anos, a unidade já operava em Geração Distribuída (GD), ou seja, estava conectada à Companhia Paranaense de Energia (Copel) para fornecer energia para a rede. Em 2010, aumentou-se a produção de suínos e, conseqüentemente, o volume de efluente gerado. Por isso, instalou-se mais um biodigestor para atender à demanda de biomassa residual produzida pelos animais (CIBiogás, 2016).

A granja tem cinco mil suínos, produzindo cerca de 45 m³ por dia de efluentes líquidos, que são direcionados a dois biodigestores de lagoa coberta, que operam em série. O plantel atual possibilita a produção diária de 750 m³ de biogás. Devido as impurezas do biogás (alta concentração de gás sulfídrico), é direcionado para um filtro de absorção com reação química em solução de Fe/EDTA (solução catalítica). Após ser filtrado, ele é aproveitado para geração de energia elétrica por meio de um grupo motogerador de 100 kVA, possui potencial de produção de 50 kWh, convertendo o biogás em mil kWh/dia (CIBiogás, 2016).

Outra iniciativa interessante utilizando os resíduos provenientes da suinocultura foi desenvolvida pelo CIBiogás, por meio do projeto intitulado Cooperativa Agroenergética de Agricultura Família na Bacia Hidrográfico do Ajuricaba, no Município de Marechal Cândido

Rondon, no Estado do Paraná, no qual foram instalados biodigestores individuais em 33 pequenas propriedades rurais. O biogás produzido é transportado por 22 quilômetros até uma planta localizada centralmente entre as propriedades para produção de eletricidade, calor e biometano para utilização veicular (IEA, 2013).

3.4 A Avicultura de Corte e os Resíduos

O setor agroindustrial avícola brasileiro é referência de organização no País, o que pode ser comprovado pela eficiência na conquista de mercado no exterior, como também pelas estratégias de diferenciação de produtos. Isto se deve à forma de gerenciamento de integração da cadeia produtiva avícola baseada no sistema de parcerias entre indústria, tecnólogos e produtores rurais (MELLO, 2001; PINOTTI; PAULILLO, 2007).

Os modernos sistemas de criação tradicionais e aviários se caracterizam pelo confinamento de grande quantidade de animais por unidade de área, tendo como consequência a geração de consideráveis volumes de dejetos (KUNZ, 2009).

No entanto, tem crescido no mundo outros sistemas que são denominadas caipiras e orgânicas é o fato dos animais terem acesso a uma área verde. Isto tem uma grande contribuição no marketing, baseado na preocupação com o bem-estar animal e na redução do estresse dos animais (ZANUSSO & DIONELLO, 2003; PASIAN & GAMEIRO, 2007).

Desta forma é extremamente oportuno realizar pesquisas na área de sistemas de produção animal diferenciada, pois é um nicho de mercado que está em franco crescimento. Além disso, provavelmente muitas das diferenças que esses sistemas apresentam em relação ao sistema convencional terão que ser aplicadas para criações no Brasil se quiserem continuar exportando produtos de origem animal para a Europa, o principal comprador para grande parte desses produtos, e que ultimamente vem criando uma série de leis que visam melhorar os sistemas de criação em diversos aspectos (PASIAN & GAMEIRO, 2007). Na Tabela 3.3, observa-se o tamanho efetivo de galináceo no Brasil.

Tabela 3.3- Rebanho Efetivo de Galináceos no Brasil

Rebanho (milhões de cabeça/ano)	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Avicultura	1.198,70	1.230,09	1.238,91	1.266,21	1.245,27	1.248,78

Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal- IBGE, 2014.

Conforme apresentado na Tabela 3.4 o rebanho de galináceos no Brasil estava em constante crescimento desde 2008, entretanto em 2012 sofreu uma queda, devido à escassez de água e aumento dos preços de insumos como alimentação devido à alta do dólar.

O aumento da produção nacional de frangos de corte, principalmente nos últimos anos, possibilitou ao setor uma maior inserção no mercado internacional e a continuidade do abastecimento doméstico sem alteração no preço (CARVALHO, 2007; SAGULA, 2012).

O caso dos resíduos da criação de frangos de corte, além dos materiais citados, contém o material absorvente usado como cama, vindo daí a designação “cama de frango”, geralmente utilizada para os resíduos de frangos de corte. O material absorvente é bastante variável, sendo mais comum a utilização de serragem de madeira e casca de arroz e com menor frequência casca de amendoim, palhas em geral, sabugo picado e outros (LEME et al., 2000 apud STEIL, 2001).

Segundo Lucas Jr (2000), os resíduos avícolas merecem destaque e também as oportunidades de reciclagem da biomassa gerada como substrato no processo, a cama de frango possui elevada carga orgânica podendo ser utilizada para a realização de compostagem e geração de energia.

Segundo Oviedo-Rondon (2008), a produção de frangos de corte gera um grande volume de resíduos na forma de esterco, efluentes, camas e aves mortas. Estes resíduos possuem concentrações importantes de nitrogênio, fósforo, potássio, minerais traço como cobre e zinco, além de uma alta carga de bactérias. Miranda (2012) afirma que os dejetos devem sofrer fermentação para eliminação de microrganismos indesejáveis e disponibilização de nutrientes assimiláveis pelas plantas.

Vários fatores podem interferir sobre a produção de metano nos dejetos, mas, sem dúvida, a qualidade dos sólidos voláteis é o principal fator (MOLLER et al., 2004). Segundo Orrico Júnior et al., (2011), o potencial de produção de metano da cama de frango pode sofrer interferência do estrato utilizado, que pode variar com a densidade de animais e o número de ciclos produtivos realizados sobre a cama.

Lucas Jr (2000), afirma que há necessidade de ter um olhar especial para a inserção de um inóculo, isto é, para se dar o *start* do processo é importante inserir outra fonte que possua bactérias para acelerar a decomposição, como esterco bovino, que já possui bactérias metanogênicas, uma vez que como se trata de cama de frango, foi verificado o efeito da antecipação na produção de biogás além de aumentar o potencial efetivo da biomassa.

Como a avicultura de corte, assim como a suinocultura, é uma atividade que demanda certa quantidade de energia, principalmente devido aos sistemas de condicionamento térmico e iluminação, o biogás pode ser utilizado diretamente na propriedade, reduzindo os custos com energia do criador.

3.5 Os Abatedouros de Bovinos de Corte e os Resíduos

Segundo IBGE (2014), no Brasil em 2014 foram abatidos 25,7 milhões de cabeças, o que demonstra que a atividade é extremamente importante, tanto na geração de empregos, quanto na economia. Segundo ABIEC (2015), foram exportadas cerca 1.4 milhões de toneladas de carne, rendendo quase 6 bilhões de dólares para o setor.

De forma geral, as etapas do processo de abate de bovinos são a recepção, que compreende a chegada e seleção dos animais; o abate propriamente dito, onde são realizadas as etapas de insensibilização e sangria, remoção do couro, evisceração, limpeza e lavagem das carcaças, e resfriamento; e a recuperação de subprodutos (SCHENINI, 2006). A Figura 3.3 apresenta o processamento de abate de bovinos.

Figura 3.3. Processamento de Bovinos no abate
 Fonte: SCARASSATI, D *et al* (2003)

Como consequências das operações de abate para obtenção de carne e derivados, originam-se vários subprodutos e resíduos que devem sofrer processamentos específicos: couros, sangue, ossos, gorduras, etc. Normalmente a finalidade do processamento e/ou destinação dos resíduos ou dos subprodutos do abate é função das características locais ou regionais, como a existência ou a situação de mercado para os vários produtos resultantes e de logística adequada entre as operações (SILVA, 2011), conforme Tabela 3.4.

Tabela 3.4-Produtos e Subprodutos do Abate de um Bovino de 400 kg

	Peso (Kg)	Porcentagem do Peso Vivo (%)
Peso Vivo	400	100
Carne Desossada	155	39
Material Não-comestível para graxaria (ossos, gordura, cabeça, etc.)	152	38
Couro	36	9
Visceras comestíveis (língua, fígado, coração, rins, etc.)	19	5
Sangue	12	3
Outros (conteúdos estomacais, intestinais, perdas-sangue, carnes, etc)	26	7

Fonte: UNEP, DEPA, COWI, 2000; PACHECO, 2008.

Figura 3.4- Cadeia Produtiva da Agroindústria de Carne Bovina (os elos da figura não estavam fechando)
Fonte: COLUNA, 2012.

Segundo Pacheco (2008), padrões de higiene das autoridades sanitárias em áreas críticas dos abatedouros resultam no uso de grande quantidade de água. Os principais usos de água são para: consumo animal e lavagem dos animais; lavagem dos caminhões; escaldagem, lavagem de carcaças, vísceras e intestinos; movimentação de subprodutos e resíduos; limpeza e esterilização de facas e equipamentos; limpeza de pisos, paredes, equipamentos e bancadas; geração de vapor e resfriamento de compressores. Em média esse consumo é cerca de 1.300 l/cabeça.

Em abatedouros, alto consumo de água acarreta grandes volumes de efluentes, sendo que 80 a 95% da água consumida são descarregadas como efluente líquido (UNEP; DEPA; COWI, 2000). Estes efluentes caracterizam-se principalmente por: alta carga orgânica, devido à presença de sangue, gordura, esterco, conteúdo estomacal não-digerido e conteúdo intestinal; alto conteúdo de gordura; flutuações de pH em função do uso de agentes de limpeza ácidos e básicos; altos conteúdos de nitrogênio, fósforo e sal e flutuações de temperatura (uso de água quente e fria) (PACHECO, 2008).

Em Coluna (2012), foi observado que na agroindústria de proteína animal de carne bovina há diferentes elos ao longo da cadeia que podem produzir biogás, conforme observado na Figura 3.4.

Para se entender a carga poluidora do efluente, é necessário saber a magnitude do potencial poluidor da carga orgânica do efluente. A Tabela 3.5 demonstra a carga poluidora do efluente por tipo de abatedouro.

Tabela 3.5- Carga Orgânica Poluidora e Concentração no Efluente Líquido por Tipo de Abatedouro

Tipo de abatedouro	Carga poluidora (kg de DBO/ cabeça)	Concentração total de DBO no Efluente (mg/L)
Com industrialização da carne	3,76	1.250- 3.760
Sem industrialização da carne	2,76	1.100 – 5.520

Fonte: CETESB, 2003 apud PACHECO, 2008.

A partir da relação feita por Pacheco (2008), e considerando a média da carga poluidora (kg de DBO/cabeça) descrita na Tabela 3.6, conhecendo que a carga de DBO por habitante por dia é de 54 g, tem-se que cada bovino abatido gera o equivalente de 59,26 habitantes. Devido a esse fato, é necessário dar uma atenção dobrada a esse tipo de efluente gerado.

3.6 Os Abatedouros de Suínos e os Resíduos

O processo de abate de suíno é muito parecido com o de bovino. Em São Paulo, algumas plantas processam os dois animais. No Brasil, foram abatidos 37,12 milhões de cabeças suínas em 2013. (IBGE, 2014).

Para realização do abate da carne suína, as instalações e equipamentos devem estar organizados de forma que facilite as operações e garanta a higiene, passando por banhos de aspersões (VENTURINI, 2007).

O abate de suínos, assim como o de bovinos, é realizado por diversas fases. Todas as etapas devem ser feitas de forma que não afetem a qualidade final da carne, adotando medidas higiênicas e preventivas (VENTURINI, 2007). A Figura 3.5, apresenta o processamento no abate de suínos no Brasil.

Figura 3.5- Processamento de Abate de Suínos
 Fonte: SCARASSATI, D *et al* (2003)

Conforme observado na Figura 3.5, o processo no todo demanda de água para a produção, gera poucos resíduos, uma vez que são utilizados como subprodutos, em outras etapas.

A Tabela 3.6 apresenta os produtos e subprodutos gerados durante o processo de abate de suínos.

Tabela 3.6- Produtos e Subprodutos do Abate de um Suíno de 90 kg

	Peso(kg)	Porcentagem do Peso Vivo (%)
Peso Vivo	90	100
Carne Desossada	57,6	64
Material não-comestível para graxaria (ossos, gordura, cabeça, etc.)	18	20
Vísceras comestíveis (língua, fígado, coração, rins, etc.)	9	10
Sangue	2,7	3
Outros (conteúdos estomacais, intestinais, perdas-sangue, carnes, etc)	2,7	3

Fonte: UNEP, DEPA, COWI, 2000; PACHECO, 2008.

O consumo total de água por suíno abatido pode variar muito de um frigorífico para outro, pois depende do layout, tipo de animal, tamanho do mesmo, forma de abate, tecnologia empregada e principalmente da consciência de cada colaborador, que precisa ser frequentemente sensibilizado sobre o desperdício de água. Segundo a Cetesb (1993), o consumo de água no abate de suíno varia de 400 a 1200 litros por cabeça; por sua vez, os abatedouros que realizam industrialização em conjunto geram de 500 a 1500 litros por cabeça (PACHECO, 2008). Na Tabela 3.7, observa-se a carga poluidora do efluente por tipo de abatedouro.

Tabela 3.7- Carga Orgânica Poluidora e Concentração no Efluente Líquido por tipo de Abatedouro

Tipo de abatedouro	Carga poluidora (kg ade DBO/ cabeça)	Concentração total de DBO no Efluente (mg/L)
Com industrialização da carne	0,94	620-1.800
Sem industrialização da carne	0,64	570-1700

Fonte: CETESB, 2003 apud PACHECO, 2008.

A partir da relação feita por Pacheco (2008), e considerando a média da carga poluidora (kg de DBO/cabeça) descrita na Tabela 3.7, conhecendo-se a carga de DBO por habitante por dia de 54 g, temos que cada suíno abatido gera o equivalente a 14,63 habitantes.

3.7 Os Abatedouros de Aves de Corte e os Resíduos

A indústria de abate avícola é um setor que está em constante crescimento e se destacando no desenvolvimento da economia do país. Isso se dá, principalmente, pelo aumento no consumo da carne de frango, em razão da preocupação por parte dos consumidores quanto aos benefícios proporcionados por esse produto, pelo menor preço em relação aos outros tipos de carne e rapidez no preparo (SCHUEROFF, 2013). Segundo IBGE (2014), foram abatidos 2,7 bilhões de aves no ano de 2014.

O processo de abate de aves é muito similar aos de bovinos e suínos, possuindo um diferencial quanto às penas.

O processo de abate avícola pode ser observado na Figura 3.6

Figura 3.6. Processamento de Abate de Aves
Fonte: SCARASSATI, D *et al* (2003)

Como em todo processo de abate, existem subprodutos e consumo de água considerável; para o abate de aves são gerados em média 25 a 50 litros de água por cabeça. Esses efluentes são usados nas lavagens de pisos e das instalações nas seguintes etapas da produção: área de recebimentos das aves; lavagens das caixas utilizadas no transporte; sala de abate; sala de sangria; escaldamento; depenagem mecanizada; evisceração; resfriamento com

gelo; embalagem; congelamento e expedição. Também são gerados efluentes nas lavagens se houver fabricação de farinhas de aves (BLISKA, 1998; MALDANER, 2008).

A concentração de matéria orgânica nos efluentes varia de 1000 a 3700 mg/ L de oxigênio em função das quantidades de água utilizadas no processo em relação ao número e peso dos frangos abatidos. É importante a retirada do sangue antes da lavagem da sala de sangria, pois isto pode reduzir a carga orgânica do efluente. (PHILIPPI, 2004; MALDANER, 2008).

Segundo Philippi (2004), a vazão específica do efluente gerado no abatedouro avícola é de 17 a 20 litros por ave, e o seu equivalente populacional de cargas orgânicas é de 200 habitantes por 1000 aves abatidas (MALDANER, 2008).

Diante do exposto nas seções acima, percebe-se a elevada produção de resíduos nos elos da cadeia estudada, e caso não haja o manejo e gerenciamento adequado desses resíduos pode acarretar em danos ao meio ambiente, afetando a população do entorno, bem como a qualidade do ar e água. Por isso é importante o cumprimento das normas ambientais e à fiscalização periódica. Nas seções a seguir serão apresentadas a tecnologias de tratamento e de aproveitamento energético a partir dos resíduos analisados.

3.8. Aproveitamento Energético dos Resíduos Agropecuários no Brasil

A agropecuária no Brasil tem evoluído sensivelmente nos últimos anos, conforme índices de produtividade apresentados anteriormente. Entretanto, este setor tem causado grande ônus ambiental pela poluição dos recursos naturais, como o solo e a água. O correto manejo e tratamento dos resíduos agropecuários devem ser considerados parte do processo produtivo, exigindo critérios técnicos para a seleção de tecnologias apropriadas e o nível de tratamento desejado. Além disso, dependendo do processo de tratamento, ainda há possibilidade de geração de energia elétrica e/ou térmica, além da produção de composto orgânico e de biofertilizantes.

Com relação à utilização da biomassa como fonte de energia, diversas rotas tecnológicas, adaptadas às diferentes características físicas e químicas das matérias-primas e da utilização requerida podem ser utilizadas para converter a biomassa em um produto energético final (IEA BIOENERGY, 2009; ZANETTE, 2009), conforme Figura 3.7.

Figura 3.7. Visão esquemática da ampla variedade de rotas tecnológicas para conversão e utilização da energia da biomassa.

Fonte: ZANETTE (2009).

Os itens a seguir abordam as tecnologias de tratamento de resíduos agropecuários utilizadas, ou ainda em pesquisa, no Brasil e no Mundo, bem como as tecnologias do aproveitamento energético proveniente destes resíduos.

3.8.1 Tecnologias de Tratamento dos Resíduos Agropecuários no Brasil e no Mundo

A destinação inadequada dos resíduos agropecuários nas propriedades rurais é um problema encontrado pelos agricultores, pois além de afetar o meio ambiente, traz danos que podem prejudicar a saúde da população do entorno e determinar maiores custos administrativos a propriedade. As propriedades rurais brasileiras estão se modernizando em virtude das inovações tecnológicas e de gestão no setor agroindustrial (BARBOSA & LANGER, 2011).

A seguir estão descritas algumas tecnologias existentes, ou ainda em pesquisa, utilizadas para o tratamento de resíduos agropecuários no Brasil e no Mundo.

3.8.1.1 Compostagem

De acordo com a NBR 13591:1996, a compostagem é um processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação. Para que o resíduo atinja plenamente a característica de fertilizante, é necessário que seja submetido a um processo de biodegradação, que é a sua decomposição por microrganismos, acompanhado da mineralização de seus constituintes orgânicos. Sendo assim, a matéria orgânica ao ser biologicamente degradada, a um nível de elevada estabilização, gera húmus, que pode ser entendido como um conjunto de compostos minerais possíveis de serem assimilados pelas plantas (MP-PR, 2013).

A compostagem possibilita a transformação de resíduos orgânicos em um composto de grande valor fertilizante para as plantas e solo. Trata-se de um processo que permite a reciclagem dos resíduos orgânicos, possibilitando seu reaproveitamento em detrimento da mera disposição final, que no geral implica em impactos ambientais negativos. Neste contexto, a questão da adubação orgânica é praticada desde que os solos começaram a ser mobilizados para a produção agrícola, e foi, tradicionalmente, o principal meio de restaurar o balanço de nutrientes no solo. Portanto, a reciclagem dos resíduos orgânicos é uma das mais antigas práticas utilizadas por agricultores para favorecer o desenvolvimento das culturas agrícolas. A compostagem é considerada uma forma eficiente de biodegradação controlada da matéria orgânica (MP-PR, 2013).

A compostagem de dejetos líquidos é alternativa tecnológica visando sua conversão numa matriz sólida para facilitar seu manejo e exportação de áreas com densidade de produção muito alta. A primeira dificuldade para a compostagem de dejetos de suínos diz respeito à necessidade de remoção da umidade do dejetos, tipicamente maior que 95%. Portanto, o manejo do processo deve ser distinto da compostagem convencional, devendo o processo evaporativo ser privilegiado de tal forma que se consiga incorporar um grande volume de dejetos ao substrato. Na utilização de maravalha e serragem para a compostagem de dejetos de suínos, têm sido alcançadas relações superiores a 1:8 (substrato/dejeto) na incorporação do dejetos de suíno a esses substratos (NUNES, 2003; KUNZ, 2005).

O uso do fertilizante orgânico composto (húmus) na agricultura apresenta uma série de vantagens, dentre as quais destacam-se: a) Atua como fonte de macro e micronutrientes para as plantas; b) Exerce efeito tampão no solo, devido à sua elevada área de superfície e

capacidade de troca catiônica; c) Reduz as oscilações diárias de temperatura do solo (mau condutor de calor); d) Funciona como condicionador do solo, melhorando sua capacidade de aeração, permeabilidade e retenção de água; e) Exerce efeito controlador sobre várias doenças e pragas de plantas; f) Favorece a aglutinação e a estabilidade dos agregados; g) Melhora a tratabilidade do solo; h) Aumenta a estabilidade estrutural do solo, propiciando uma maior resistência à erosão (MP-PR, 2013).

O composto pode ser aplicado no solo ou exportado para outras regiões (GOLUEKE, 1991). A prática de exportação e comercialização do composto gerado ainda é limitada pela baixa viabilidade econômica, pois compete com outros resíduos, como os da avicultura. Esse fato foi ainda mais acentuado após o ano de 2001, com a proibição da alimentação de ruminantes com cama de aviário (IN 15, 17/07/2001, Ministério da Agricultura e Abastecimento). Isso torna necessária a propagação do uso da tecnologia, para que novos mercados sejam abertos com a criação de uma demanda do produto (KUNZ, 2005).

3.8.1.2 Tratamento Aeróbio

No Brasil, a forma mais usual de manejo de dejetos agropecuários, principalmente de dejetos suínos, é o tratamento em lagoas aeróbias e posterior aplicação no solo. As lagoas, desde que corretamente dimensionadas e operadas, são uma opção de baixo custo para produtores que possuem áreas de cultivo suficientes, onde esses resíduos possam ser utilizados como fertilizante orgânico (KUNZ et. al., 2004).

O emprego de lagoas para o tratamento dos efluentes líquidos é bastante usual em todo o mundo, principalmente em locais quentes onde há disponibilidade de área a um custo relativamente baixo. De maneira geral, as lagoas encontradas no Brasil, empregadas para o tratamento dos efluentes, não têm parâmetros de projeto bem definidos. Geralmente o efluente entra pela parte superior, numa das bordas e sai pela borda oposta, também pela parte superior, o que faz da lagoa um simples tanque de decantação, com digestão dos sólidos na parte inferior.

O fato de o líquido entrar e sair pela parte superior não promove um bom contato entre o lodo biológico, retido na parte inferior, com o substrato solúvel e insolúvel que entra na lagoa. Desta forma, a eficiência do sistema biológico em uma lagoa desse tipo é baixa em relação a outros sistemas biológicos mais otimizados. De maneira geral, estas lagoas apresentam uma eficiência da ordem de 20 a 50% de remoção da carga orgânica (DBO) e uma

razoável eficiência de retenção de sólidos suspensos, que pode chegar a valores de 30 a 70%, a exemplo dos decantadores ou das fossas sépticas (BATALHA, 1989).

As lagoas aeradas foram desenvolvidas a partir de lagoas de estabilização, denominadas também de Lagoas Fotossintéticas de Estabilização ou Maturação, nas quais, nos períodos críticos, como no inverno, o oxigênio é fornecido por meios artificiais, através de aeração de fundo ou de superfície. Enquanto a aeração é essencialmente natural, há desenvolvimento de algas na superfície da lagoa. Quando se começa a aerar artificialmente um sistema como esse, as algas logo desaparecem e a população microbiana que passa a predominar na lagoa é semelhante à do processo de lodos ativados, isto é, os microrganismos presentes no esgoto decompõem o substrato (matéria orgânica) e se desenvolvem (VON SPERLING, 2012).

Desta forma pode-se dizer ainda que as lagoas aeradas correspondem a unidades de lodos ativados operando sem reciclo de lodo. A separação do lodo biológico presente no efluente de uma lagoa aerada é indispensável para que se tenha uma boa eficiência de tratamento, sendo a lagoa anaeróbia ou facultativa uma opção empregada como unidade de separação e digestão dos sólidos, em série com a lagoa aerada (ARMENANTE, 1999).

3.8.1.3 Tratamento Anaeróbio

As lagoas anaeróbias são largamente empregadas como pré-tratamento para águas residuárias com grande teor de sólidos em suspensão e são, por essa razão, também chamadas de lagoas de decantação. Os sólidos se depositam no fundo, onde sofrem uma digestão anaeróbia. O líquido efluente, parcialmente clarificado, normalmente é enviado para outras lagoas, para o tratamento complementar adequado, normalmente para lagoas facultativas ou de estabilização, usadas principalmente no caso do esgoto sanitário. Carga orgânica aplicada (COA) é o parâmetro usualmente adotado para o dimensionamento, principalmente no caso de lagoas empregadas no tratamento de efluentes industriais nos quais a concentração da DBO é mais elevada do que o esgoto sanitário. Os valores de COA mais usuais aplicadas para o efluente estão na faixa entre 0,1 a 0,3 kg DBO/m³.dia, que são utilizados em função da temperatura média a que a lagoa ficará submetida (VON SPERLING, 1996).

As lagoas anaeróbias são dimensionadas para receber cargas orgânicas aplicadas superiores aos valores aplicados em outros tipos de lagoas, dependendo das condições de

projeto poderá ocorrer a geração de odores desagradáveis devido principalmente à presença de gás sulfídrico.

Os processos anaeróbicos podem apresentar um balanço energético favorável, porque a energia, na forma de metano, pode ser recuperada a partir da conversão biológica de substratos orgânicos, ao invés de apenas consumirem energia, como é o caso dos processos aeróbicos, que apresentam um consumo significativo de energia para agitação e/ou aeração. Além disso, a menor produção de biomassa (redução de 80 a 90%) devido à energética dos processos anaeróbicos reduz substancialmente os custos com processamento e disposição de lodo (METCALF & EDDY, 2003; ZANETTE, 2009).

As tecnologias de biodigestão anaeróbias se tornam apropriadas para a eliminação de patógenos, redução da carga orgânica e produção de biogás.

Os digestores anaeróbios, ou biodigestores, são equipamentos utilizados para digestão de matérias orgânicas. Constituem-se de uma câmara fechada, onde é colocado o material orgânico, em solução aquosa e, por meio da decomposição anaeróbia, há diminuição do volume de sólidos e estabilização do lodo bruto (BRAILE, 1983). Dentre os diversos tipos de reatores e tratamentos anaeróbios, o biodigestor UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), também conhecido como RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) é o mais disseminado para o tratamento de efluentes. Este tipo de biodigestor possui uma camada de lodo que permite a passagem do líquido e remove os nutrientes orgânicos gerando a fase gasosa. Na Figura 3.8 ilustra esse tipo de biodigestor.

Figura 3.8. Biodigestor UASB

No entanto, o reator UASB possui custo mais elevado do que as eventuais lagoas, portanto esse tipo de tratamento não é comumente utilizado no meio rural.

Devido à questão dos custos, as lagoas cobertas estão sendo utilizadas no campo, a partir da infraestrutura existente que são as lagoas aeróbias.

Este modelo é caracterizado basicamente por uma câmara de fermentação escavada no solo, com formato de tronco de pirâmide invertido, sendo a cobertura da câmara de fermentação revestida por uma manta de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) ou de Policloreto de Vinila (PVC), com espessura de 0,8 mm a 2 mm, na cor preta e o revestimento interno feito por material sintético flexível, manta de PVC, espessuras de 0,8mm à 1 mm, nas cores preta ou branca, para evitar vazamentos, contaminação do solo e do lençol freático (LIMA, 2011; SAGULA, 2012).

Na Figura 3.9 é ilustrado o esquema de um sistema de tratamento anaeróbio tipo lagoa coberta

Figura 3.9- Esquematização de um tratamento anaeróbio tipo lagoa coberta

Fonte: Embrapa, 2016.

Como pode se observa na Figura 3.9, o sistema não requer grandes tecnologias e elevado custo de implantação, em comparação a outros sistemas convencionais como os reatores UASB.

Na Figura 3.10, observa-se o processo de geração de biogás, de uma maneira genérica da decomposição anaeróbia.

Figura 3.10 -Diagrama genérico do processo de geração de biogás
Fonte: JÄKEL, 2002, GIZ, 2014

Na Figura 3.10, observa-se o processo de geração de biogás a partir de um sistema anaeróbio, e os subprodutos gerados como biofertilizantes e o biogás para fins energéticos.

Nas seções a seguir serão discutidas as tecnologias de aproveitamento energético.

3.8.2 Tecnologias de Aproveitamento Energético

O aproveitamento energético dos resíduos agropecuários pode ser uma alternativa tecnológica capaz de gerar ótimos resultados, melhorando a gestão dos recursos econômicos da propriedade, reduzindo problemas ambientais pelos resíduos orgânicos e evitando problemas à saúde humana em razão da contaminação do meio ambiente, além de contribuir para a estabilização dos níveis de consumo dos recursos naturais e diminuir a dependência de energia proveniente da rede da concessionária local.

O aproveitamento energético do biogás pode ser elétrico ou térmico, bem como um substituto do gás natural para ser injetado na rede de gasodutos ou sua utilização veicular.

Nos itens a seguir serão apresentadas as tecnologias mais utilizadas e os seus usos.

3.8.2.1 Aproveitamento Energético do Biogás

O biogás, produzido a partir da digestão anaeróbia da matéria orgânica presente em efluentes e resíduos domésticos, industriais e agropecuários, representa uma fonte alternativa e renovável de energia cada vez mais utilizada em todo o mundo, podendo ser uma alternativa para a eficiência energética da agroindústria.

O primeiro documento relatando a coleta de biogás de um processo de digestão anaeróbia ocorreu em uma estação de tratamento de efluentes municipal da Inglaterra, em 1895, sendo que o primeiro estudo de aproveitamento em uma pequena planta, com uso de estrume e outros materiais, remontam de 1941, na Índia. Desde então, o processo anaeróbio tem evoluído e se expandido ao tratamento de resíduos industriais, agrícolas e municipais (VILLEN; et al apud por PRATI, 2010).

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão, de forma mais intensa e com finalidade energética foram a Índia e a China, nas décadas de 50 e 60 (NOGUEIRA, 1986 apud PRATI, 2010).

Para Pawlowski (1983), a necessidade de se obter mais economia no tratamento com a recuperação de resíduos orgânicos e interesse na produção de energia a partir de biomassa como fonte renovável, motivam a avaliação e estudo dos processos anaeróbios (SCHENHALS, 2007).

Diversos países que possuem meta de redução de gases de efeito estufa e/ou estão observando a necessidade de diversificação da matriz energética e/ou possui a necessidade de universalizar o acesso à energia e reduzir os custos com a importação dos combustíveis

convencionais/ fósseis estão proporcionando incentivos financeiros e políticos para a efetivação dessa fonte na matriz elétrica.

Em países em desenvolvimento é mais comumente utilizado, principalmente na China que possuem cerca de 31 milhões de biodigestores em escala familiar (com projeção de alcançar 80 milhões até 2020), e 27 mil de grande e média escala (CHEN et al, 2012). A Índia que possui 4 milhões de biodigestores, com expectativa de aumentar esse número devido ao seu plano de Expansão em Energia Renováveis (BRUUN et al, 2014; JIANG X et al, 2009; BHATTACHARYA et al, 2009).

Já os países europeus possuem uma audaciosa política de redução de GEE, estão utilizando resíduos de culturas agrícolas além dos resíduos animais para a geração de biogás em biodigestores, atualmente a Itália tem 900 plantas de biogás, sendo que 17,7% das plantas utilizam resíduos pecuários, 20,1% utilizam culturas energéticas e cereais e 62,2% utilizam ambos insumos (CARROSIO, 2013).

A definição da escala da planta e tecnologia a ser utilizada depende de diversos fatores, como: quantidade de insumo disponível, a organização social do meio rural, a questão de incentivos e políticas bem como a questão econômica, entre outros.

No Brasil, a sua utilização ainda é ineficaz, sendo pouco utilizado o potencial existente, como observado na Tabela 3.8, que apresenta o número de plantas de produção de biogás e de energia no Brasil, e na Figura 3.11, que mostra o número de plantas de biogás por país e tipos de fontes. Cabe ressaltar que estas plantas são as outorgadas na ANEEL.

Tabela 3.8- Tipos e Número de Plantas de Produção de Biogás e de Energia

Tipo de Planta	Número de planta	Produção de Energia (GWh/ano)
Estação de Tratamento de Esgoto (lodo)	5	42,25
Abatedouro de Aves	1	1,40
Agricultura	6	8,97
Industrial	4	23,75
Aterro	6	636,83
Total	24	713,2

Fonte: IEA, 2014.

Figura 3.11- Número de Plantas de Biogás por País e Tipos de Fontes
Fonte: IEA, 2014

Ao se comparar a Tabela 3.8 e a Figura 3.11, observa-se que o Brasil está muito atrás dos países desenvolvidos. Ao se considerar o tamanho continental brasileiro, bem como as características dos sistemas agropecuários, resíduo sólido urbano, entre outros, percebe-se o quanto o país poderia estar produzindo biogás e não está. Segundo BIG/ANEEL (2014), a geração de energia elétrica a partir do biogás representa menos de 1% na matriz elétrica (com capacidade instalada de 74.399 kW). O maior representante são os resíduos sólidos urbanos.

A fim de tentar estimular essa fonte e outras renováveis, a Agência Nacional de Energia Elétrica criou a Resolução Normativa 482 de 2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica; o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências, o que acabou dificultando maior expansão da micro e minigeração, no entanto esta Resolução acabou inviabilizando economicamente microgeradores, uma vez que a compensação será feita com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro de Pessoa Jurídica (CNPJ).

O aproveitamento energético do biogás proveniente do tratamento anaeróbico, além de contribuir para a preservação do meio ambiente, também traz benefícios para a sociedade, pois promove a utilização de um recurso de baixo custo; colabora com a não dependência da fonte de energia fóssil; possibilita a geração descentralizada de energia; aumenta a oferta de energia; possibilita a geração local de empregos; colabora para a viabilidade econômica das

propriedades rurais; otimiza a utilização local de recursos e aumenta a viabilidade do saneamento básico no país, permitindo o desenvolvimento tecnológico de empresas de saneamento e energéticas (CASSINI et al, 2014) .

Os benefícios atribuídos ao uso do biogás estão vinculados ao tipo de aproveitamento a que ele será destinado. As duas principais alternativas para o aproveitamento energético do biogás são: conversão em energia elétrica e o aproveitamento térmico. Entretanto, o biogás também pode ser injetado na rede de gás natural ou até mesmo ser utilizado como combustível em veículos (CASSINI et al, 2014), conforme discutido nos itens a seguir.

3.8.2.1.1 Purificação do Biogás

O biogás consiste principalmente em CH_4 e CO_2 , além de traços de outros gases que estão frequentemente presentes, como vapor de água, sulfeto de hidrogênio, siloxanos, hidrocarbonetos, amônia, oxigênio, monóxido de carbono e nitrogênio.

Para a conversão de biogás em biometano, duas etapas principais são executadas: (1) um processo de limpeza para remover os componentes traços (do inglês, *cleaning process*) e (2) um processo de ajuste do poder calorífico do gás (do inglês, *upgrading process*). O ajuste de poder calorífico é geralmente realizado a fim de cumprir as normas para o uso como combustível de veículo ou para a injeção na rede de gás natural (BORSCHIVER, 2014).

A limpeza do biogás (do inglês, *cleanup*), consiste na remoção de impurezas, tais como sulfeto de hidrogênio, siloxanos, água, oxigênio, nitrogênio e partículas em suspensão presentes em diferentes concentrações, dependendo da composição do substrato a partir do qual o biogás foi produzido.

Segundo BORSCHIVER (2014), a presença de impurezas, mesmo que em baixas concentrações, podem afetar o equipamento causando problemas de corrosão e desgaste mecânico. Outro problema associado a impurezas é a emissão de poluentes indesejáveis, enquanto o biogás é queimado durante sua utilização. Alguns processos de ajuste de poder calorífico requerem um tratamento prévio para remoção de certas impurezas. A Tabela 3.9 demonstra as tecnologias de limpeza do biogás.

Tabela 3.9- Tecnologias de limpeza do biogás

Impureza	Tecnologia de limpeza
Sulfeto de hidrogênio	Precipitação / Absorção química / Adsorção em carvão ativado / Tratamento biológico
Siloxanos	Resfriamento / Absorção em mistura líquida de hidrocarbonetos / Adsorção em carvão ativado, alumínio e sílica gel / Co-separação com sulfeto de hidrogênio
Água	Resfriamento / Compressão / Absorção / Adsorção
Oxigênio e Nitrogênio	Adsorção em carvão / Peneira molecular ou membranas
Amônia	Enquanto o gás é seco ou está no processo de ajuste de poder calorífico
Particulados	Filtro mecânico

Fonte: BORSCHIVER, 2014.

No entanto, o maior nível de pesquisa está nas tecnologias para o processo de ajuste do poder calorífico, o que torna o biogás em biometano com poder calorífico próximo ao do gás natural. A Figura 3.12, demonstra as principais tecnologias de ajuste do poder calorífico.

Figura 3.12- Principais tecnologias de limpeza do biogás

Fonte: BORSCHIVER, 2014.

O primeiro grupo se refere às tecnologias já consolidadas e amplamente difundidas, onde se encontram os processos de absorção (lavagem) e adsorção, com destaque para a adsorção de balanço de pressão (BORSCHIVER, 2014).

Ainda segundo BORSCHIVER (2014), no segundo grupo estão os novos processos, onde muitos itens ainda se encontram em análise e otimização, como é o caso dos processos de permeação (membranas) e criogenia. Foram identificados também alguns processos classificados como “avançados”, utilizando técnicas diferentes dos processos anteriores e ainda em fase de desenvolvimento. Um deles é o processo enzimático denominado “pulmão ecológico” onde a enzima carboanidrase é a responsável por capturar o CO₂ do meio.

A purificação do biogás abre um novo leque para a fonte, pois é um combustível de alta densidade energética e podendo ser substituto do gás natural, possibilitando o biometano atingir um mercado já consolidado e ainda mais promissor para o futuro, com produção nacional, renovável e sustentável.

3.8.2.1.2 Biogás para Fins Elétricos

Existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás. Entende-se por conversão energética o processo que transforma um tipo de energia em outro. No caso do biogás a energia química contida em suas moléculas é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica ativa um gerador que a converte em energia elétrica. As turbinas a gás e os motores de combustão interna do tipo “Ciclo – Otto” são as tecnologias mais utilizadas para esse tipo de conversão energética (COELHO et al, 2006).

Os motores ciclo Otto são de simples operação e são os equipamentos mais utilizados para a geração de energia elétrica a partir do biogás.

São motores que se aproximam do ciclo de combustão interna da ignição por centelha. Seu rendimento é função apenas da relação de compressão (WYLEN, 1995). Aplicam-se tanto para geração de energia elétrica, pelo acoplamento de um gerador ao motor, quanto à geração de energia mecânica, que pode ser empregada no acionamento de bomba hidráulica, compressor ou veículo.

Além de um menor custo de implementação, as principais características desses sistemas são (POVEDA, 2012; CASSINI et al, 2014):

- Podem ser utilizados para pequenas e médias demandas elétricas;
- A eficiência dos motores de combustão interna não é tão sensível às condições ambientais locais (temperatura, pressão e umidade) quanto são as turbinas a gás;

- As instalações são modulares e flexíveis, com isto o tempo de construção de uma central é curto e a entrada em operação (“start-up”) é rápida. Além de serem apropriados para as condições de partidas e paradas diárias.

A qualidade, temperatura, pressão do biogás, eficiência e ponto de operação do motor influenciam diretamente no consumo específico do combustível por unidade de energia mecânica produzida, sendo importante determinar o tempo de ignição da mistura, além das características apropriadas do combustível (DIAZ, 2006). Atualmente os motores de combustão interna já são preparados para queimar o biogás com diferentes teores de metano e dióxido de carbono (CASSINI et al, 2014).

Já as microturbinas são pequenas turbinas de combustão que operam na faixa de 30 kW a 1 MW, com elevadas velocidades de rotação e com diversos tipos de combustível, como gás natural, biogás e GLP (gás liquefeito de petróleo). Apresenta alta confiabilidade, simplicidade de projeto, é compacta, de fácil instalação e manuseio. Foram, inicialmente, construídas para aplicações em transporte como motores de ônibus e turbinas de aviões e, posteriormente, aplicadas em sistemas de geração de energia elétrica e cogeração (GOMES et. al., 2001; CASSINI et al, 2014). Por serem equipamentos importados, as microturbinas apresentam alto custo de instalação, porém, menor custo de operação e manutenção quando comparadas aos motores de combustão interna.

Embora os motores, de modo geral, possuam maior eficiência de conversão elétrica, as turbinas a gás podem apresentar um aumento de sua eficiência global de conversão, quando operadas em sistemas de cogeração (calor e eletricidade) (COSTA et al., 2001; COELHO, 2006).

3.8.2.1.3 Biogás para geração de vapor

Para a geração de energia térmica o biogás pode ser queimado diretamente em caldeiras. Outra possibilidade de aproveitamento térmico é utilizar o calor residual proveniente do sistema de geração de energia a partir do biogás (discutido no item anterior).

Os sistemas de ciclo a vapor funcionam de acordo com o ciclo Rankine, que consiste basicamente em caldeira, turbina, condensador e bomba (Figura 3.13). Neste ciclo é utilizado calor proveniente da combustão de determinado combustível, em uma caldeira, para geração de vapor, que poderá ser utilizado para processos industriais, aquecimento direto ou geração de energia elétrica, por meio do acionamento de uma turbina a vapor acoplada a um gerador (CASSINI et al, 2014).

As caldeiras são equipamentos construídos para aquecer um fluido ou produzir vapor a partir da queima de combustíveis. Nas caldeiras para vapor d'água, de acordo com as necessidades do processo, o vapor pode ser produzido nas condições de saturação ou superaquecido, podendo ser, caldeiras de combustão que utilizam uma extensa gama de combustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Já as caldeiras de recuperação são equipamentos destinados ao aproveitamento do calor residual de algum sistema ou processo, para a geração de vapor ou para aquecimento de algum fluido. As caldeiras são muito utilizadas em cogeração de energia elétrica e térmica, para recuperar a energia residual dos gases de exaustão de turbinas a gás ou de motores alternativos (MACHADO, 2011).

Figura 3.13- Sistema de ciclo a vapor – Ciclo Rankine.

Fonte: HIRANI E MANAMI, 2007.

O rendimento térmico obtido por meio deste sistema é de cerca de 30 %. A adaptação dos equipamentos para uso do biogás pode ser realizada com pequenas modificações, buscando a adequação do equipamento às características do biogás utilizado como combustível.

No entanto, para se evitar problemas na operação da caldeira e danos aos equipamentos que compõe o sistema é necessário controlar a umidade presente no biogás, por meio de purgadores e linhas de condensado. A corrosão é outro problema para a adaptação de caldeira para biogás, uma vez que a umidade e o gás sulfídrico presentes neste gás comprometem os componentes do sistema. Daí ressalta-se a importância da purificação do biogás antes da sua utilização, a fim de evitar custos de manutenção posteriormente.

Outro fato importante a ressaltar, é que no meio rural ainda há elevado consumo de lenha para produzir calor, assim a utilização do biogás poderá substituir esse tipo de matéria-prima proporcionando maior sustentabilidade e reduzindo os impactos do uso da lenha como desmatamento, poluição atmosférica.

Seja a utilização do vapor direto ou proveniente da cogeração, pode proporcionar ganhos econômicos, pois pode ser utilizado para aquecer o chão da maternidade dos leitões, aquecer os biodigestores para produzir mais metano, secagem de grãos, entre outros.

3.8.2.1.4 Injeção de Biometano na Rede de Gás Natural e Utilização Veicular

Apesar de ainda restrito, é mais comum observar o biogás sendo utilizado para geração de energia térmica e elétrica; no entanto, outros usos estão sendo estudados como a inserção do biometano na rede de gás natural, após o processo de purificação, conforme apresentado no item 3.8.2.1.1.

Para esses outros usos, é necessária a purificação do biogás, que consiste na remoção de impurezas, tais como sulfeto de hidrogênio, siloxanos, água, oxigênio, nitrogênio e partículas em suspensão presentes em diferentes concentrações, dependendo da composição do substrato a partir do qual foi produzido (BORSCHIVER, 2014).

Conforme anteriormente, além da corrosão, outro problema associado a impurezas é a emissão de poluentes indesejáveis, enquanto o biogás é queimado durante sua utilização. O tratamento prévio para remoção das impurezas ocasiona o aumento do poder calorífico, transformando-o em biometano.

Neste sentido, a ANP publicou a Resolução que estabelece a especificação do biometano de origem nacional oriundo de resíduos orgânicos agrossilvopastoris destinado ao uso veicular e às instalações residenciais e comerciais a ser comercializado em todo o território brasileiro, bem como as obrigações quanto ao controle da qualidade a serem atendidas pelos diversos agentes econômicos que comercializam o produto em todo o território nacional (Resolução ANP nº 08, de 30 de janeiro de 2015).

Eles não permitem o biometano oriundo dos aterros e estação de tratamento de esgoto, devido a presença de siloxanos, que são um subgrupo de compostos de sílica que contém ligações Si-O com radicais orgânicos ligados a molécula de sílica incluindo grupos metilo e etilo, entre outros. Estes compostos são muito utilizados em vários processos industriais e frequentemente adicionados a produtos de consumo (xampus, pastas de dentes, cremes, produtos de papel, tintas, óleos, etc. Uma vez que não se decompõem, transformando-se em dióxidos de silício arenoso (durante a combustão), o que prejudica os motores e causa danos na planta energética, uma vez que podem ser depositados micro cristais de quartzo nas câmaras de combustão, velas de ignição, válvulas e cabeças de cilindros, provocando desgaste do maquinário por abrasão.

A partir da resolução explicada acima, o biometano se possuir as especificações necessárias pode ser injetada na rede, no entanto, no Brasil, a malha de gasodutos ainda é incipiente, e deve passar por um processo de expansão mais eficiente.

Croso (2015) afirma, que apesar da expansão da malha de gasodutos no país, ter quase dobrado entre 2012, principalmente em virtude do Plano de Massificação do Gás Natural, adotado pela Petrobrás, há de se constatar que a logística de transporte de gás no Brasil ainda permanece tímida quando comparada com aquelas nações com as mesmas dimensões territoriais, populacionais e econômicas, conforme pode ser observado nas Figuras 3.14, que representa os gasodutos no Brasil em 2012, e a Figura 3.15 representa a malha de gasodutos nos Estados Unidos em 2008.

Figura 3.14- Gasodutos no Brasil em 2012
Fonte: ABEGAS (2014)

Figura 3.15- Gasodutos nos Estados Unidos em 2008

Fonte: EIA - Energy Information Administration, Office of Oil & Gas, Natural Gas Division, Natural Gas Transportation Information System.

A Figura 3.15, mesmo sendo do ano de 2008, mostra que a rede de gasoduto brasileiro ainda é extremamente pequena em comparação com os EUA. Croso (2015), ao analisar o Plano Decenal de Expansão da Malha de Transporte Dutoviário – **PEMAT 2022** observa que a limitação para a expansão da malha está na demanda de gás natural, pois esta não é robusta e densa pra promover o interesse de agentes privados em investir na ampliação da malha. A autora também discute que essa incipiência da infraestrutura é um fator limitante para a oferta deste insumo nos diversos setores da economia brasileira.

Outra utilização que se pode dar ao biometano é o seu uso veicular como substituto ao Gás Natural Veicular (GNV). De maneira análoga ao caso da injeção na rede, o biometano tem que estar de acordo com as especificações regulamentadas pela ANP.

Na comunidade europeia e em outros países desenvolvidos estão sendo desenvolvidos diversos projetos com o foco da utilização do biometano no transporte como substitutivo do diesel. Alguns desses projetos são descritos abaixo:

- 1) Biomaster, ao longo do período 2011-2014, Biomaster envolveu dezessete parceiros - Alemanha, Áustria, Itália, Polónia, Suécia e Reino Unido - com a ambição de explorar o potencial da produção de biometano e utilizar no transporte, trazendo os principais agentes da cadeia de biometano em uma iniciativa conjunta, estimulando os investimentos e eliminação de barreiras não-tecnológicas dessa utilização.
- 2) Biogas Urbana, cujo objetivo é promover o uso de resíduos urbanos orgânicos para a produção de biogás em 5 cidades europeias, a fim de injetar biometano na rede de gás natural e de usá-lo no transporte.
- 3) Green Gas Grids, o projeto Green Gas Grids apoiou a modernização de biogás em biometano para injeção na rede de gás natural, isto é, projetos de ajuste do poder calorífico do biogás.

Segundo EBTP (2015), para essa utilização a indústria automotiva europeia a partir da Iniciativa Europeia de Carros Verdes, recebeu um impulso de 5,0 bilhões de Euros.

Algumas iniciativas já vêm acontecendo no Brasil há alguns anos. Está em teste um ônibus, da Fundação Parque Tecnológico de Itaipu e CIBiogás, movido a biometano que é produzido na Granja Haacke, localizada no município de Santa Helena (PR) e integrante do conjunto de unidades de demonstração do CIBiogás-ER. A granja tem um plantel com mais

de 80 mil galinhas poedeiras e 750 bovinos de corte, que produzem ao todo 960 metros cúbicos de biometano por dia com os dejetos gerados. O teste já passou por Itaipu, Paraná e Montenegro, Rio Grande do Sul (CIBiogas, 2015).

O biogás obtido por meio dos dejetos animais é filtrado na granja, especificamente para retirar o gás carbônico e o gás sulfídrico, que são contaminantes, além de material particulado. Com isso, é obtido 98% de biometano, acima do que é exigido para gás natural veicular, o que classifica este como um substituto em igualdade ao GNV importado, com custo inferior (PTI, 2015).

Nas avaliações, do projeto realizadas, pela Scania foi comprovado que a relação custo por quilômetro, o do ônibus com biometano é 56% menor quando comparado a um modelo similar a diesel, além de emitir 70% menos poluentes que os veículos similares a diesel (AUTOMOTIVEBUSINESS, 2015).

Há outros projetos relevantes em andamento referente a utilização de biometano no Brasil. Um deles refere-se ao uso veicular de biometano na ETE de Franca/SP, da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP). Essa experiência inédita no Brasil cujo objetivo é diminuir a emissão de gases poluentes, contribuindo para a redução do efeito estufa (GCN, 2012).

A ETE de Franca produz em média 2.710 m³ de biogás diariamente, que após purificação, é transformado em 1.897 m³ de biometano por dia. De acordo com a SABESP (FECOMBUSTÍVEIS, 2015), cada m³ do biometano equivale a um litro de gasolina e, por isso, o volume diário previsto para a unidade de Franca corresponde a 10% de todo combustível utilizado hoje pelos 5.057 veículos que compõem a frota da Sabesp no Estado de São Paulo, essa produção inicial pode reduzir a emissão de CO₂ em até 16 toneladas por ano, além de uma economia de 1.800 litros por dia de gasolina (FECOMBUSTÍVEIS, 2015; G1 NATUREZA, 2011). Para o abastecimento dos 49 veículos, será utilizado apenas 15% da oferta diária de biometano (SAMPAIO, 2014).

Outro projeto refere-se à substituição de parte do gás natural consumido na Refinaria Duque de Caxias (Reduc)/RJ da Petrobrás, pelo biogás purificado proveniente do Aterro Sanitário de Gramacho.

Fechado em 2012, esse aterro sanitário não recebe mais lixo, mas, continua produzindo gases. Com o apoio da Petrobrás foi investido na exploração do biogás produzido no aterro (SILVA, 2015), que é purificado até atingir o padrão de qualidade exigido pelas

especificações técnicas da Petrobrás para, em seguida, ser escoado em duto exclusivo de seis quilômetros até a Reduc (PETROBRAS, 2014).

Com a utilização do biometano para gerar energia na Reduc, a estimativa é de que, nos próximos 17 anos, aproximadamente 6 milhões de toneladas de gás carbônico deixem de ser emitidas para a atmosfera.

Recentemente veículos da usina hidrelétrica de Itaipu passaram a ser abastecidos com o biometano produzido a partir da decomposição dos dejetos de galinhas.

Dos projetos em andamento apresentados é importante salientar que o único que possui MDL registrado no Conselho Executivo do MDL (UNEP, 2015), é o da Petrobras/Aterro de Gramacho², que é para uso do biogás purificado exclusivo pela Reduc, o que reitera a necessidade de preparar um diagnóstico do uso de biometano (veicular e injeção na rede de distribuição de gás natural aos consumidores finais).

Diante disso, a utilização como substituto é viável, no entanto é necessário que o setor automobilístico e políticas públicas tem que investir nessa alternativa.

3.9. Conclusão Preliminar

A criação animal é uma atividade predominante em pequenas propriedades rurais. Além de fixar o homem no campo, é uma atividade importante do ponto de vista econômico e social, pois a mão de obra empregada é tipicamente familiar, constituindo uma importante fonte de renda e de estabilidade social.

Atualmente o Brasil possui uma forte indústria produtora de proteína animal, graças ao investimento realizado em organização, tecnologia e desenvolvimento de produtos ao longo de pelo menos seis décadas, por cooperativas e indústrias chamadas “integradoras”.

A questão ambiental passou a ser encarada sob a ótica da necessidade de se conciliar o desenvolvimento de uma nação com o aumento no consumo de água e energia, e associado à geração de resíduos, agravando-se o aspecto relativo ao aumento de poluição. Neste sentido os diversos setores da produção animal começam a se organizar para atender a dois requisitos com o objetivo de que seus produtos possam competir e para que tenham boa aceitação no mercado: questões legais e exigência de mercado interno e externo (LUCAS JR e SANTOS, 2000).

¹A versão em português do projeto MDL Gramacho de Gás de Aterro pode ser visualizada pelo link <https://sites.google.com/site/consultadcp/projeto-gramacho-de-gas-de-aterro>

A estes dois requisitos se deve associar a questão de sustentabilidade ambiental diretamente ligada à disposição adequada dos resíduos, bem como ao seu uso como fonte de energia sustentável.

Os resíduos agropecuários e agroindustriais são importantes matérias-primas para a produção de biogás, que pode ter papel fundamental no suprimento energético da zona rural.

O lançamento desses resíduos sem tratamento prévio em corpos hídricos provoca a elevação da DBO da água, além da eutrofização e proliferação de doenças veiculadas pela água.

A atividade mais importante para a produção e utilização do biogás é o manejo e disposição dos dejetos suínos, devido ao seu alto potencial poluidor e também por ser criados em confinamento. A produção de resíduos na suinocultura é variável de acordo com o estágio de desenvolvimento do animal, tipo e quantidade de ração fornecida.

No entanto, a criação que possui maior potencial é a bovinocultura de corte, porém a dificuldade de utilização refere-se ao principal sistema de criação, que é de forma extensiva, no qual o resíduo permanece no campo, sendo utilizado como adubo.

A avicultura de corte e poedeira, por mais que a geração de resíduo por cabeça seja menor que nas atividades anteriores, o montante criado do país é muito significativo podendo ter uma contribuição maior do que bovinos e suínos, conforme discutido no capítulo 4.

No entanto, estas criações são unidades isoladas (granjas avícolas e de suínos), o que pode vir a dificultar o tratamento do efluente para a geração de biogás, além da viabilidade desse tipo de projetos dependerem de grande disponibilidade dos resíduos. Assim, talvez seja mais indicada uma solução integrada com diversos criadores.

Além disso, a utilização dos dejetos da bovinocultura de corte depende do tipo de criação adotada, isto é, se for um sistema extensivo, o manejo desse resíduo é inexistente, permanecendo no solo como adubo. Já para o sistema intensivo ou em confinamento, existe a possibilidade de manejar esses resíduos para a produção de biogás.

O aproveitamento energético dos dejetos animais, através da biodigestão, é uma forma bastante atraente de transformação de um problema sanitário em uma solução rentável e ambientalmente correta. Além dos benefícios sociais e ambientais, gerados através da biodigestão dos dejetos ao invés de serem lançados no ambiente, o uso energético do biogás gerado reduz os custos e, em alguns casos, gera receita com a venda de energia excedente, contribuindo para o aumento da renda dos criadores, bem como para o fortalecimento da

geração distribuída e alívio no consumo de energia da rede do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Recentemente, a Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo- FAPESP e a BG Brasil, empresa do BG Group, criaram o Centro de Pesquisa para Inovação em Gás Natural, com sede na Universidade de São Paulo (USP), cujo objetivo central é a investigação sobre o uso atual e futuro do gás natural com o objetivo de aumentar a sua participação na matriz energética e mitigar as emissões de gases de efeito estufa nas próximas décadas.

Visando essa meta, existem diferentes grupos envolvidos, entre eles está a inserção do biometano na matriz, sendo assim, objetivo desta pesquisa é analisar as perspectivas, os correspondentes benefícios e potenciais barreiras, bem como propor políticas adequadas para soluções integradas usando biometano como um contribuinte para a oferta de gás natural (GN). O projeto também inclui a criação de um quadro de redução de emissões de GEE para substituição total ou parcial do óleo diesel por biometano, um gás natural renovável. A pesquisa incluirá os processos de revisão e avaliação envolvidos em: produção de i) biogás da vinhaça, resíduos urbanos e rurais e as diferentes opções para a sua utilização (biogás, biometano, produção de hidrogênio, injeção de biometano em redes ou como gás natural comprimido (GNC)); e ii) biometano alimentando motores em veículos (com particular ênfase para o transporte e equipamentos agrícolas utilizados para a produção de cana no estado de São Paulo).

Em suma, o projeto visa analisar as perspectivas técnicas e econômicas da produção de biogás e atualização, tanto em áreas urbanas e rurais, tendo em conta a integração do biometano e gás natural. O projeto avaliará os benefícios correspondentes e potenciais barreiras, bem como, irá propor as políticas públicas adequadas para alcançar as soluções. Os resultados obtidos no projeto da FAPESP trará nova discussão para a efetivação do biogás no Estado.

Infelizmente, os motivos para maior difusão do tratamento dos dejetos e aproveitamento energético são carência de informações dos criadores, pouco acesso a tecnologias adequadas de tratamento, baixa capacidade de investimento e a falta de incentivo, conforme será discutido no Capítulo 5.

Os resíduos provenientes dos abatedouros, também possuem os mesmos benefícios e problemática apresentados para os dejetos animais, a questão central está na falta de entendimento que o setor é cobrado, pela pressão internacional, para o enquadramento dos quesitos ambientais, principalmente diminuição dos GEE, ao se tornar auto- produtor de

energia, a empresa fica independente do SIN, e diminui as emissões dos seus gases, além de adotar uma gestão dos resíduos adequada.

4. ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Conforme discutido nos capítulos anteriores, os resíduos agropecuários e agroindustriais possuem carga orgânica suficiente para promover a recuperação energética.

Sendo assim, o objetivo deste capítulo é apresentar o potencial energético dos resíduos agropecuários e agroindustriais por regiões no Estado de São Paulo, bem como as possibilidades de uso desse potencial para geração de energia elétrica.

4.1. Identificação das Regiões Potenciais de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais no Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo é o principal estado brasileiro em termos de desenvolvimento econômico, com uma população estimada em 43,6 milhões de habitantes e com 645 municípios divididos por meso e microrregiões (IBGE, 2014).

Diversificada e complexa, a economia paulista é a grande fornecedora de bens de consumo, bens de capital, insumos e serviços para as demais regiões do Brasil e também para o exterior.

O caso do Estado de São Paulo é notável por uma série de avanços ocorridos na área da cultura da cana, já nas décadas de 70 e 80, com deslocamentos importantes de outras lavouras e de pastagens já nesses períodos, alterando o padrão de cultivo de algumas regiões, porém acentuando, ao mesmo tempo, fortes movimentos de especialização da produção entre regiões, conforme apontaram estudos da literatura econômica dos últimos anos (CAMARGO, 1983; IGREJA, 2008).

Apesar de reduções ocorridas ao longo do período o setor agropecuário ainda é importante no Estado, com cerca de 11 milhões de cabeça de bovinos, 1,5 milhões de suínos e 171 milhões de galos, frangos. As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 representam o percentual de participação por Estado na agropecuária brasileira.

Figura 4.1- Estados com maior participação no rebanho efetivo bovino brasileiro
Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal- IBGE, 2013.

Conforme observado na Figura 4.1, é compreensível o deslocamento da pecuária de corte para áreas de menores custos, como pecuaristas do Sul e Sudeste migrando o rebanho para o Centro-Oeste, Norte e Nordeste; mas há grande concentração de frigoríficos no Sul e Sudeste, ou seja, sempre haverá demanda de animais nesta região, mesmo com as empresas buscando animais por quase todo o país. Só o estado de São Paulo exporta 60% de carne bovina e quase 50% da população brasileira está nesta região, estabelecendo o maior mercado consumidor. Além de que, há uma grande oferta de resíduos e subprodutos de indústrias alimentícias no Sudeste, que se bem utilizada, baseado em critérios técnicos, pode ser utilizada no acabamento e animais em confinamentos na região (BEEFPOINT, 2007). A carne bovina corresponde a 10,7% do valor da produção agrícola (VPA), contabilizando R\$ 6,6 bilhões dos R\$ 61,5 bilhões totalizados na agropecuária do Estado.

Ainda observando a Figura 4.1, percebe-se que o efetivo de bovinos no Estado paulista é de apenas 5%; no entanto, segundo a ASSOCON (2012), a região Centro-Oeste (GO, MT e MS) e mais os estados de São Paulo e Minas Gerais concentram 92% de bovinos confinados. Goiás permanece na primeira posição do ranking concentrando 29,88% dos animais confinados, seguido por Mato Grosso com 26,39%, São Paulo com 16,02% e Mato Grosso do Sul com 10,19%.

Segundo SÃO PAULO (2010), o censo mostrou um rebanho de 342.297 animais confinados em 2009 no Estado. A região de Araçatuba, no noroeste do estado, é o local que

apresenta maior concentração do rebanho bovino confinado do estado, com 40,4%. Logo atrás, com metade deste percentual (21%), está Ribeirão Preto e adjacências, seguido por São José do Rio Preto (11,9%) e Bauru, com 10,1%. Outras regiões pesquisadas nas mesorregiões de Araraquara, Assis, Campinas, Itapetininga, Marília, Piracicaba, Presidente Prudente, Vale do Paraíba, litoral sul e região metropolitana da capital, somaram juntas 16,6% do confinamento estadual.

Já os Estados com maior participação no rebanho suíno podem ser observados na Figura 4.2.

Figura 4.2- Estados com maior participação no rebanho suíno brasileiro
Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal- IBGE, 2013.

Conforme observado na Figura 4.2, o rebanho suíno também não é muito significativo no estado, pois tem como objetivo principal o mercado estadual de carne resfriada, com exceção de alguns fabricantes de embutidos tradicionais e de qualidade diferenciada. O Valor Bruto da Produção (VBP) paulista para a carne suína, calculado pelo IEA em 2013, ficou em torno de R\$ 434,7 milhões. A produção está concentrada nos Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDRs) de Sorocaba, Avaré e Bragança Paulista, que representam 37% do total de suínos abatidos (TSUNECHIRO, A. et al, 2014).

A suinocultura paulista, diferentemente da praticada no Sul do país, não tem como característica em seu ciclo de existência a concentração em conglomerados de processamento, nos quais a produção de animais para o abate é obtida pelo sistema de integração aos abatedouros. De forma semelhante ao setor avícola paulista, a suinocultura praticada no

estado é constituída principalmente por uma variada gama de produtores, normalmente independentes, que podem ou não estar vinculados aos abatedouros. Estes, por sua vez, se especializaram na produção de carne resfriada para o mercado local e/ou na de embutidos (IEA, 2014).

Já os Estados com maior participação no rebanho de galos, frangos e frangos destinados a avicultura de corte, o Estado de São Paulo é um dos maiores contribuintes, conforme observado na Figura 4.3.

Figura 4.3-Estados com maior participação no rebanho de galos, frangas e frangos brasileiro
Fonte: Pesquisa Pecuária Municipal- IBGE, 2013.

Conforme observado na Figura 4.3, São Paulo é o segundo estado com maior rebanho no país, representando 17% da participação. Segundo o IEA (2015b) o Valor da Produção de Carne de Frango no Estado de São Paulo em 2014 foi de R\$3,68 bilhões, ficando atrás apenas da cana-de-açúcar e da carne bovina, pois houve um incremento de 4,46% no total da produção paulista em relação ao ano anterior (2013).

O Brasil desde 2011 é o maior exportador mundial de carne de frango, com volume de 3,8 bilhões de toneladas e valor de US\$7,36 bilhões. A contribuição paulista no período 2013-14 foi da ordem de US\$400 milhões/ano (IEA,2015b).

Cabe ressaltar que no entorno da produção animal se instala as agroindústrias relacionadas à atividade, por uma questão de logística a fim de reduzir os custos com o transporte de animais.

Tal importância é o setor para o Estado que em 2007/2008 foi realizado o Levantamento Censitário das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA) pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo, fornecendo um amplo quadro da agropecuária paulista.

Na Figura 4.4 observa-se o mapeamento do rebanho bovino no Estado de São Paulo.

Figura 4.4-Mapeamento do rebanho bovino paulista

Fonte: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI/IEA, Projeto LUPA

Na Figura 4.4 observa-se que o Estado possui um rebanho bovino bem distribuído; no entanto a região de Presidente Prudente é a que possui maior concentração de criação de bovinos. No projeto LUPA foram cadastradas 47.721 Unidades de Produção Animal (UPAs) de bovino.

Como já citado acima, a suinocultura não é uma atividade muito praticada no Estado, como pode ser observado na Figura 4.5, que apresenta o mapeamento do rebanho suíno no Estado de São Paulo.

Figura 4.5- Mapeamento do rebanho suíno paulista
Fonte: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI/IEA, Projeto LUPA

Conforme observado na Figura 4.5, a região de Avaré é a que possui maior concentração de criação de suínos. No projeto LUPA foram cadastradas 27.543 Unidades de Produção Animal (UPAs) de suínos.

Na Figura 4.6 pode-se observar a distribuição espacial do rebanho de avicultura de corte no Estado.

Distribuição espacial das explorações animais, 2007/2008

Figura 4.6-Mapeamento do rebanho aves de corte paulista

Fonte: Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI/IEA, Projeto LUPA

Conforme apresentado na Figura 4.6, a região de Botucatu e Araraquara são as que possuem maiores concentrações de aves de corte. No projeto LUPA foram cadastradas 14.202 Unidades de Produção Animal (UPAs) de aves de corte.

O levantamento realizado no projeto LUPA ocorre a cada dez anos. No entanto, seria importante que fosse realizado num intervalo menor a fim de se obter maior controle referente a distribuição desses animais no Estado, uma vez que a dinâmica desse setor vem passando por mudanças, conforme discutido no Capítulo 3. Além disso, seria importante também incluir no estudo os estabelecimentos de confinamento, bem como as agroindústrias de proteína animal.

A relevância de se conhecer o perfil da atividade no Estado de São Paulo é subsidiar políticas para o desenvolvimento sustentável do meio rural paulista.

4.2. Potencial Energético dos Resíduos Agropecuários e Agroindustriais por Regiões no Estado de São Paulo

Nesta seção será analisado o potencial de produção de biogás, biometano e sua utilização para a geração de energia elétrica, apesar dos outros possíveis usos finais e das diferentes tecnologias conforme discutido no capítulo 3.

Nas áreas rurais, há a possibilidade de usar o modelo de biodigestor denominado como Sistema Canadense ou Lagoa Coberta, que utiliza a geometria das lagoas de tratamento anaeróbio de cobertura a fim de capturar o biogás gerado, conforme discutido no capítulo 3 e apresentado na Figura 4.7.

As lagoas cobertas são usadas para a digestão da matéria orgânica presente nos efluentes com 0,5 a 2% de sólidos, no entanto, tem autores que citam de 4 a 6%. A vantagem é que não existe gasto energético com aquecimento e o tempo de retenção hidráulica é geralmente de 30 a 45 dias ou mais, dependendo do tipo de resíduo a ser tratado e das suas características. Estes sistemas são mais utilizados em regiões tropicais, onde o calor atmosférico pode ajudar a manutenção da temperatura no biodigestor (Chen & Neibling, 2014).

Figura 4.7- Foto do biodigestor da lagoa coberta
Fonte: EPA, 2015.

Os principais subprodutos do processo de digestão anaeróbia são biogás e lodo. O lodo residual é considerado um resíduo semi-sólido requer destinação adequada, de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Nº 12.305/2010) (VALENTE, 2015) e, dependendo da sua composição, pode ser utilizado como biofertilizante.

O segundo subproduto do tratamento anaeróbio, como mencionado acima, é o biogás gerado pelos microrganismos presentes no efluente durante o processo de digestão do material orgânico presente no efluente.

Os cálculos realizados neste estudo foram baseados na utilização das lagoas cobertas, pois é a estrutura mais utilizada no Brasil e existente no campo. Além disso, a escolha por essas lagoas neste estudo deve-se ao fato de requerer menor custo de implementação em comparação ao sistema anaeróbio UASB, pois é necessário apenas adaptações da maioria de sistemas existentes no local, isto é, apenas a inserção de cobertura nas lagoas aeróbias. Além de que ser bem manejado, alcança eficiência de remoção da matéria orgânica de até 80% (DAL MAGO, 2013).

Diferentemente do que ocorre no Brasil, o modelo utilizado internacionalmente, principalmente europeu, consiste em concentrar dejetos e resíduos de vários produtores em um único biodigestor de alta tecnologia. Além de ganho em escala, que proporciona altas concentrações de biogás monitoradas, isto é feito para compensar a influência do clima frio e da escassa biodiversidade encontrados nos países do Hemisfério Norte (ABIOGAS, 2015).

Para cada tipo de rebanho estudado será utilizado duas metodologias de cálculo de potencial de geração de biogás e biometano, e a geração de energia elétrica.

A partir do conhecimento do tamanho do rebanho suíno, adquirido na Produção da Pecuária Municipal- PPM 2014/ IBGE, e do rebanho de bovinos em confinamento adquirido no 1º Censo Paulista de Bovinos Confinados, foi realizado o cálculo de vazão de metano dos resíduos agropecuários provenientes da produção bovina e suína, utilizando a metodologia da CETESB (2006). Tal metodologia é baseada na matéria total gerada por uma unidade geradora, nesse caso número de cabeça, conforme descrita na Equação 4.1.

$$\text{Equação 4.1: } Q_{CH_4} \left(\frac{m^3}{h} \right) = \frac{n^{\circ} \text{ dias} / \text{mês} * n^{\circ} \text{ de cab.} * E_t * P_b * \text{Conc. CH}_4}{VE}$$

Para a bovinocultura e suinocultura foram utilizados os seguintes parâmetros apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1-Parâmetros utilizados para os cálculos de vazão de metano

Parâmetros	Bovinocultura	Suinocultura
Et bovino (Esterco total) ^{a,b}	20 kg de esterco/dia*unidade geradora	2,35 kg de esterco/dia*unidade geradora
Pb bovino (Produção de Biogás) ^b	0,037 kg de biogás/ kg de esterco	0,062 kg de biogás/ kg de esterco
[CH ₄]bovino (Concentração de metano no biogás) ^b	0,60	0,66
VE (Volume Especifico do metano) ^b	0,670 kg CH ₄ / m ³ de CH ₄	0,670 kg CH ₄ / m ³ de CH ₄

Fonte: Elaboração própria a partir de ^aMANSO (2007) e ^bMOTTA (1986)

Para o potencial dos dejetos provenientes da criação de avicultura de corte deve ser inserido no cálculo o resíduo denominado cama de frango, pois é nesse resíduo que ficam retidos os dejetos das aves.

Lucas JR et. al. (1993) observaram melhores rendimentos em cama de maravalha ³quando utilizaram inóculo, sendo também de grande importância o teor de sólidos totais (ST) do substrato, pois o potencial de produção de biogás aumentou quando se utilizou, além do inóculo, substrato com 8% de sólidos. O potencial médio obtido por estes autores foi 0,29 m³ de biogás/kg de ST adicionados. Valores próximos, também utilizando cama de maravalha, foram obtidos experimentalmente por Lucas JR et al. (1996), 0,25 e 0,28 m³ de biogás/kg de ST adicionados, com e sem o uso de inóculo, respectivamente.

Alguns estudos demonstraram que os dejetos de aves possuem maior potencial de produção de biogás, quando comparado a outros resíduos (principalmente de bovinos) e

³ A maravalha é um material constituído por partículas de tamanho aproximado de 3 cm, produzida pelo beneficiamento de madeiras como pinheiro, pínus, bracinga, canela, cedro, etc. Apresenta um bom poder. de absorção, podendo variar de um tipo de madeira para outro. A disponibilidade acompanha a demanda das regiões, de indústrias madeireiras e campos de reflorestamento. A maravalha é um material constituído por partículas de tamanho aproximado de 3 cm, produzida pelo beneficiamento de madeiras como pinheiro, pínus, bracinga, canela, cedro, etc. Apresenta um bom poder. de absorção, podendo variar de um tipo de madeira para outro. A disponibilidade acompanha a demanda das regiões, de indústrias madeireiras e campos de reflorestamento. E o material convencionalmente usado na avicultura (AVILA et al, 1992)

consequentemente alto teor de metano (Hill, 1983; Mahadevaswamy & Venkataraman, 1986), o que os torna mais atrativos.

Segundo, Lucas Jr e Santos (2000), foi verificado que as produções de biogás obtidas, tanto com um ciclo de criação ($N=0,2494 > NM=0,2092 > M= 0,1747 \text{ m}^3$ de biogás/kg de ST adicionados) como com dois ciclos de criação sobre a mesma cama ($N=0,2712 > NM=0,2464 > M=0,2300 \text{ m}^3$ de biogás/kg de ST adicionados), apresentaram bons potenciais, porém com diferenças entre os três materiais utilizados e com efeitos da reutilização das camas. Os autores concluíram que as camas podem se constituir em excelente alternativa energética para galpões de frangos de corte. Para fins de cálculo para este estudo foi utilizado à média de geração de metano $0,2295 \text{ m}^3/\text{kg ST}$.

Santos (2000), diz que a quantidade de resíduo gerado de cama de frango é de $1,37 \text{ kg}$ de MS/ave. Assim para o cálculo do potencial de metano foi utilizada a seguinte Equação 4.2 adaptada de CETESB (2006):

$$\text{Equação 4.2: } Q_{CH_4} = \frac{n^{\circ} \text{ de cab.} * 0,2295 * 1,37 * \text{Conc. } CH_4}{8640}$$

Além da metodologia da CETESB (2006), utilizou-se a metodologia para estimativa de geração de metano do IPCC (2006). A escolha de se utilizar duas metodologias é porque a da CETESB é de base nacional e a do IPCC mundial. A Equação 4.3, representa a metodologia utilizada pelo IPCC (2006).

$$\text{Equação 4.3: Emissão de } CH_4 \left(\frac{Gg_{CH_4}}{\text{ano}} \right) = \frac{\sum_T (EF_T * N_T)}{10^6}$$

Sendo:

EF= fator de emissão

N= número de cabeça

Para a obtenção do Fator de Emissão (EF) é necessário conhecer a temperatura do local. Segundo CIIAGRO (2009), as normais de temperatura média no Estado de São Paulo variam entre $17,5^{\circ}\text{C}$ a 25°C , portanto será utilizado o valor de $21,25^{\circ}\text{C}$.

Segundo IPCC (2006), para a América Latina, o fator de emissão de metano no gerenciamento de resíduos pecuários para gado de corte e suíno na temperatura média adotada é de $1,0 \text{ kg } CH_4/\text{cabeça/ano}$. Já para a avicultura de corte nos países em desenvolvimento é de

0,02 kg CH₄/cabeça/ano. Também foi considerado o volume específico do metano (equivalente a 0,670 kg CH₄ / m³ de CH₄, conforme apresentado na Tabela 4.1)

Já, para os resíduos provenientes da agroindústria de proteína animal foi utilizada a seguinte Equação 4.4.

$$\text{Equação 4.4: } Q_{CH_4} = \frac{\varphi_{efl} * DBO_{efl} * \eta * 0,25}{0,72}$$

Onde:

φ = vazão do efluente

DBO= Demanda Bioquímica de Oxigênio

η = eficiência de remoção = 80%

0,25 = potencial de geração de metano (kg_{metano}/kg_{DBO removida});

0,72 = densidade do metano (kg_{metano}/m³_{metano})

Para o cálculo da vazão do efluente (Equação 4.5), foram consideradas as seguintes premissas apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2- Premissas adotadas o abate de animais

Tipo de abatedouro	Volume de água necessário (L/cabeça abatida)^a	DBO efluente (kg/m³)
Abate Avícola	37,5	1,05 ^a
Abate suíno	1.200	1,17 ^b
Abate bovino	2.500	1,998 ^c

Fonte: Elaboração Própria a partir de ^aSCARASSATI (2003), ^bFEPAM,1997; RIGO,2004; ^cCOLUNA, 2012

Equação 4.5. Vazão do Efluente

$$\varphi_{efl} = \frac{\text{consumo de água para abate}_{L/\text{animal abatido}} * n^{\circ} \text{ de cabeça abatida/dia}}{24 * 1000}$$

Para a estimativa da geração de metano pela biodigestão anaeróbia utilizou-se a fórmula do IPCC (2006), descrita na Equação 4.6.

$$\text{Equação 4.6: Emissão de}_{CH_4} = \sum_i [TOW_i - S_i] * EF_i - R_i$$

Onde:

Emissão de CH_4 = Emissão de CH_4 no ano, kg CH_4 /ano.

TOW_i = Total de material orgânico degradável em efluentes industriais no ano, kg DQO/ano.

i = setor industrial

S_i = Componente orgânico removido como lodo no ano, kg DQO/ano.

EF_i = Fator de emissão do setor industrial, kg CH_4 / kg DQO.

R_i = montante de CH_4 recuperado no ano, kg CH_4 /ano.

Para S_i foi utilizado o valor médio de 0,35 kg DQO/ano para cada m^3 de efluentes gerados (média de sedimentação primária que pode remover de 25 a 40% da DBO) (Environmental Canada, 2009).

TOW foi calculado com base no proposto pelo IPCC (2006) e adaptado aos dados disponíveis, conforme Equação 4.7.

$$\text{Equação 4.7: } TOW = W * DQO$$

Onde:

TOW = Total de material orgânico degradável em efluentes industriais no ano, kg DQO/ano;

W = Efluentes gerados, m^3 /ano;

DQO_i = Demanda Química de Oxigênio, kg DQO/ m^3 .

DQO - IPCC (2006). Setor leiteiro: 2,7 kg/ m^3 Setor de carne, aves e graxarias: 4,1 kg/ m^3

Para o cálculo do fator de emissão de CH_4 para os efluentes das indústrias primária, foi utilizado a Equação 4.8.

$$\text{Equação 4.8: } EF = B0 * MCF$$

Onde:

EF = fator de emissão de CH₄ para cada tratamento - kg CH₄ / kg DQO;

B0 = capacidade máxima de produção de CH₄ - kg CH₄ / kg DQO;

MCF = fator de correção de metano.

Para a capacidade máxima de CH₄, foi considerado o valor padrão de 0,25 kg CH₄ / kg DQO. Como fator de correção de metano foi considerado o valor 0,8 que é o fator de correção de reator anaeróbio. Também foi considerado o volume específico de 0,67 kg CH₄ / m³ de CH₄.

Para o potencial de energia elétrica, utilizou-se a Equação 4.9, que apresenta o cálculo do potencial disponível em kW. A Equação 4.10 apresenta o cálculo da energia gerada em MWh/dia.

$$\text{Equação 4.9: } Pot = \frac{QCH_{\text{Biogás}} * PCI * \eta}{860}$$

$$\text{Equação 4.10: } E = \frac{P * fc * t}{1000}$$

Onde:

E= energia disponível (MWh/dia)

P = Potência disponível

Fc= Fator de carga = 87%

Tempo de operação do motor = h/dia= 24 horas

4.2.1. Levantamento de Dados e Cálculo do Potencial Energético

A partir da informação do Censo Paulista de Gado Confinado realizado entre 2009 e 2010, foi possível conhecer o percentual dos confinamentos em determinadas mesorregiões do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2010).

Diante disso, analisou a proporcionalidade dos anos de 2009 e o atual, para saber o tamanho do rebanho criado em confinamento, nas mesorregiões.

Segundo IEA (2015), em 2009, apenas 3,11% do rebanho do estado foi criado pelo sistema intensivo, isto representa 342.297 cabeças, sendo 40,40% do rebanho confinado está na região de Araçatuba, isto é, 138.288 cabeças. Já em Ribeirão Preto e adjacências possuem 21%, referente a 71.882 cabeças; São José do Rio Preto possui 40.733 cabeças, representando 11,9%.

Bauru é outra região que possui elevadas quantidade de animais confinados, 34.512, isto é, 10,9% do total de cabeças que estão na mesorregião de Bauru.

O restante, 56.821 cabeças, estão distribuídas em Araraquara, Assis, Campinas, Itapetininga, Marília, Piracicaba, Presidente Prudente, Vale do Paraíba, litoral sul e região metropolitana, somando juntas 16,6%.

Após essa análise, utilizou-se as equações descritas acima e suas correlações para encontrar o potencial estudado. Na Tabela 4.3, observa-se o potencial energético dos resíduos agropecuários provenientes da bovinocultura de corte, dividido por mesorregião do Estado de São Paulo.

Para o cálculo do potencial energético dos resíduos proveniente da suinocultura e da avicultura de corte, foram utilizados os dados do efetivo rebanho disponível na PPM do IBGE. Os resultados por mesorregião podem ser observados na Tabela 4.4 - Potencial Energético dos Resíduos provenientes da avicultura de corte, e na Tabela 4.5 - Potencial Energético dos Resíduos provenientes da suinocultura. As Tabelas completas com os resultados separados por microrregião e mesorregião encontram-se nos Anexos A e B, respectivamente.

Os resultados demonstrados nas Tabelas 4.6, 4.7 e 4.8 apresentam os potenciais energéticos dos efluentes dos abatedouros do Estado de São Paulo, com a localização municipal dos mesmos.

Tabela 4.3- Potencial Energético dos resíduos provenientes da bovinocultura confinada de corte

São Paulo	Rebanho Bovino	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m ³ /ano)	Q _{metano} (m ³ /h)	Q _{biogás} (m ³ /h)	Q _{biometano} (m ³ /h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m ³ /ano)	Q _{metano} (m ³ /h)	Q _{biogás} (m ³ /h)	Q _{biometano} (m ³ /h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Mesorregião de Araçatuba	138.288	22.299.456	2.545,60	4.242,67	4.115,39	7.597,33	158,63	57.900,80	206.400,00	23,56	39,27	38,09	70,32	1,47	535,92
Mesorregião de Ribeirão Preto	71.882	11.591.241	1.323,20	2.205,33	2.139,17	3.949,09	82,46	30.096,79	107.286,57	12,25	20,41	19,80	36,55	0,76	278,57
Mesorregião São José do Rio Preto	40.733	6.568.348	749,81	1.249,69	1.212,20	2.237,81	46,73	17.054,79	60.795,52	6,94	11,57	11,22	20,71	0,43	157,86
Mesorregião de Bauru	34.572	5.574.864	636,40	1.060,67	1.028,85	1.899,33	39,66	14.475,20	51.600,00	5,89	9,82	9,52	17,58	0,37	133,98
Outras Regiões	56.821	9.162.598	1.045,96	1.743,26	1.690,97	3.121,66	65,18	23.790,79	84.807,46	9,68	16,14	15,65	28,89	0,60	220,20
Total do sistema de confinamento	342.296	55.196.507	6.300,97	10.501,62	10.186,57	18.805,22	392,65	143.318,3	510.889,55	58,32	97,20	94,3	174,0	3,63	1.326,53

FONTE: Elaboração Própria

Na Figura 4.8, observa-se a produção de biogás por mesorregião, fazendo comparação entre as duas metodologias adotadas.

Figura 4.8-Vazão de biogás (m³/h) provenientes da bovinocultura de corte confinada
Fonte: Elaboração própria.

Conforme observado na Figura 4.8, os valores obtidos pela metodologia do IPCC são muito baixos em relação aos resultados obtidos pela metodologia da CETESB, a discussão sobre essas diferenças encontram-se no item 4.3 deste capítulo.

Tabela 4.4- Potencial Energético dos resíduos provenientes da avicultura de corte

São Paulo	Rebanho Aves	CETESB (2006)							IPCC (2007)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Mesorregião São José do Rio Preto	16.115.522	3.082.402	351,87	586,45	568,86	1.050,16	21,93	8.003,49	481.060,36	54,92	91,53	88,78	163,90	3,42	1.249,08
Mesorregião Ribeirão Preto	16.748.234	3.203.420	365,69	609,48	591,19	1.091,39	22,79	8.317,72	499.947,28	57,07	95,12	92,27	170,33	3,56	1.298,12
Mesorregião Araçatuba	849.561	162.495	18,55	30,92	29,99	55,36	1,16	421,92	25.360,03	2,89	4,82	4,68	8,64	0,18	65,85
Mesorregião Bauru	10.217.650	1.954.321	223,10	371,83	360,67	665,83	13,90	5.074,42	305.004,48	34,82	58,03	56,29	103,91	2,17	791,95
Mesorregião Piracicaba	17.444.361	3.336.568	380,89	634,81	615,77	1.136,75	23,74	8.663,44	520.727,19	59,44	99,07	96,10	177,41	3,70	1.352,07
Mesorregião Campinas	44.003.814	8.416.571	960,80	1.601,33	1.553,29	2.867,49	59,87	21.853,72	1.313.546,69	149,95	249,91	242,42	447,52	9,34	3.410,64
Mesorregião Presidente Prudente	1.554.878	297.400	33,95	56,58	54,89	101,32	2,12	772,20	46.414,27	5,30	8,83	8,57	15,81	0,33	120,52
Mesorregião Marília	4.004.930	766.019	87,45	145,74	141,37	260,98	5,45	1.988,98	119.550,15	13,65	22,75	22,06	40,73	0,85	310,41
Mesorregião Itapetininga	28.449.898	5.441.587	621,19	1.035,31	1.004,25	1.853,93	38,71	14.129,14	849.250,69	96,95	161,58	156,73	289,34	6,04	2.205,09
Mesorregião Metropolitana Paulista	14.774.364	2.825.880	322,59	537,65	521,52	962,77	20,10	7.337,43	441.025,79	50,35	83,91	81,39	150,26	3,14	1.145,13
Mesorregião Vale do Paraíba Paulista	257.044	49.165	5,61	9,35	9,07	16,75	0,35	127,66	7.672,96	0,88	1,46	1,42	2,61	0,05	19,92
Mesorregião Metropolitana de São Paulo	313.626	59.987	6,85	11,41	11,07	20,44	0,43	155,76	9.361,97	1,07	1,78	1,73	3,19	0,07	24,31
Total no Estado	163.890.322	31.347.158	3.578,44	5.964,0	5.785,15	10.679,85	223,00	81.393,26	4.892.248,42	558,48	930,79	902,87	1.666,77	34,80	12.702,78

Fonte: Elaboração Própria

A vazão de biogás apresentada na Tabela 4.4, pode ser melhor observada na Figura 4.9, onde está agrupada apenas por mesorregiões.

Figura 4.9- Vazão do biogás (m³/h) provenientes da avicultura de corte

Fonte: Elaboração própria

A Figura 4.9 apresenta as mesmas diferenças entre as metodologias, além de observar que a mesorregião de Campinas possui maior potencial de geração. Mais adiante serão discutidos esses resultados e as possíveis causas dessas divergências de valores.

Tabela 4.5-Potencial Energético dos resíduos provenientes da suinocultura

São Paulo	Rebanho Suínos	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m ³ /ano)	Q _{metano} (m ³ /h)	Q _{biogás} (m ³ /h)	Q _{biometano} (m ³ /h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m ³ /ano)	Q _{metano} (m ³ /h)	Q _{biogás} (m ³ /h)	Q _{biometano} (m ³ /h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Mesorregião São José do Rio Preto	142.871	238.869	27,27	45,45	44,08	81,38	1,70	620,23	213.240,30	24,34	36,88	35,78	66,05	1,38	503,35
Mesorregião Ribeirão Preto	88.593	148.120	16,91	28,18	27,34	50,46	1,05	384,60	132.228,36	15,09	22,87	22,18	40,95	0,86	312,12
Mesorregião Araçatuba	30.774	51.452	5,87	9,79	9,50	17,53	0,37	133,59	45.931,34	5,24	7,94	7,71	14,23	0,30	108,42
Mesorregião Bauru	178.306	298.113	34,03	56,72	55,02	101,57	2,12	774,05	266.128,36	30,38	46,03	44,65	82,43	1,72	628,19
Mesorregião Piracicaba	133.794	223.693	25,54	42,56	41,28	76,21	1,59	580,82	199.692,54	22,80	34,54	33,50	61,85	1,29	471,37
Mesorregião Campinas	178.700	298.772	34,11	56,84	55,14	101,79	2,13	775,76	266.716,42	30,45	46,13	44,75	82,61	1,72	629,57
Mesorregião Presidente Prudente	54.594	91.277	10,42	17,37	16,85	31,10	0,65	237,00	81.483,58	9,30	14,09	13,67	25,24	0,53	192,34
Mesorregião Marília	7.900	13.208	1,51	2,51	2,44	4,50	0,09	34,30	11.791,04	1,35	2,04	1,98	3,65	0,08	27,83
Mesorregião Itapetininga	140.705	235.247	26,85	44,76	43,42	80,15	1,67	610,82	210.007,46	23,97	36,32	35,23	65,04	1,36	495,72
Mesorregião Macro Metropolitana Paulista	234.470	392.015	44,75	74,58	72,35	133,56	2,79	1.017,87	349.955,22	39,95	60,53	58,71	108,39	2,26	826,06
Mesorregião Vale do Paraíba Paulista	50.489	84.413	9,64	16,06	15,58	28,76	0,60	219,18	75.356,72	8,60	13,03	12,64	23,34	0,49	177,88
Mesorregião Metropolitana de São Paulo	830	1.388	0,16	0,26	0,26	0,47	0,01	3,60	1.238,81	0,14	0,21	0,21	0,38	0,01	2,92
Total no Estado	1.404.470	2.348.158,55	268,05	446,76	433,35	800,01	16,70	6.097,02	2.096.223,88	239,29	362,57	351,69	649,25	13,56	4.948,06

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 4.10 apresenta o volume de biogás gerado, nas diferentes mesorregiões do Estado de São Paulo.

Figura 4.10- Vazão do biogás (m³/h) provenientes da suinocultura

Fonte: Elaboração própria

A Figura 4.10 apresenta as mesmas diferenças entre as metodologias observadas anteriormente, no entanto a proporção reduz em relação a bovinocultura e avicultura de corte. Esses resultados serão discutidos mais adiante.

Tabela 4.6- Potencial Energético dos resíduos provenientes do abatedouro de aves

Abatedouro de Aves	Município	Capacidade de Abate (aves/dia)	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
			Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (MWh /dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (MWh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
M1 -Grande Porte	Onda Verde	30.000	119.766	13,672	22,79	22,10	40,80	0,85	310,97	502.555,87	57,37	95,62	92,75	171,22	3,58	1304,89
	São Carlos	80.000	319.375	36,458	60,76	58,94	108,81	2,27	829,26	1.340.149,15	152,99	254,98	247,33	456,58	9,53	3479,71
	Cabreúva	140.000	558.906	63,802	106,34	103,15	190,42	3,98	1451,21	2.345.261,09	267,72	446,21	432,82	799,02	16,68	6089,50
	Guapiaçu	160.000	638.750	72,917	121,53	117,88	217,62	4,54	1658,52	2.680.298,40	305,97	509,95	494,65	913,17	19,07	6959,43
	Nuporanga	200.000	798.438	91,146	151,91	147,35	272,02	5,68	2073,15	3.350.373,03	382,46	637,44	618,31	1141,46	23,83	8699,28
	Pereiras	160.000	638.750	72,917	121,53	117,88	217,62	4,54	1658,52	2.680.298,40	305,97	509,95	494,65	913,17	19,07	6959,43
M2 -Grande Porte	Holambra		0	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Louveira	136.767	546.000	62,329	103,88	100,76	186,02	3,88	1417,70	2.291.104,37	261,54	435,90	422,83	780,57	16,30	5948,88
	Descalvado	160.000	638.750	72,917	121,53	117,88	217,62	4,54	1658,52	2.680.298,40	305,97	509,95	494,65	913,17	19,07	6959,43
	Monte Alegre do Sul	120.000	479.063	54,688	91,15	88,41	163,21	3,41	1243,89	2.010.223,78	229,48	382,46	370,99	684,88	14,30	5219,57
	Tietê	100.000	399.219	45,573	75,95	73,68	136,01	2,84	1036,58	1.675.186,46	191,23	318,72	309,16	570,73	11,92	4349,64
	Varzea Paulista	160.000	638.750	72,917	121,53	117,88	217,62	4,54	1658,52	2.680.298,40	305,97	509,95	494,65	913,17	19,07	6959,43
M3-Médio Porte	Amparo	320.000	1.277.500	145,833	243,06	235,76	435,24	9,09	3317,04	5.360.596,91	611,94	1.019,90	989,30	1826,33	38,13	13918,85
	Itapuí	50.000	199.609	22,786	37,98	36,84	68,01	1,42	518,29	837.593,18	95,62	159,36	154,58	285,36	5,96	2174,82
	Porto Ferreira	216.986	866.250	98,887	164,81	159,87	295,13	6,16	2249,23	3.634.925,27	414,95	691,58	670,83	1238,40	25,86	9438,13
	Jarinu	380.000	1.517.031	173,177	288,63	279,97	516,85	10,79	3938,99	6.365.708,85	726,68	1.211,13	1174,80	2168,77	45,28	16528,64
	Bariri	Inativo	0		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
	Boituva	216.986	866.250	98,887	164,81	159,87	295,13	6,16	2249,23	3.634.925,27	414,95	691,58	670,83	1238,40	25,86	9438,13
	Votuporanga	88.000	351.313	40,104	66,84	64,84	119,69	2,50	912,19	1.474.164,07	168,28	280,47	272,06	502,24	10,49	3827,68
	Ipedúna	22.000	87.828	10,026	16,71	16,21	29,92	0,62	228,05	368.540,94	42,07	70,12	68,01	125,56	2,62	956,92
M4 -Pequeno Porte	Itapetininga	240.000	958.125	109,375	182,29	176,82	326,43	6,82	2487,78	4.020.447,66	458,96	764,93	741,98	1369,75	28,60	10439,14
	São Paulo	400	1.597	0,182	0,30	0,29	0,54	0,01	4,15	6.700,64	0,76	1,27	1,24	2,28	0,05	17,40
TOTAL		2.981.140	11.901.269	1.358,59	2.264,32	2.196,39	4.054,71	84,66	30.901,78	49.939.650,15	5.700,87	9.501,46	9.216,41	17.014,23	355,2	129.668,8

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4.7- Potencial Energético dos resíduos provenientes do abatedouro de suínos

Abatedouro de Suínos	Município	Informações obtidas	Capacidade de Abate (suino/dia)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (MWh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (MWh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
M1- Grande Porte	Itapeçerica da Serra	800 toneladas de carne verde/anual	38,05	5.601,85	0,64	1,07	1,03	1,91	0,04	14,55	20.397,91	2,33	3,88	3,76	6,95	0,15	52,96
	Capivari	3500 toneladas de carne embutida/anual	166,48	24.508,10	2,80	4,66	4,52	8,35	0,17	63,64	89.241,19	10,19	16,98	16,47	30,40	0,63	231,72
M2- Grande Porte	Lençóis Paulista	400 suínos/dia	400,00	58.886,67	6,72	11,20	10,87	20,06	0,42	152,90	214.423,78	24,48	40,80	39,57	73,05	1,53	556,75
	Bauru	25000 suínos/ano	68,49	10.083,33	1,15	1,92	1,86	3,44	0,07	26,18	36.716,31	4,19	6,99	6,78	12,51	0,26	95,33
	Suzano	700 suínos/dia	700,00	103.051,67	11,76	19,61	19,02	35,11	0,73	267,57	375.241,69	42,84	71,39	69,25	127,84	2,67	974,32
M3- Médio Porte	Carapicuíba	374.400 suínos/ano	1.025,75	151.008,00	17,24	28,73	27,87	51,45	1,07	392,09	549.864,97	62,77	104,62	101,48	187,34	3,91	1.427,73
	Tupã	2.000 suínos/dia	2.000,00	294.433,33	33,61	56,02	54,34	100,3	2,09	764,50	1.072.119,3	122,3	203,98	197,86	365,27	7,63	2.783,77
	Ipuã	7.200 suínos/ano	7.200,00	1.059.960,0	121,0	201,6	195,62	361,1	7,54	2.752,20	3.859.629,7	440,6	734,33	712,30	1.314,9	27,46	10.021,57
	Piracicaba	3800t de carne suína congelada/ano	180,75	26.608,80	3,04	5,06	4,91	9,07	0,19	69,09	96.890,44	11,06	18,43	17,88	33,01	0,69	251,58
	Itapetininga	8.400 ton de carne de suínos congeladas ou resfriadas/ano	180,75	26.608,80	3,04	5,06	4,91	9,07	0,19	69,09	96.890,44	11,06	18,43	17,88	33,01	0,69	251,58
M4- Pequeno Porte	Campinas	921t de carcaça resfriada de suíno/ano	43,81	6.449,13	0,74	1,23	1,19	2,20	0,05	16,75	23.483,10	2,68	4,47	4,33	8,00	0,17	60,97
	Cerqueira César	600 suínos/dia	600,00	88.330,00	10,08	16,81	16,30	30,09	0,63	229,35	321.635,72	36,72	61,19	59,36	109,58	2,29	835,13

Abatedouro de Suínos	Município	Informações obtidas	Capacidade de Abate (suino/dia)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	Egerada (MWh/dia)	Egerada (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	Egerada (MWh/dia)	Egerada (MWh/ano)
	José Bonifácio	2000suínos/ano	5,48	806,67	0,09	0,15	0,15	0,27	0,01	2,09	2.937,21	0,34	0,56	0,54	1,00	0,02	7,63
	Piracicaba	28.000suínos/ano	76,71	11.293,33	1,29	2,15	2,08	3,85	0,08	29,32	41.122,28	4,69	7,82	7,59	14,01	0,29	106,77

Fonte: Elaboração Própria

Tabela 4.8- Potencial Energético dos resíduos provenientes do abatedouro de bovinos

				CETESB (2006)							IPCC (2006)						
Abatedouro de Bovinos	Município	Informações obtidas	Capacidade de Abate (bovino/dia)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	Egerada (MWh/dia)	Egerada (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	Egerada (MWh/dia)	Egerada (MWh/ano)
M1- Grande Porte	Barretos	396.000 bovinos/ano	1085	549.450	62,72	104,54	101,40	187,2	3,91	1.426,65	1.211.641	138,32	230,53	223,61	412,8	8,62	3.146,04
	Andradina	1500 bovinos/dia	1500	759.656	86,72	144,53	140,20	258,8	5,40	1.972,46	1.675.186	191,23	318,72	309,16	570,7	11,92	4.349,64
	José Bonifácio	800 bovino/dia	800	405.150	46,25	77,08	74,77	138,0	2,88	1.051,98	893.432,7	101,99	169,98	164,88	304,3	6,36	2.319,81
	Estrela D'Oeste	1500cabeça/dia	1500	759.656	86,72	144,53	140,20	258,8	5,40	1.972,46	1.675.186	191,23	318,72	309,16	570,7	11,92	4.349,64
	Lençóis Paulista	2000t de carne embutida/ano	35	17.903	2,04	3,41	3,30	6,10	0,13	46,49	39.479,91	4,51	7,51	7,29	13,45	0,28	102,51
	Rancharia	287780 cabeça/ano	788	399.183,	45,57	75,95	73,67	136,0	2,84	1.036,49	880.276,0	100,49	167,48	162,46	299,1	6,26	2.285,65
	Jales	134.160cabeça/ano	368	186.147	21,25	35,42	34,35	63,42	1,32	483,33	410.489	46,86	78,10	75,76	139,8	2,92	1.065,84

Abatedo uro de Bovinos	Município	Informaçõe s obtidas	Capaci dade de Abate (bovin o/dia)	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
				Qmetano (m³/ano)	Qmetano (m³/h)	Qbiogás (m³/h)	Qbiometa no (m³/h)	Pdisp (Kw)	Egerad a (MWh/ dia)	Egerada (MWh /ano)	Qmetano (m³/ano)	Qmeta no (m³/h)	Qbiogás (m³/h)	Qbiometa no (m³/h)	Pdisp (Kw)	Egerada (MWh/d ia)	Egerada (MWh /ano)
M2- Grande Porte	Presidente Epitácio	4.300 t de sebo/ano	1.191	603.260	68,87	114,78	111,33	205,5	4,29	1.566,37	1.330.304	151,86	253,10	245,51	453,3	9,46	3.454,15
M3- Médio Porte	Barretos	255.000 bovinos/an o	699	353.812	40,39	67,32	65,30	120,5	2,52	918,68	780.223,7	89,07	148,44	143,99	265,8	5,55	2.025,86
	Bauru	228.000cab eça/ano	625	316.350	36,11	60,19	58,38	107,7	2,25	821,41	697.611,8	79,64	132,73	128,74	237,6	4,96	1.811,36
	Guararapes	156.000 cabeça/ano	427	216.450	24,71	41,18	39,95	73,74	1,54	562,01	477.313,3	54,49	90,81	88,09	162,6	3,40	1.239,35
	Promissão	105.600 cabeça/ano	289	146.520	16,73	27,88	27,04	49,92	1,04	380,44	323.104,3	36,88	61,47	59,63	110,0	2,30	838,94
	Promissão	105.600 cabeça/ano	289	146.520	16,73	27,88	27,04	49,92	1,04	380,44	323.104,3	36,88	61,47	59,63	110,0	2,30	838,94
	Campinas	805 tde couro bovino/ano	61	31.026	3,54	5,90	5,73	10,57	0,22	80,56	68.418,22	7,81	13,02	12,63	23,31	0,49	177,65
M4- Pequeno Porte	Ibitinga	10.500 t de carcaça/ano	118	59.707	6,82	11,36	11,02	20,34	0,42	155,03	131.667,3	15,03	25,05	24,30	44,86	0,94	341,88
	Martinopól is	62.400 cabeça/ano	171	86.580	9,88	16,47	15,98	29,50	0,62	224,81	190.925,2	21,80	36,33	35,24	65,05	1,36	495,74
	Panorama	52.500t de carne resfriada/an o	928	469.959	53,65	89,41	86,73	160,1 1	3,34	1.220,26	1.036.350, 40	118,30	197,17	191,26	353,0	7,37	2.690,90
	Ipuã	30.000 cabeça/ano	82	41.625,0	4,75	7,92	7,68	14,18	0,30	108,08	91.790,94	10,48	17,46	16,94	31,27	0,65	238,34
	Piracicaba	15.200bovi nos/ano	42	21.090,0	2,41	4,01	3,89	7,19	0,15	54,76	46.507,36	5,31	8,85	8,58	15,84	0,33	120,76
	Presidente Prudente	105.000 t de carne verde/ano	1.856	939.919	107,30	178,83	173,46	320,2 3	6,69	2.440,51	2.072.700	236,61	394,35	382,52	706,1	14,74	5.381,79

Abatedouro de Bovinos	Município	Informações obtidas	Capacidade de Abate (bovinos/dia)	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
				Qmetano (m³/ano)	Qmetano (m³/h)	Qbiogás (m³/h)	Qbiometano (m³/h)	Pdisp (Kw)	Egerada (MWh/dia)	Egerada (MWh/ano)	Qmetano (m³/ano)	Qmetano (m³/h)	Qbiogás (m³/h)	Qbiometano (m³/h)	Pdisp (Kw)	Egerada (MWh/dia)	Egerada (MWh/ano)
	Presidente Prudente	79.200 cabeça/ano	217	109.890	12,54	20,91	20,28	37,44	0,78	285,33	242.328,2	27,66	46,11	44,72	82,56	1,72	629,21
	Piracicaba	6.000 t de carne verde bovina congelada/ano	106	53.709,6	6,13	10,22	9,91	18,30	0,38	139,46	118.439,9	13,52	22,53	21,86	40,35	0,84	307,53
	José Bonifácio	21000bovinos/ano	58	29.137,5	3,33	5,54	5,38	9,93	0,21	75,66	64.253,63	7,33	12,22	11,86	21,89	0,46	166,84
	Santa Fé do Sul	144.000 bovinos/ano	395	199.800	22,81	38,01	36,87	68,07	1,42	518,78	440.596,9	50,30	83,83	81,31	150,1	3,13	1.144,02
	Pirapozinho	124.800 cabeça/ano	342	173.160	19,77	32,95	31,96	58,99	1,23	449,61	381.850,6	43,59	72,65	70,47	130,0	2,72	991,48
	Total		13.971	7.075.665	807,72	1.346,2	1.305,82	2.410	50,33	18.372,0	15.603.187,67	1.781	2.968,64	2.879,58	5.315	111,00	40.513,8

Fonte: Elaboração Própria

4.3. Conclusões Preliminares

A Tabela 4.9 representa potencial energético total dos efluentes dos abatedouros analisados no Estado de São Paulo, representado graficamente o potencial de biogás na Figura 4.12. Já a Tabela 4.10 apresenta o potencial energético dos resíduos agropecuários no Estado de São Paulo com representação gráfica do potencial de produção de biogás na Figura 4.13.

Tabela 4.9-Potencial energético dos efluentes dos abatedouros no Estado de São Paulo

	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
	Q _{metano} (m ³ /ano)	Q _{metano} (m ³ /h)	Q _{biogás} (m ³ /h)	Q _{biometa} no (m ³ /h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (MWh/di a)	E _{gerada} (MWh/an o)	Q _{metano} (m ³ /ano)	Q _{metano} (m ³ /h)	Q _{biogás} (m ³ /h)	Q _{biometan} o (m ³ /h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (MWh/di a)	E _{gerada} (MWh/an o)
Abatedouro Suíno	1.867.630	213,20	355,33	344,67	636,29	13,29	4.849,32	6.800.595,4 4	776,32	1.293,87	1.255,06	2.316,94	48,38	17.657,83
Abatedouro Aves	11.901.269	1.358,5	2.264,3	2.196,3 9	4.054,7 1	84,66	30.901,78	49.939.650, 15	5.700,8 7	9.501,46	9.216,41	17.014,2 3	355,26	129.668,8 8
Abatedouro Bovino	7.075.665	807,72	1.346,2	1.305,8	2.410,6 5	50,33	18.372,05	15.603.187, 67	1.781,1 9	2968,64	2879,58	5.315,94	111,00	40.513,86
TOTAL SP	20.844.563	2.379,5	3.965,8	3.846,8	7.101,6	148,28	54.123,15	72.343.433	8.258,3	13.763,9	13.351,0	24.647,1	514,63	187.840,5

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 4.11, pode-se observar a estimativa de produção de biogás, nos três tipos de abatedouros estudados: suíno, bovino e aves, bem como as divergências entre metodologias.

Figura 4.11- Vazão do biogás (m³/h) provenientes dos resíduos agroindustriais.
Fonte: Elaboração Própria

Podemos observar que independente da metodologia utilizada, os abatedouros de aves no Estado de São Paulo, possuem maior potencial, sendo 2.264 m³/h pela CETESB (2006) e 1.293,87 m³/h pelo IPCC (2006).

A Tabela 4.10 apresenta potencial total dos resíduos da agropecuária analisados no Estado de São Paulo.

Tabela 4.10- Potencial energético dos resíduos da agropecuária no Estado de São Paulo

Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
	Qmetano (m³/ano)	Qmetano (m³/h)	Qbiogás (m³/h)	Qbiometano (m³/h)	Pdisp (Kw)	Egerada (Mwh/dia)	Egerada (MWh/ano)	Qmetano (m³/ano)	Qmetano (m³/h)	Qbiogás (m³/h)	Qbiometano (m³/h)	Pdisp (Kw)	Egerada (Mwh/dia)	Egerada (MWh/ano)
Avicultura de corte	31.347.158	3.578,44	5.964,07	5.785,15	10.679	223,00	81.393,26	4.892.248,4	558,48	930,79	902,87	1.666	34,80	12.702,7
Suinocultura	2.348.159	268,05	446,76	433,35	800,01	16,70	6.097,02	2.096.223,8	239,29	362,57	351,69	649,25	13,56	4.948,06
Bovinocultura de corte confinado	55.196.507	6.300,97	10.501,62	10.186,57	18.805,22	392,65	143.318,37	510.889,5	58,32	97,20	94,3	174,06	3,63	1.326,53
Total	88.891.824	10.147,4	16.912,45	16.405,07	30.285	632,35	230.808,66	7.499.361,8	856,09	1.390	1.348,85	2.490	51,99	18.977,3

Fonte: Elaboração Própria

Na Figura 4.12, pode-se observar a estimativa de produção de biogás, a partir dos resíduos provenientes da suinocultura, bovinocultura e avicultura de corte, bem como as divergências entre metodologias.

Figura 4.12- Vazão do biogás (m^3/h) provenientes dos resíduos pecuários.
Fonte: Elaboração Própria

De maneira análoga, os abatedouros poderiam estar gerando 54.123,15 MWh/ano (CETESB, 2006) e 187.840,57 MWh/ano (IPCC, 2006), que dependendo da estratégia de utilização poderia estar acarretando redução de custos significativos (Figura 4.11).

Ao se analisar o resultado encontrado neste estudo, a matriz energética do Estado de São Paulo, poderia ter cerca de 284.931,81 MWh/ano proveniente do biogás, considerando a metodologia da CETESB (2006). Já pelo IPCC (2006) seriam inseridos cerca de 206.817, 94 MWh/ano. Para o biometano injetado na rede, seriam 20.251,95 m^3/h e 14.699,9 m^3/h , respectivamente (Figura 4.13).

Figura 4.13- Estimativa da vazão do biometano (m^3/h) no Estado de São Paulo.
Fonte: Elaboração Própria

Estes valores que não se podem desconsiderar, uma vez em 2015, Itaipu produziu um total de 89.215.404 de Megawatts-hora (89,2 milhões de MWh) (ITAIPU, 2016), o total que poderia ser gerado em São Paulo, só com os resíduos agropecuários e agroindustriais seriam cerca 0,2 milhões de MWh/ano, conforme Figura 4.14. Cabe ressaltar que esse valor é apenas para o Estado provando que é importante começarem a ter um olhar diferenciado para essa fonte.

Figura 4.14- Potencial de geração de energia (MWh/ano) no Estado de São Paulo.
Fonte: Elaboração Própria

Os resultados encontrados geram desconfiança devido à grande diferença entre eles. A metodologia do IPCC (2006), mesmo passando por duas revisões, a primeira realizada em novembro de 2010 e a segunda, mais recente em janeiro de 2013, e mesmo tendo validação internacional, possui grau de incerteza muito grande. Segundo IPCC (2006), a incerteza dos dados de utilização do sistema de gestão dos resíduos dependerá das características do setor no país, e como as informações sobre essa gestão é disponibilizada. Por exemplo, para países que dependem quase que exclusivamente de um tipo de sistema de gestão, tais como pastagens, a incerteza associada com os dados de utilização do sistema de gestão pode ser de 10% ou menos. No entanto, para os países onde existe grande variedade de sistema de gestão utilizada localmente com diferentes práticas de funcionamento, a incerteza no uso do sistema de gestão de dados pode ser muito mais alta, na faixa de 25% a 50% (para mais ou menos), dependendo da disponibilidade de dados de pesquisa confiável e representativa que diferencia

populações animais por uso do sistema. Ainda explica que cada país deve estimar a incerteza associada com os seus dados de gestão.

Enfim, devem levar em consideração algumas condições como: temperatura, umidade, aeração, entre outros aspectos do tratamento. Os valores podem apresentar grande incerteza de um país individual para outro, porque eles podem não refletir a condições presentes no país, uma vez que dos fatores de emissão são dados pela localidade, exemplo: países em desenvolvimento, ou América Latina. Já a metodologia da CETESB (2006) é baseada na quantidade do material total gerado por determinada unidade geradora, por mais que tenha sido uma iniciativa a fim de popularizar a temática do biogás e das mudanças climáticas, não considera fatores importantes como temperatura, clima, rota de conversão do biogás, entre outras.

Além do exposto acima, não existem relatos dos experimentos para que permita um comparativo entre as metodologias. Tal fato demonstra a necessidade de ter cuidado com as estimativas, as incertezas a respeito delas são grandes e podem inviabilizar projetos futuros, principalmente quando utilizados dados secundários adquiridos em literatura.

Apesar do considerável potencial energético dos resíduos desse segmento, a sua utilização ainda está aquém do esperado. A discussão dos resultados, suas inconsistências, bem como a proposição de políticas públicas é discutida nos capítulos 5 e 6 desta dissertação.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E BARREIRAS EXISTENTES PARA A EFETIVAÇÃO DESSA FONTE NA MATRIZ PAULISTA E BRASILEIRA

A agropecuária no Estado de São Paulo tem sido modificada devido a acentuada redução de suas atividades. De 2000 a 2012, as participações de milho, soja, tomate, leite e carne bovina, no estado, tiveram reduções até mesmo na composição total do produto agropecuário, tal fato tem acontecido devido a importância e continua expansão da cana-de-açúcar no Estado. Mesmo a laranja, considerada importante atividade depois da cana-de-açúcar, tem passado por desestruturação das principais zonas de produção.

A expansão da cana-de-açúcar fortaleceu a pecuária intensiva no Estado, pois as áreas que outrora eram utilizadas para pastagem, passaram a ser cultivada pela cana-de-açúcar. A bovinocultura de corte vem aumentando ao longo dos anos e ocorreu um crescimento da avicultura também, essa transformação permitiu que São Paulo fosse o terceiro estado com maior rebanho bovino confinado, no entanto, a suinocultura vem passando por crise estrutural, focando apenas no mercado local/regional.

Essa intensificação da pecuária proporcionou um melhor gerenciamento dos resíduos permitindo seu aproveitamento energético, de maneira limpa e renovável. No entanto, alguns entraves devem ser quebrados para essa finalidade.

De maneira análoga ao que acontece com o restante do Brasil, em São Paulo, a malha de gasoduto não é ampla, ainda mais nas mesorregiões de Ribeirão Preto, Araçatuba, entre outras, detentoras de grande potencial para produção de biometano, que possui como concessionário a Gás Brasileiro, conforme observado na Figura 5.1 referente ao Mapa das Áreas de Concessão da Distribuição de Gás Canalizado em São Paulo.

Figura 5.1- Mapa das Áreas de Concessão da Distribuição de Gás Canalizado em São Paulo

Fonte: São Paulo, 2014.

Mesmo sendo o Estado que possui o maior consumo de gás natural no Brasil, ainda há necessidade de expansão da malha, bem como maiores investimentos nesse setor.

A Política Paulista de Biogás, Decreto nº 58.659, publicado em 4 de dezembro de 2012, veio instituir a Programa Paulista de Biogás, com a finalidade de, incentivar e ampliar a participação de energias renováveis na matriz energética do Estado de São Paulo, além de estabelecer a adição de um percentual mínimo de Biometano ao gás canalizado comercializado no Estado.

A injeção do Biometano na rede possuía alguns gargalos reguladores, tal problema foi solucionado parcialmente com o Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, e mais tarde o desenvolvimento da Resolução ANP Nº 8 de 30/01/2015, que indica a necessidade de limpar o biogás a fim de transformá-lo em biometano nas especificações aceitáveis pelo órgão, sendo regulamentado apenas para biometano produzidos a partir de resíduos agrossilvipastoris. Para o produzido a partir de biogás de aterros sanitários e estações de tratamento de efluentes ainda tem barreiras devido a presença de siloxanos.

Do potencial atual de produção do biometano (100 milhões de metros cúbicos), quase metade é oriundo de resíduos agrícolas, excetuando cana de açúcar, com 47,8 milhões de metros cúbicos diários. Logo depois vêm os resíduos de pecuária (dejetos), com 35 milhões

de metros cúbicos por dia. A palha e a vinhaça, oriundos da produção de etanol, seriam capazes de gerar atualmente cerca de 14 milhões de metros cúbicos diários, enquanto os resíduos sólidos urbanos poderiam render 4,3 milhões de metros cúbicos diários (Rio de Janeiro, 2014).

Todo esse potencial poderia ser injetado na malha de gasoduto ou utilizado para a geração de energia elétrica, mas os gargalos vão além da ausência de infraestrutura adequada. A questão de logística, custo de investimento necessário, regulatório, entre outros, têm grande influência sobre esse aspecto.

Uma vez que o volume gerado de resíduo para uma granja é baixa, a geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente de resíduos pecuários da suinocultura e avicultura de corte pode ser limitador. Para solucionar esse problema é necessário criar centrais únicas de tratamento, ou de utilização.

Essa solução foi adotada pelo Condomínio de Agroenergia Ajuricaba, no Estado do Paraná. Em projeto elaborado e executado pelo Centro Internacional de Biogás (CIBiogás), teve como propulsor a elevada geração de resíduos e sua contribuição para a poluição da Bacia Hidrográfica.

A biomassa residual produzida é tratada na própria propriedade por meio de biodigestores, de lagoa coberta, onde se produz biofertilizante e biogás (CIBiogás, 2015).

O biogás produzido é canalizado por meio de um gasoduto rural de baixa pressão, com 25,5 km de extensão, até uma Microcentral Termelétrica – MCT, possibilitando o aproveitamento de 821,8 m³/dia de biogás que gera energia elétrica por meio de um grupo moto gerador de 104 kVA, além do aproveitamento térmico para a secagem de grãos, processo realizado a partir de um equipamento para aquecimento do ar de secagem de grãos, que apresenta condições semelhantes à do processo de combustão do biogás em uma caldeira. Também há aproveitamento interno do biogás em 16 propriedades para cocção. Além disso, desde 11 de agosto de 2014 o Condomínio opera em geração distribuída (GD) por estar conectado à rede pública de distribuição de eletricidade da Copel (Companhia Paranaense de Energia) (CIBiogás, 2015).

O que permite que a energia elétrica seja conectada à rede é a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012 da ANEEL.(Agência Nacional de Energia Elétrica) Porém, a resolução é uma via de mão dupla, pois ao mesmo tempo em que permitiu a adesão dos consumidores ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica foi desestimulada pelos custos do ICMS, que incidem no valor integral da operação antes da

compensação, sendo esta a quantidade total de energia elétrica entregue pela distribuidora ao consumidor, resultando o aumento do *payback* do investimento.

Também ocorre a limitação quanto ao local gerador, pois tem que possuir o mesmo Cadastro de Pessoa Física – CPF ou Cadastro de Pessoa Jurídica – CNPJ. Desta maneira, essa questão se torna uma barreira, pois para a geração de energia a partir de diversos fornecedores de matéria-prima é necessário que possua a mesma titularidade para ser compensada, o que torna obrigatório criar mecanismos jurídicos para a utilização dos créditos gerados em locais diferentes.

Cabe ressaltar que quanto maior o volume tratado, menor é o custo por m³ de biogás gerado. Macedo et al (2014) observou que o preço do biodigestor diminui com o aumento do volume de armazenamento e tende a se estabilizar a um preço fixo de R\$ 180,00 o m³.

Macedo et al (2014) também analisou o custo por potencial de produção de CH₄, cujo investimento para produzir 1 m³ de CH₄ varia de R\$ 500,00 a R\$ 1.500,00. O custo do biodigestor é menor quando maior o volume a ser tratado e possui custo de produção de 1m³ de CH₄ menor quanto maior volume e concentração de sólidos voláteis. Diante desse fato, soluções que possuam maiores tipos de interações que permitem maiores volumes a serem tratados, tornando-os mais viáveis.

Uma iniciativa realizada pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA), por meio da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), e pela Secretaria do Meio Ambiente (SMA), por meio da Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais (CBRN), com financiamento do Banco Mundial e do Governo do Estado de São Paulo, estabeleceu o projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável, que poderia estar favorecendo essa prática no Estado. Instituído pelo Decreto 56.449 de 29 de novembro de 2010, tal projeto tem como objetivo principal aumentar a competitividade da agricultura familiar no Estado de São Paulo, melhorando simultaneamente sua sustentabilidade ambiental (São Paulo, 2016).

No entanto o foco desse projeto é para atividades voltadas apenas para agricultura familiar, com aumento de produtividade das culturas para subsistência e sua posterior inserção no mercado, bem como implantação de Sistemas Agroflorestais (SAF).

O setor agropecuário, em particular no caso brasileiro, como visto por Vieira Filho e Santos (2011), Vieira Filho, Santos e Fornazier (2012) e Fornazier e Vieira Filho (2012), possui enorme heterogeneidade produtiva, alguns produtores buscam adotar modernas técnicas de produção para obter maiores produtividades, enquanto outros podem adotar tão somente técnicas com menor intensidade tecnológica devido às dificuldades de acesso às

tecnologias mais modernas, ou mesmo aos óbices relacionados com o processo de adaptação (FORNAZIER & VIEIRA FILHO, 2013).

Desta maneira, existe um leque variado para fortalecimento do setor no Brasil, e no Estado. Tal fato poderia ser realizado a partir de maior entrosamento entre os dois elos da cadeia produtiva estudada: os criadores e as agroindústrias.

Ao considerar a realidade brasileira na pecuária, é importante observar toda esta diferenciação. A bovinocultura de corte possui um perfil diversificado, de grandes latifúndios e com empresários que investem em melhoramento genético, reprodução assistida, no qual existe grande investimento por parte dos criadores. Já na avicultura de corte e suinocultura não possuem os mesmos recursos e características do empresariado.

Uma vez que as granjas ou confinamento serem próximos aos abatedouros e frigoríficos, a solução que poderia estar colaborando com a sustentabilidade da cadeia produtiva agroindustrial da proteína animal é de que maneira análoga ao que é feito no Condomínio Ajuricaba, os pecuaristas teriam uma central de tratamento do efluente ou mesmo biodigestores no local, onde também o biogás poderia ser tratado e transportado por gasodutos, assim a planta de abate poderia utilizar o biogás gerado para redução do consumo de energia elétrica ou de gás natural, além de proporcionarem ganho de renda aos criadores.

Cabe ressaltar que granjas avícolas e suínícolas possuem alta demanda de energia devido à necessidade de se manter aquecidos o setor maternidade (suíno) e chocadeiras (aves), manter a ventilação do local. Esse problema pode diminuir se utilizar os gases de exaustão do sistema de geração de energia para aquecer o chão da maternidade dos suínos, por exemplo.

Além do benefício econômico que se ganharia nas grandes agroindústrias de proteína animal, também há o ganho ambiental e social por ambas as partes. Cabe ressaltar que essas agroindústrias exportam carne e derivados e sofrem grandes pressões internacionais pela boa prática sustentável, além de realizarem os escopos 1 e 2 dos inventários corporativos de GEE⁴ (que são obrigatórios em qualquer inventário), vem seguindo a prática de realizarem o escopo 3 dos seus inventários de gases de efeito estufa, isto é, as emissões relacionadas aos seus fornecedores.

⁴ Inventário corporativo de GEE é uma espécie de raio-X que se faz em uma empresa, grupo de empresas, setor econômico, cidade, estado ou país para se determinar fontes de gases de efeito estufa nas atividades produtivas e a quantidade de GEE lançada à atmosfera. Fazer a contabilidade significa quantificar e organizar dados sobre emissões com base em padrões e protocolos e atribuir essas emissões corretamente a uma unidade de negócio, operação, empresa, país ou outra entidade. A realização do inventário de GEE também permite às empresas enxergarem oportunidades de novos negócios no mercado de carbono, atraírem novos investimentos, ou ainda, planejarem processos que garantam eficiência econômica, energética ou operacional (FGV, 2009).

Desta maneira, o inventário corporativo teria redução nos três escopos:

- Escopo 1 -correspondente a emissões diretas dos processos próprios, devido a utilização dos resíduos gerados na atividade;
- Escopo 2 -referente a emissões indiretas de energia adquirida, pois o setor estaria utilizando energia limpa e renovável, acarretando numa diminuição da energia comprada;
- Escopo 3- referente as fontes de emissões que não estão sob o controle direto da Companhia, isto é, dos fornecedores pois, os próprios estariam diminuindo as suas emissões.

Segundo Coluna (2012), o consumo mensal de energia de uma planta localizada em Promissão no Estado de São Paulo é de 1.156 MWh e o potencial de energia disponível a partir do biogás gerado é 217,54 MWh/mês, o que corresponde a uma economia de cerca de 19% da energia consumida. Ao se promover essa integração proposta, o nível de economia poderia ser maior, ainda mais dependendo da estratégia utilizada, como apenas utilizar em horário de ponta.

Outra questão importante a se abordar é o fato do país ser dependente de uma única matriz energética de base, a hidroelétrica, mas que depende de fatores externos, como estiagem, mudanças climáticas, ocasionando ou não funcionamento das termoeletricas.

Em um país no qual se vangloria de ter uma matriz limpa, cada vez a energia tem se tornado mais suja devido às operações das termoeletricas. Segundo a EPE (2015), em 2014 as hidroelétricas ofertavam cerca de 65 % da energia elétrica, já o gás natural 13% e derivados de petróleo 6,9%. Tal informação pode ser observada na Figura 5.2 referente à oferta interna de energia elétrica por fonte.

Figura 5.2-Oferta interna de energia elétrica por fonte, ano base 2014.

Fonte: Balanço Energético Nacional ano base 2014 – BEN, EPE(2015)

Já em EPE (2014), em 2013 as hidroelétricas ofertavam cerca de 70,6%, o gás natural 11,3% e derivados de petróleo 4,4%, conforme observado na Figura 5.3.

Figura 5.3-Oferta interna de energia elétrica por fonte, ano base 2013

Fonte: Balanço Energético Nacional ano base 2013 – BEN, EPE(2014)

Conforme apresentado nas Figuras 5.2 e 5.3, observa-se o aumento das fontes derivadas do petróleo e do gás natural ao longo dos anos, o que demonstra fortemente que a dependência da hidroelétrica contribui para o aumento de combustíveis fósseis e a biomassa, cuja participação é relativamente significativa com cerca de 7%, obteve redução de 0,3%.

Grande parte da biomassa utilizada na matriz elétrica brasileira é proveniente da cogeração de bagaço de cana, no entanto outras fontes poderiam ter maior participação, como o biogás gerado a partir da biodigestão de resíduos orgânicos. Entretanto, a efetividade do aproveitamento está condicionada à competitividade do biogás em relação às outras fontes de energia, a ausência de incentivos financeiros e oferta de créditos mais atrativos aos produtores.

Para contribuir nesse processo, é necessário que se criem políticas públicas de incentivo para produção e uso do biogás, da mesma maneira que tem sido realizado com outras energias renováveis, como a eólica e a fotovoltaica, até que as tecnologias evoluam ao ponto de os riscos de investimento se igualar ao das tecnologias de energias já consolidadas no mercado brasileiro (MARIANI et al, 2014).

Por mais que ao longo do tempo, tenham existido incentivos e políticas públicas que direta ou indiretamente visem à utilização do biogás, nota-se que elas são pontuais e não específicas para biogás.

Alguns programas e incentivos foram criados pelo Governo Federal, como:

- Plano Nacional de Agroenergia: realizado no período de 2006 e 2011, visava organizar e desenvolver proposta de pesquisa, desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia (MAPA, 2006). Dentre os desafios citados para a cadeia do biogás, ressaltavam-se: aproveitamento como fonte de calor, energia elétrica e combustível e processos de purificação, compressão e armazenamento (MARIANI, 2014).

- Plano ABC (Agricultura de Baixo Carbono) ou Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura: uma política pública que detalha as ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima pela agropecuária para que o Brasil cumpra os compromissos assumidos de redução de emissão de GEE por este setor (MAPA/MDA, 2011). Um dos programas refere-se ao tratamento de dejetos animais, havendo ações de assistência técnica, capacitação, financiamento aos produtores e etc. (MAPA/MDA, 2011; MARIANI, 2014).

Tal plano foi criado devido às características do setor agrícola, e em função de o mesmo possuir uma maior sensibilidade às mudanças no clima, pois é evidente sua grande vulnerabilidade a mudanças climáticas, devendo observá-las com maior cuidado, comparando-as com outros setores da economia. Frente a essa realidade, a produção de alimentos e a segurança alimentar devem ser tratadas com prioridade pela sociedade, tanto sob a ótica fisiológica e nutricional quanto sob a ótica estratégica e política (MAPA, 2013; PAIXÃO, 2015).

O Plano ABC é um plano setorial que, alinhado com os acordos brasileiros de redução de emissões de GEE, tem por finalidade a organização e o planejamento de ações que adotem tecnologias de produção agrícola sustentáveis, que respondam a esses compromissos (PAIXÃO, 2015).

Segundo Paixão (2015), a justificativa para a criação do Plano ABC vem da observação de que parcela importante das emissões de GEE é advinda do setor agropecuário. O âmbito de atuação do Plano ABC é nacional, tendo seu período de duração de 2010 até 2020, sendo que nesse período estão previstas revisões e atualizações a cada dois anos, a fim

de readequá-lo às demandas da sociedade, às novas tecnologias, incorporando assim novas metas.

- Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil PROBIOGAS: foi desenvolvido pelo MCidades, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, juntamente com o Governo Alemão, no âmbito da GIZ - Agência de Cooperação Alemã, com objetivo de promover o aproveitamento energético de biogás no país. Essa iniciativa, busca contribuir para a ampliação do uso energético eficiente do biogás e, por conseguinte, para a redução de emissões de metano e de dióxido de carbono para a atmosfera (MCIDADES 2014; MARIANI, 2014).

Cabe ressaltar que sistemas energéticos que utilizam o biogás possuem custos mais elevados, mas é necessário que ocorra a valoração dos ganhos ambientais desses sistemas. Desta maneira é importante a existência de mecanismos de financiamento para sua efetivação, a fim de garantir a expansão do uso e os ganhos de escala, o que acarretará redução nos custos.

Alguns Estados, como São Paulo, Rio de Janeiro, Paraná, Pernambuco, entre outros também tem criado mecanismos jurídicos e incentivos como já citados no Capítulo 3. Esta é uma tendência, pois visa à mitigação dos efeitos do aquecimento global; porém há necessidade de maior comunicação entre os atores envolvidos para que seja efetivada na matriz energética brasileira, em diferentes esferas governamentais, empresários e criadores.

Os resultados divergentes encontrados neste estudodemonstrou a necessidade da validação de uma metodologia que considere as eventuais perdas, condições climáticas e hidrológicas heterogêneas encontradas no país bem como modelagem matemática para esses tipos de matérias-primas.

Apesar de diversos trabalhos destacarem a importância da inserção do biogás na matriz brasileira, é urgente a necessidade de desenvolver e validar metodologias acuradas de mensuração da emissão de metano e gerar bancos de dados específicos para os sistemas de produção de cada região (país ou bioma) (MACHADO et al, 2011).

Em estudo realizado por Silva et. al. (2014), foi comparada diversas metodologias nacionais e internacionais com os resultados obtidos a campo para a emissão de metano em Estação de Tratamento de Esgoto, demonstrou que todas as metodologias comumente utilizadas superestimam a produção de metano.

Ainda segundo Silva et. al. (2014), a produção média anual de energia estimada a partir do método proposto pelo IPCC (2006) foi aproximadamente 7 vezes maior que aquela

obtida a partir de medições, mesmo com a adequação paramétrica do modelo. Essa diferença foi ainda mais significativa quando o histórico de dados de vazão e de DQO de esgoto não foram utilizados. A produção média anual de energia estimada sem as adequações do modelo é, pelo menos, 11 vezes maior que aquele encontrado por meio de medições.

A autora também publicou em seu trabalho que a produção média anual de energia calculada por meio dos métodos sugeridos pela UNFCCC (2013) e por Chernicharo (1997) foram, respectivamente, 5,5 e 6 vezes maiores que aquela mensurada, apesar desses modelos considerarem a vazão de esgoto, a eficiência de remoção de DQO do esgoto nos reatores UASB e a conversão parcial da DQO em lodo, no caso do modelo de Chernicharo (1997) ou o fator de incerteza, no caso do método do UNFCCC (2013). Tal fato ocorreu, devido os métodos não considerarem importantes rotas de conversão de DQO inerentes aos reatores UASB, assim como não pressupõem perdas de metano.

Silva (2015), também faz observação a método reportado por CETESB (2006), resultou em uma estimativa média 3,3 vezes maiores que aquela encontrada por meio de medições de vazão na ETE, porém quando o modelo foi calculado apenas com os dados sugeridos pelo próprio modelo os resultados podem ser até 40 vezes maiores do que aqueles obtidos nas medições de campo.

O próprio método CETESB (2006), não se responsabilizam por quaisquer problemas advindos do uso do Programa de Computador Biogás – Geração e Uso Energético – Efluentes e Resíduos Rurais – versão 1.0, seja pelas estimativas dos volumes de biogás geradas, estimativas de Créditos de Carbono, custos de geração energética ou por quaisquer informações geradas por este programa ou com o seu auxílio.

O levantamento do potencial de emissão de metano pelos diferentes sistemas agropecuários, bem como a avaliação de estratégias mitigatórias, deve ser realizado sob visão holística, levando-se em consideração à dinâmica e o balanço de carbono em todo o sistema de produção (MACHADO et. al., 2011).

Segundo Machado et. al. (2011), as instituições de pesquisa nacionais têm papel fundamental no desenvolvimento de inventários sobre a emissão de GEE no Brasil, possibilitando o questionamento dos dados apresentados pelas organizações internacionais e o desenvolvimento de soluções sustentáveis para os sistemas de produção. Diante disso, torna-se necessário o planejamento de projetos de pesquisa multidisciplinares e interinstitucionais que atendam a essa demanda da sociedade.

No entanto, o questionamento só será possível se ocorrer interface do campo com os laboratórios, centros de pesquisas, universidades, entre outros, a partir de incentivos financeiros e políticas específicas para o biogás.

No capítulo 6, é discutida a proposição de políticas públicas pensando na efetivação da matriz, bem como a conclusão do estudo.

6. CONCLUSÕES

Os resíduos agropecuários e agroindustriais são pouco influenciados pelas crises econômicas e pela sazonalidade, portanto são fontes de matérias-primas ao longo do ano inteiro, contrapondo a geração de energia a partir de hidroelétricas e eólicas, por exemplo, que são fortemente influenciadas por fatores externos que podem acarretar a geração não constante, como a ausência de chuva que afeta o regime hídrico e, por sua vez, a geração de energia. O país se encontra numa crise energética aguda, grande parte devido a dependência de uma única fonte de energia: Hidroelétricas, que são fortemente influenciadas pelo regime hidrológico, mudanças climáticas, desmatamento, entre outros.

Diante dessa crise, há necessidade de fortalecer a geração distribuída no Brasil, grande parte devido ao aumento do custo de energia elétrica devido à utilização maciça de termoeletricas de combustíveis fósseis para garantir o abastecimento de energia, o que como consequência aumenta o custo de produção e assim o custo que chega ao consumidor final, afetando toda a cadeia de produção.

A utilização do biogás a partir dos resíduos agrícolas e agropecuários torna-se uma alternativa para a redução do custo com energia além de garantir uma maior sustentabilidade do setor. Lucas Jr (2015), afirma que em 2014 o *payback* de um investimento para recuperação energética dos dejetos animais foi de 4 anos, já em 2015, foi de 2,7 anos. Os custos operacionais anuais e o investimento não obtiveram aumentos entre os anos estudados, no entanto, essa redução no *payback* foi devido aos ganhos de receita, com a geração (e comercialização) de energia e a utilização do biofertilizante.

Embora alguns mecanismos favoreçam o aproveitamento energético do biogás no Brasil, algumas barreiras dificultam a sua efetiva inserção na matriz energética nacional, tais como: o baixo grau de coordenação entre os órgãos responsáveis pela elaboração de políticas ambientais, energéticas, agrícolas e urbanas; os interesses diversos dos agentes envolvidos nos serviços de coleta e tratamento de efluentes e resíduos sólidos, bem como a falta de conhecimento e interesse destes no negócio de energia; e a percepção por parte dos agentes de uma relação risco-retorno inferior nos projetos de aproveitamento energético do biogás (ZANETTE, 2009; MARIANI, 2014).

Mesmo que o crescimento do rebanho e da agroindústria suscite empregos, estes não são suficientes para promover o desenvolvimento rural em todas as suas esferas, isto é, atingindo todos os elos da cadeia.

A instituição do Programa Paulista de Biogás demonstra a preocupação do Estado em caminhar lado a lado com a Política Estadual de Mudanças Climáticas para o Estado de São Paulo, estabelecida desde 2009 pela Lei nº 13.798, de 9 de novembro. No entanto, não se vê medidas sendo implantadas e efetivas.

Tal fato por ser observado em estudo lançado em 2016 pelo CIBiogás, o BiogasMap, no qual foram mapeadas todas as plantas de biogás em operação, reforma e construção. De acordo com esse estudo, existe apenas uma planta de suinocultura em construção no Estado de São Paulo, que irá gerar energia elétrica a partir do biogás. Estima-se que essa planta produzirá cerca de 173 m³/dia de biogás (CIBiogás, 2016b).

O potencial de biogás encontrado para os resíduos agropecuários, considerando ambas as metodologias (CETESB e IPCC) analisadas neste estudo, refere-se a 405.900 m³/dia e 33.375,5 m³/dia respectivamente. Independentemente das incertezas metodológicas já apresentadas nos Capítulos 4 e 5, mostra que é realmente subutilizado no Estado.

Em relação às indústrias de alimentos e bebidas, o estudo do CiBiogás indica que 9 usinas encontram-se em operação, reforma ou em construção, e que o uso final predominante do biogás nestas indústrias é para fins térmicos. Juntas essas usinas possuem capacidade de produzir 102.430 m³/dia de biogás (CIBiogás, 2016b). Observa-se que essa capacidade é alta, além de ser uma tendência que visa redução de custos e uma adequação ambiental das plantas de produção do setor.

O interessante do BiogasMap é a divulgação das plantas que estão acontecendo, de certa maneira demonstra que aos poucos o biogás está fazendo parte do planejamento seja pela sustentabilidade que acarreta a sua utilização ou seja pela redução de custos.

No Estado de São Paulo, algumas iniciativas já estão ocorrendo, por exemplo, o projeto terá capacidade de produzir 5 milhões de m³ de biometano ao ano, volume que será comprado pela GasBrasiliano e injetado em sua rede de distribuição para atender consumidores das cidades de Itápolis e Catanduva (GASBRASILIANO, 2015).

Além das iniciativas já em execução, existe estudos feito pela sSecretaria de Energia no Estado de São Paulo, que mapeou as usinas existentes e identificou a sua produção, consumo e exportação de energia excedente para a rede elétrica. Foram analisadas 166 instalações, que assinaram o Protocolo Agroambiental. Deste total, 34 delas ficam na região nordeste do Estado, a uma distância de 100 km do município de Morro Agudo, estas dez foram selecionadas para um projeto piloto em conjunto com a CPFL, concessionária de energia da região, só considerando o excedente de energia que essas 10 usinas conseguem

produzir na região de Morro Agudo, conseguiríamos aumentar o fornecimento para a rede em 237MW, o que significa o consumo anual de uma cidade como Ribeirão Preto, que possuiu 600 mil habitantes, cabe ressaltar que esse projeto prevê diversas fontes de biomassa, como bagaço de cana, queima da palha e outros insumos, não sendo necessariamente biometano (SÃO PAULO, 2015).

No entanto, para dejetos animais e resíduos agroindustriais, ainda são poucas as iniciativas existentes, além Condomínio Ajuricaba e da Granja Columbari, localizadas no Paraná, há uma iniciativa no Mato Grosso do Sul, que prevê a substituição da lenha por biogás, provenientes da suinocultura, no polo cerâmico no Estado (COOASGO, 2012).

Observa-se que ainda falta o entendimento por parte do empresariado do setor, de que todos envolvidos no setor terão ganhado em projetos que visem a real sustentabilidade, bem como uma política forte e específica que viabilize os tipos de projetos propostos.

Tal informação demonstra que falta ser adotadas estratégias para efetivação, parte por ausências de políticas e instrumentos econômicos para que a biomassa tenha atrativa e se torne competitiva com outras fontes renováveis. Para isso é necessário que existam leilões de compra de energia regionais e por fonte, não apenas divididas como renováveis.

O intuito do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica-PROINFA foi promover a diversificação da Matriz Energética Brasileira, buscando alternativas para aumentar a segurança no abastecimento de energia elétrica, além de permitir a valorização das características e potencialidades regionais e locais, cujo resultado foi garantir a venda da energia durante trinta anos.

Na época em que foi instituído o programa, em 2004, a biomassa ficou aquém do esperado, sendo contratados apenas 110,9 MW, grande parte pela ausência de conhecimento do setor sucroenergético. Hoje a realidade é outra, e se teria muito mais usinas de biomassa inseridas no programa para diversificar a matriz.

A criação desse programa foi uma consequência dos apagões vividos em 2002 e do medo constante do desabastecimento energético. Passados mais de 11 anos desde sua criação, o medo constante pelo desabastecimento só não é vivenciado hoje devido a instalação e operação de inúmeras plantas termoeletricas movida a combustíveis fósseis.

Tal processo foi na contramão do que aconteceu com o restante do mundo, que busca limpar a matriz energética, como acontece na Comunidade Europeia, que cada vez mais busca soluções para essa questão, com investimentos em pesquisa e inserção de projetos, seja para a

geração de energia térmica, elétrica e até para o uso do biometano como substituto do gás natural veicular.

O Brasil ainda tem muito caminho a ser percorrido, para se igualar a Comunidade Europeia e aos países desenvolvidos, necessitando enxergar o biogás, sim, como opção energética sustentável, renovável e de baixa emissão de carbono.

Dada a importância da atividade agropecuária para a segurança alimentar e energética, a geração de empregos; a economia e a conservação dos recursos hídricos e da biodiversidade; a preparação deste setor para uma Economia de Baixo Carbono e a adaptação para as mudanças climáticas são fundamentais.

A matriz energética do Estado de São Paulo, poderia ter cerca de 284.931,81 MWh/ano proveniente do biogás e produção de 20.251,95 m³/h, considerando a metodologia da CETESB (2006). Já pelo IPCC (2006) seriam inseridos cerca de 206.817, 94 MWh/ano. Para o biometano injetado na rede, seria 14.699,9 m³/h.

Os abatedouros poderiam estar gerando cerca de 54.123,15 MWh/ano (CETESB, 2006) e 187.840,57 MWh/ano (IPCC, 2006), que além da redução dos custos, poderia estar fortalecendo a geração distribuída.

Analisando o que é realmente gerado no Estado com o que está mapeado no BiogasMap, demonstra que temos muito que evoluir e incentivar o biogás na matriz energética paulista.

Este estudo poderá servir de subsídio no que se remetem as necessidades do setor, para alcançar a sustentabilidade e alavancar a utilização do biogás.

Há necessidade de uma metodologia baseada em modelagem, na qual considera as diversas realidades do país, como sistema de produção, climatologia, meteorologia, entre outros que podem afetar a produção de biogás.

Além disso, o Brasil é carente de informações a respeito da co-digestão de resíduos agropecuários para a geração de biogás, e seus impactos técnicos, ambientais e econômicos, como já está sendo realizado por países que visem redução de GEE a partir da utilização do biogás.

Referências

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Disponível em: www.abiec.com.br. Disponível em <http://www.abiec.com.br/download/relatorio-anual-2015.pdf>. Acesso em Janeiro de 2016.

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. Pecuária. Disponível em: http://www.abiec.com.br/3_pecuaria.asp. Acesso em Maio de 2016.

AMARAL, L.A. Rossi, O. D. Nader, A. Souza, M. C. I. Isa, H. Água Utilizada Em Suinocultura Como Fator De Risco À Saúde Humana E Animal. ARS VETERINARIA, Jaboticabal, SP, Vol. 21, nº 1, 041-046, 2005.

ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em agosto de 2015.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Nota Técnica nº: 157/2014/SBQ/RJ / Processo nº: 48610.005948/2013-22. Rio de Janeiro, 2014.

ANP- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução ANP Nº 8, DE 30.1.2015. Disponível em: [http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp%208%20-%202015.xml?f=templates\\$fn=document-frame.htm\\$3.0\\$g=\\$x](http://nxt.anp.gov.br/NXT/gateway.dll/leg/resolucoes_anp/2015/janeiro/ranp%208%20-%202015.xml?f=templates$fn=document-frame.htm$3.0$g=$x) . Acesso em Setembro de 2015.

ANTONELLI, J. Gestão de Resíduos de Suinocultura no município de Missal. Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista na Pós Graduação em Gestão Ambiental em Municípios - Polo UAB do Município de Foz do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Medianeira. 2014.

AUTOMOTIVEBUSINESS. **Scania avança com ônibus movido a biometano no Brasil.** 2015. Disponível em : <http://www.automotivebusiness.com.br/noticia/21381/scania-avanca-com-onibus-movido-a-biometano-no-brasil>. Acesso em Setembro, 2015.

AVILA, V. S. de; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. de. Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante. Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 1992. 38p. (EMBRAPA-CNPSA. Circular Técnica, 16).

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental. Unoesc & Ciência – ACSA, Joaçaba, v. 2, n. 1, p. 87-96,

jan./jun. 2011. Disponível em http://editora.unoesc.edu.br/index.php/acsa/article/view/864/pdf_154. Acesso em janeiro de 2015.

BARBOSA, F.A.; OLIVEIRA, V. T. DE; BICALHO, F.L.; LOPES, L.B., FLORENCE, E. DE A. S., MANDARINO, R.A. **Indicadores produtivos e econômicos na pecuária bovina de corte**. 2014. Disponível em: <http://www.beefworld.com.br/noticia/indicadores-produtivos-e-economicos-na-pecuaria-bovina-de-corte>. Acesso em Janeiro de 2016

BARIONI, L. G.; LIMA, M. A. DE; ZEN, S.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; FERREIRA, A. C. Abaseline projection of methane emissions by the Brazilian beef sector: preliminary results. In: GREENHOUSE GASES AND ANIMAL AGRICULTURE CONFERENCE, 2007, Christchurch, New Zealand. Proceedings... Christchurch, 200.

BARTHOLOMEU, D. B. et al. O mercado de carbono e a atividade suinícola. Revista Agroanalysis. V.27, n.2, 2007. Disponível em: http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Artigo_agroanalysis.pdf. Acesso em Maio de 2016.

BEEFPOINT. **Pecuária e cana-de-açúcar**. Disponível em: <http://www.beefpoint.com.br/cadeia-produtiva/espaco-aberto/pecuaria-e-cana-de-acucar-36574/>. Acesso Janeiro de 2016. 2007

BIG/ANEEL. Banco de Informação em Geração. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: Setembro, 2015.

BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. Agroenergia da Biomassa Residual: Perspectivas Energéticas, Socioeconômicas e Ambientais. 2.ed.. Foz do Iguaçu/Brasília, 2009.

BORSCHIVER, S.; DA SILVA, A.L.R. Mapeamento tecnológico para purificação do Biogás e seu aproveitamento: Panorama Mundial e Iniciativas Nacionais. In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Florianópolis, Santa Catarina, 2014.

CAMARGO, A.M.M.P. Substituição regional entre as principais atividades agrícolas no Estado de São Paulo. 1983, 236p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz– Departamento de Economia e Sociologia Rural. Piracicaba

CASSINI, S. T.; COELHO, S. T.; GARCILASSO, V. P. Biogás - Biocombustíveis ANP. Capítulo 5 in Biocombustíveis no Brasil: Fundamentos, Aplicações e Perspectivas - PRH-ANP/ Carlos Augusto G. Perlingeiro (Editor). 1 ed. - Rio de Janeiro: Synergia; Acta, 2014.

Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás CIBiogás. Condomínio Ajuricaba. Disponível em: <https://cibiogas.org/Ajuricaba>. Acesso em Outubro de 2015.

_CIBiogás. Granja São Pedro Colombari. Disponível em <https://cibiogas.org/colombari>. Acesso Janeiro de 2016.

_CIBiogás. BiogasMap. Disponível em <https://cibiogas.org/biogasmap>. Acesso Janeiro de 2016 b.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Atlas de Bioenergia do Brasil. Projeto Fortalecimento Institucional do CENBIO, Convênio 721606/2009 – MME. São Paulo, 2012. Disponível em <http://cenbio.iee.usp.br/download/atlasbiomassa2012.pdf>

CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Gasi, T. M. T. Caracterização, reaproveitamento e tratamento de resíduos de frigoríficos, abatedouros e graxarias. São Paulo: CETESB, fev. 1993.

_____. Efluentes e Resíduos Animais: Geração de Biogás e uso energético, versão 1.0 / CETESB, Departamento ambiental, Ministério brasileiro de ciência e tecnologia. São Paulo, 2006: SMA: CETESB: MCT. CD-ROM. Manual do usuário v. 1-2.

CHEN, L.; ZHAO, L., REN, C.; WANG, F. The progress and prospects of rural biogas production in China. *Energy Policy* 51 (2012) 58–63.

CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; reatores anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1997. V.5

CIIAGRO- Centro Integrado de informações Agrometeorológicas. Disponível em: <http://www.ciiagro.sp.gov.br/climasp.html>. 2009.

COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G.; MARTINS, O.S.; ABREU, F.C. A conversão da fonte renovável biogás em energia. V CBPE, 2006, Brasília – DF. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Suani_Coelho/publication/228452829_A_converso_da_fonte_renovvel_biogs_em_energia/links/54d4bfdf0cf2970e4e639342.pdf. Acesso janeiro de 2016.

COLDEBELLA, A.; SOUZA, S. N. M; FERRI, P; KOLLING, E. V. Viabilidade da geração de energia elétrica através de um motor gerador utilizando biogás da suinocultura. Informe Gepec. Ano 12, n. 2, p. 44-55, 2008.

COLUNA, N.M.E. Potencial Energético Dos Resíduos Em Diferentes Fases Da Cadeia Produtiva Da Agroindústria De Carne Bovina- Estudo De Caso Da Agroindústria Marfrig Bovinos, Promissão-Sp. Monografia apresentada como exigência para obtenção do Título de Especialista em Energia Renovável, Geração Distribuída e Eficiência Energética, no Programa de Pós-Graduação Lato sensu do Programa de Educação Continuada em Engenharia (PECE), da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012.

COOASGO. Biogás produzido por granjas de suínos pode abastecer polo cerâmico em MS. 2012. Disponível em: <http://www.cooasgo.com.br/noticias/suina/149-biogas-produzido-por-granjas-de-suynos-pode-abastecer-polo-ceramico-em-ms>. Acesso em Janeiro de 2016.

COSTA et al. “Produção de Energia Elétrica a partir de Resíduos Sólidos Urbanos”, Trabalho de Graduação Interdisciplinar/FAAP, São Paulo, 2001.

CROSO, T. Análise do planejamento setorial para o setor de gás natural: o caso do PEMAT 2022, 2015, 136f. Dissertação (Mestrado em Energia)- Programa de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

DAL MAGO, Anigeli. Avaliação de biodigestores com o uso de dejetos de suínos, em Braço do Norte e em Concórdia. 152 p. Biodigestor, Dejetos de Suínos, Biogás, Remoção de matéria orgânica Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Florianópolis – SC – Agosto, 2009.

DIAZ, G. O. Análise de sistemas para o resfriamento de leite em fazendas leiteiras com o uso do biogás gerado em projetos MDL. (Dissertação de Mestrado). Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

DELGADO, N.G. **“Agronegócio e Agricultura Familiar no Brasil: desafios para a transformação democrática do meio rural”**. Novos cadernos NAEA, v.15, n.1. Belém (PA): UFPA, junho de 2012, pp. 85-129.

DORNELLES, F. Análise da Gestão dos Efluentes gerados nos abatedouros de bovinos de São Luiz Gonzaga, 2009, 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2009.

EIA - Energy Information Administration, Office of Oil & Gas, Natural Gas Division, Natural Gas Transportation Information System. **U.S. Natural Gas Pipeline Compressor Stations Illustration**, 2008. Disponível em http://www.eia.gov/pub/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/ngpipeline/compressorMap.html. Acesso em Setembro de 2015.

ENSMINGER M. E.; OLDFIELD, J.E.; HEINEMANN W.W.. Feeds & Nutrition. 2 ed. Clovis, California, The Ensminger Publishing Company, 1990. 1544 p.

EBTP – European Biofuels Technology Platform. Disponível em: <http://www.biofuelstp.eu/biogas.html>. Acesso em Outubro de 2015.

EMBRAPA. Sistemas de Tratamento de dejetos suínos. Disponível em <http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/09.html>. Acesso Janeiro de 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA- EPE. Balanço Energético Nacional 2015: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2015. Brazilian Energy Balance 2015 Year 2014 / Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2015. 292 p.: 182 ill.: 23 cm

FERREIRA, D.F.; ZANINE, A.M. Importância da pastagem cultivada na produção da pecuária de corte brasileira. REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504 2007 Volumen VIII Número 3. Disponível em: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030307/030702.pdf>.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS- FGV. Centro de Estudos em Sustentabilidade da EAESP. Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de gases do efeito estufa/ São Paulo: FGV, 2009. Disponível em: http://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/28/2014/05/cartilha_ghg_online.pdf. Acesso em Janeiro de 2016.

FORNAZIER, Armando; VIEIRA FILHO, José Eustáquio Ribeiro. Heterogeneidade estrutural na produção agropecuária: Uma comparação da produtividade total dos fatores no Brasil e nos Estados Unidos, Texto para Discussão, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), No. 1819, 2013.

GALBIATTI, João A.; CAMELO, Anaira D.; SILVA, Flavia G.; GERARDI, Eliana A. B.; CHICONATO Denise A. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 14, no 4, Campina Grande, abril de 2010.

GASBRASILIANO. PROJETO DE R\$ 16 MILHÕES PREVÊ PRODUÇÃO E COMERCIALIZAÇÃO DE BIOMETANO. Disponível em: <http://www.gasbrasiliiano.com.br/noticias/saiu-na-midia/projeto-de-r-16-milhoes-preve-producao-e-comercializacao-de-biometano/>. Acesso em Janeiro de 2016.

GASQUES, J. G.; BASTOS, E.T.; VALDES, C.; BACCHI, M. R. P. Produtividade da agricultura - Resultados para o Brasil e estados selecionados. Revista Política Agrícola. Ano XXIII – Nº 3 – Jul./Ago./Set. 2014. 12p.

GIZ. Guia Prático de Biogás: Geração e Utilização. 2014. Disponível em: [http://web-resol.org/cartilhas/giz - guia pratico do biogas final.pdf](http://web-resol.org/cartilhas/giz_-_guia_pratico_do_biogas_final.pdf). Acesso em Janeiro de 2016.

GOMES, E. E. B; COBAS, V. R. M.; NASCIMENTO, M. A. R.; LORA, E. E. S.; NETO, L. J. M. Aspectos econômicos e ambientais da aplicação de microturbinas a gás natural na geração distribuída. (Artigo). Escola Federal de Engenharia de Itajubá (EFEI). Itajubá, 2001.

GONÇALVES, R. G.; PALMEIRA, E. M. Suinocultura Brasileira. Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista académica de economía. Nº 71, diciembre 2006.

HIRANI, E. W.; MAMANI, L. A. G. Algoritmos Evolucionários para Otimização Multi-objetivo no Projeto de Sistemas Térmicos, 2007. Data de acesso: Dezembro de 2016. Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~gb/pg-ic/multiGA/DAS%206652%20-%20Apresenta%E7%E3o.ppt#256,1,Slide1>.

IBGE. Pesquisa Municipal Municipal. SIDRA. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2&z=t&o=24&u1=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1&u2=31>. Acesso: Outubro, 2015.

IGREJA, A.C.M.; MARTINS, S.S.; ROCHA, M.B.; BLISKA, F.M.M; PINATTI, E.; TIRADO, G. **Competição cana x pecuária: apesar da pressão, cadeia da carne de corte resiste.** 2008. Artigo em Hypertexto. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2008_2/CanaPecuaria/index.htm. Acesso em: 19/1/2016

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA- IEA. Análise de Mercado de Proteínas Animais: suinocultura no Estado de São Paulo em 2014. Análises e Indicadores do Agronegócio. v. 9, n. 6, junho 2014. Disponível em: Acesso em Janeiro de 2016.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA- IEA. Efetivo de Bovinos, Suínos, Frango de Corte e Galinhas de Postura no Estado de São Paulo, 2005 a 2014. Análises e Indicadores do Agronegócio. V.10, n.4, abril de 2015. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpica/AIA/AIA-21-2015.pdf>. Acesso em Outubro de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA. Bio-energy in Family Farmin: a New sustainable perspective for the rural sector in Brasil. In: Biogas in society. A case from IEABioenergy task 37. “ Energy from biogas”. September, 2013. Disponível em: <https://cibiogas.org/sites/default/files/BIO-ENERGY%20IN%20FAMILY%20FARMING.pdf>. Acesso em Setembro de 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY- IEA. Country Report Summary 2014. IEABioenergy task 37. Disponível em: <file:///C:/Users/nmecoluna/Downloads/IEA%20Bioenergy%20Task%2037%20Country%20Report%20Summary%202014.pdf>. Acesso em Janeiro: 2016

IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC, Kanagawa, Japan.

IPCC. Climate Change 2013: *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. STOCKER, T. F., D. QIN, G. K. PLATTNER, M. TIGNOR, S. K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX, P. M. MIDGLEY (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

ITAIPU. Geração. Disponível em: <https://www.itaipu.gov.br/energia/geracao>. Acesso em Janeiro de 2016.

JÄKEL, K.: Managementunterlage "Landwirtschaftliche Biogaserzeugung und -verwertung", Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 1998 / 2002

JANUS & PERGHER. Ônibus movido a biometano é testado na Itaipu, 2014. Disponível em <http://januspergher.com.br/dicas/onibus-movido-a-biometano-e-testado-pela-scania/>. Acesso em Setembro, 2015.

KONZEN, E.A. Aproveitamento de dejetos líquidos de suínos para fertirrigação e fertilização em grandes culturas. Circular Técnica 32. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/circul32aproveitamentoID-K9Ds6s6XDD.pdf>. Acesso em Janeiro de 2016.

KUNZ, A. Transformações da Produção Animal no Brasil e suas Consequências Ambientais. Anais do I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais - Florianópolis – SC, 11 a 13 de Março de 2009.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P.A.. TECNOLOGIAS DE MANEJO E TRATAMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS ESTUDADAS NO BRASIL. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P.A.; HIGARASHI, M. M.; SANGOI, V. Recomendações técnicas para uso de esterqueiras para a armazenagem de dejetos de suínos. Comunicado Técnico, Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, n. 361, 1-4, 2004.

JANTALIA, C. P.; TERRÉ, R. M.; MACEDO, R. O.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de Brachiaria. In: ALVES, B. J. R. et al. (Ed.). Manejo de sistemas agrícolas: impactos no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa. Porto Alegre: Genesis, 2006. p. 157-170.

LIMA, H. Q. Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

LUCAS JR, J.; SANTOS, T.M.B. APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA AVÍCOLA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS. Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, 2000. Concórdia, SC.

LUCAS JR, J..GERAÇÃO DE ENERGIA NO MEIO RURAL BIODIGESTORES. Palestra realizada no X CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO MEIO RURAL - AGRENER IEE/USP, 2015. Disponível em: <http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/JORGEDELUCASJUNIOR.pdf>. Acesso em Janeiro de 2015.

MACEDO, M. C. M.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; ZATORRE, N. P.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. Impact of pastures, cropping and ICL systems on soil carbon stocks in the Brazilian Cerrados. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 2, 2012, Porto Alegre. Proceedings... Porto Alegre: INRA; UFPR; UFRGS; USDA, 2012. p. 1-3.

MACHADO, F.S.; PEREIRA, L. G. R.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; LOPES, F. C. F.; CHAVES, A. V.; CAMPOS, M. M.; MORENZ, M. J. F. Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. Juiz de Fora : Embrapa Gado de Leite, 2011. 92 p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 147).

MACHADO, L. L. NETTO. Aspectos técnicos relacionados à geração de energia elétrica a partir do lodo de esgoto. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2011. 107f.: il.; 30 cm.

MALDANER, T.L. LEVANTAMENTO DAS ALTERNATIVAS DE MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS GERADOS PELOS EFLUENTES DE ABATEDOUROS E FRIGORÍFICOS. Trabalho de monografia do tipo Revisão Bibliográfica do curso de Pós-graduação “Lato Sensu” em Higiene e Inspeção de Produtos de Origem Animal apresentado à UCB, como requisito parcial para obtenção de título de Especialista em Higiene e Inspeção de

Alimentos de Origem Animal. Brasília, 2008.

MARIANI, L.; CAVALIERO, C.K.N.; BLEY JR, C.J.; GOMES, A.C.A.; MITO, J.Y.L. Políticas Públicas e Privadas de Incentivo ao uso do Biogás na Matriz Energética Brasileira. In: IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2014, Florianópolis-SC. Anais do IX CBPE - 2014 - Florianópolis, 2014.

MEDEIROS NETO, José Bernardo de. Revolução na Pecuária. Porto Alegre: Sulina, 1990. 185p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO- MAPA. *Plano Nacional da Agroenergia 2006-2011*. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas, 2006. 110 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO- Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. Brasília: MAPA/MDA, 2011.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA (2013). Plano ABC. Disponível em:< <http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimentosustentavel/plano-abc>. Acesso em Dezembro de 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO -MAPA (2014). <http://www.agricultura.gov.br/comunicacao/noticias/2014/12/produto-interno-bruto-da-agropecuaria-deve-ser-de-rs-1-trilhao>.

MCIDADES, Saneamento. Probiógas. Disponível:<www.cidades.gov.br> Acesso:01/04/14.

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação, 2013. Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil. Secretaria de Políticas e Programas de Pesquisa e Desenvolvimento – SEPED. Coordenação Geral de Mudanças Globais do Clima – CGMC. Brasília, 2013. Disponível em <http://gvces.com.br/arquivos/177/EstimativasClima.pdf>. Acesso em abril de 2014.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ (MP-PR). Unidades de Triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos. Apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos- 2^a Edição. Novembro de 2013. Curitiba, Paraná. http://www.meioambiente.mppr.mp.br/arquivos/File/Apostila_compostagem_Final_Pos_Print.pdf. Acesso em Janeiro de 2016.

MELLO, A. J. R. A dinâmica inovativa na indústria de frangos na década de 90. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MOLLER, H. B.; SOMMER, S. G.; AHRING, B. K. Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass Bioenergy*, Aberdeen, v.26, n.3, p.485-495, 2004.

MOTTA, F.S. Produza sua energia: biodigestores anaeróbios. Recife: Editora Recife Gráfica, 1986.

NUNES, M. L. A. Avaliação de procedimentos operacionais na compostagem de dejetos de suínos. 2003. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.2, abr. 2011.

ORRICO JUNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A; LUCAS JUNIOR, J. de. Compostagem de Resíduos da Produção Avícola: Cama de Frangos e Carcaças de Aves. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola*, v.30., n.3 p.538-545, 2010.

OVIEDO-RONDON, E.O. Tecnologias para mitigar o impacto ambiental da produção de frangos de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.37, n.spe, 2008.

PACHECO, J. W. **Guia técnico ambiental de abate (bovino e suíno)**. São Paulo : CETESB (Série P + L), 2008.

PAIXÃO, M.A.S.; BACHA, C.J.C. A agropecuária brasileira e a sua inserção na Economia Verde: uma análise do Plano e do Programa ABC. *Revista Pesquisa & Debate*, SP, volume 26, número 1(47), pp. 75-98, jan-març, 2015.

PASIAN, I.M.; GAMEIRO, A.H. Mercado Para A Criação De Poedeiras Em Sistemas Do Tipo Orgânico, Caipira E Convencional. Apresentação oral, do XLV Congresso da SOBER, Londrina-PR, 2007. Disponível em : <http://www.sober.org.br/palestra/6/857.pdf>. Acesso em Janeiro de 2016

PÉCORA, Vanessa. Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP – Estudo de Caso. 2006. 152 p. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE

PEIXOTO, A. M.; PENATI, M. A. Instalações e equipamentos para o confinamento do gado de corte. In: Confinamento de Bovinos de Corte. V. 1, p. 45-84, Piracicaba, 2000.

PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. O.; KUNZ, A. Sistema de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83 p.

PHILIPPI, A. J.; ROMÉRO, M. A.; BRUNA, G. C., (Ed.) Curso de Gestão Ambiental. 1. ed. Barueri: Manole, 2004. 1045p.

PINOTTI, R. N.; PAULILLO, L. F. O. A estruturação da rede de empresas processadoras de aves no Estado de Santa Catarina: governança contratual e dependência de recursos. Gestão & Produção, v. 13, n. 1, 2006.

POVEDA, M. M. R. Sustentabilidade da Biodigestão versus Combustão para o Tratamento da Vinhaça. Monografia apresentada como requisito para conclusão do Curso de Especialização em Gerenciamento Ambiental da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/USP. Piracicaba / SP, 2012.

RIO DE JANEIRO. **Potencial de biogás e biometano do país é discutido às vésperas da regulamentação da ANP. 2014.** Disponível em: <http://www.riocapitaldaenergia.rj.gov.br/site/conteudo/Realizado.aspx?C=l7KKqfFsiGo%3D>. Acesso em Setembro, 2015.

SAGULA, A.L. Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-digestão com caldo de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista- Faculdade de Ciências Agrônômicas, 56f. Botucatu, 2012.

SAMPAIO, A.O. Biogás a partir de Lodo de Esgotos. Apresentação realizada na 2ª Conferência de Biogás e Bioeletricidade. São Paulo, abril de 2014.

SANTOS, M.C.; BELIK, W.; DE ZEN, S.; ALMEIDA, L.H. A rentabilidade da pecuária de corte no Brasil. Revista Segurança Alimentar e Nutricional, Campinas, 21(2):505-517, 2014.

SANTOS, T. M. B.; LUCAS JUNIOR, J de. Balanço energético em galpão de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.24, n.1, 2004.

SÃO PAULO. Censo Mapeia gado confinado. 2010. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia.php?id=210631&c=551&q=Censo+mapeia+gado+confinado>. Acesso em Outubro, 2015.

SÃO PAULO. Anuário Estatístico da Indústria de Petróleo e Gás Natural de São Paulo:2013/Secretaria do Estado de São Paulo. São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.energia.sp.gov.br/a2sitebox/arquivos/documentos/614.pdf>. Acesso em: Setembro, 2015.

SÃO PAULO. **SP lança programa que incentiva geração de energia por biomassa.** 2015. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/lenoticia2.php?id=242216>. Acesso em: Janeiro de 2016.

SÃO PAULO. Projeto Desenvolvimento Rural Sustentável. Sistema Ambiental Paulista. Disponível em <http://sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Default.aspx?idPagina=13536>. Acesso em Janeiro de 2016.

SÃO PAULO. PIB. Disponível em <http://www.investe.sp.gov.br/por-que-sao-paulo/economia-diversificada/pib/>. Acesso em Janeiro, 2016.

SCARASSATI, D.; CARVALHO, R.F DE; DELGADO, V. DE L.; CONEGLIAN, C.M.R.; BRITO, N.N. DE ;TONSO, S; DRAGONI SOBRINHO, G.; PELEGRINI, R. Tratamento De Efluentes De Matadouros E Frigoríficos. In: Anais III Forum de Estudos Contábeis 2003. Rio Claro, São Paulo.

SCHENINI, P. C; DA ROSA, A. L. M.; RIBEIRO, M. M. A.. **O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo como Atrativo ao Investimento Ambiental: Estudo de Caso em um Frigorífico de Bovinos.** III SEGeT – Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Resende-RJ, 2006.

SCOT (2012). Carta Conjuntura - A crise da suinocultura brasileira. Disponível em: <https://www.scotconsultoria.com.br/noticias/artigos/25222/carta-conjuntura---a-crise-da-suinocultura-brasileira.htm>.

SEEG. Emissões no Brasil de 1970 a 2014. 2015. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission. Acesso em Janeiro de 2016.

SEVERINO, Mauro Moura; CAMARGO, Ivan Marques de Toledo; OLIVEIRA, Marco Aurélio Gonçalves de. Geração distribuída: discussão conceitual e nova definição. Revista Brasileira de Energia, v.14, n.1, p.47-69, 2008. Disponível em: Acesso em: Janeiro de 2016

SILVA, Cátia Fernanda da. Análise Comparativa Do Sistema Produtivo Da Pecuária Bovina De Corte Nos Estados Do Rio Grande Do Sul, Mato Grosso Do Sul E São Paulo No Período De 2000 A 2008. Apresentação Oral-Evolução E Estrutura Da Agropecuária No Brasil Catia Fernanda Silva; Tiago Wickstrom Alves. Unisinos, São Leopoldo - Rs - Brasil.2009.

SILVA, C.L.; BASSI, N.S.S. Análise dos impactos ambientais no Oeste Catarinense e das tecnologias desenvolvidas pela Embrapa Suínos e Aves. Anais do VI Encontro Nacional da ANPPAS 18 a 21 de setembro de 2012 Belém- Pará – Brasil. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro6/anais/ARQUIVOS/GT7-946-803-20120621110037.pdf>

SILVA, T.C.F. Utilização do Biogás de Estações de Tratamento de Esgoto para Fins energéticos. Dissertação de Mestrado – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo – PIPGE, São Paulo, 2012. 153p.

SILVA, T.C.F.; POSSETTI, G.R.C.; COELHO, S.T. Avaliação do Potencial de Produção de Energia a partir do Biogás Gerado no Tratamento de Esgotos Domésticos. Anais do IX Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Florianópolis, 2014.

STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Rome: FAO, 2006. 375 p.

TAVARES, J.M.R.; OLIVEIRA, P.A.V.; COLDEBELLA, A.; AMORIN, B.N.; BELLI FILHO, O. A produção de dejetos na suinocultura em Santa Catarina: Estudo de campo para a fase de crescimento e terminação. III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindústrias. São Pedro- SP, 2013.

TSUNECHIRO, A. et al. Valor da produção agropecuária por região, Estado de São Paulo, 2013. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 9, n. 4, abr. 2014. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br>>. Acesso em: Janeiro de 2016.

UNFCCC. *Approved Methodologies for Small Scale CDM Project Activities. Type III. AMS-III-H. Methane recovery in wastewater treatment (Version 16.0), in Clean Development Mechanism - CDM Methodology - Booklet (2013)*. Documento digital disponível em: <http://cdm.unfccc.int/methodologies/DB/4ND00PCGC7WR3L0LOJTS6SVZP4NSU>. Acesso em: 11 de maio de 2014.

VANOTTI, M.B.; SZOI, A.A.; HUNT, P.G.; MILLNER, P.D.; HUMENIK, F.J. Development Of Environmentally Superior Treatment System To Replace Anaerobic Swine Lagoons In The USA. *Bioresource technology*. Volume 98, issue 17, December, 2007. PP.3184-3194.

VELLOSO, Licio. Terminação de bovinos em confinamento. s.l.p., s.ed., 1984. mimeo.

VENTURINI, K.S.; SARCINELLI, M.F.; SILVA, L.C. Abate de Suínos. Boletim Técnico - PIE-UFES:01407 - Editado: 31.07.2007. Disponível em: http://www.agais.com/telomc/b01407_abate_suinos.pdf. Acesso em Janeiro de 2016.

VON SPERLING, M. Lodos Ativados. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2012.

ZANETTE, A.L.; Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil. Dissertação (mestrado) – UFRJ/COPPE. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

ZANINE, A.M.;MACEDO JUNIOR, G.;Importância do consumo da fibra para nutrição de ruminantes. Revista Eletrônica de Veterinária. v.7, n.4, p.1-12, 2006a.

WEDEKIN, V. S. P.; BUENO, C.R., AMARAL, A.M. Análise Econômica Do Confinamento De Bovinos. Informações Econômicas, SP, v.24, n.9, set. 1994. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/tec2-0994.pdf>. Acesso em Maio de 2016.

WEREKO-BROBBY, C. Y.; HAGEN, E. B. Biomass conversion and technology. Editora John Wile & Sons. P. 2-224. New York, 2000.

WYLEN; V. Fundamentos da termodinâmica clássica. Tradução da 4ª edição americana, 1995.

ANEXO A - POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA AVICULTURA DE CORTE

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
São Paulo	163.890.322	31.347.158	3.578,44	5.964,07	5.785,15	10.679,85	223,00	81.393,26	4.892.248,42	558,48	930,79	902,87	1.666,77	34,80	12.702,78
Mesorregião São José do Rio Preto	16.115.522	3.082.402	351,87	586,45	568,86	1.050,16	21,93	8.003,49	481.060,36	54,92	91,53	88,78	163,90	3,42	1.249,08
Microrregião Jales	98.225	18.787	2,14	3,57	3,47	6,40	0,13	48,78	2.932,09	0,33	0,56	0,54	1,00	0,02	7,61
Microrregião Fernandópolis	497.817	95.217	10,87	18,12	17,57	32,44	0,68	247,23	14.860,21	1,70	2,83	2,74	5,06	0,11	38,58
Microrregião Votuporanga	2.550.450	487.822	55,69	92,81	90,03	166,20	3,47	1.266,64	76.132,84	8,69	14,48	14,05	25,94	0,54	197,68
Microrregião São José do Rio Preto	5.852.232	1.119.351	127,78	212,97	206,58	381,36	7,96	2.906,41	174.693,49	19,94	33,24	32,24	59,52	1,24	453,59
Microrregião Catanduva	1.007.840	192.769	22,01	36,68	35,58	65,68	1,37	500,53	30.084,78	3,43	5,72	5,55	10,25	0,21	78,12
Microrregião Auriflama	2.755.172	526.979	60,16	100,26	97,25	179,54	3,75	1.368,31	82.243,94	9,39	15,65	15,18	28,02	0,59	213,55
Microrregião Nhandeara	2.317.812	443.326	50,61	84,35	81,82	151,04	3,15	1.151,10	69.188,42	7,90	13,16	12,77	23,57	0,49	179,65
Microrregião Novo Horizonte	1.035.974	198.150	22,62	37,70	36,57	67,51	1,41	514,50	30.924,60	3,53	5,88	5,71	10,54	0,22	80,30
Mesorregião Ribeirão Preto	16.748.234	3.203.420	365,69	609,48	591,19	1.091,39	22,79	8.317,72	499.947,28	57,07	95,12	92,27	170,33	3,56	1.298,12
Microrregião Barretos	296.331	56.679	6,47	10,78	10,46	19,31	0,40	147,17	8.845,70	1,01	1,68	1,6 3	3,01	0,06	22,97
Microrregião São Joaquim da Barra	2.330.620	445.776	50,89	84,81	82,27	151,87	3,17	1.157,46	69.570,75	7,94	13,24	12,84	23,70	0,49	180,64

Continua....

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Microrregião Ituverava	1.670.442	319.504	36,47	60,79	58,96	108,85	2,27	829,60	49.863,94	5,69	9,49	9,20	16,99	0,35	129,47
Microrregião Franca	1.559.850	298.351	34,06	56,76	55,06	101,65	2,12	774,67	46.562,69	5,32	8,86	8,59	15,86	0,33	120,90
Microrregião Jaboticabal	2.054.004	392.868	44,85	74,75	72,50	133,85	2,79	1.020,09	61.313,55	7,00	11,67	11,32	20,89	0,44	159,20
Microrregião Ribeirão Preto	5.583.587	1.067.968	121,91	203,19	197,09	363,85	7,60	2.772,99	166.674,24	19,03	31,71	30,76	56,79	1,19	432,77
Microrregião Batatais	3.253.400	622.275	71,04	118,39	114,84	212,01	4,43	1.615,74	97.116,42	11,09	18,48	17,92	33,09	0,69	252,16
Mesorregião Araçatuba	849.561	162.495	18,55	30,92	29,99	55,36	1,16	421,92	25.360,03	2,89	4,82	4,68	8,64	0,18	65,85
Microrregião Andradina	61.566	11.776	1,34	2,24	2,17	4,01	0,08	30,58	1.837,79	0,21	0,35	0,34	0,63	0,01	4,77
Microrregião Araçatuba	436.530	83.495	9,53	15,89	15,41	28,45	0,59	216,79	13.030,75	1,49	2,48	2,40	4,44	0,09	33,83
Microrregião Birigui	351.465	67.224	7,67	12,79	12,41	22,90	0,48	174,55	10.491,49	1,20	2,00	1,94	3,57	0,07	27,24
Mesorregião Bauru	10.217.650	1.954.321	223,10	371,83	360,67	665,83	13,90	5.074,42	305.004,48	34,82	58,03	56,29	103,91	2,17	791,95
Microrregião Lins	136.198	26.050	2,97	4,96	4,81	8,88	0,19	67,64	4.065,61	0,46	0,77	0,75	1,39	0,03	10,56
Microrregião Bauru	2.218.497	424.330	48,44	80,73	78,31	144,57	3,02	1.101,78	66.223,79	7,56	12,60	12,22	22,56	0,47	171,95
Microrregião Jaú	2.934.087	561.200	64,06	106,77	103,57	191,20	3,99	1.457,16	87.584,69	10,00	16,66	16,16	29,84	0,62	227,41
Microrregião Avaré	1.329.418	254.277	29,03	48,38	46,93	86,63	1,81	660,23	39.684,12	4,53	7,55	7,32	13,52	0,28	103,04

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Microrregião Botucatu	3.599.450	688.464	78,59	130,99	127,06	234,56	4,90	1.787,60	107.446,27	12,27	20,44	19,83	36,61	0,76	278,99
Mesorregião Araraquara	8.210.604	1.570.435	179,27	298,79	289,83	535,04	11,17	4.077,65	245.092,66	27,98	46,63	45,23	83,50	1,74	636,39
Microrregião Araraquara	2.824.604	540.260	61,67	102,79	99,71	184,06	3,84	1.402,79	84.316,54	9,63	16,04	15,56	28,73	0,60	218,93
Microrregião São Carlos	5.386.000	1.030.176	117,60	196,00	190,12	350,98	7,33	2.674,86	160.776,12	18,35	30,59	29,67	54,78	1,14	417,46
Mesorregião Piracicaba	17.444.361	3.336.568	380,89	634,81	615,77	1.136,75	23,74	8.663,44	520.727,19	59,44	99,07	96,10	177,41	3,70	1.352,07
Microrregião Rio Claro	3.142.926	601.145	68,62	114,37	110,94	204,81	4,28	1.560,88	93.818,69	10,71	17,85	17,31	31,96	0,67	243,60
Microrregião Limeira	1.561.275	298.624	34,09	56,82	55,11	101,74	2,12	775,38	46.605,22	5,32	8,87	8,60	15,88	0,33	121,01
Microrregião Piracicaba	12.740.160	2.436.799	278,17	463,62	449,71	830,21	17,33	6.327,18	380.303,28	43,41	72,36	70,19	129,57	2,71	987,46
Mesorregião Campinas	44.003.814	8.416.571	960,80	1.601,33	1.553,29	2.867,49	59,87	21.853,72	1.313.562	149,95	249,91	242,42	447,52	9,34	3.410,64
Microrregião Pirassununga	1.705.330	326.177	37,23	62,06	60,20	111,13	2,32	846,92	50.905,37	5,81	9,69	9,39	17,34	0,36	132,18
Microrregião São João da Boa Vista	14.099.558	2.696.810	307,86	513,09	497,70	918,79	19,18	7.002,30	420.882,33	48,05	80,08	77,67	143,39	2,99	1.092,83
Microrregião Moji Mirim	8.506.714	1.627.072	185,74	309,56	300,28	554,34	11,57	4.224,71	253.931,76		48,31	46,86	86,51	1,81	659,34
Microrregião Campinas	4.822.212	922.340	105,29	175,48	170,22	314,24	6,56	2.394,87	143.946,63	16,43	27,39	26,57	49,04	1,02	373,76
Microrregião Amparo	14.870.000	2.844.172	324,68	541,13	524,89	969,00	20,23	7.384,93	443.880,60	50,67	84,45	81,92	151,23	3,16	1.152,54

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Mesorregião Presidente Prudente	1.554.878	297.400	33,95	56,58	54,89	101,32	2,12	772,20	46.414,27	5,30	8,83	8,57	15,81	0,33	120,52
Microrregião Dracena	86.515	16.548	1,89	3,15	3,05	5,64	0,12	42,97	2.582,54	0,29	0,49	0,48	0,88	0,02	6,71
Microrregião Adamantina	635.024	121.460	13,87	23,11	22,42	41,38	0,86	315,37	18.955,94	2,16	3,61	3,50	6,46	0,13	49,22
Microrregião Presidente Prudente	833.339	159.392	18,20	30,33	29,42	54,30	1,13	413,86	24.875,79	2,84	4,73	4,59	8,48	0,18	64,59
Mesorregião Marília	4.004.930	766.019	87,45	145,74	141,37	260,98	5,45	1.988,98	119.550,15	13,65	22,75	22,06	40,73	0,85	310,41
Microrregião Tupã	3.872.958	740.777	84,56	140,94	136,71	252,38	5,27	1.923,44	115.610,69	13,20	22,00	21,34	39,39	0,82	300,18
Microrregião Marília	131.972	25.242	2,88	4,80	4,66	8,60	0,18	65,54	3.939,46	0,45	0,75	0,73	1,34	0,03	10,23
Mesorregião Assis	921.136	176.185	20,11	33,52	32,52	60,03	1,25	457,47	27.496,60	3,14	5,23	5,07	9,37	0,20	71,40
Microrregião Assis	231.472	44.273	5,05	8,42	8,17	15,08	0,31	114,96	6.909,61	0,79	1,31	1,28	2,35	0,05	17,94
Microrregião Ourinhos	689.664	131.911	15,06	25,10	24,34	44,94	0,94	342,51	20.586,99	2,35	3,92	3,80	7,01	0,15	53,45
Mesorregião Itapetininga	28.449.898	5.441.587	621,19	1.035,31	1.004,25	1.853,93	38,71	14.129,14	849.250,69	96,95	161,58	156,73	289,34	6,04	2.205,09
Microrregião Itapeva	215.303	41.181	4,70	7,84	7,60	14,03	0,29	106,93	6.426,96	0,73	1,22	1,19	2,19	0,05	16,69
Microrregião Itapetininga	7.799.315	1.491.768	170,29	283,82	275,31	508,24	10,61	3.873,39	232.815,37	26,58	44,30	42,97	79,32	1,66	604,51

Continuação	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Microrregião Tatuí	20.276.588	3.878.285	442,73	737,88	715,74	1.321,32	27,59	10.070,01	605.271,28	69,09	115,16	111,70	206,21	4,31	1.571,59
Microrregião Capão Bonito	158.692	30.353	3,46	5,77	5,60	10,34	0,22	78,81	4.737,07	0,54	0,90	0,87	1,61	0,03	12,30
Mesorregião Macro Metropolitana Paulista	14.774.364	2.825.880	322,59	537,65	521,52	962,77	20,10	7.337,43	441.025,79	50,35	83,91	81,39	150,26	Continua....	
Microrregião Piedade	317.825	60.790	6,94	11,57	11,22	20,71	0,43	157,84	9.487,31	1,08	1,81	1,75	3,23	0,07	24,63
Microrregião Sorocaba	9.674.984	1.850.526	211,25	352,08	341,52	630,47	13,16	4.804,91	288.805,49	32,97	54,95	53,30	98,39	2,05	749,89
Microrregião Jundiaí	718.632	137.452	15,69	26,15	25,37	46,83	0,98	356,90	21.451,70	2,45	4,08	3,96	7,31	0,15	55,70
Microrregião Bragança Paulista	4.062.923	777.112	88,71	147,85	143,42	264,76	5,53	2.017,78	121.281,28	13,84	23,07	22,38	41,32	0,86	314,91
Mesorregião Vale do Paraíba Paulista	257.044	49.165	5,61	9,35	9,07	16,75	0,35	127,66	7.672,96	0,88	1,46	1,42	2,61	0,05	19,92
Microrregião Campos do Jordão	8.005	1.531	0,17	0,29	0,28	0,52	0,01	3,98	238,96	0,03	0,05	0,04	0,08	0,00	0,62
Microrregião São José dos Campos	176.043	33.672	3,84	6,41	6,21	11,47	0,24	87,43	5.255,01	0,60	1, 00	0,97	1,79	0,04	13,64
Microrregião Guaratinguetá	16.730	3.200	0,37	0,61	0,59	1,09	0,02	8,31	499,40	0,06	0,10	0,09	0,17	0,00	1,30
Microrregião Bananal	8.070	1.544	0,18	0,29	0,28	0,53	0,01	4,01	240,90	0,03	0,05	0,04	0,08	0,00	0,63

[illegible]

Fonte: Elaboração Própria

Continua....

ANEXO B - POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS PROVENIENTES DA SUINOCULTURA

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
São Paulo	1.404.470	2.348.159	268,05	446,76	433,35	800,01	16,70	6.097,02	2.096.223,88	239,29	362,57	351,69	649,25	13,56	4.948,06
Mesorregião São José do Rio Preto	142.871	238.869	27,27	45,45	44,08	81,38	1,70	620,23	213.240,30	24,34	36,88	35,78	66,05	1,38	503,35
Microrregião Jales	23.568	39.404	4	7	7	13	0	102	35.176	4,02	6,08	5,90	10,89	0,23	83,03
Microrregião Fernandópolis	5.172	8.647	0,99	1,65	1,60	2,95	0,06	22,45	7.719,40	0,88	1,34	1,30	2,39	0,05	18,22
Microrregião Votuporanga	6.130	10.249	1,17	1,95	1,89	3,49	0,07	26,61	9.149,25	1,04	1,58	1,54	2,83	0,06	21,60
Microrregião São José do Rio Preto	45.611	76.258	8,71	14,51	14,07	25,98	0,54	198,00	68.076,12	7,77	11,77	11,42	21,08	0,44	160,69
Microrregião Catanduva	10.838	18.120	2,07	3,45	3,34	6,17	0,13	47,05	16.176,12	1,85	2,80	2,71	5,01	0,10	38,18
Microrregião Auriflama	4.842	8.095	0,92	1,54	1,49	2,76	0,06	21,02	7.226,87	0,82	1,25	1,21	2,24	0,05	17,06
Microrregião Nhandeara	32.640	54.571	6,23	10,38	10,07	18,59	0,39	141,70	48.716,42	5,56	8,43	8,17	15,09	0,32	114,99
Microrregião Novo Horizonte	14.070	23.524	2,69	4,48	4,34	8,01	0,17	61,08	21.000,00	2,40	3,63	3,52	6,50	0,14	49,57

Continuação	Rebanho Efetivo		CETESB (2006)							IPCC (2006)					
				Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/d ia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Mesorregião Ribeirão Preto	88.593	148.120	16,91	28,18	27,34	50,46	1,05	384,60	132.228,36	15,09	22,87	22,18	40,95	0,86	312,12
Microrregião Barretos	15.936	26.644	3,04	5,07	4,92	9,08	0,19	69,18	23.785,07	2,72	4,11	3,99	7,37	0,15	56,14
Microrregião São Joaquim da Barra	16.722	27.958	3,19	5,32	5,16	9,53	0,20	72,59	24.958,21	2,85	4,32	4,19	7,73	0,16	58,91
Microrregião Ituverava	6.921	11.571	1,32	2,20	2,14	3,94	0,08	30,05	10.329,85	1,18	1,79	1,73	3,20	0,07	24,38
Microrregião Franca	15.016	25.106	2,87	4,78	4,63	8,55	0,18	65,19	22.411,94	2,56	3,88	3,76	6,94	0,14	52,90
Microrregião Jaboticabal	19.959	33.370	3,81	6,35	6,16	11,37	0,24	86,65	29.789,55	3,40	5,15	5,00	9,23	0,19	70,32
Microrregião Ribeirão Preto	3.760	6.286	0,72	1,20	1,16	2,14	0,04	16,32	5.611,94	0,64	0,97	0,94	1,74	0,04	13,25
Microrregião Batatais	10.279	17.186	1,96	3,27	3,17	5,86	0,12	44,62	15.341,79	1,75	2,65	2,57	4,75	0,10	36,21
Mesorregião Araçatuba	30.774	51.452	5,87	9,79	9,50	17,53	0,37	133,59	45.931,34	5,24	7,94	7,71	14,23	0,30	108,42
Microrregião Andradina	15.334	25.637	2,93	4,88	4,73	8,73	0,18	66,57	22.886,57	2,61	3,96	3,84	7,09	0,15	54,02
Microrregião Araçatuba	9.675	16.176	1,85	3,08	2,99	5,51	0,12	42,00	14.440,30	1,65	2,50	2,42	4,47	0,09	34,09
Microrregião Birigui	5.765	9.639	1,10	1,83	1,78	3,28	0,07	25,03	8.604,48	0,98	1,49	1,44	2,67	0,06	20,31
Mesorregião Bauru	178.306	298.113	34,03	56,72	55,02	101,57	2,12	774,05	266.128,36	30,38	46,03	44,65	82,43	1,72	628,19
Microrregião Lins	7.101	11.872	1,36	2,26	2,19	4,04	0,08	30,83	10.598,51	1,21	1,83	1,78	3,28	0,07	25,02

Continuação	Rebanho Efetivo		CETESB (2006)						IPCC (2006)						
			Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	
Microrregião Bauru	69.134	115.586	13,19	21,99	21,33	39,38	0,82	300,12	103.185,07	11,78	17,85	17,31	31,96	0,67	243, 56
Microrregião Jaú	21.105	35.286	4,03	6,71	6,51	12,02	0,25	91,62	31.500,00	3,60	5,45	5,28	9,76	0,20	74,35
Microrregião Avaré	75.836	126.792	14,47	24,12	23,40	43,20	0,90	329,22	113.188,06	12,92	19,58	18,99	35,06	0,73	267,18
Microrregião Botucatu	5.130	8.577	0,98	1,63	1,58	2,92	0,06	22,27	7.656,72	0,87	1,32	1,28	2,37	0,05	18,07
Mesorregião Araraquara	36.788	61.507	7,02	11,70	11,35	20,96	0,44	159,70	54.907,46	6,27	9,50	9,21	17,01	0,36	129,61
Microrregião Araraquara	11.118	18.588	2,12	3,54	3,43	6,33	0,13	48,26	16.594,03	1,89	2,87	2,78	5,14	0,11	39,17
Microrregião São Carlos	25.670	42.918	4,90	8,17	7,92	14,62	0,31	111,44	38.313,43	4,37	6,63	6,43	11,87	0,25	90,44
Mesorregião Piracicaba	133.794	223.693	25,54	42,56	41,28	76,21	1,59	580,82	199.692,54	22,80	34,54	33,50	61,85	1,29	471,37
Microrregião Rio Claro	40.360	67.479	7,70	12,84	12,45	22,99	0,48	175,21	60.238,81	6,88	10,42	10,11	18,66	0,39	142,19
Microrregião Limeira	34.499	57.679	6,58	10,97	10,64	19,65	0,41	149,77	51.491,04	5,88	8,91	8,64	15,95	0,33	121,54
Microrregião Piracicaba	58.935	98.534	11,25	18,75	18,18	33,57	0,70	255,85	87.962,69	10,04	15,21	14,76	27,24	0,57	207,63
Mesorregião Campinas	178.700	298.772	34,11	56,84	55,14	101,79	2,13	775,76	266.716,42	30,45	46,13	44,75	82,61	1,72	629,57
Microrregião Pirassununga	6.050	10.115	1,15	1,92	1,87	3,45	0,07	26,26	9.029,85	1,03	1,56	1,51	2,80	0,06	21,31
Microrregião São João da Boa Vista	54.465	91.061	10,40	17,33	16,81	31,02	0,65	236,44	81.291,04	9,28	14,06	13,64	25,18	0,53	191,88

Continuação	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Microrregião Moji Mirim	37.125	62.070	7,09	11,81	11,46	21,15	0,44	161,17	55.410,45	6,33	9,58	9,30		0,36	130,79
Microrregião Campinas	46.303	77.415	8,84	14,73	14,29	26,37	0,55	201,01	69.108,96	7,89	11,95	11,59	21,40	0,45	163,13
Microrregião Amparo	34.757	58.111	6,63	11,06	10,72	19,80	0,41	150,89	51.876,12	5,92	8,97	8,70	16,07	0,34	122,45
Mesorregião Presidente Prudente	54.594	91.277	10,42	17,37	16,85	31,10	0,65	237,00	81.483,58	9,30	14,09	13,67	25,24	0,53	192,34
Microrregião Dracena	14.215	23.766	2,71	4,52	4,39	8,10	0,17	61,71	21.216,42	2,42	3,67	3,56	6,57	0,14	50,08
Microrregião Adamantina	5.879	9.829	1,12	1,87	1,81	3,35	0,07	25,52	8.774,63	1,00	1,52	1,47	2,72	0,06	20,71
Microrregião Presidente Prudente	34.500	57.681	6,58	10,97	10,65	19,65	0,41	149,77	51.492,54	5,88	8,91	8,64	15,95	0,33	121,55
Mesorregião Marília	7.900	13.208	1,51	2,51	2,44	4,50	0,09	34,30	11.791,04	1,35	2,04	1,98	3,65	0,08	27,83
Microrregião Tupã	3.585	5.994	0,68	1,14	1,11	2,04	0,04	15,56	5.350,75	0,61	0,93	0,90	1,66	3.585	5.994
Microrregião Marília	4.315	7.214	0,82	1,37	1,33	2,46	0,05	18,73	6.440,30	0,74	1,11	1,08	1,99	4.315	7.214
Mesorregião Assis	122.406	204.653	23,36	38,94	37,77	69,72	1,46	531,38	182.695,52	20,86	31,60	30,65	56,59	122.406	204.653
Microrregião Assis	26.851	44.893	5,12	8,54	8,28	15,29	0,32	116,56	40.076,12	4,57	6,93	6,72	12,41	26.851	44.893
Microrregião Ourinhos	95.555	159.760	18,24	30,40	29,48	54,43	1,14	414,82	142.619,40	16,28	24,67	23,93	44,17	95.555	159.760

Continuação	CETESB (2006)							IPCC (2006)							
	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/ dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/d ia)	E _{gerada} (MWh/ano)	
Continuação	140.705	325.347	36,85	44,76	43,42	80,15	1,67	610,82	210.007,46	23,97	36,32	35,23	65,04	140.705	235.247
Microrregião Itapeva	92.220	154.184	17,60	29,33	28,45	52,53	1,10	400,34	137.641,79	15,71	23,81	23,09	42,63	0,89	324,90
Microrregião Itapetininga	6.233	10.421	1,19	1,98	1,92	3,55	0,07	27,06	9.302,99	1,06	1,61	1,56	2,88	0,06	21,96
Microrregião Tatuí	25.492	42.621	4,87	8,11	7,87	14,52	0,30	110,66	38.047,76	4,34	6,58	6,38	11,78	0,25	89,81
Microrregião Capão Bonito	16.760	28.021	3,20	5,33	5,17	9,55	0,20	72,76	25.014,93	2,86	4,33	4,20	7,75	Continua....	
Mesorregião Macro Metropolitana Paulista	234.470	392.015	44,75	74,58	72,35	133,56	2,79	1.017,87	349.955,22	39,95	60,53	58,71	108,39	2,26	826,06
Microrregião Piedade	19.967	33.383	3,81	6,35	6,16	11,37	0,24	86,68	29.801,49	3,40	5,15	5,00	9,23	0,19	70,35
Microrregião Sorocaba	152.617	255.163	29,13	48,55	47,09	86,93	1,82	662,53	227.786,57	26,00	39,40	38,22	70,55	1,47	537,68
Microrregião Jundiaí	5.426	9.072	1,04	1,73	1,67	3,09	0,06	23,56	8.098,51	0,92	1,40	1,36	2,51	0,05	19,12
Microrregião Bragança Paulista	56.460	94.396	10,78	17,96	17,42	32,16	0,67	245,10	84.268,66	9,62	14,58	14,14	26,10	0,54	198,91
Mesorregião Vale do Paraíba Paulista	50.489	84.413	9,64	16,06	15,58	28,76	0,60	219,18	75.356,72	8,60	13,03	12,64	23,34	0,49	177,88
Microrregião Campos do Jordão	2.198	3.675	0,42	0,70	0,68	1,25	0,03	9,54	3.280,60	0,37	0,57	0,55	1,02	0,02	7,74

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Microrregião São José dos Campos	6.633	11.090	1,27	2,11	2,05	3,78	0,08	28,79	9.900,00	1,13	1,71	1,66	3,07	0,06	23,37
Continuação															
Microrregião Guaratinguetá	6.648	11.115	1,27	2,11	2,05	3,79	0,08	28,86	9.922,39	1,13	1,72	1,66	3,07	0,06	23,42
Microrregião Bananal	2.130	3.561	0,41	0,68	0,66	1,21	0,03	9,25	3.179,10	0,36	0,55	0,53	0,98	0,02	7,50
Microrregião Paraibuna/Paraitinga	32.880	54.973	6,28	10,46	10,15	18,73	0,39	142,74	49.074,63	5,60	8,49	8,23	15,20	0,32	115,84
															Continua....
Microrregião Caraguatatuba	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mesorregião Litoral Sul Paulista	3.250	5.434	0,62	1,03	1,00	1,85	0,04	14,11	4.850,75	0,55	0,84	0,81	1,50	0,03	11,45
Microrregião Registro	2.180	3.645	0,42	0,69	0,67	1,24	0,03	9,46	3.253,73	0,37	0,56	0,55	1,01	0,02	7,68
Microrregião Itanhaém	1.070	1.789	0,20	0,34	0,33	0,61	0,01	4,65	1.597,01	0,18	0,28	0,27	0,49	0,01	3,77
Mesorregião Metropolitana de São Paulo	830	1.388	0,16	0,26	0,26	0,47	0,01	3,60	1.238,81	0,14	0,21	0,21	0,38	0,01	2,92
Microrregião Osasco	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Microrregião Franco da Rocha	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Microrregião Guarulhos	365	610	0,07	0,12	0,11	0,21	0,00	1,58	544,78	0,06	0,09	0,09	0,17	0,00	1,29

	Rebanho Efetivo	CETESB (2006)							IPCC (2006)						
		Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)	Q _{metano} (m³/ano)	Q _{metano} (m³/h)	Q _{biogás} (m³/h)	Q _{biometano} (m³/h)	P _{disp} (Kw)	E _{gerada} (Mwh/dia)	E _{gerada} (MWh/ano)
Microrregião Itapecerica da Serra	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Microrregião São Paulo	49	82	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00	0,21	73,13	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,17
Microrregião Mogi das Cruzes	416	696	0,08	0,13	0,13	0,24	0,00	1,81	620,90	0,07	0,11	0,10	0,19	0,00	1,47
Microrregião Santos	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Fonte: Elaboração Própria