

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEANDRO GASPARELLO DE OLIVEIRA

**COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A
PARTIR DA COMBINAÇÃO DE SUBSTRATOS DA SUINOCULTURA
COM RESÍDUOS DE BATATA DA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS:
OPORTUNIDADES E DISCUSSÕES**

DISSERTAÇÃO

PONTA GROSSA

2018

LEANDRO GASPARELLO DE OLIVEIRA

**COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A
PARTIR DA COMBINAÇÃO DE SUBSTRATOS DA SUINOCULTURA
COM RESÍDUOS DE BATATA DA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS:
OPORTUNIDADES E DISCUSSÕES**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri

PONTA GROSSA

2018

Ficha catalográfica elaborada pelo Departamento de Biblioteca
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa
n.33/18

O48 Oliveira, Leandro Gasparello de

Comparação de alternativas de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos de batata da região dos Campos Gerais: oportunidades e discussões. Leandro Gasparello de Oliveira, 2018.

76 f.; il. 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco

Coorientador: Prof. Dr. Fabio Neves Puglieri

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

1. Biogás. 2. Resíduos como combustível. 3. Suínos. 4. Digestão. 5. Batata. I. Francisco, Antonio Carlos de. II. Puglieri, Fabio Neves. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Título.

CDD 670.42



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Título de dissertação N°321/2018

**COMPARAÇÃO DE ALTERNATIVAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA
COMBINAÇÃO DE SUBSTRATOS DA SUINOCULTURA COM RESÍDUOS DE
BATATA DA REGIÃO DOS CAMPOS GERAIS: OPORTUNIDADES E
DISCUSSÕES**

POR

Leandro Gasparello de Olivera

Esta dissertação foi apresentada às 08h30min de 26 de abril de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em Gestão Industrial, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Thalmo de Paiva Coelho Junior
(IFES)

Prof. Dr. Antonio Carlos de Francisco
(UTFPR) - *Orientador*

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski
(UTFPR)

Visto do Coordenador:

Antonio Carlos de Francisco
Coordenador do PPGEP

A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE ARQUIVADA NA
SECRETARIA ACADÊMICA DA UTFPR - CÂMPUS PONTA GROSSA

“Toda conquista começa com a decisão de tentar”.

(Gail Devers)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais pelo apoio e pelo incentivo.

Ao meu orientador, pelas suas orientações, pela oportunidade de fazer parte do PPGEP e por confiar no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu coorientador, pelo tempo dedicado e pelas suas orientações.

À CAPES pelo apoio financeiro através da bolsa de estudo.

À todos os professores, amigos e parceiros que de alguma forma contribuíram para a construção de ideias e a realização deste estudo.

RESUMO

OLIVEIRA, Leandro Gasparello de. **Comparação de alternativas de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos de batata da região dos Campos Gerais: oportunidades e discussões.** 2018. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

O tratamento dos resíduos agropecuários é um grande desafio para os pesquisadores devido à sua quantidade enorme de resíduos gerado no Brasil e no mundo. Mesmo com o avanço da tecnologia e dos sistemas de gerenciamento, a preocupação com a preservação ambiental está presente neste setor, principalmente no que se refere aos dejetos suínos. Uma das alternativas ambientais adotadas, é a digestão anaeróbia, pois além de oferecer uma destinação aos substratos potencialmente poluidores, também é uma fonte de geração de energia renovável. A presente pesquisa teve por objetivo a identificação de oportunidades de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos da batata na região dos Campos Gerais. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sistemática, onde foram levantados estudos sobre o processo de geração de biogás a partir de dejetos suínos com resíduos advindos da agricultura. Além disso, também a aplicação de duas metodologias baseadas no modelo do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), que apresenta alguns parâmetros que podem ser utilizados como base para cálculo teórico da produção de biogás, sendo esta a primeira de Marques e Silva (2014) e a segunda da CIBiogás (2009). Os resultados da revisão sistemática apresentaram vinte e seis artigos, nos quais foram observados o uso de diversos tipos de substratos, sob diversas condições operacionais, que influenciam na produção de biogás. Para obter a variável que implica nas equações de estimativa teórica de produção de biogás, foram realizados os ensaios dos sólidos por meio do método Gravimétrico da ABNT/NBR 10664 (1989). Os resultados mostraram que a amostra, composta por dejetos suínos e resíduos da batata apresentou melhor concentração de sólidos voláteis, sendo 0,6707 mg/L, o que é mais promissor na geração de biogás. Já para os cálculos da estimativa teórica de geração de biogás, os resultados obtidos foram de 0,27 m³ de biogás produzido por dia, por animal a partir da metodologia de Marques e Silva e 1,0 m³ de biogás gerado por dia, por animal usando a metodologia CIBiogás. Foi possível concluir, a partir dos resultados obtidos neste estudo que o processo de codigestão anaeróbia potencializa a produção de biogás, além de identificar os principais estudos que utilizaram dejetos suínos e resíduos agrícolas realizados nos últimos vinte anos. Foi observado, a partir dos ensaios laboratoriais que a combinação dos dejetos suínos com a batata é recomendada para o processo de codigestão e que o mesmo, contribui com a diminuição dos impactos ambientais, preservando os recursos naturais, incentivando o uso de fontes de energias renováveis.

Palavras-chave: Biogás. Resíduos. Digestão anaeróbia. Dejetos suínos.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Leandro Gasparello de. **Comparison of alternatives of biogas production from the combination of swine substrates with potato residues from the Campos Gerais region: opportunities and discussions.** 2018. 76 p. Dissertation (Master in Production Engineering) - Federal University of Technology - Paraná, Ponta Grossa, 2018.

The treatment of agricultural residues is a great challenge for the recovery of large quantities of waste in Brazil and in the world. Even with the advancement of technology and management systems, the concern with the environmental preservation is present in this sector, especially with regard to pig manure. One of the environmental alternatives adopted is anaerobic digestion, since besides offering a destination to potentially polluting substrates, it is also a source of renewable energy generation. The present research aimed at the identification of biogas production opportunities from the combination of swine substrates with potato residues in the Campos Gerais region. To that end, a systematic bibliographical review was conducted, where studies were conducted on the process of biogas generation from swine manure with residues from agriculture. In addition, with an application of several methodologies in the Intergovernmental Panel on Climate Change, which presents some parameters that can be used as a basis for the calculation of biogas production, being the first one by Marques e Silva (2014) and the second one by CIBiogás (2009). The results of the systematic review presented twenty-six articles, in which the use of different types of substrates was observed under different operating conditions, which influence the production of biogas. To obtain the variable that implies in the theoretical estimation equations of biogas production, the tests of the solids were conducted by means of the Gravimetric method of ABNT / NBR 10664 (1989). The results showed that the sample, composed of swine manure and potato residues presented a better concentration of volatile solids, being 0.6707 mg / L, which is more promising in the biogas generation. For the calculation of the theoretical estimate of biogas generation, the results obtained were 0.27 m³ of biogas produced per day, per animal using the Marques e Silva methodology and 1.0 m³ of biogas generated per day per animal using the CIBiogás methodology. It was possible to conclude from the results obtained in this study that the anaerobic codigestion process potentializes the biogas production, in addition to identifying the main studies that used pig slurries and agricultural residues carried out in the last twenty years. It was observed from laboratory tests that the combination of swine manure and potato is recommended for the codigestion process and that it contributes to the reduction of environmental impacts, preserving the natural resources, encouraging the use of renewable energy sources.

Keywords: Biogas. Waste. Anaerobic digestion. Swine manure.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da construção da dissertação	19
Figura 2 - Modelo para condução da Revisão Bibliográfica Sistemática - RBS <i>Roadmap</i>	21
Figura 3 - Critérios de inclusão de artigos	22
Figura 4 - Procedimento da fase do processamento, RBS <i>Roadmap</i>	23
Figura 5 - Resultados das buscas por palavras-chave para cada conjunto da pesquisa	25
Figura 7 - Procedimentos metodológicos	26
Figura 8 - Mufla para aquecimento das amostras	31
Figura 9 - Balança analítica.....	32
Figura 10 - Chapa de aquecimento	32
Figura 11 - Estufa de secagem e esterilização.....	33
Figura 12 - Principais problemas decorrentes do manejo inadequado de dejetos suínos.....	38
Figura 13 - Etapas da digestão anaeróbia	43

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Volume de produção (em mil toneladas) e percentual relativo à produção de carne suína por estado no Brasil.....	35
Gráfico 2 - Volume de exportação (em mil toneladas) e percentual relativo à exportação de carne suína por estados no Brasil	36

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos ..	37
Quadro 2 - Parâmetros que influenciam na produção de biogás	46
Quadro 3 - Resultados da Pesquisa Bibliográfica Sistemática.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área plantada, colhida e produção - safra 2016 (em toneladas).....	40
Tabela 2 - Resultados do ensaio dos sólidos	59
Tabela 3 - Dados utilizados para a estimativa teórica de produção de biogás.....	60
Tabela 4 - Geração de biogás por suíno (equação 1)	60
Tabela 5 - Geração de biogás por suíno (equação 2)	60

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

ABCS	Associação Brasileira de Criadores Suínos
AGV	Ácidos Gordos Voláteis
EEA	European Environment Agency
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GEE	Gás de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
PIB	Produto Interno Bruto
MME	Ministério de Minas e Energia
SF	Sólidos fixos
ST	Sólidos totais
SV	Sólidos voláteis
TRH	Tempo de retenção hidráulica

LISTA DE SÍMBOLOS

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
H ₂	Hidrogênio
H ₂ O	Água
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
Kg	Quilograma
N	Nitrogênio
NH ₃	Amônia
N ₂ O	Óxido Nitroso
O ₂	Oxigênio
pH	Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo Geral.....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	20
2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	20
2.2 DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA	20
2.3 ABORDAGEM PARA A ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS	26
2.4 MODELO PROPOSTO POR MARQUES E SILVA (2014).....	27
2.5 MODELO PROPOSTO POR CIBIOGÁS-ER (2009).....	28
2.6 ENSAIO DOS SÓLIDOS VOLÁTEIS (SV), SÓLIDOS FIXOS (SF) E SÓLIDOS TOTAIS (ST)	29
2.7 PROCEDIMENTO.....	30
2.8 AMOSTRAS.....	33
2.9 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	34
3 REFERENCIAL TEÓRICO	35
3.1 A SUINOCULTURA NO BRASIL	35
3.1.1 Características dos Dejetos Suínos	36
3.2 A AGRICULTURA E OS RESÍDUOS NO SUL DO BRASIL	39
3.3 CODIGESTÃO ANAERÓBIA E O BIOGÁS	41
3.3.1 Hidrólise.....	43
3.3.2 Acidogênese	44
3.3.3 Acetogênese.....	44
3.3.4 Metanogênese	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DA AGROPECUÁRIA - ESTADO DA ARTE	50
4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DOS SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS...58	
4.3 RESULTADOS A PARTIR DA ESTIMATIVA TEÓRICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	59
5 CONCLUSÃO	62
5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	63
5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	63
REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a agropecuária é um setor que contribui significativamente para o crescimento econômico do país. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a produção agrícola referente ao ano de 2016, totalizou 184 milhões de toneladas, o que impulsionou o avanço das exportações e do Produto Interno Bruto (PIB).

Conseqüentemente, a preocupação com os potenciais impactos ambientais causados pelos resíduos gerados no setor agropecuário ganhou maior evidência em nível global nas últimas décadas, atraindo a atenção das indústrias e da sociedade contemporânea. Uma das alternativas cabíveis para a minimização dos impactos foi o desenvolvimento de sistemas de geração de energias sustentáveis. Assim, a busca pela utilização de fontes de energias renováveis vem se tornando essencial, com o objetivo de reduzir as emissões de gases poluentes na atmosfera, além da contaminação do solo, do ar e da água (PATOWARY et al., 2016).

Segundo Andrade et al. (2015), o horizonte que se caracteriza é de uma grande mudança na política nacional de energia, pois há uma busca constante pelo uso de fontes de energias alternativas sustentáveis, objetivando-se a aumentar a geração de energia renovável e usufruir o território nacional que dispõe de quase todos os tipos de fontes primárias de geração de energia elétrica.

Algumas alternativas surgiram com o objetivo de tratar os resíduos advindos da agropecuária e transformá-los em biogás e biofertilizante. O primeiro é utilizado como fonte de energia renovável e o segundo como adubo orgânico para aplicação no solo (XING et al., 2014). Neste sentido, o biogás ganha mais espaço na matriz energética brasileira, pois se enquadra na geração e uso de fontes de energias renováveis (BLEY, 2015).

Ainda segundo Bley (2015), as transformações de matérias-primas em produtos acabados podem gerar resíduos com potencial de conversão em energia, decorrentes dos processos de produção.

Diante do exposto, a geração do biogás acontece através do processo de digestão anaeróbia que consiste na decomposição da matéria orgânica através da ação entre bactérias em uma sequência de etapas (BAYR et al., 2012). Este processo também produz um subproduto, conhecido como biofertilizante, que proporciona

saúde e vida ao solo. Segundo Oliver et al. (2008), o biofertilizante apresenta alta qualidade para o uso agrícola como adubo orgânico.

Para Hijazi et al. (2016), os sistemas de produção de biogás na Europa possuem tecnologias avançadas, considerando os dejetos suínos como principais insumos, combinados ainda com resíduos de alimentos.

Vários estudos relacionados com a digestão anaeróbia são encontrados na literatura, como Feldkircher (2015), que desenvolveu uma pesquisa onde foram realizados seis experimentos junto a um laboratório de Biorreatores do Centro Universitário Univates, utilizando reatores de um litro, sendo estes preenchidos com 600 ml de diferentes tipos de substratos, com diversas concentrações, onde se objetivou analisar as características do biogás gerado. Os resultados demonstraram que a maior produção se deu no sexto experimento, onde apresentou 13,2 L de biogás gerado.

Já os autores Zealand et al. (2017), analisaram o rendimento do biometano a partir da palha do arroz, através de ensaios realizados em cinco reatores de 2,5 L. A de palha de arroz foi caracterizada pelos seus sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), teor de umidade, teor de cinzas e um total da relação entre Nitrogênio (N) e Carbono (C). O estudo mostrou que a alimentação menos frequente dos reatores melhora os rendimentos de metano.

Outro estudo realizado por Ahlberg-Eliasson et al. (2017), verificou o rendimento e a qualidade do biogás produzido na Suécia, em algumas instalações produtoras, com o intuito de investigar os fatores que podem permitir um aumento na produção e em conteúdo de nutrientes. A análise mostrou que a adição de co-substratos nos biodigestores resultou no aumento da produção de biogás.

Abouelenien et al. (2014), investigaram a codigestão de estrume de frango com resíduos da mandioca, do coco e do café. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito dos resíduos agrícolas adicionados no processo da digestão anaeróbia. Os resultados mostraram que a mistura de resíduos da mandioca, do coco e a borra de café com o estrume de frango aumentaram em 93% a produção de metano.

A produção de biogás através da codigestão anaeróbia utiliza os biodigestores como conversor e tornou-se uma prática sustentável que permite a utilização de dejetos de animais e resíduos provenientes da agropecuária e da agroindústria. Este processo de produção, além de gerar biogás, biofertilizante e energia, diminui a liberação dos gases de efeito estufa (GEE), reduz a contaminação do solo, do ar e da

água e no caso do biofertilizante, pode ser usado como adubo. Neste âmbito, a utilização dos biodigestores para a produção de biogás tem sido considerada como uma alternativa viável, tornando o respectivo biogás competitivo com outros combustíveis (OLIVEIRA et al., 2011).

Diante desta perspectiva, este trabalho se mostra relevante devido às oportunidades de reutilização dos substratos, transformando-os em energia, contribuindo ainda para o desenvolvimento da matriz energética a partir de fontes de energias renováveis. Este processo de transformação se enquadra tanto no Brasil, quanto na região dos Campos Gerais, pois a quantidade de resíduos gerada é considerável. Segundo Oliveira (1993), um suíno com aproximadamente 100 kg, pode produzir em torno de 7 litros de dejetos líquidos/dia.

A propriedade onde foi realizada a coleta da amostra dos dejetos, possui 1600 suínos, o que significa que esses animais geram em torno de 11.200 litros de dejetos/dia, o que se mostra uma quantidade significativa para a produção de biogás.

Portanto, este estudo tem grande relevância para o desenvolvimento sustentável, pois além de agregar valor e tratar os resíduos da agropecuária, possibilita gerar biogás e biofertilizantes, contribuindo para a redução dos impactos ambientais. Embora existam estudos relevantes que mostram o aumento da produção de biogás através da codigestão de vários substratos, não foi encontrado na literatura, um estudo específico que quantifique o volume de geração do biogás a partir dos dejetos suínos combinados com os resíduos da batata localizados na região dos Campos Gerais.

A escolha destes resíduos para o desenvolvimento desta pesquisa se justifica pelo fato do estado do Paraná ser considerado o segundo maior produtor de carne suína do Brasil, bem como a batata por ser um dos principais plantios da região dos Campos Gerais.

Além do potencial produtivo da cadeia suína, o Paraná também merece destaque no que tange à produção de batatas, pois é o segundo maior produtor do Brasil. De acordo com os dados do IBGE (2016), o Paraná produziu 752,8 mil toneladas, o que representa 20% da produção brasileira de batata, ficando atrás somente do estado de Minas Gerais. Com isso, naturalmente gera-se uma grande quantidade de resíduos provenientes da atividade, que devem ser destinados e tratados corretamente.

Neste contexto, definiu-se o seguinte problema de pesquisa: Quais as oportunidades de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos agrícolas da região dos Campos Gerais através do processo de codigestão anaeróbia?

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar oportunidades de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos de batata da região dos Campos Gerais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar as características da geração de biogás através do processo de codigestão anaeróbia e estimar a produção teórica de biogás;
- Descrever o panorama da suinocultura e da batata no Brasil e nos Campos Gerais;
- Construir o Estado da Arte da geração de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura e resíduos da agricultura;
- Discutir, a partir do Estado da Arte e dos resultados teóricos obtidos, oportunidades para a região dos Campos Gerais.

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção animal é considerada uma das principais atividades emissoras de GEE, sendo que 9% atribui-se à produção de suínos. Deste respectivo percentual, 16% responsabiliza-se pela geração de metano decorrente do manejo inadequado de dejetos (GERBER et al., 2013). Outro fator relevante que justifica o desenvolvimento desta dissertação é a representatividade da pecuária no Brasil, pois segundo a Associação Brasileira dos Criadores de Suínos (ABCS), a cadeia produtiva da suinocultura brasileira gerou R\$ 62,5 bilhões, o que impactou positivamente no PIB referente ao ano de 2015 (ABCS, 2017).

Segundo o IBGE (2017), o estado do Paraná, onde se delimita esta pesquisa, é o segundo maior produtor de suínos da região sul, representando 21% da produção brasileira de carne suína. Ainda, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2016), divulgou o *ranking* dos maiores produtores carne suína no mundo, sendo a 4ª posição ocupada pelo Brasil.

Os problemas ambientais relacionados com a geração de resíduos provenientes da prática da agropecuária causam impactos negativos em nível global. Os dejetos suínos, quando descartados de forma inadequada, além de liberar mau odor, são capazes de contaminar o solo, a água e o ar, favorecem o surgimento de doenças nos seres humanos e contribuem para a liberação de gases poluentes na atmosfera.

Diante do exposto, insere-se com urgente necessidade, a busca por soluções que possam minimizar tais impactos e intensificar o uso de energias renováveis. Neste aspecto, a aplicação da digestão anaeróbia (DA) através de biodigestores torna-se uma alternativa sustentável, tanto do ponto de vista energético, quanto ambiental (MORAES et al., 2015).

Este processo além de solucionar a questão da destinação dos resíduos, traz vantagens como a diluição de compostos tóxicos, o aumento da carga da matéria orgânica biodegradável, um equilíbrio de nutrientes e o efeito sinérgico de microrganismos (KHALID et al., 2011).

Para o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, a utilização dos biodigestores no setor agropecuário permite não somente a produção do biogás, mas também a geração de energia térmica, elétrica e mecânica. Neste contexto, o processo de geração de biogás, biofertilizantes e energias é visto como uma alternativa sustentável para a atividade agropecuária e, também para a academia (MAPA, 2016).

A geração de energias sustentáveis está ligada diretamente com as grandes áreas da Engenharia de Produção e Sustentabilidade, o que permite o fornecimento de resultados amplamente utilizados nas subáreas da Gestão Ambiental, Gestão de Recursos Naturais e Energéticos e Gestão de Resíduos e Efluentes Industriais.

O Ministério de Minas e Energia (MME, 2017), aponta que as energias renováveis alternativas internas tiveram uma participação de 43% na matriz energética brasileira.

Em síntese, os principais motivos que justificam o desenvolvimento desta dissertação são: Além da originalidade da aplicação desta pesquisa na região dos Campos Gerais, a representatividade da agropecuária no contexto econômico nacional, bem como o reaproveitamento e principalmente a valorização dos resíduos agropecuários oriundos da prática da atividade no Brasil e sua transformação em biogás, energias e biofertilizantes e a contribuição para o desenvolvimento da matriz energética a partir de fontes renováveis, redução da poluição ambiental e dos efeitos negativos para a saúde humana.

Esta pesquisa proporciona uma contribuição para futuros estudos, pois foi realizado uma busca sistemática dos principais artigos publicados nos últimos vinte anos, que tratam do processo de codigestão anaeróbia a partir dos dejetos suínos com resíduos agrícolas e poderá servir como base para outras pesquisas científicas de codigestão anaeróbia, a fim de buscar, auxiliar e promover novos conhecimentos que gerem aprendizagem, melhoria no contexto ambiental e da saúde humana.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro apresenta a contextualização da temática, a problemática da pesquisa, os objetivos e a justificativa do estudo.

O segundo capítulo trata da metodologia que se divide da seguinte forma: Classificação da Pesquisa, Desenvolvimento da Revisão Bibliográfica Sistemática, os resultados das buscas por palavras-chave, além dos modelos propostos para estimar de forma teórica a geração de biogás e a descrição do procedimento dos ensaios de sólidos.

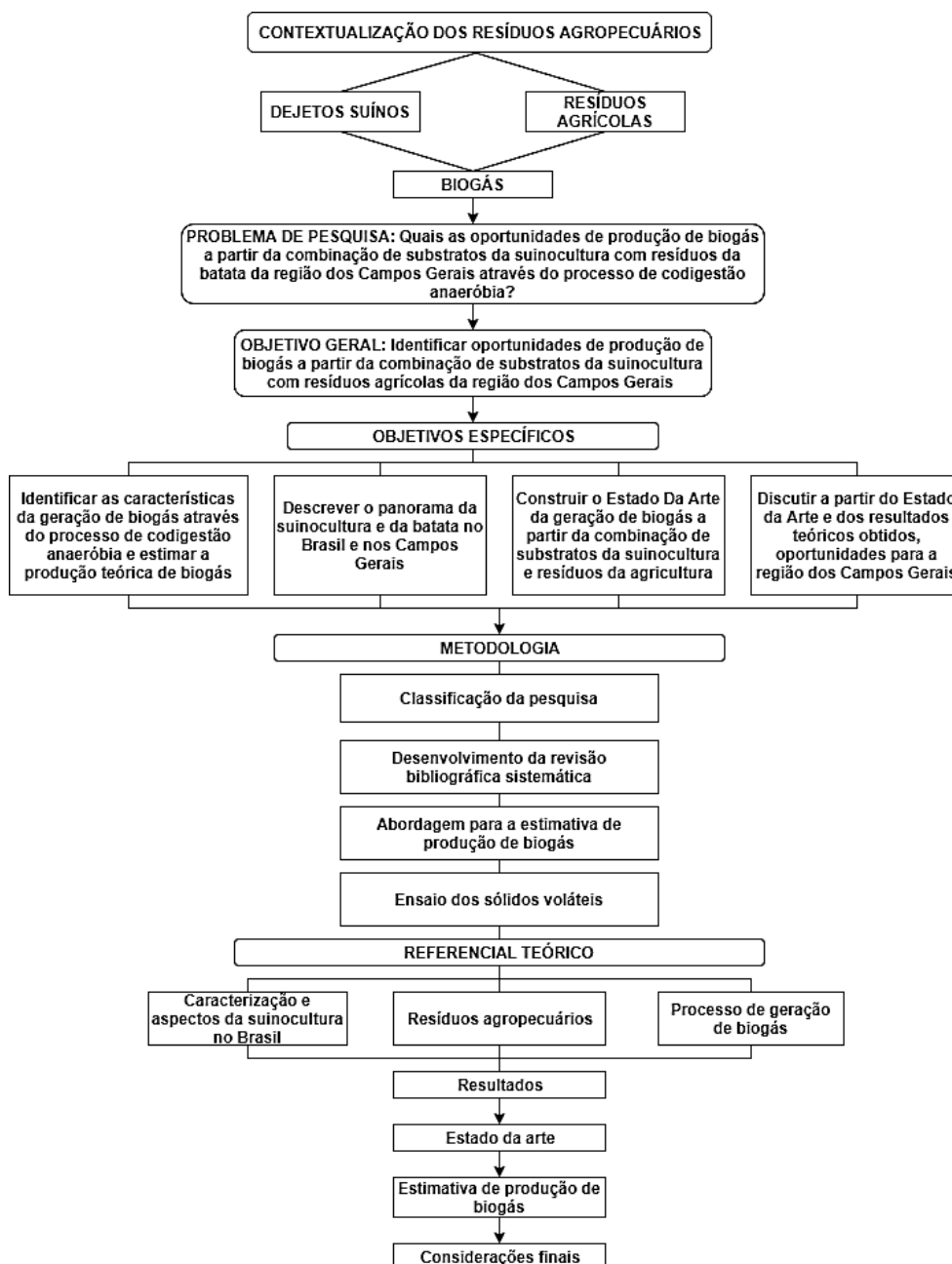
Já o terceiro capítulo explana o referencial teórico e aborda os aspectos da suinocultura no Brasil, suas características, além dos principais resíduos agrícolas gerados no país. Também descreve o processo de codigestão anaeróbia e a geração de biogás.

O quarto capítulo trata dos resultados obtidos nesta pesquisa, bem como o Estado da Arte que traz os principais estudos realizados sobre a geração de biogás a partir dos dejetos suínos e diferentes tipos de substratos advindos da agropecuária, além da estimativa teórica de produção de biogás.

Por fim, o quinto capítulo apresenta as considerações finais bem como as sugestões de trabalhos futuros.

A Figura 1 ilustra um fluxograma dos passos delineados para a construção desta dissertação.

Figura 1 - Fluxograma da construção da dissertação



Fonte: Autoria própria (2018)

A seção a seguir descreve detalhadamente os procedimentos metodológicos adotados para o desenvolvimento desta pesquisa.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, esta seção descreve os procedimentos metodológicos adotados para a obtenção dos respectivos resultados. O capítulo está dividido da seguinte maneira: Classificação da Pesquisa, Desenvolvimento da Revisão Bibliográfica Sistemática e Resultados das buscas por palavras-chave.

2.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O presente estudo, de acordo com as classificações de pesquisa existentes, pode ser especificado da seguinte maneira:

- Quanto à natureza: básica ou fundamental, pois seus resultados contribuem para o desenvolvimento de processos sustentáveis, bem como a geração de energias alternativas ambientalmente corretas.
- Quanto aos objetivos: descritiva, pois após a coleta de dados é realizada uma análise de relações entre os parâmetros que influenciam a geração do biogás;
- Quanto à forma de abordagem do problema: quali-quantitativa, pois os dados das análises físico-químicas, os resultados do processo de geração de biogás, bem como os resultados do estado da arte são apresentados, respectivamente, de forma quantitativa e qualitativa. O fenômeno estudado pode promover novos conhecimentos a fim de melhorar o contexto ambiental, através de possíveis alternativas sustentáveis no gerenciamento de resíduos.
- Quanto aos procedimentos técnicos: experimental, pois caracteriza-se na análise e observância da manipulação dos substratos oriundos da agropecuária na geração do biogás.

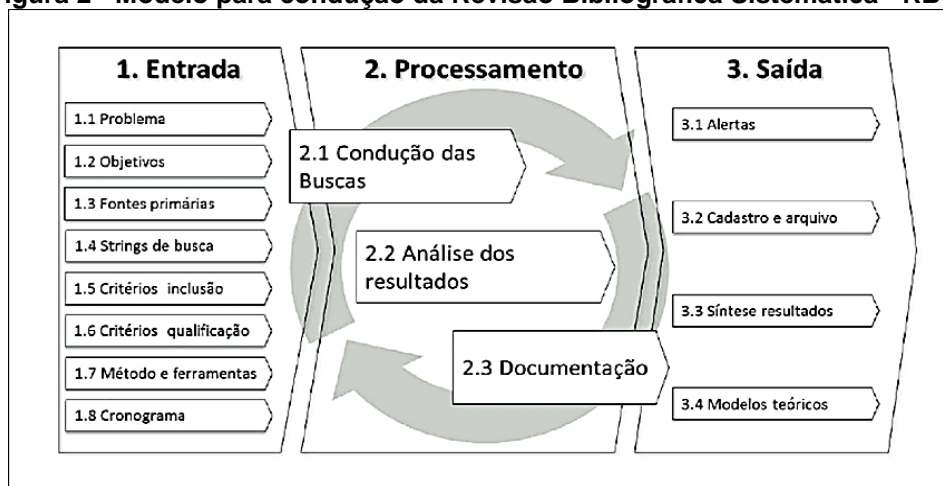
2.2 DESENVOLVIMENTO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA SISTEMÁTICA

Para a construção do referencial teórico, foi realizado uma revisão sistemática por meio de uma pesquisa bibliográfica como procedimento técnico, onde foram levantados estudos direcionados ao processo de geração de biogás a partir de dejetos

suínos com resíduos advindos da agricultura. Uma revisão sistemática exige critérios de seleção bem definidos, de modo a garantir a qualidade dos estudos sintetizados, que possa ser reproduzida por outrem (THOMAS et al., 2012). A revisão bibliográfica sistemática (RBS) é um instrumento utilizado para mapear trabalhos específicos, permitindo que o pesquisador possa elaborar uma síntese do conhecimento existente sobre determinado assunto (CONFORTO et al., 2011).

Deste modo, poderá ser observado os estudos relevantes sobre a codigestão anaeróbia a partir de dejetos suínos com resíduos agrícolas, com o intuito de avançar nas pesquisas já existentes, buscando novas alternativas de reaproveitamento dos resíduos e produção de biogás. A Figura 2 apresenta o modelo para a condução da revisão bibliográfica sistemática e suas respectivas etapas.

Figura 2 - Modelo para condução da Revisão Bibliográfica Sistemática - RBS Roadmap



Fonte: Conforto et al. (2011)

Segundo Conforto et al. (2011) o modelo para a condução da RBS estabelece algumas etapas para a realização da pesquisa, sendo a fase 1 composta por oito etapas: a etapa 1.1 que corresponde a definição do problema, sendo o ponto de partida da RBS, apresentado na introdução desta pesquisa. A etapa 1.2 da RBS refere-se aos objetivos, que devem estar alinhados e mostrados com clareza, apontados nas seções 1.1.1 e 1.1.2 deste trabalho. Já a etapa 1.3 trata da constituição de artigos, periódicos ou base de dados, com o objetivo de identificar os principais autores e trabalhos relevantes a serem pesquisados.

Os *Strings* de busca que pode ser observado na etapa 1.4, permitem buscar artigos através de operadores lógicos, aplicados em buscas avançadas ou booleanas. No caso deste trabalho, foi realizado uma leitura prévia de alguns artigos e foi definido

as palavras-chave que mais apareceram, para a realização das buscas. Com o propósito de abordar a abrangência dos estudos em sua totalidade, buscando alinhar com o objetivo desta pesquisa que é identificar oportunidades de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos da batata da região dos Campos Gerais, foram estabelecidos quatro conjuntos, com uma combinação de duas palavras-chave para a organização do respectivo portfólio bibliográfico.

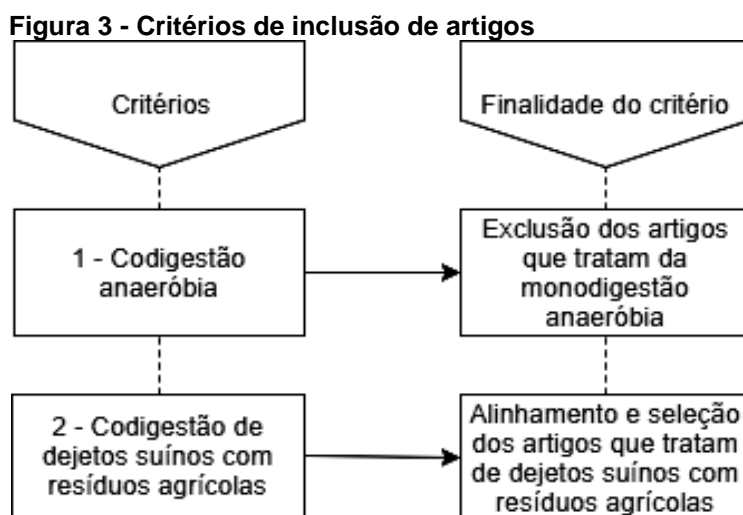
Portanto, definiu-se as palavras-chave da seguinte forma: *pig manure (PM) or swine waste (SW) or agricultural waste (AW) or potato waste (PW) and biogas production (BP)*. A delimitação temporal do período estabelecido para o levantamento bibliográfico foi de 1997 a 2017.

Considerando os objetivos desta pesquisa mencionados anteriormente, a etapa 1.5 define os critérios de inclusão de artigos. O primeiro critério adotado foi escolher somente os artigos que tratam de “codigestão anaeróbia”, eliminando todos os estudos que retratam somente a “monodigestão”, pois, conforme verificado na literatura, o potencial de geração de biogás se mostra mais promissor através do processo de codigestão.

O segundo critério aplicado foi a presença do tema “codigestão de dejetos suínos com resíduos agrícolas”, e assim, eliminar os estudos que abordam o processo de codigestão, porém, a partir de outros tipos de resíduos.

A fim de agregar critérios de confiabilidade e rigor nas buscas realizadas, foi utilizado o *software* EndNote versão X6 (ENDNOTE, 2017), com o objetivo de excluir os artigos duplicados.

Os critérios descritos estão apresentados na Figura 3.



Fonte: Autoria própria (2018)

A etapa 1.6 apresenta os critérios de qualificação dos artigos, com o intuito de verificar alguns elementos, tais como a quantidade de citações, métodos de pesquisa utilizado, fator de impacto da revista em que o artigo foi publicado, entre outros que impactam na importância dos mesmos para o estudo.

Já a etapa 1.7 define os filtros de busca e como isso é realizado nos periódicos e bases de dados. As pesquisas foram realizadas em duas bases de dados, sendo elas: *Science Direct* e *Web of Science*. A escolha das bases de dados ocorreu devido à relevância e solidez de ambas e ao número significativo de artigos publicados sobre o assunto. Na busca utilizou-se dois filtros de seleção, sendo o primeiro quanto ao tipo de documento: “*journals*”, pois apresenta somente os estudos com maior impacto na área. O segundo filtro definiu-se as buscas em: “*Abstract, Title, Keywords*”, de modo que as palavras-chave utilizadas fossem destaque no material publicado.

O cronograma, apresentado na etapa 1.8, define o tempo para a realização da RBS. É necessário administrar este tempo, pois conforme os objetivos, a RBS pode durar de três, seis ou até doze meses até a sua conclusão. Para esta pesquisa, foi necessário um mês, desde o seu planejamento até a sua conclusão.

Ainda segundo o mesmo autor, dentro da fase de processamento, as etapas de busca, análise dos resultados e documentação (etapas 2.1, 2.2 e 2.3), seguem um processo de sete passos, que está ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Procedimento da fase do processamento, RBS Roadmap



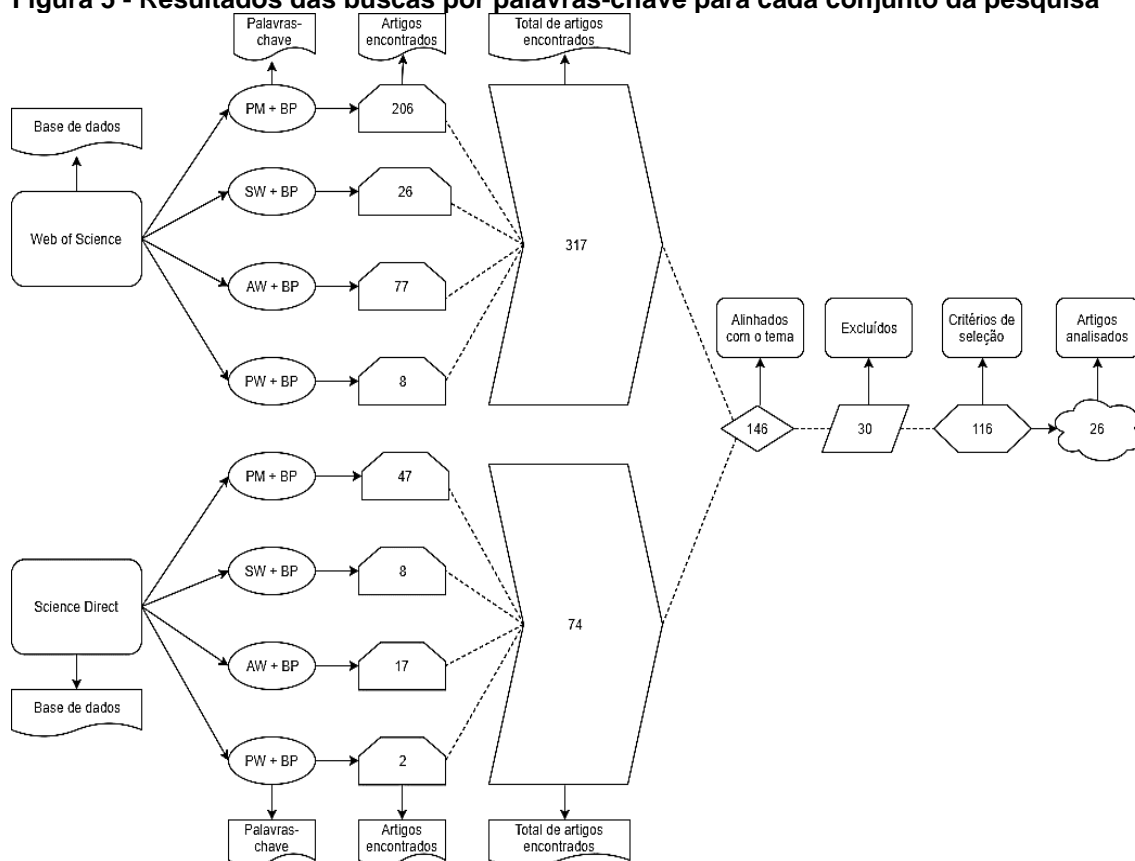
Fonte: Conforto et al. (2011)

Na etapa 2.1 são realizadas as buscas, que compreendem os passos 1, 5 e 6. Na Etapa 2.2, é realizada a leitura e análise dos resultados, ou seja, os filtros de leitura, passos 2, 3 e 4. Na Etapa 2.3, é realizada a documentação e arquivamento dos artigos selecionados nos filtros, bem como os resultados das buscas e filtros de leitura, seguindo os passos 2, 3, 4 e 7. Na etapa 2.3 as informações documentadas são: quantidade de artigos encontrados por periódico, quantidade de artigos excluídos, quantidade de artigos encontrados na busca cruzada, etc.

Foram encontrados um total de 391 artigos nas bases de dados, posteriormente foi realizada uma leitura minuciosa dos títulos e dos resumos, dos quais restaram 146 estudos alinhados com esta pesquisa. Sequencialmente, selecionou-se os artigos duplicados e 30 foram excluídos, restando 116 artigos que podem contribuir e estão enquadrados com a temática, com o propósito de identificar os estudos que se aproximam com o objetivo desta pesquisa.

Deste montante, foram aplicados os critérios de seleção, onde totalizaram 26 artigos que se enquadram com a temática da presente pesquisa, posteriormente foi realizado a leitura e análise na íntegra dos mesmos, com objetivo de construir o Estado da Arte. A Figura 5 apresenta os resultados encontrados referente às buscas realizadas, conforme as combinações de palavras-chave.

Figura 5 - Resultados das buscas por palavras-chave para cada conjunto da pesquisa



Fonte: Autoria própria (2017)

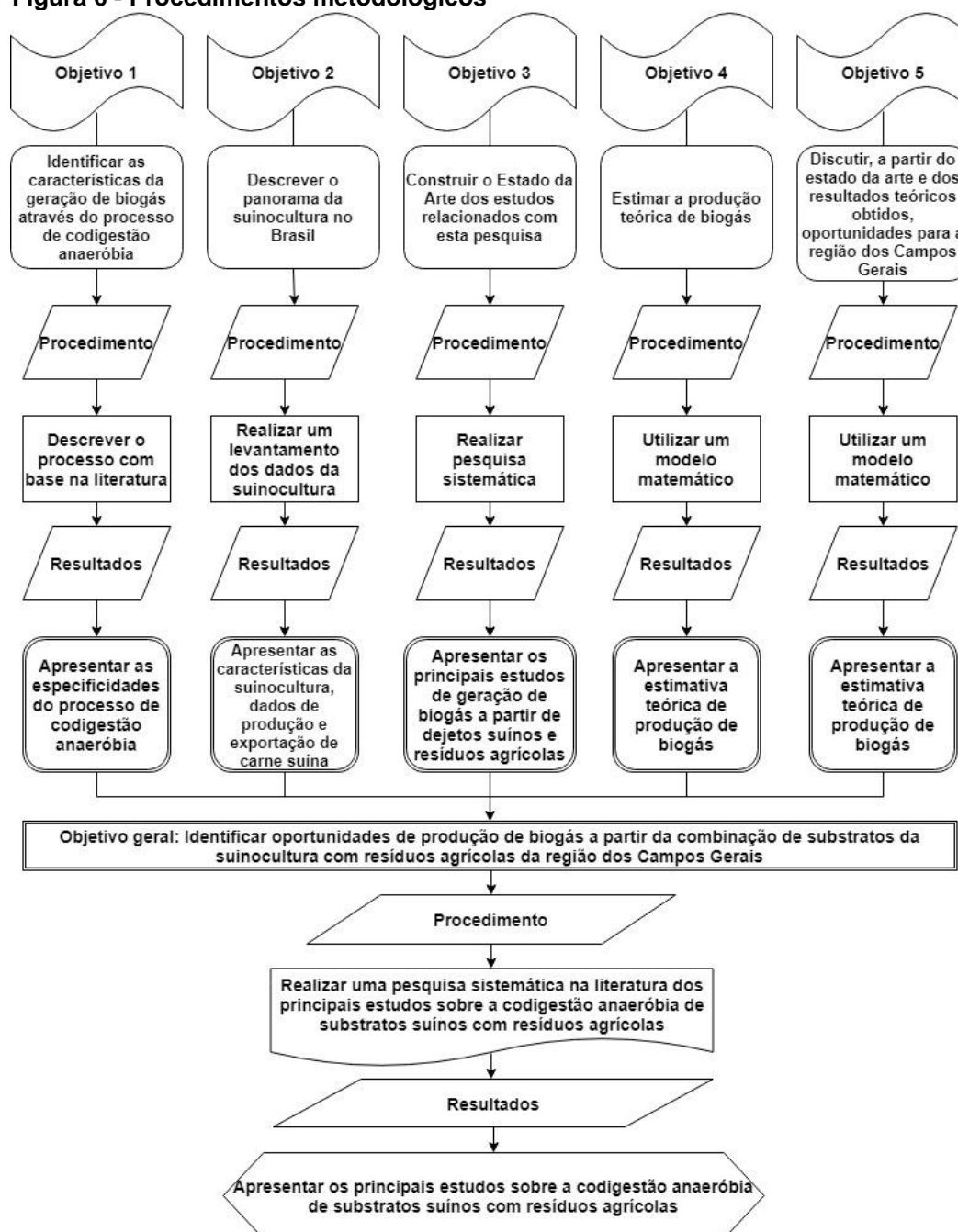
A fase final da RBS *roadmap* consiste em quatro etapas, sendo a 3.1 relacionado com a inserção de alertas nos periódicos, de modo que se possa receber por e-mail um aviso com os artigos publicados em futuras edições.

Já a etapa 3.2 refere-se ao cadastro e arquivo dos artigos que foram selecionados, analisados e interpretados, de modo que estes sejam armazenados com o apoio de um software para gerenciamento de referências.

Por fim, a etapa 3.3 corresponde à síntese e resultados, onde elabora-se uma síntese da bibliografia estudada.

Para melhor entendimento, a Figura 7 apresenta a descrição dos objetivos, os procedimentos e os resultados obtidos neste capítulo.

Figura 6 - Procedimentos metodológicos



Fonte: Autoria própria (2018)

2.3 ABORDAGEM PARA A ESTIMATIVA DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para a realização do cálculo de estimativa teórica da produção de biogás, foram utilizados dois modelos publicados em artigos, sendo alguns parâmetros como número de animais, sólidos voláteis e pesagem específicos da região dos Campos Gerais. Os demais dados foram adaptados da metodologia *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006), pois não foi encontrado na literatura nenhuma

equação que estime especificamente a produção de biogás a partir de dejetos suínos codigeridos com resíduos de batata para a região dos Campos Gerais, somente para a América Latina.

Os critérios aplicados para a identificação dos dois modelos encontrados, consistiram em investigar quais métodos existentes na região do Paraná foram aplicados e validados. Após entrar em contato com o Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGAS-ER), foi identificado e utilizado o modelo publicado por Kerkhoff et al. (2015).

Identificou-se também, o modelo validado por Marques e Silva (2014), onde o modelo foi aplicado na região norte do Paraná e utilizado nesta dissertação para fins de estimar teoricamente a produção de biogás.

2.4 MODELO PROPOSTO POR MARQUES E SILVA (2014)

Um dos modelos propostos foi publicado por Marques e Silva (2014), que trata do método adaptado do IPCC (2006), onde apresentaram uma equação simplificada para estimar a produção de biogás na suinocultura, na fase crescimento/terminação dos animais, que utilizam dados básicos como dias de alojamento, peso de entrada e peso de saída dos suínos.

A metodologia IPCC (2006), considera alguns parâmetros como a taxa de geração de metano e quantidade de dejetos produzidos, além do tipo de manejo dos animais, bem como a alimentação e as particularidades da sua genética. O modelo adaptado está representado na Equação (1).

$$\text{Produção}_{\text{biogás}} = \left(\frac{\text{MCF} \times \text{SV}_{\text{dejetos}} \times \text{B}_0}{\% \text{CH}_4} \right) \quad (1)$$

Os valores de cada parâmetro compreendem em:

- MCF: Fator de conversão anual de metano para a linha de base do sistema;
- SV: Sólidos voláteis produzidos pela categoria animal ($\text{kg.SV.m}^3 \text{dejetos}^{-1}$);
- B_0 : Capacidade máxima teórica de produção de metano por dejetos produzido ($\text{m}^3.\text{CH}_4.\text{kg}^{-1}.\text{SV}$);
- Concentração de metano no biogás ($\% \text{CH}_4$).

2.5 MODELO PROPOSTO POR CIBIOGÁS-ER (2009)

Esta metodologia proposta pelo Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBIOGÁS-ER, 2009), trata-se de uma adaptação do modelo IPCC para os padrões brasileiros, porém possui a mesma lógica de aplicação.

Segundo Kerkhoff et al. (2015), este cálculo considera o número de animais, o peso médio, o peso padrão e o tempo de confinamento, além de parâmetros similares ao modelo IPCC como os sólidos voláteis (SV), potencial máximo de produção de biogás (Bo), fator anual de conversão de metano para a linha de base do sistema de lagoa aberta (MCF) e o fator de incertezas - *Uncertainties Factor* (Fb ou UFB). A Equação (2) apresenta a fórmula para determinar a produção de biogás.

$$\text{PDB} = \text{N}^{\circ} \text{ animais} + \left(\frac{\text{PM}}{\text{PP}} \right) \times \left(\frac{\text{TC}}{24} \right) \times \text{SV padrão} \times \left(\frac{\text{FMC} \times \text{B}_o \times \text{Fb}}{\% \text{Ch}_4} \right) \quad (2)$$

Onde:

PDB: Produção diária de biogás (m³ biogás -1);

N^o animais: número de animais;

PM: Peso médio (kg);

PP: Peso padrão (kg);

TC: Tempo de confinamento (horas);

SV padrão: Sólidos Voláteis (kg SV-1cab-1dia);

FMC: Fator de conversão de metano para a linha de base do sistema;

B_o: Capacidade teórica de produção de metano por dejetos produzidos (m³Ch₄kgSV⁻¹);

Fb: Fator de correção de incertezas (adimensional);

%Ch₄: Porcentagem de metano do biogás (%).

Vale ressaltar que os resultados obtidos podem ser diferentes, pois as variáveis influenciam na estimativa, como a quantidade de dejetos produzida, bem como tipo de confinamento, a composição dos dejetos, o peso dos animais e o clima da região onde são criados. Para tanto, a seção a seguir descreve como foi realizado o ensaio laboratorial para a determinação dos sólidos, que fazem parte das variáveis das equações anteriormente mostradas.

2.6 ENSAIO DOS SÓLIDOS VOLÁTEIS (SV), SÓLIDOS FIXOS (SF) E SÓLIDOS TOTAIS (ST)

Os sólidos voláteis também conhecidos como matéria seca, são compostos de toda a matéria presente no dejetos, que não seja água. Estes, por sua vez, são digeridos e transformados em biogás (MACHADO, 2011).

Segundo a Norma Técnica Sabesp NTS 013 (1999), os sólidos fixos correspondem às substâncias que permanecem no recipiente após a calcinação na mufla. Por fim, os sólidos totais são a soma dos sólidos fixos e os sólidos voláteis.

A análise dos sólidos foi realizada no Laboratório de Química Analítica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. Para a determinação dos Sólidos Voláteis, foi utilizado o método Gravimétrico da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 10664, 1989), que determina os seus respectivos valores.

Para tanto, fez-se necessário realizar três passos, com base na metodologia mencionada, sendo o primeiro através da Equação (3):

$$ST = \frac{(MS - MR) \times 1000}{VA} \quad (3)$$

Onde:

ST: Sólidos Totais, em mL;

MS: Massa da amostra seca a 105° C, em mL;

MR: Massa do recipiente, em mL;

VA: Volume da amostra, em mL.

O segundo passo constituiu na aplicação da Equação (4):

$$SF = \frac{(MC - MR) \times 1000}{VA} \quad (4)$$

Onde:

SF: Sólidos Fixos, em mL;

MC: Massa cinza + massa do recipiente, em mL;

MR: Massa do recipiente, em mL;

VA: Volume da amostra, em mL.

Por fim, o último passo corresponde à Equação (5):

$$SV = \frac{(ST - SF) \times 1000}{VA} \quad (5)$$

Onde:

SV: Sólidos Voláteis, mL;

ST: ST: Sólidos Totais, em mL;

SF: Sólidos Fixos, em mL;

VA: Volume da amostra, em mL;

A seção a seguir descreve o procedimento de forma detalhada.

2.7 PROCEDIMENTO

O processo completo para a realização das respectivas análises levou em torno de 10 horas para ser concretizado. O procedimento inicial foi aquecer os cadinhos de 50 mL na mufla, a uma temperatura de 550° C, por um período de uma hora, com o intuito de eliminar possíveis agentes contaminantes, conforme apresenta a Figura 8.

Figura 7 - Mufla para aquecimento das amostras



Fonte: Autoria própria (2017)

Em seguida, os cadinhos foram colocados em repouso no dessecador, para que os mesmos resfriassem naturalmente.

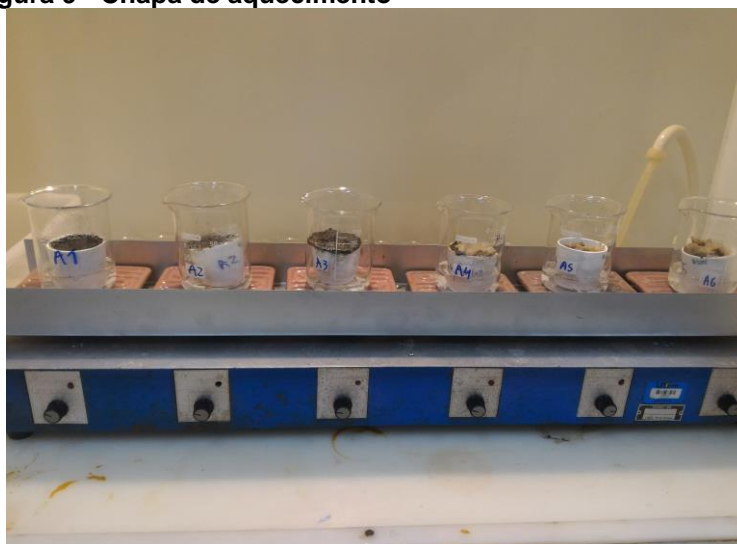
Vale ressaltar que o ensaio foi realizado em triplicata, para fins de obter resultados representativos. Foram preparados dois inóculos, sendo o primeiro constituído de 100% dejetos suínos, e o segundo distribuído com 70% dejetos e 30% de resíduos de batata. Este percentual de distribuição foi escolhido, pois verificou-se na literatura que esta proporção a partir de dejetos suínos e resíduos agrícolas é ótima para a geração de biogás. Para o segundo inóculo, foi utilizado um processador para triturar as batatas inutilizáveis.

Após o resfriamento, os cadinhos foram pesados na balança analítica e posteriormente foram preenchidos através de um béquer de 100 mL, onde foi inserido uma quantidade de 40 mL das amostras, sendo pesados novamente, com o respectivo conteúdo, como pode ser observado na Figura 9.

Figura 8 - Balança analítica

Fonte: Autoria própria (2017)

Em seguida, os cadinhos foram presos por grampos e colocados em béqueres de 200 mL, com pequenas quantidades de água destilada em cacos de porcelana em banho maria, evitando assim uma possível projeção do conteúdo na estufa. Após isso, os mesmos foram levados para a chapa de aquecimento, onde permaneceram até a evaporação da água da amostra, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 9 - Chapa de aquecimento

Fonte: Autoria própria (2017)

Com o auxílio de uma pinça, as amostras foram levadas para a estufa, onde foram aquecidos a uma temperatura de 105° C, por um período de uma hora e posteriormente foram colocados no dessecador para resfriar. Após as amostras

atingirem a temperatura ambiente, os cadinhos foram pesados novamente, então, colocados na mufla para serem calcinados a uma temperatura de 550° C, por um período de uma hora. A Figura 11 apresenta a estufa de secagem e esterilização.

Figura 10 - Estufa de secagem e esterilização



Fonte: Autoria própria (2017)

Logo, as amostras foram colocadas novamente no dessecador e pós estarem na sua temperatura ambiente, onde foram pesados.

Por fim, foram determinados os valores dos SV, com o objetivo de inserir nas equações e estimar teoricamente a produção de biogás.

A seção a seguir descreve como as amostras foram coletadas.

2.8 AMOSTRAS

A respectiva amostra de dejetos foi coletada numa propriedade localizada no município de Carambeí PR, onde são criados 1600 suínos, alimentados por ração. A coleta ocorreu no dia 14 de dezembro de 2017, no período da tarde. Para tanto, utilizou-se um frasco plástico de 1 litro, uma pá e um par de luvas. Os dejetos foram mantidos em temperatura ambiente e levados diretamente para o laboratório de análises.

Já a amostra de resíduos de batatas foi coletada no município de Castro PR, numa Unidade Lavadora de Batatas da região. Também se utilizou um frasco plástico

de 1 litro, um par de luvas e uma pá, onde foram coletadas no descarte da empresa. Tal resíduo é composto por batatas inutilizáveis e cascas.

A próxima seção apresenta os materiais e equipamentos utilizados no Laboratório de Química Analítica da UTFPR.

2.9 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para a realização do ensaio laboratorial dos sólidos voláteis, foram utilizados os seguintes materiais e equipamentos:

- Balança analítica CHYO® NS JK-180;
- Bastão de vidro;
- Bérqueres de 100 mL e 200 mL;
- Cadinhos de 50 mL;
- Chapa de aquecimento;
- Cacos de porcelana;
- Dessecador;
- Estufa FANEM® 320-SE;
- Grampos;
- Mufla QUIMIS® 318-D24;
- Pinças.
- Processador Philips®

3 REFERENCIAL TEÓRICO

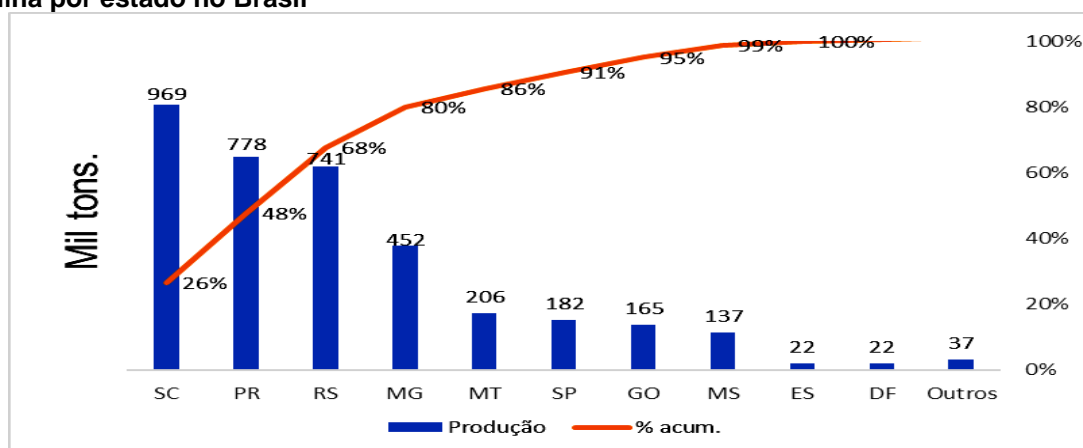
Este capítulo aborda os aspectos da suinocultura no Brasil, apresentando os percentuais de produção e exportação da carne suína delimitados no sul do país, além de descrever os aspectos e o manejo inadequado dos dejetos suínos e as características de alguns dos principais resíduos agrícolas que potencializam a geração do biogás.

3.1 A SUINOCULTURA NO BRASIL

A suinocultura brasileira é uma atividade pecuarista que tem uma representatividade significativa no país, contemplando no desenvolvimento socioeconômico. Segundo a (Embrapa, 2016), o Brasil produziu 3,73 milhões de toneladas de carne suína, exportou 732,9 mil toneladas, ocupando a quarta posição no *ranking* mundial, ficando atrás apenas da China, União Europeia e os Estados Unidos.

Ainda, segundo a Embrapa (2016), no contexto nacional, os três principais estados do Brasil que representam maior índice de produção de carne suína são: Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul. Esta pesquisa está delimitada no Paraná que corresponde ao segundo maior produtor de carne suína, representando 48% do percentual acumulado da produção brasileira. Os percentuais podem ser observados no Gráfico 1:

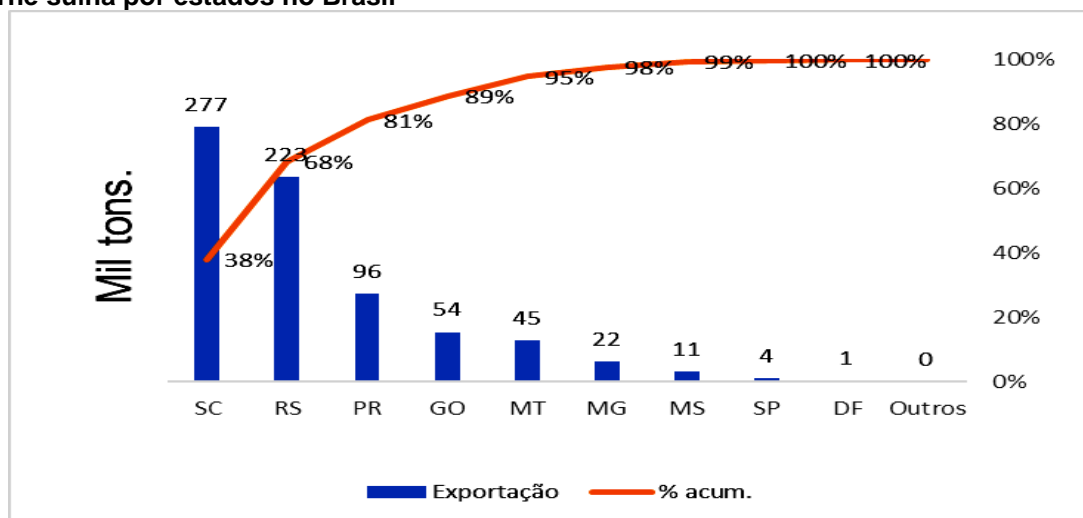
Gráfico 1 - Volume de produção (em mil toneladas) e percentual relativo à produção de carne suína por estado no Brasil



Fonte: Adaptado de Embrapa (2016)

Observa-se que o estado de Santa Catarina lidera a produção de carne suína, com 969 mil toneladas, o Paraná com 778 e o Rio Grande do Sul com 741 mil toneladas produzidas. Somente a região sul do país representa 68% da produção acumulada brasileira. Ainda, quanto ao índice de exportação de carne suína, constata-se que os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná se destacam na atividade, conforme a ilustração do Gráfico 2.

Gráfico 2 - Volume de exportação (em mil toneladas) e percentual relativo à exportação de carne suína por estados no Brasil



Fonte: Adaptado de Embrapa (2016)

Com relação à exportação, o estado de Santa Catarina também lidera o *ranking* com 277 mil toneladas, seguido do Rio Grande do Sul com 223 e o Paraná com 96 mil toneladas de carne suína exportada. Somente a região sul representa 81% da exportação acumulada.

Apesar da representatividade da suinocultura brasileira para a economia do Brasil e dos estados do sul do país, alguns problemas ambientais podem ser encontrados. De acordo com Gentilini e Anciuti (2013), um desses problemas se refere aos dejetos suínos, exigindo cuidados especiais em relação ao manejo, armazenagem e distribuição dos mesmos.

3.1.1 Características dos Dejetos Suínos

Em relação às características dos dejetos suínos, pode-se afirmar que são constituídos de fezes, urina, água, resíduos de ração, pelos e poeira advindos do sistema criatório (MIRANDA, 2009).

O manejo inadequado dos dejetos suínos pode causar impactos ambientais negativos, como a poluição da água, do solo, dos rios, liberação dos GEE, podendo refletir ainda nos humanos através da transmissão de doenças, que se caracterizam pelos altos teores de componentes poluidores, tais como a liberação de amônia (NH₃), metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), sulfeto de hidrogênio (H₂S), entre outros.

Estes dejetos podem causar odores e liberar microrganismos no ar capazes de produzir doenças, o que se faz necessário o uso de práticas sólidas, como a adoção de sistemas de resíduos animais (XU et al., 2016).

Diante deste prisma, o conhecimento das características e do manejo correto dos dejetos dos animais tornam-se cruciais para que tais impactos negativos possam ser minimizados, bem como adotar práticas de tratamento ambientalmente favoráveis (MAPA, 2016).

O Quadro 1 apresenta a produção média de dejetos gerados por diferentes categorias de suínos.

Quadro 1 - Produção média diária de dejetos por diferentes categorias de suínos

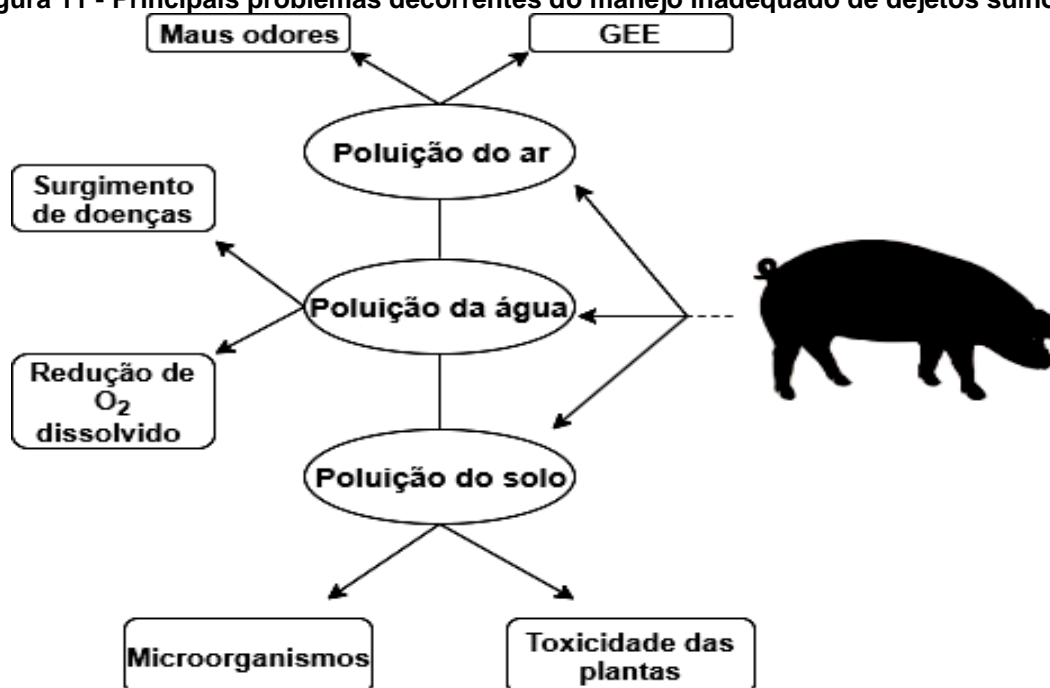
Categoria	Esterco (Kg/dia)	Esterco + urina (Kg/dia)	Dejetos líquidos (litros/dia)
25-100 Kg	2,3	4,9	7
Porcas em gestação	3,6	11	16
Porcas em lactação	6,4	18	27
Machos	3	6	9
Leitões desmamados	0,35	0,95	1,4
Média	3,1	8,1	12

Fonte: Oliveira (1993)

Segundo o MAPA (2016), os respectivos teores de nutrientes encontrados nos substratos suínos contemplam os seguintes aspectos: idade dos animais, alimentação, temperatura, métodos utilizados para coletar e armazenar os resíduos, umidade e quantidade de água utilizada para limpar as instalações.

A Figura 12 ilustra os principais problemas decorrentes do manejo incorreto de dejetos suínos.

Figura 11 - Principais problemas decorrentes do manejo inadequado de dejetos suínos



Fonte: Autoria própria (2017)

Com os problemas ambientais provenientes da suinocultura expostos, o tratamento dos dejetos suínos tornou-se um grande desafio para a sustentabilidade, evidenciando a necessidade de reduzir a poluição ambiental. Uma das possibilidades para a solução destes problemas, é a utilização dos biodigestores, que além de tratar os respectivos resíduos, resultam na produção do biogás e propiciam fontes de energias renováveis. Neste sentido, Nogueira et al. (2015), consideram que o biogás tem utilidade como fonte de energia industrial ao calor, vapor, eletricidade e refrigeração.

Outra possibilidade de tratamento dos dejetos suínos é através da compostagem, que consiste no processo de degradação da matéria orgânica, transformando os resíduos animais em biofertilizantes. Nesta ótica, Pereira (2013) considera que a compostagem corresponde ao processo onde ocorre a decomposição da matéria orgânica através da ação dos microrganismos, transformando o substrato em um composto que pode ser usado como fertilizante orgânico.

A disposição de efluentes não tratados no solo, rios e lagos consiste no potencial risco de contaminação e poluição, permitindo o surgimento de enfermidades e degradação dos recursos naturais (PERDOMO, 2001).

A próxima seção abordará as características de alguns dos principais resíduos agrícolas que possibilitam a geração do biogás.

3.2 A AGRICULTURA E OS RESÍDUOS NO SUL DO BRASIL

Neste estudo, optou-se por utilizar os resíduos da batata, pois o seu cultivo está entre os principais dos Campos Gerais e os dejetos suínos devido ao seu potencial de geração e conversão em energia, conforme relatado anteriormente. Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola do IBGE (2017), além da batata, o milho e a soja são alguns dos principais cultivos da região dos Campos Gerais.

O milho é um grão originário da América Central que pode ser cultivado nos hemisférios norte ou sul, em regiões montanhosas ou no nível do mar, em climas úmidos e regiões secas, devido à sua capacidade de adaptação a diversas condições e climas (MATOS, 2007; RITCHIE et al., 2003). Seus resíduos agrícolas são os caules e folhas, que são denominados de palha (DIAS et al., 2012).

Segundo a FAO-AMIS (2016) o Brasil ocupa a terceira posição entre os países produtores de milho, ficando atrás somente dos Estados Unidos e da China, sendo este o terceiro produto agrícola mais produzido no Brasil, depois da cana-de-açúcar e da soja.

Nesta perspectiva, os resíduos do milho correspondem a uma matéria-prima com potencial para bioenergia que poderiam reduzir a dependência dos combustíveis fósseis (GRAHAM et al., 2007).

Já a soja, é considerada uma leguminosa originária da China e seu cultivo teve início a milhares de anos. No Brasil, o plantio da soja se intensificou a partir da década de 1970, o que tornou um marco no desenvolvimento agroindustrial. Somente os Estados Unidos, o Brasil e a Argentina responderam por 83% da produção mundial na safra 2014/2015, sobre um total de 315 milhões de toneladas produzidas (EMBRAPA, 2015).

Segundo Rojas (2012), a proporção de geração de resíduos de soja corresponde a 80 kg de casca para cada tonelada de grão. Na perspectiva industrial, a casca da soja não apresenta alto valor agregado, sendo destinado como ração animal.

O Brasil é o segundo maior produtor de soja do mundo, ficando somente atrás dos Estados Unidos e somente o estado do Paraná produziu na safra de 2016, 17.025.11 milhões de toneladas de soja (IBGE, 2017).

O destaque também vale para a produção de batata na região, pois além da sua representatividade ser significativa para o desenvolvimento econômico, é o foco deste estudo. Nesta perspectiva, o processamento da batata gera alguns resíduos como a água, normalmente utilizada durante a sua lavagem, a casca também chamada de pele e o óleo usado no processo de fritura. Os autores Kaparaju e Rintala (2005) realizaram um estudo de codigestão anaeróbia em pequena escala, de casca de batata com esterco suíno, onde mostram a possibilidade de produzir energia através da combinação destes substratos.

Considerado um tubérculo, a batata é composta por cerca de 80% de água, seguido de 16% de carboidratos, de 1 a 2% de fibras e 1 a 2% constitui-se de nutrientes (EMBRAPA, 2017).

Para Wang et al. (2009), tais resíduos advindos do processamento da batata são considerados fontes de poluição, devido à alta concentração de contaminantes como amido, lipídios, proteínas e outras substâncias.

Os principais impactos promovidos pelos resíduos deste material podem gerar odores desagradáveis, causando desconforto em seres humanos e animais, além da redução do oxigênio dissolvido em águas superficiais e a possibilidade do surgimento de doenças (MATOS, 2005).

A Tabela 1 apresenta o total em toneladas de batata, milho e soja produzido em 2016, no estado do Paraná.

Tabela 1 - Área plantada, colhida e produção - safra 2016 (em toneladas)

Plantio	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Produção (tons)
Batata	30.249	30.249	775.421
Milho	424.836.67	424.629.56	13.887.10
Soja	5.425.299	5.421.34	17.025.11

Fonte: Adaptado de IBGE (2017)

Conforme observado, é significativa a representatividade dos plantios no estado, conseqüentemente, a geração de resíduos advindos da prática da atividade agrícola é enorme, possibilitando assim, reaproveitar tais resíduos e convertê-los em biogás.

Vale ressaltar que a extensão territorial do estado do Paraná corresponde a 199.307.939 km², e sua população total de aproximadamente 10.444.526, comparado com a extensão da Áustria que em sua totalidade mede 83.879 km² e 8.544.586 (IBGE, 2016), o que retrata uma área completamente explorável para o reaproveitamento de resíduos agropecuários e sua transformação em biogás e energia.

A seção seguinte descreve o processo da codigestão anaeróbia e caracteriza os aspectos do biogás.

3.3 CODIGESTÃO ANAERÓBIA E O BIOGÁS

A codigestão anaeróbia tem sido considerada oportuna e amplamente viável para melhorar a degradação dos substratos animais e agrícolas, contribuindo ainda para o aumento da produção de biogás. O processo de codigestão permite a conversão de diversos tipos de resíduos advindos da agropecuária e da agroindústria em biogás e corresponde à utilização de dois ou mais substratos que interagem de forma positiva, buscando o equilíbrio entre os micros e macro nutrientes, possibilitando ainda a diluição de compostos tóxicos e o aumento da geração de metano (MATA-ALVAREZ et al., 2014).

O estrume dos animais possui elevado teor de Nitrogênio, o que representa um obstáculo no fornecimento ideal da relação Carbono (C) e Nitrogênio (N) necessária para a digestão anaeróbia, também conhecida como DA. Para a solução deste problema, o teor de C precisa ser aumentado e neste caso, os resíduos agroindustriais, também conhecidos como lignocelulósicos compensam a ausência de C e contribuem para a codigestão anaeróbia (TUFANER et al., 2016).

Zhang et al. (2016) afirmam que as combinações de vários tipos de substratos podem aumentar a geração do biogás influenciando positivamente no processo e essa combinação é tema de muitos experimentos e testes que tratam da codigestão, com o intuito de manter o equilíbrio entre a relação C e N da matéria-prima.

Encontram-se na literatura vários fatores que impactam na eficiência da geração de biogás, como os sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis, além da temperatura, o tempo de retenção hidráulica, a Demanda Bioquímica de Oxigênio e a Demanda Química de Oxigênio. Neste sentido, a temperatura interfere na ação entre as bactérias, que pode ser realizada em três diferentes situações, sendo a

temperatura termofílica (45-60°C), a mesofílica (20-45°C) e a psicrófílica (<20°C) (ZIGANSHIN et al., 2013).

O Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) no processo de DA, é o tempo necessário para que a biomassa seja degradada com a melhor eficiência (SALOMON, 2007).

A digestão anaeróbia é composta por uma sequência de quatro etapas responsáveis pela conversão de matéria-prima orgânica que ocorrem no biodigestor sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (BAYR et al., 2012).

Este processo traz duas principais vantagens, pois além de produzir biogás, simultaneamente faz a tratativa dos resíduos, reduzindo a sua disposição em aterros sanitários, rios e lagos (DI MARIA et al., 2014; APPELS et al., 2011; LIN et al., 2011).

Silva (2017), apresentou em sua dissertação de mestrado os modelos de biodigestores comumente utilizados em diversos países, sendo:

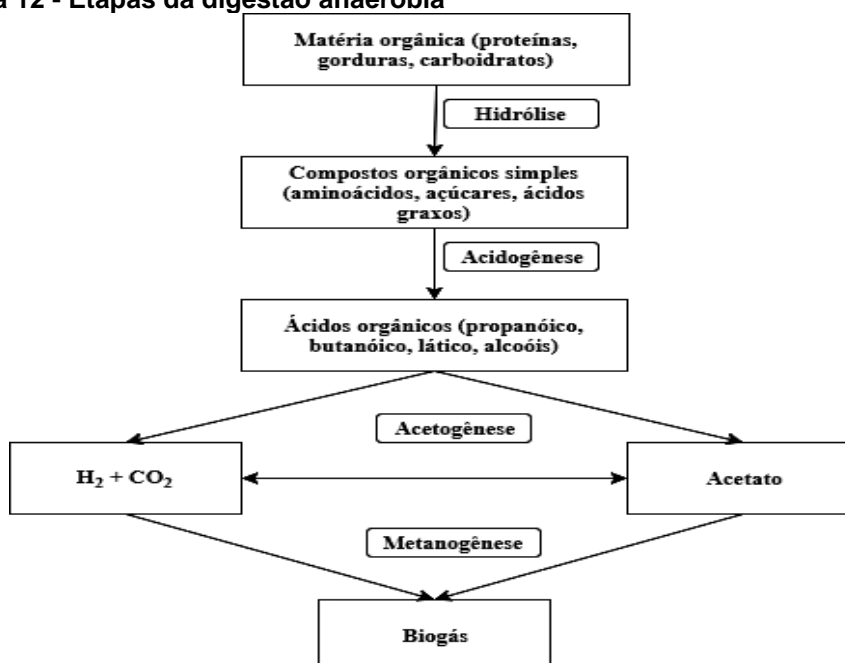
- Biodigestor Chinês e Indiano: ambos os modelos basicamente são constituídos por duas partes, correspondendo da seguinte maneira: a primeira por um tanque que recebe a biomassa e a segunda por um sistema de armazenagem do biogás (MARTELLI, 2011);

- Biodigestor Alemão: Este modelo possui alta tecnologia como controle de temperatura, agitadores para fins de misturar os substratos, além de isolamento térmico e aquecimento (HAASJES, 2014);

- Biodigestor Canadense: O formato deste modelo é na horizontal, ao contrário dos modelos chinês e indiano, pois recebe maior quantidade de raios solares, o que favorece o processo de decomposição (BONFANTE, 2010).

A Figura 13 apresenta as respectivas etapas que constituem a digestão anaeróbia.

Figura 12 - Etapas da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Fernandes (2012)

A seguir serão descritas as etapas que compõem o processo da digestão anaeróbia.

3.3.1 Hidrólise

A primeira etapa da digestão anaeróbia é a Hidrólise, em que ocorre a decomposição de compostos orgânicos complexos como proteínas, gorduras e carboidratos em substâncias mais simples, tais como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares (ROHSTOFFE, 2010), conforme demonstrado na Figura 12. Este processo decorre através de bactérias hidrolíticas, em que liberam enzimas que decompõem o material através de reações bioquímicas (ANGELIDAKI et al., 2011).

Segundo Karlsson (2014) a rapidez do processo depende do tipo do material utilizado e como este é estruturado.

Esta fase é limitante no que se refere à velocidade da digestão, pois afeta diretamente a produção de CH_4 (VIDAL et al., 2011).

3.3.2 Acidogênese

Nesta segunda fase também chamada de fermentação, as bactérias fermentativas acidogênicas transformam os compostos simples, advindos da fase anterior, em ácidos gordos voláteis conhecidos também como (AGV), como os ácidos propiônico e butírico, ou ainda em outros ácidos orgânicos como o butanol e etanol (FRITSCH; HARTMEIER; CHANG, 2008).

A acidogênese é realizada por um grupo diverso de bactérias fermentativas, como as da espécie *Clostridium*, que forma esporos que permite sobreviver em ambientes totalmente adversos, e da espécie *Bacteroides*, que normalmente estão presentes nos tratos digestivos (GARCIA et al., 2000).

As bactérias presentes na acidogênese têm ação importante na remoção de oxigênio dissolvido, composto no material em fermentação (HAANDEL et al., 1994; AUGUSTO, 2007).

3.3.3 Acetogênese

As bactérias acetogênicas que correspondem à terceira etapa, convertem os compostos gerados da acidogênese, transformando os ácidos orgânicos em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato (ZHENG et al., 2009).

O crescimento bacteriano deste grupo é considerado relativamente lento, tendo uma duplicação mínima de 1,5 a 4 dias e as reações produzidas nesta etapa são mais complexas energeticamente, pois são facilmente interrompidas devido ao acúmulo de gás hidrogênio dissolvido no meio (SALOMON, 2007).

Na acetogênese, as bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio têm a capacidade de converter os ácidos graxos com mais de 2 carbonos em ácidos acéticos (CO_2 , H_2), que servem como substratos para as bactérias metanogênicas, ainda, minimizar a demanda química de oxigênio (DQO) do substrato (PECORA, 2006).

3.3.4 Metanogênese

Nesta última etapa do processo de geração de biogás, o carbono presente no substrato orgânico é transformado em CO_2 e CH_4 , sendo assim, é realizada a mineração dos poluentes do substrato (SANT'ANNA JÚNIOR, 2011).

A metanogênese ocorre em dois processos, sendo o primeiro realizado através das arqueas hidrogenotróficas, que se desenvolvem rapidamente, com um ciclo de crescimento de aproximadamente 6 horas onde se faz a transformação do CO_2 e H_2 em CH_4 e o segundo processo realizado pelas arqueas acetoclásticas, que possuem um tempo de duplicação de 2 a 3 dias, as quais metabolizam o acetato, produzindo CH_4 (SALOMON, 2007).

Segundo Carneiro (2013), as bactérias hidrogenotróficas são responsáveis pela formação de 30% do metano e as acetoclásticas convertem o acetato em metano, através do processo de quebra responsável por cerca de 70% da produção.

Nesta perspectiva, os biodigestores são fontes alternativas de tratamento de resíduos advindos da agropecuária e da agroindústria, pois além de gerar um gás com potencial energético, permite ainda, que se produza um subproduto para ser utilizado como adubo (COELHO, 2013).

O biogás é um combustível gasoso, renovável, composto por uma mistura de gases, oriundos da digestão anaeróbia, constituído por CH_4 , CO_2 e uma pequena quantidade de outros componentes como nitrogênio (N_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), dióxido de carbono (CO_2), amônia (NH_3), hidrogênio (H_2), oxigênio (O_2), água (H_2O) (HOSSEINI et al., 2014).

A composição do biogás varia entre 40 e 70% de CH_4 , 30 e 60% de CO_2 e 1 e 5% de outros gases (ANEEL, 2008; GALINKIN et al., 2009).

Algumas variáveis do processo de geração de biogás devem ser monitoradas ou controladas, como os valores de pH (Potencial Hidrogeniônico), Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), Temperatura (T), Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF), entre outros (LESTEUR et al., 2011; GASCH et al., 2013; FDEZ-GUELFO et al., 2012).

O Quadro 2 caracteriza os principais parâmetros que influenciam diretamente na produção do biogás e sua faixa/teor ideal para a eficiência do processo de codigestão, conforme encontrados na literatura.

Quadro 2 - Parâmetros que influenciam na produção de biogás

Parâmetro	Faixa/teor ideal	Autor	Variáveis
Potencial Hidrogeniônico (pH)	6,8 e 7,4	MAO et al., (2015)	Conforme o pH, se define a velocidade com que os microrganismos crescem
Tempo de Retenção hidráulica (TRH)	35 dias	ZHANG et al., (2015)	O TRH é relativo à quantidade e ao tipo de substrato digerido.
Temperatura (T)	35 e 37°C	XIE et al., (2017)	Podem ser realizadas em 3 gamas diferentes: termofílica (45-60°C), mesofílica (20-45°C) e psicofílica (<20°C). Aumenta ou diminui a velocidade de reação.
Sólidos Fixos (SF)	74%	SCHNEIDER, (2016)	Pode alterar conforme o tipo e quantidade do substrato digerido.
Sólidos Totais (ST)	<10%	GUENDOUZ et al., (2012)	Três tipos de processos: molhado (<10%); semi-seco (0 a 20%); seco (10 a 20%) ST.
Sólidos Voláteis (SV)	10 e 17%	DECOTTIGNIES, (2005)	A produção de biogás gerado depende da quantidade de SV biodegradados.

Fonte: Autoria própria (2017)

O uso do biogás na área rural permite que sejam melhoradas as condições da saúde humana, pois o gás produzido pode substituir o uso da lenha, evitando doenças respiratórias e ainda, no aspecto ambiental pode contribuir positivamente através da diminuição da poluição dos solos e da água (BLUEMLING, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos da Revisão Bibliográfica Sistemática, onde primeiramente observa-se o levantamento dos estudos, no que se refere ao processo de codigestão anaeróbia de dejetos suínos com resíduos agrícolas, no período de 1997 a 2017. Posteriormente, é apresentado o Estado da Arte, os resultados do ensaio dos sólidos, por fim os resultados obtidos a partir da estimativa teórica de produção de biogás.

De modo geral, os estudos encontrados na literatura, alinhados com esta pesquisa, utilizaram diferentes tipos de substratos, como por exemplo silagem de capim, talo e palha de milho, palha de arroz, palha de trigo, silagem de erva, fécula de mandioca, palha de cevada, resíduos de óleo de soja, além de resíduos de alimentos, frutas, vegetais e estrume de outros tipos de animais como aves e gado, codigeridos com estrume de porco.

Em sua totalidade, as pesquisas levantadas, concluíram que o processo de codigestão, envolvendo dois ou mais substratos potencializam a geração de biogás e apresenta resultados mais eficientes, como a estabilidade do processo e maiores rendimentos de gás gerado.

Neste prisma, o Projeto Brasil-Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil (PROBIOGÁS 2015), além de incentivar as iniciativas agropecuárias e agroindustriais em inserir o biogás na matriz energética nacional e contribuir para a redução de emissões de gases poluentes, considera que os resíduos da batata, palha de trigo, palha de milho, mandioca, resíduos da limpeza de grãos, silo de milho (planta verde), silo de pastos (verde), bananeiras, folhas de beterraba, abacaxi, entre outras culturas têm grande potencial em relação à produção de metano e o teor de sólidos voláteis.

O documento mencionado afirma que além dos resíduos, as biomassas dedicadas também podem ser plantadas e produzidas para fins de geração de energia.

A seguir, será apresentado o Quadro 3, que mostra os resultados da Pesquisa Bibliográfica Sistemática, que totalizou em vinte e seis artigos, alinhados com esta dissertação. A categoria que apresenta os artigos de revisão, trata de estudos teóricos realizados, sem a prática do processo anaeróbico.

Quadro 3 - Resultados da Pesquisa Bibliográfica Sistemática

Tipos de resíduos utilizados	Processo	Autor	Ano	Periódico
Resíduos de arroz, milho e trigo	Codigestão de esterco suíno, silagem de milho e farinha de colza	AMON et al.	2006	<i>International Congress Series</i>
	Codigestão estrume suíno e talo de milho	NIU et al.	2011	<i>Procedia Environmental Sciences</i>
	Codigestão de estrume suíno, bagaço de frutas, sorgo, silagem de milho	MEGGYES et al.	2012	<i>Acta Polytechnica Hungarica</i>
	Codigestão de estrume suíno, palha de arroz, resíduos de carne, vegetais, arroz e macarrão	YE et al.	2013	<i>Waste Management</i>
	Codigestão de estrume de porco e palha de arroz	LI et al.	2015	<i>Bioresource Technology</i>
	Codigestão de estrume suíno, resíduos de tabaco e resíduos de trigo	LIU et al.	2015	<i>Bioresource Technology</i>
	Codigestão de estrume suíno, de vaca, de galinha e palha de arroz	LI et al.	2016	<i>Energy Research</i>
	Codigestão de esterco de porco com palha de milho	SONG et al.	2016	<i>BioResources</i>
	Codigestão de estrume suíno, de galinha, de vaca, lodo de esgoto, resíduos de alimentos, borra de cerveja, palha de trigo e palha de arroz	POULSEN et al.	2017	<i>Waste Management</i>
	Codigestão de estrume de porco e haste de milho	WANG et al.	2017	<i>Hydrogen Energy</i>
	Codigestão de dejetos suínos e haste de milho	WANG et al.	2017	<i>Bioresource Technology</i>
	Codigestão de estrume de porco e palha de trigo	WANG et al.	2017	<i>Waste Management</i>
Artigos de revisão	Potencial de produção de biogás a partir de resíduos agrícolas em usinas rurais na Polônia	MURADIN et al.	2014	<i>Sustainability</i>
	O potencial da biomassa da mandioca e tecnologias aplicáveis para a produção sustentável de biogás da África do Sul: uma revisão	OKUDOH et al.	2014	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
	Avaliação da codigestão anaeróbia de dejetos suínos com resíduos agroindustriais: a ligação entre impactos ambientais e parâmetros operacionais	RODRIGUEZ-VERDE et al.	2014	<i>Science of the Total Environment</i>
	Eficiência ecológica de sistemas de cultivo à base de milho para a produção de biogás	SVOBODA et al.	2015	<i>Bio Energy Research</i>

Continua...

Artigos de revisão	Processo de codigestão anaeróbia para a produção de biogás: avanços, desafios e perspectivas	HAGOS et al.	2017	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
	Codigestão anaeróbia de estrume animal e resíduos lignocelulósicos como uma abordagem potencial para a produção sustentável de biogás	NESHAT et al.	2017	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
	Recursos de biomassa e potencial e potencial de digestão anaeróbia no cenário indiano	THOMAS et al.	2017	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
Resíduos de erva	Codigestão de estrume suíno e silagem de erva seca	XIE et al.	2012	<i>Bioresource Technology</i>
	Codigestão de estrume suíno, de gado e silagem de erva	TSAPEKOS et al.	2017	<i>Applied Energy</i>
Resíduos de capim	Codigestão de dejetos suínos e silagem de capim	DUSSADEE et al.	2014	<i>Bioresource Technology</i>
	Codigestão de dejetos suínos e silagem de capim	XIE et al.	2017	<i>International Biodeterioration And Biodegradation</i>
Resíduos de mandioca	Codigestão de estrume suíno, glicerol e amido de mandioca	CREMONEZ et al.	2016	Semina: Ciências Agrárias
Resíduos de palha de cevada	Codigestão de estrume de animais com palha de cevada	WEI et al.	2014	<i>Energy Conversion Management</i>
Resíduos de matadouros, alimentos, aves	Codigestão de estrume suíno, resíduos de matadouros, resíduos de processamento de alimentos, resíduos de aves	NGES et al.	2012	<i>Waste Management</i>

Fonte: Autoria própria (2017)

A seguir será apresentado o Estado da Arte dos principais estudos realizados sobre a codigestão de dejetos suínos com resíduos agrícolas.

4.1 PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DA AGROPECUÁRIA - ESTADO DA ARTE

A produção de biogás tem avançado constantemente no Brasil e no mundo, pois a utilização de fontes de energias renováveis contribui para o desenvolvimento ambiental, favorecendo a substituição dos recursos tradicionais que promovem a poluição. Os processos de codigestão anaeróbia têm sido amplamente aplicados em diversas propriedades rurais e discutidos em artigos numa dimensão global.

Neste sentido, tem sido realizado nas últimas décadas, estudos sobre a produção de biogás através do processo de codigestão anaeróbia, com diversos resíduos oriundos da agropecuária, que mostram a eficiência na geração de biogás, compartilhando de conhecimento em energias renováveis.

Alguns estudos sobre codigestão anaeróbia foram publicados, como Hubenov et al. (2015), que realizaram um experimento laboratorial, utilizando resíduos de frutas, vegetais e dejetos suínos com diferentes proporções. A mistura também chamada de inoculo, correspondeu em 70% de estrume suíno e 30% distribuídos da seguinte maneira: 40% de cascas de batata, 20% de resíduos de tomate, 20% de resíduos de pepino e 20% de lixo. A codigestão não somente melhorou a estabilidade do processo, mas também resultou em maior produção de metano. Os rendimentos de biogás atingiram 1,090 m³ e 0,65 m³ respectivamente.

A pesquisa realizada pelos autores mostrou a eficiência na geração de biogás através do uso de vários substratos combinados com os dejetos suínos. Vale ressaltar o enfoque na adição de 40% de cascas de batata no processo de conversão, que por sua vez, apresentou melhores resultados na produção. Ao comparar o estudo com esta dissertação, onde foi acrescentado 30% de resíduos de batata nas amostras para a realização dos ensaios laboratoriais, conclui-se que os dejetos suínos quando combinados com os resíduos de batata, se mostram mais promissores na produção de biogás, pois todas as mostras misturadas com os dois resíduos, apresentaram maiores quantidades de sólidos voláteis, tendo um maior potencial de geração de biogás.

Já Xie et al. (2017) investigaram a escala piloto de um biodigestor, utilizando estrume de porco com silagem de capim no processo de codigestão, além da digestão somente de um substrato, conduzido a uma temperatura de 37^o C. O experimento da codigestão anaeróbia consistiu em examinar a estabilidade do processo em termos

de pH e a produtividade do biogás. Os resultados demonstraram que o processo de codigestão oferece várias vantagens em relação ao processo de monodigestão, incluindo maior teor de metano presente no biogás e maior presença de sólidos voláteis que correspondem ao principal alimento das bactérias metanogênicas, responsáveis por produzir o biogás.

Os autores mostraram mais uma vez que o processo de codigestão anaeróbia produz maior quantidade de biogás, ao utilizar mais de um tipo de resíduo. A pesquisa apresentou um aumento significativo de 81,4% e 41,4% na fase I, que correspondeu ao uso somente de um substrato, para 87,8% e 53,9% na fase II, onde correspondeu à adição de silagem de capim no processo, aumentando os rendimentos de biogás.

Outra pesquisa realizada por Dussadee et al. (2014), também utilizou dejetos suínos e silagem de capim, conduzido a uma temperatura de 40° C, em três reatores contínuos. Os resultados obtidos foram semelhantes ao estudo de Xie et al. (2017), e concluíram que a codigestão do estrume de porco com a silagem de capim é promissora na produção de biogás, pois a combinação dos substratos apresentou melhor desempenho no processo, gerando maior quantidade de metano. O estudo realizado mostrou que é viável acrescentar no processo a silagem de capim, pois os resultados obtidos apresentaram maior potencial de produção de biogás, sendo a abordagem de codigestão anaeróbia favorável.

Outro estudo realizado por Song et al. (2016), mostrou mais uma vez que o processo de codigestão foi mais eficiente em relação à monodigestão. A pesquisa foi realizada com esterco suíno e palha de milho seca, a uma temperatura de 35° C, com um tempo de retenção hidráulica de 30, 40 e 60 dias. A codigestão assegurou a estabilidade do processo de digestão anaeróbia e melhorou a produção de metano. Os autores também analisaram a digestão somente da palha de milho e concluíram que tal substrato não apresenta eficiência na geração de biogás, tornando-se uma alternativa efetiva para a adição no processo de codigestão.

Uma pesquisa realizada por Wang et al. (2017), mostrou a comparação entre o processo de mono e codigestão de estrume suíno com haste de milho, com o intuito de avaliar o conteúdo do biogás gerado, incluindo a geração de metano e gás carbônico. Os experimentos foram realizados em bateladas, em condições de temperatura a 35° C, a um tempo de retenção hidráulica de 40 dias. Os resultados obtidos a partir da análise da codigestão mostraram alta eficiência quando comparado com o processo de monodigestão.

Uma investigação foi realizada por Li et al. (2015), que objetivou verificar os efeitos do esterco de porco com a palha de arroz na produção de biogás no biodigestor, distribuídos nas seguintes proporções: 0:1, 1:2, 1:1, 2:1 e 1:0, (palha de arroz/esterco suíno). O estudo concluiu que os rendimentos de biogás nas proporções de 1:2 e 1:1 não eram apenas maiores que a digestão somente da palha de arroz sozinha, mas também maior do que o estrume de porco digerido sozinho, concluindo um efeito sinérgico positivo no processo de codigestão. As contribuições do estudo realizado são positivas, visto que, o reaproveitamento dos resíduos proporciona otimizar o processo de geração de biogás, produzindo maior quantidade de biogás.

Com o objetivo de analisar a produção de biogás, Wei et al. (2014), verificaram o processo de codigestão de dejetos suínos, bovinos e palha de cevada, a uma temperatura de 15° C, sendo esta diferente quando comparado com os estudos anteriores mencionados, que por sua vez, estabeleceram uma temperatura média entre 35 e 37°C. O tempo de retenção hidráulica foi maior, quando comparado com Wang et al. (2017), sendo necessário 80 dias para a produção de biogás devido à pressão do ar. A maior produção de biogás obtido através da codigestão dos substratos suínos, bovinos e palha de cevada foi de 233.4 ml. A adição da palha de cevada se mostrou eficiente no processo a baixas temperaturas e alta condição de altitude, porém o tempo necessário para a produção de biogás foi bem maior.

Os autores Cremonez et al. (2016), desenvolveram um estudo que avaliou a adição de polímeros biodegradáveis produzido a partir da fécula de mandioca e glicerina bruta proveniente do processo de produção de biodiesel na geração de biogás. A pesquisa ocorreu em escala de laboratório, através de reatores com alimentação em batelada, ou seja, este equipamento não permite a entrada ou saída de reagentes ou quaisquer produtos durante o processamento.

Para a realização deste experimento, foram realizadas três conversões dos substratos, sendo o primeiro processo somente com os resíduos suínos, o segundo com a adição de 1, 3 e 5% de glicerol e o terceiro com a adição de 3 a 5% do polímero biodegradável a base de fécula de mandioca. O estudo concluiu que a adição dos polímeros rendeu melhores resultados quando comparado com a adição de glicerol.

Uma pesquisa realizada por Liu et al. (2015), investigaram a codigestão de dejetos suínos, palha de trigo e caule de tabaco, conduzidos a uma temperatura de 35° C. Os resultados do estudo mostraram que o rendimento do biogás gerado a partir da combinação dos substratos foi de 0,163 m³, sendo estes, indicados para a

produção de biogás. Os resultados apresentados sugerem que o uso de caule de tabaco no processo de codigestão anaeróbia são viáveis para a produção de biogás.

Já os autores Wang et al. (2017), investigaram os efeitos do pó de magnetite (minério de ferro), em diferentes quantidades, sendo 0 g, 1,5 g, 3 g, 4,5 g e 6 g, na codigestão de estrume suíno e palha de trigo. O estudo teve como objetivo verificar a produção de metano e a eficiência da adição do pó como substrato no processo. Os resultados da pesquisa mostraram que a utilização de 3 g do substrato mencionado teve efeitos significativos, sendo estes positivos para o codigestão, obtendo 206 ml como solução ótima, com o tempo de retenção hidráulica de 44 dias.

Outro estudo realizado por Poulsen et al. (2017), investigou o uso de diversos resíduos como borra de cerveja, estrume de galinha, estrume de vaca, aparas de relva, estrume de porco, lamas de esgoto, resíduos de alimentos vegetais, palha de trigo e palha de arroz. As experiências com os materiais da biomassa foram através de conjuntos com três combinações de diferentes resíduos, e o processo ocorreu num biodigestor em grande escala, operado pela Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade de Arthus, na Dinamarca).

Os resultados deste estudo mostram que as composições misturadas, ou seja, que utilizam vários resíduos apresentam um aumento na produção de biogás, uma média de 65% em comparação com a mono digestão.

Já os autores Li et al. (2015), desenvolveram um estudo com o objetivo de analisar o processo de codigestão anaeróbia a partir de dejetos suínos com palha de arroz em diferentes proporções, sendo 0:1, 1:2, 1:1, 2:1 e 1:0. Os testes foram realizados utilizando garrafas de 2,5 L, a uma temperatura de 37° C. Os resultados apresentaram um rendimento na produção de biogás foram 467, 40, 478, 83, 478, 98, 447, 65 e 355, 21 kg SV, sendo a proporção 1:1 recomendada na geração de biogás.

Outra pesquisa realizada por Tsapekos et al. (2017), investigou o processo de codigestão anaeróbia a partir de estrume de porco com silagem de capim. Foi feito um pré-tratamento mecânico da silagem, com o intuito de preparar a biomassa para o processo de geração de biogás. Os resultados apresentados mostraram que o metano foi significativamente aumentado em 12,3% devido ao tratamento do substrato, também, houve aumento na geração de metano em 6,4% devido à adição da silagem de capim no processo de codigestão.

Embora o estudo tenha apresentado resultados positivos em relação à adição de silagem de capim no processo, alguns problemas técnicos foram observados,

como a flutuação de temperatura, entre os dias 55 e 58 no tempo de retenção hidráulica do processo, impactando na operação do reator de modo que o mesmo funcionou sob condições instáveis. Como consequência, as concentrações de acetato foram aumentadas, prejudicando a produção de biogás. Após a temperatura ter estabilizado, as concentrações voltaram gradualmente, diminuindo para níveis mais baixos.

Um estudo realizado por Xie et al. (2012), avaliou o processo de codigestão anaeróbia de estrume de porco com silagem de capim, conduzidos a uma temperatura de 35° C, com um tempo de retenção hidráulica de 30 dias. As proporções das misturas foram distribuídas da seguinte forma: 80/20 (estrume/silagem), 70/30 e 60/40. Os resultados apresentaram maiores quantidades de metano produzido na proporção 60/40, tendo uma melhor degradação da matéria orgânica.

Para os ensaios laboratoriais desta dissertação, a proporção das misturas foi de 70/30 (dejetos suínos e resíduos de batata), pois os autores Kaparaju e Rintala (2005) mostraram a eficiência no processo através da adição dos resíduos da batata e o aumento da produção de biogás. No entanto, a literatura mostra novamente, a contribuição significativa para a geração de biogás, utilizando mais de um substrato no processo produtivo.

Com o intuito de avaliar os efeitos da palha de arroz com estrume de porco, estrume de vaca e estrume de galinha, na produção de biogás em diferentes combinações, Li et al. (2016), verificaram que o desempenho do processo de codigestão anaeróbia é recomendado, pois os resultados mostraram uma produção de biogás estável. O estudo verificou também a formação de espuma, que por sua vez inibe a geração de biogás. A combinação que mais apresentou a formação desta espuma foi a palha de arroz + estrume de vaca e a palha de arroz + estrume de galinha. Não houve a formação de espuma durante todo o processo para a codigestão de palha de arroz com estrume de porco, sendo esta mais eficiente na produção de biogás.

A pesquisa realizada pelos autores comprovou novamente que o processo de codigestão anaeróbia tem um potencial maior na geração de biogás e que a combinação da palha de arroz com o estrume de porco é recomendada nas aplicações.

Os autores Nges et al. (2012), analisaram a codigestão de estrume de porco, resíduos de matadouro, resíduos de alimentos e de aves, resíduos de milho e trigo. O

processo foi conduzido a uma temperatura de 37° C e os resultados mostraram que os rendimentos de metano a partir das misturas dos substratos foram maiores quando comparado com o processo de monodigestão, tendo este a utilização de somente um substrato.

Já os autores Ye et al. (2013), investigaram o efeito da palha de arroz com resíduos de cozinha e estrume de porco na produção de biogás. O estudo foi conduzido a uma temperatura de 37° C e os resultados sugerem a codigestão dos três substratos, pois os rendimentos de produção de biogás aumentaram em 55,2%, 71,6% e 46,6% em relação ao processo de monodigestão.

O estudo contribuiu para a realização de novas pesquisas envolvendo os substratos mencionados, sugerindo ainda, evitar a inibição dos ácidos gordos voláteis através da monitorização da concentração destes para assegurar a quantidade desejada, assegurando assim, a eficiência na produção de biogás.

Meggyes e Nagy (2012), avaliaram a produção de biogás a partir de estrume suíno com bagaço de frutas, silagem de milho e resíduos de sorgo. Realizaram também testes de motores movidos a gás para a utilização de energia. As experiências tiveram um tempo de 43 e 50 dias e os resultados mostram que o bagaço de frutas tem pH ácido, permitindo que estes sejam aplicados em pequenas quantidades para que o processo não seja inibido. Já os resíduos de milho e sorgo apresentaram aumento na geração de biogás. Os testes foram realizados no Laboratório de Engenharia de Calor Gyorgy Jendrassik, na Universidade de Tecnologia de Budapeste e Economia.

A eficiência no funcionamento dos motores está relacionada com o teor de metano do biogás, pois a pesquisa mostrou que as variantes destes percentuais aumentam e/ou diminuem a ação dos equipamentos.

A fim de investigar a influência na geração de biogás, Niu et al. (2011), analisaram a combinação de estrume suíno com palha de milho no processo de codigestão anaeróbia, conduzido a uma temperatura de 35° C. Alguns fatores que influenciam diretamente no processo foram observados como o tamanho da palha, a temperatura e a proporção da mistura dos substratos. Os resultados mostram que a produção máxima de biogás foi no 11º dia, onde atingiram 2120 mL.

O estudo dos autores apresentou alguns fatores que podem aumentar ou diminuir a produção de biogás, contribuindo para a realização de novas pesquisas,

além de mostrar na prática que o uso de dois ou mais substratos permite aumentar a geração de biogás.

Uma pesquisa realizada por Amon et al. (2006), avaliou os efeitos no processo de codigestão anaeróbia a partir de dejetos bovinos, dejetos suínos, farinha de colza e silagem de milho com a adição de glicerina, conduzidos a uma temperatura entre 38° e 40° C. O estudo foi dividido em duas etapas, sendo a primeira constituída pela investigação da quantidade de CH₄ gerada a partir somente do estrume de vaca e a segunda, a partir da mistura de estrume suíno, silagem de milho e farinha de colza. Os resultados mostraram maiores quantidades de metano gerado a partir da mistura dos substratos que correspondem à segunda etapa. Foi adicionado ainda, 6% de glicerina no processo, onde resultou num aumento significativo de metano. Para se obter um processo de digestão estável, o percentual de glicerina adicionado não deve ultrapassar os 6%.

Conforme apresentado no Quadro 3 (pág. 49), nos artigos de revisão, não foram realizados os processos práticos de codigestão anaeróbia, porém, os estudos mostram teoricamente, o potencial de conversão de biogás, a partir das mais diversas fontes de biomassa. Nesta ótica, os autores Thomas et al. (2017), verificaram os recursos de biomassa e potencial da digestão anaeróbia no cenário indiano a partir de esterco animal, águas residuais, resíduos sólidos urbanos resíduos florestais, além dos resíduos agrícolas que têm uma grande abundância na Índia.

A respectiva pesquisa concluiu que a produção de biogás é um processo ambientalmente favorável, pois é possível reduzir as emissões poluentes na atmosfera, estimulando o uso de fontes renováveis de energia.

Já os autores Neshat et al. (2017), fizeram uma revisão sobre o processo de codigestão anaeróbia a partir de esterco animal e resíduos lignocelulósicos, tais como palha de arroz, palha de milho, palha de algodão, resíduos de cozinha, resíduos de mandioca, borra de café, sendo estes considerados como promissores para a finalidade de produção de biogás. Os efeitos de pré-tratamento de algumas biomassas são indicações de eficiência no processo e estão divididos em três principais categorias: químicos, físicos e biológicos. Embora o pré-tratamento seja uma alternativa que permite potencializar a geração de biogás, o custo do processo pode tornar-se inviável do ponto de vista econômico.

Alguns fatores operacionais que impactam no processo de codigestão anaeróbia foram observados no estudo, como a temperatura, o pH, o TRH, a taxa de sólidos voláteis, alcalinidade e a concentração dos ácidos gordos voláteis.

Os autores Hagos et al. (2017), investigaram o progresso, os desafios e as perspectivas do processo de codigestão anaeróbia para a produção de biogás. Os resultados da pesquisa mostram que a combinação de estrume animal com resíduos agrícolas e resíduos de alimentos são promissores na geração de biogás. Considerou-se também, que tanto a quantidade quanto a qualidade dos materiais orgânicos são fundamentais para a eficiência do processo, podendo variar de acordo com a espécie de animais, idade, condições de crescimento e o tipo de alimentação.

Os principais desafios se resumem em desenvolver métodos que possam caracterizar os tipos de substratos e os materiais orgânicos, além da acessibilidade e a disponibilidade dos mesmos, para que o processo de codigestão anaeróbia seja um fator incentivador e que a sua prática seja cada vez mais intensiva.

Svoboda et al. (2015), desenvolveram um estudo baseado num experimento de campo com o objetivo de avaliar a produção de substrato para a fermentação anaeróbia de biogás. Foram plantadas e cultivadas a silagem de milho e trigo, por um período de dois anos e a base do substrato foi o estrume suíno, com o intuito de verificar a eficiência da produção de biogás. Os resultados apresentados mostram que o estrume codigerido com o milho são promissores no processo anaeróbico tem maior potencial de geração de biogás.

Já os autores Rodriguez-Verde et al. (2014), avaliaram a codigestão anaeróbia de dejetos suínos com resíduos agroindustriais (melaço da cana, biodiesel e a vinhaça), comparado somente com o processo de monodigestão e seus impactos ambientais utilizando a ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Os resultados do estudo mostraram que há impactos ambientais em todas os cenários avaliados, observou-se também que o processo de produção de biogás promove benefícios ambientais, ao substituir combustíveis fósseis por fontes de energias renováveis.

Um estudo realizado por Okudoh et al. (2014), apresentou uma revisão de literatura, discutindo sobre o potencial da mandioca e técnicas utilizadas no pré-tratamento para a produção de biogás. Os resultados mostraram que a mandioca é um dos principais cultivos da África do Sul, sendo a sua biomassa, uma das alternativas sustentáveis para a geração de biogás. As técnicas de pré-tratamento

tanto no aspecto mecânico, físico ou biológico da mandioca são recomendáveis, possibilitando aumentar a produção de biogás.

Os autores Muradin et al. (2014), avaliaram o potencial de produção de biogás a partir de resíduos agrícolas em plantas rurais na Polônia. Os resultados da pesquisa apresentaram que os dejetos de animais e os resíduos agroalimentares são abundantes na região, tornando-se um potencial para a geração de biogás.

Observou-se que os estudos apresentados, utilizam diversos tipos de substratos, sob diversas condições operacionais e que os resultados de produção de biogás são relativos aos parâmetros que influenciam na quantidade gerada, além do tipo de resíduo e sua respectiva qualidade e o tipo de biodigestor utilizado no processo.

As principais barreiras para o progresso do desenvolvimento da matriz energética sustentável estão relacionadas com a ausência de uma legislação vigente e específica para a produção de biogás, envolvendo a parceria entre os governos com a indústria, as secretarias, órgãos públicos e principalmente a academia, no sentido de incentivar o uso de fonte de energias renováveis, além da falta de um banco de dados específico que caracterize os dados técnicos dos resíduos agropecuários.

Em suma, o processo de codigestão anaeróbia que envolve vários tipos de substratos, traz melhores resultados em relação ao processo de monodigestão, com maiores rendimentos de biogás, conforme encontrado na literatura. A próxima seção apresenta os resultados encontrados a partir do ensaio dos sólidos.

4.2 RESULTADOS DO ENSAIO DOS SÓLIDOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS

As análises dos sólidos totais, fixos e voláteis de acordo com o método Gravimétrico da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 10664, 1989), foram realizadas a fim de determinar o melhor valor de SV das amostras, com objetivo de inserir o mesmo nas equações de estimativa teórica de produção de biogás.

As amostras A1, A2 e A3 correspondem em 100% de dejetos suínos. Já as amostras A4, A5 e A6 correspondem em 70% de dejetos e 30% de resíduos de batata.

A Tabela 2 apresenta os resultados encontrados após a realização do procedimento.

Tabela 2 - Resultados do ensaio dos sólidos

Amostras	ST (mg/L)	SV (mg/L)	SF (mg/L)
A1	0,5041	0,4766	0,0274
A2	0,5810	0,4965	0,0845
A3	0,4685	0,4021	0,6640
A4	0,6078	0,5464	0,0613
A5	0,6958	0,6707	0,0251
A6	0,6483	0,5688	0,0795

Fonte: Aatoria própria (2017)

Conforme observado, a amostra A5 corresponde ao melhor resultado na categoria de sólidos voláteis, sendo 0,6707.

4.3 RESULTADOS A PARTIR DA ESTIMATIVA TEÓRICA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Para a estimativa teórica da produção de biogás, foram consideradas duas equações, sendo a primeira proposta por Marques e Silva (2014), apresentada na página 29 deste trabalho, que trata de um modelo simplificado do IPCC (2006), tendo como principal parâmetro o sólido volátil (SV), sendo uma das principais variáveis representativas do percentual orgânico degradável. Considerou-se também, o fator de correção de metano (MCF - %10-2), o valor máximo teórico de produção de biogás por quilo de SV (B_0) e o percentual de metano (% CH_4).

Já a segunda equação, foi proposta pela Cibiogás-ER (2009), apresentada na página 30 deste trabalho, que também utilizou parâmetros do modelo IPCC (2006), além do peso médio (PM) que correspondeu a 115 kg (peso de saída dos animais da granja) e o peso padrão (PP), por categoria de suínos, sendo 198 kg (IPCC, 2006). Já o tempo de confinamento (TC) dos animais da granja é de 110 dias.

Após a realização das análises químicas laboratoriais, o SV que se mostrou mais eficiente e promissor para a geração de biogás correspondeu à amostra A5, com 0,7 mg/L.

Foram utilizados os dados padrão da suinocultura, orientado para a América Latina, do modelo IPCC (2006), sendo o MCF determinado em 0,79, o B_0 definido em 0,29 e o percentual de CH_4 orientado para 60%, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Dados utilizados para a estimativa teórica de produção de biogás

Dados	Valores/unidade de medida
PM (granja)	115 (kg)
PP (IPCC)	198 (kg)
TC (granja)	110 (dias)
SV (granja)	0,7 (mg/L)
MCF (IPCC)	0,79 (MCF-%10-2)
B ₀ (IPCC)	0,29 (m ³ CH ₄ kg-1SV-1)
%Ch ₄ (IPCC)	60%

Fonte: Autoria própria (2018)

O resultado encontrado através da primeira equação (29), foi 0,27 m³ de biogás gerado por suíno/dia. Quando comparado com o resultado obtido pelos autores, que foi de 0,11 m³, considera-se que, ao realizar a adição da batata no substrato, o valor se mostrou mais promissor, consolidando desta forma que a codigestão anaeróbia, ou seja, a utilização de dois ou mais substratos se mostram mais eficientes na geração de biogás, conforme verificado na literatura e observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Geração de biogás por suíno (equação 1)

Referência	Geração de biogás (m₃ dia)
Pesquisa realizada	0,27
Marques e Silva	0,11

Fonte: Autoria própria (2018)

Já na segunda equação, (30), foi encontrado o resultado de 1,0 m³ de biogás gerado por dia, por suíno. Ao comparar com o resultado desta equação, que foi de 0,30 m³, conclui-se mais uma vez que, o uso de mais de um tipo de substrato, potencializa a geração de biogás, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Geração de biogás por suíno (equação 2)

Referência	Geração de biogás (m₃ dia)
Pesquisa realizada	1,0
Clbiogas-ER	0,30

Fonte: Autoria própria (2018)

De acordo com os resultados encontrados neste trabalho, verificou-se que os experimentos que envolveram a utilização de fontes de energias renováveis oriundos

do setor agropecuário, contribuem não somente para a reutilização dos resíduos gerados pela prática da atividade, mas principalmente pela produção de energia limpa e renovável, que pode substituir os combustíveis fósseis, com baixas quantidades de emissão de gases poluentes.

Os resultados obtidos a partir dos objetivos específicos citados na introdução deste estudo permitem responder o problema da pesquisa: Quais as possibilidades de produção de biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos agrícolas da região dos Campos Gerais através do processo de codigestão anaeróbia?

A adição da batata nos ensaios de SV realizados, mostrou aumento no potencial de geração de biogás, quando combinados com os dejetos suínos. Ainda, conforme observado na revisão bibliográfica sistemática, afirma-se que são várias as possibilidades de se produzir biogás a partir da combinação de substratos da suinocultura com resíduos agrícolas, entre elas, a palha de arroz, trigo, milho, silagem de capim, resíduos de alimentos, entre eles, as frutas, resíduos de carnes, vegetais, óleo de soja, resíduos de frigoríficos.

Observa-se ainda, que todas as amostras dos ensaios de sólidos voláteis realizados, que tiveram a adição da batata, mostrou maior potencial na geração de biogás, o que apresentou maior contribuição na conversão dos substratos. De modo geral, a codigestão anaeróbia permite a realização do processo com diferentes substratos, o que se mostra mais promissor na geração de biogás.

Por fim, os resultados encontrados no presente trabalho, em comparação com trabalhos encontrados na literatura, permitiram avaliar e identificar características que beneficiam a produção de biogás, sendo assim, fundamental e relevante para a temática em questão.

5 CONCLUSÃO

Em resposta ao primeiro objetivo específico que foi identificar as características da geração de biogás através do processo de codigestão anaeróbia, foi apresentado os seguintes parâmetros que influenciam no processo: o pH, pois se define a velocidade com que os microrganismos crescem; o TRH, que corresponde ao tempo necessário para que a codigestão anaeróbia ocorra; a temperatura, que influencia na degradação do substrato utilizado; os SV que correspondem ao principal parâmetro na geração de biogás; por fim, o manejo dos animais, bem como a respectiva alimentação dos mesmos, que influenciam nas características dos dejetos.

Também, em relação a estimativa teórica de produção de biogás neste estudo, as análises laboratoriais apresentaram melhorias nos resultados obtidos, pois a adição da batata aumentou o potencial de produção de biogás.

Já o segundo objetivo específico, refere-se à descrição do panorama da suinocultura no Brasil, onde foi verificado que os estados do Paraná, Santa Catarina e o Rio Grande do Sul possuem a maior produção de carne suína do Brasil, constatando assim, abundância na disposição dos dejetos. Verificou-se também que a atividade da suinocultura contribui significativamente para o desenvolvimento socioeconômico do país.

O terceiro objetivo específico traçado foi construir o Estado da Arte e foi apresentado os principais estudos realizados nos últimos vinte anos, delineados com esta pesquisa, ou seja, pesquisas que trataram da codigestão anaeróbia de dejetos suínos com resíduos agrícolas.

Por fim, o último objetivo específico foi realizar uma discussão dos principais estudos levantados sobre a codigestão anaeróbia de dejetos suínos com resíduos agrícolas, onde conclui-se que há diversos tipos de resíduos agropecuários em abundância que podem ser explorados para a produção de biogás na região dos Campos Gerais.

A promoção de melhorias na geração de biogás através de resíduos da suinocultura combinados com os resíduos agrícolas gera ganhos para a sociedade e principalmente para os produtores rurais. O processo de codigestão anaeróbia contribui positivamente na diminuição dos impactos ambientais, além de proporcionar benefícios à saúde humana e a preservação de recursos naturais como rios, lagoas, e a própria existência dos animais que neles habitam.

Com a obtenção dos resultados deste trabalho, pode-se concluir que, embora a codigestão anaeróbia seja complexa, a prática deste processo é de extrema relevância, pois possibilita direcionar os resíduos do setor para o descarte de maneira ecológica, proporcionando ainda, a geração de energia a partir de fontes de energias renováveis, com o intuito de substituir os combustíveis fósseis.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Apesar desta pesquisa ser relevante e proporcionar auxílio aos pesquisadores da área e aos próprios produtores rurais, existem algumas limitações que podem ser citadas. A primeira delas refere-se à utilização de alguns parâmetros sugeridos pela metodologia IPCC, que generaliza para a América Latina e não especificamente para o Brasil. Outra, diz respeito à ausência de um banco de dados que contenha informações relevantes sobre os resíduos e/ou substratos, de forma a auxiliar e avançar nas pesquisas relacionadas com a produção de biogás. A terceira limitação está relacionada com a ausência de publicações no que se refere ao uso de metodologias direcionadas especificamente para o Brasil, pois este país está entre os maiores produtores mundiais de carne suína.

A seguir serão apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

5.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Durante o desenvolvimento deste estudo, foi possível identificar algumas oportunidades para a expansão e a evolução de futuras pesquisas relacionadas com a temática deste trabalho. Entre elas, destacam-se:

- Comparar a abordagem teórica deste estudo com o processo prático de codigestão anaeróbia, utilizando um biodigestor para a obtenção de resultados consolidados;
- Desenvolver estudos de codigestão anaeróbia com resíduos ainda não explorados no Brasil;
- Realizar um levantamento dos custos envolvidos para a implantação de um biodigestor, de forma a avaliar a viabilidade econômica e financeira.

- Utilizar diferentes combinações de palavras-chave para o levantamento do portfólio;
- Utilizar diferentes percentuais de distribuições dos resíduos para as análises laboratoriais.

REFERÊNCIAS

ABBASSI-GUENDOUZ, A. et al. Total solids content drives high solid anaerobic digestion via mass transfer limitation. **Bioresource technology**, v. 111, p. 55-61, 2012.

ABOUELENIEN, F. et al. Enhancement of methane production from co-digestion of chicken manure with agricultural wastes. **Bioresource technology**, v. 159, p. 80-87, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT/NBR 10664. **Águas: Determinação de Resíduos (sólidos) - Método Gravimétrico**. Rio de Janeiro, 1989.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3ª ed. - Brasília: ANEEL, 2008.

AHLBERG-ELIASSON, K. et al. Production efficiency of Swedish farm-scale biogas plants. **Biomass and Bioenergy**, v. 97, p. 27-37, 2017.

AMON, T. et al. Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. In: **International Congress Series**. Elsevier, 2006. p. 217-220.

ANGELIDAKI, I. et al. Biomethanation and its potential. **Methods Enzymol**, v. 494, n. 16, p. 327-351, 2011.

APPELS, L. et al. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Potential and research challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS - ABCS. **Revista da Suinocultura**. Mapeamento Suinocultura Brasileira e Suas Dimensões. Disponível em: <<http://www.abcs.org.br/jornal-argumento-suino>>. Acesso em: 17 maio 2017.

AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos**: compostagem e biodigestão anaeróbia. 2007.

BAYR, S. et al. Effect of additives on process stability of mesophilic anaerobic monodigestion of pig slaughterhouse waste. **Bioresource Technology**, v. 120, p. 106-113, 2012.

BLEY, C. **Biogás: a energia invisível**. 2ª ed. - São Paulo: CIBiogás; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional, 2015.

BLUEMLING, B. et al. The social organization of agricultural biogas production and use. **Energy Policy**, v. 63, p. 10-17, 2013.

BONFANTE, T. M. **Análise da viabilidade econômica de projetos que visam à instalação de biodigestores para o tratamento de resíduos da suinocultura sob as óticas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e da geração de energia**. 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto, 2010.

BRASIL. **Ministério de Minas e Energia - MME**. Energia renovável representa mais de 42% da matriz energética brasileira. Disponível em: >http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/renovaveis-devemmanter-participacao-de-43-na-matriz-energetica-em-2017>. Acesso em: 09 maio 2017.

CARNEIRO, D. R. C. **Viabilidade técnica e econômica de uma unidade centralizada de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - UNIVERSIDADE DO PORTO - FACULDADE DE ENGENHARIA - FEUP. Portugal, 2013.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. v.5. 380p, 2007.

COELHO, S. T. et al. Energy access: Lessons learned in Brazil and perspectives for replication in other developing countries. **Energy policy**, v. 61, p. 1088-1096, 2013.

CONFORTO, E. C. et al. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. In: **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto-CBGDP**. 2011.

CREMONEZ, P. A. et al. Comparison between biodegradable polymers from cassava starch and glycerol as additives to biogas production. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 4, 2016.

DE ALMEIDA, B. et al. Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. **Advanced Engineering Informatics**, v. 21, n. 2, p. 133-151, 2007.

DE ANDRADE, J. B. S. O. et al. Future Scenarios and Trends in Energy Generation in Brazil: supply and demand and mitigation forecasts. **Journal of Cleaner Production**. v. 103, n.15, p. 197-210, set. 2015.

DECOTTIGNIES, V. et al. **Comparison of analytical methods to determine the stability of municipal solid waste and 70 related wastes**. In: Proceedings Sardinia, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2005.

DE OLIVEIRA, P. A. V. Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. **Embrapa Suínos e Aves-Documentos (INFOTECA-E)**, 1993.

DE OLIVEIRA, S. V. W. B. et al. Generation of Bioenergy and Biofertilizer on a Sustainable Rural Property. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 7, p. 2608-2618, 2011.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**: Volume 5 da Série Escola Piloto de Engenharia Química. Editora E-papers, 2008.

DIAS, J. D. S. et al. Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. **Embrapa Agroenergia-Documentos (INFOTECA-E)**, 2012.

DI MARIA, F. et al. Co-treatment of fruit and vegetable waste in sludge digesters. An analysis of the relationship among bio-methane generation, process stability and digestate phytotoxicity. **Waste management**, v. 34, n. 9, p. 1603-1608, 2014.

DUSSADEE, N. et al. Potential development of compressed bio-methane gas production from pig farms and elephant grass silage for transportation in Thailand. **Bioresource technology**, v. 155, p. 438-441, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Maiores Produtores e Exportadores de Carne Suína do Brasil**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/brasil>>. Acesso em: 18 maio 2017.

_____. **Estatística Desempenho da Produção**. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas>>. Acesso em: 31 ago 2017.

_____. **A cultura da batata**. Disponível em:
<<https://www.embrapa.br/hortalias/batata/composicao-nutricional-da-batata>>.
Acesso em: 11 set 2017.

_____. **A Embrapa soja no contexto do desenvolvimento da soja no Brasil**.
Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142568/1/Livro-EmbrapaSoja-desenvolvimento-BR-OL.pdf>>. Acesso em: 13 set 2017.

ENDNOTE. Disponível em: <<http://www.endnote.com>>. Acesso em: 21 set. 2017

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO-AMIS:
Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação, Disponível em:
<<http://statistics.amis-outlook.org/data/index.html#>>. Acesso em: Set. 2017.

FDEZ-GUELFO, L. A. et al. New indirect parameters for interpreting a destabilization episode in an anaerobic reactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 180, p. 32-38, 2012.

FELDKIRCHER, T. **Potencial de Produção de Biogás com Mistura de Dejetos Suínos e Lodos de ETE de Frigoríficos e Laticínios em Biodigestor Anaeróbio**. 2015. 95 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade de Santa Maria. Santa Maria, 2015.

FERNANDES, D. M. **Biomassa e Biogás da Suinocultura**. 209 f. Dissertação (Mestrado em Energia e Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste. Cascavel, 2012.

FRITSCH, M. et al. Enhancing hydrogen production of *Clostridium butyricum* using a column reactor with square-structured ceramic fittings. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33 pp. 6549-6557, 2008.

GALINKIN, M. et al. **Agroenergia da Biomassa Residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. 2ª ed. rev. - Foz do Iguaçu/Brasília: Itaipu Binacional, Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, TechnoPolitik Editora, 2009.

GARCIA, J. L. et al. Phylogenetic and ecological diversity of methanogenic Archaea. **Anaerobe**, v. 6, n. 4, p. 205-226, 2000.

GASCH, C. et al. Enzymatic monitoring and control of a two-phase batch digester leaching system with integrated anaerobic filter. **Energy, Sustainability and Society**, v. 3, n. 1, p. 10, 2013.

GENTILINI, F. P. et al. **Tópicos Atuais na Produção de Suínos e Aves**. v. 10, p. 1576. 2013.

GERBER, P. J. et al. **Tackling Climate Change Through Livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities**. FAO, 2013.

GRAHAM, R. L. et al. Estoques de milho atuais e potenciais nos EUA. **Agronomy Journal**, 99 pp. 1-11, 2007.

HAANDEL, A. C. et al. Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente. In: **Tratamento anaeróbico de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Epgraf, 1994.

HAASJES, J. **O produtor rural como fornecedor de bio-combustível**. 2014. Fórum Brasil-Alemanha de Biogás. Disponível em: <http://www.ahkbrasilien.com.br/fileadmin/ahk_brasilien/portugiesische_seite/departamentos/Meio_Ambiente/Forum_Brasil-Alemanha/Biodigestor_e_sustentabilidade.pdf>. Acesso em 26 de set. 2017.

HAGOS, K. et al. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 1485-1496, 2017.

HIJAZI, O. et al. Review of life cycle assessment for biogas production in Europe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 54, p. 1291-1300, 2016.

HOSSEINI, S. E. et al. Development of biogas combustion in combined heat and power generation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 40, 2014.

HUBENOV, V. N. et al. Anaerobic co-digestion of waste fruits and vegetables and swine manure in a pilot-scale bioreactor. **Bulgarian Chemical Communications**, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201703_7.shtm>. Acesso em: 04 maio 2017.

_____. **Área plantada, colhida e produção, por ano, safra e produto**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618#resultado>>. Acesso em: 12 set 2017.

_____. **Países**. Disponível em: <<https://paises.ibge.gov.br/#/pt/pais/austria/info/populacao>>. Acesso em: 27 set 2017.

_____. **População**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>. Acesso em: 27 set 2017.

IPCC. Emissions from Livestock and Manure Management. In: **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use**. Hayama, Kanagawa: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2006.

KAPARAJU, P. et al. Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 43, n. 2, p. 175-188, 2005.

KARLSSON, T. Manual básico de biogás. **Lajeado: Univates**, 2014.

KHALID, A. et al. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste management**, v. 31, n. 8, p. 1737-1744, 2011.

LESTEUR, M. et al. First step towards a fast-analytical method for the determination of biochemical methane potential of solid wastes by near infrared spectroscopy. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 3, p. 2280-2288, 2011.

LI, D. et al. Effects of feedstock ratio and organic loading rate on the anaerobic mesophilic co-digestion of rice straw and pig manure. **Bioresource technology**, v. 187, p. 120-127, 2015.

LI, D. et al. Biogas production from thermophilic codigestion of air-dried rice straw and animal manure. **International Journal of Energy Research**, v. 40, n. 9, p. 1245-1254, 2016.

LIN, J. et al. Effects of mixture ratio on anaerobic co-digestion with fruit and vegetable waste and food waste of China. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 8, p. 1403-1408, 2011.

LIU, Y. et al. Co-digestion of tobacco waste with different agricultural biomass feedstocks and the inhibition of tobacco viruses by anaerobic digestion. **Bioresource technology**, v. 189, p. 210-216, 2015.

MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. 47 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas - Botucatu, São Paulo, 2011.

MAO, C. et al. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 540-555, 2015.

MARTELLI, L. F. A. **Avaliação quantitativa e qualitativa da matéria orgânica de solo sob a aplicação de efluente de esgoto tratado em biodigestor anaeróbico**. 119 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

MATA-ALVAREZ, J. et al. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, pp. 412-427, 2014.

MATOS, A. de Tratamento de resíduos agroindustriais. **Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais**, UFV, 2005.

MATOS, E. D. S. **Dossiê técnico**: Cultivo do milho verde. CDT/UnB, Brasília, 2007.

MEGGYES, A. et al. Biogas and energy production by utilization of different agricultural wastes. **Acta Polytechnica Hungarica**, v. 9, n. 6, p. 65-80, 2012.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA
Suinocultura de Baixa Emissão de Carbono: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos.
Secretaria de Mobilidade Social, do Produtor Rural e do Cooperativismo. - Brasília: MAPA, 100 p. ISBN 978-85-7991-100-2, 2016.

MIRANDA, A. P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade, e efeitos na biodigestão anaeróbia.** 123 f. Tese de Doutorado - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Jaboticabal, 2009.

MORAES, B. S. et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable energy reviews**, v. 44, p. 888-903, 2015.

MURADIN, M. et al. Potential for producing biogas from agricultural waste in rural plants in poland. **Sustainability**, v. 6, n. 8, p. 5065-5074, 2014.

NESHAT, S. A. et al. Anaerobic co-digestion of animal manures and lignocellulosic residues as a potent approach for sustainable biogas production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 308-322, 2017.

NGES, I. A. et al. Benefits of supplementing an industrial waste anaerobic digester with energy crops for increased biogas production. **Waste management**, v. 32, n. 1, p. 53-59, 2012.

NIU, M. et al. The study of influencing factors to corn straw mixed with pig effluent anaerobic fermentation. **Procedia Environmental Sciences**, v. 8, p. 54-60, 2011.

NOGUEIRA, C. E. C. et al. Exploring possibilities of energy insertion from vinasse biogas in the energy matrix of Paraná State, Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 300-305, 2015.

Norma Técnica Interna SABESP. NTS 013. Sólidos - Método de Ensaio. São Paulo. 8 p. 1999.

OKUDOH, V. et al. The potential of cassava biomass and applicable technologies for sustainable biogas production in South Africa: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 1035-1052, 2014.

OLIVER, A. P. M. et al. **Manual de Treinamento em Biodigestão - Energia e Desenvolvimento**. 23p. 2ª ed. Instituto Winrock Internacional, Salvador, (2008).

PATOWARY, D. et al. Biogas production from surplus plant biomass feedstock: some highlights of indo-UK R and D Initiative. **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 785-794, 2016.

PECORA, V. **Implantação de uma Unidade Demonstrativa de Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás de Tratamento do Esgoto Residencial da USP - Estudo de Caso**. 152 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Programa Interunidades da Universidade de São Paulo - PIPGE. São Paulo, 2006.

PERDOMO, C. C. **Alternativas para o manejo e tratamento dos dejetos de suínos**. **Suinocultura Industrial**, n. 152, p. 16-26, 2001.

PEREIRA, R. A. et al. **Compostagem em pequena escala e uso do composto como substrato na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum*)**. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, 2013.

POULSEN, T.G. et al. Improvement in CH₄/CO₂ ratio and CH₄ yield as related to biomass mix composition during anaerobic co-digestion. **Waste Management**, v. 61, p. 179-187, 2017.

PROBIOGAS. **Tecnologia de Digestão Anaeróbia com Relevância para o Brasil. Substratos, Digestores e Uso de Biogás**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogas-tecnologias-biogas.pdf>>. Acesso em 28 nov 2017.

RAPOSO, F. et al. Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: an overview relating to methane yields and experimental procedure. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 861-877, 2012.

RITCHIE, S. W. et al. Como a planta de milho se desenvolve. **Informações Agronômicas**, v. 103, p. 1-19, 2003.

RODRIGUEZ-VERDE, I. et al. Assessing anaerobic co-digestion of pig manure with agroindustrial wastes: The link between environmental impacts and operational parameters. **Science of the total environment**, v. 497, p. 475-483, 2014.

ROHSTOFFE, F. N. Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. **Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha**, 2010.

ROJAS, M. J. **Produção de etanol e hidrolisado protéico da casca de soja**. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, 2012.

SANT'ANNA JR, G. L. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. IV-IV, 2011.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2007.

SCHNEIDER, L.T. et al. Biodigestão anaeróbia de manipueira com adição de glicerol em faixa termofílica. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 49-56, 2016.

SILVA, C. B. **Abordagem teórica do processo de geração de biometano a partir de resíduos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

SONG, X. et al. Anaerobic Co-digestion of Pig Manure with Dried Maize Straw. **BioResources**, v. 11, n. 4, p. 8914-8928, 2016.

SVOBODA, N. et al. Ecological efficiency of maize-based cropping systems for biogas production. **BioEnergy Research**, v. 8, n. 4, p. 1621-1635, 2015.

THOMAS, J. R. et al. **Métodos de pesquisa em atividade física**, 6ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2012.

THOMAS, P. et al. Biomass resources and potential of anaerobic digestion in Indian scenario. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 77, p. 718-730, 2017.

TSAPEKOS, P. et al. Process performance and comparative metagenomic analysis during co-digestion of manure and lignocellulosic biomass for biogas production. **Applied Energy**, v. 185, p. 126-135, 2017.

TUFANER, F. et al. Effects of co-substrate on biogas production from cattle manure: a review. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 13, n. 9, p. 2303-2312, 2016.

VIDAL, B. C. et al. Influence of feedstock particle size on lignocellulose conversion-a review. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 164, n. 8, p. 1405-1421, 2011.

WANG, R. M. et al. Efficiency of porous burnt-coke carrier on treatment of potato starch wastewater with an anaerobic-aerobic bioreactor. **Chemical Engineering Journal**, v. 148, n. 1, p. 35-40, 2009.

WANG, M. et al. The dynamic changes and interactional networks of prokaryotic community between co-digestion and mono-digestions of corn stalk and pig manure. **Bioresource technology**, v. 225, p. 23-33, 2017.

WANG, Yanzi et al. Effect of magnetite powder on anaerobic co-digestion of pig manure and wheat straw. **Waste Management**, 2017.

WEI, S. et al. Psychrophilic anaerobic co-digestion of highland barley straw with two animal manures at high altitude for enhancing biogas production. **Energy Conversion and Management**, v. 88, p. 40-48, 2014.

XIE, S. et al. Methane production from anaerobic co-digestion of the separated solid fraction of pig manure with dried grass silage. **Bioresource technology**, v. 104, p. 289-297, 2012.

XIE, S. et al. A pilot scale study on synergistic effects of co-digestion of pig manure and grass silage. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 123, p. 244-250, 2017.

XING, W. et al. A half-submerged integrated two-phase anaerobic reactor for agricultural solid waste codigestion. **Biochemical Engineering Journal**, v. 88, p. 19-25, 2014.

XU, J. et al. Performance evaluation of a full-scale innovative swine waste-to-energy system. **Bioresource Technology**, v. 216, p. 494-502, 2016.

YE, J. et al. Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen waste and pig manure. **Waste Management**, v. 33, n. 12, p. 2653-2658, 2013.

ZEALAND, A. M. et al. Effect of feeding frequency and organic loading rate on biomethane production in the anaerobic digestion of rice straw. **Applied Energy**, 2017.

ZHANG, L. et al. Influence of Temperature and pH on Methanogenic Digestion in Two-phase Anaerobic Co-digestion of Pig Manure with Maize Straw. **Journal of Residuals Science & Technology**, 2016.

ZHANG, T. et al. Influence of initial pH on thermophilic anaerobic co-digestion of swine manure and maize stalk. **Waste Management**, v. 35, p. 119-126, 2015.

ZHENG, Y. et al. Anaerobic digestion of saline creeping wild ryegrass for biogas production and pretreatment of particleboard material. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 4, p. 1582-1588, 2009.

ZHOU, S. et al. Variation of the microbial community in thermophilic anaerobic digestion of pig manure mixed with different ratios of rice straw. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 122, n. 3, p. 334-340, 2016.

ZIGANSHIN, A. M. et al. Microbial community structure and dynamics during anaerobic digestion of various agricultural waste materials. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 97, n. 11, p. 5161-5174, 2013.