

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA A CADEIA
DE SUPRIMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS
PARA FORMAÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE:
UMA APLICAÇÃO EM TUPANDI/RS**

Leandro Duarte dos Santos

Leandro Duarte dos Santos

**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA A CADEIA DE
SUPRIMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA FORMAÇÃO
DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE: UMA APLICAÇÃO EM
TUPANDI/RS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Mayerle.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Santos, Leandro Duarte dos
MODELAGEM MATEMÁTICA PARA A CADEIA DE SUPRIMENTO DE
DEJETOS DE SUÍNOS PARA FORMAÇÃO DE BIOGÁS E
BIOFERTILIZANTE: UMA APLICAÇÃO EM TUPANDI/RS / Leandro
Duarte dos Santos ; orientador, Sergio Fernando Mayerle -
Florianópolis, SC, 2015.
133 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção.

Inclui referências

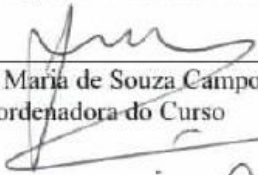
1. Engenharia de Produção. 2. Dejetos da suinocultura.
3. Produção de biogás e biofertilizante. 4. Modelagem
matemática. 5. Cadeia de suprimento de biomassa. I.
Mayerle, Sergio Fernando. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Produção. III. Título.

Leandro Duarte dos Santos


**MODELAGEM MATEMÁTICA PARA A CADEIA DE
SUPRIMENTO DE DEJETOS DE SUÍNOS PARA FORMAÇÃO
DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE: UMA APLICAÇÃO EM
TUPANDI/RS**


Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção.

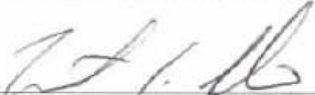
Florianópolis, 26 de fevereiro de 2015.

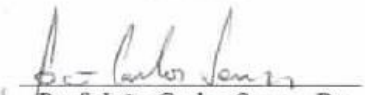

Prof.ª Lucila Maria de Souza Campos, Dr.ª.
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:


Prof. Sérgio Fernando Mayerle,
Dr. Orientador, Universidade
Federal de Santa Catarina


Prof. Paulo Belli Filho, Dr.
Universidade Federal de Santa
Catarina


Prof. Antônio Sérgio Coelho,
Dr. Universidade Federal de
Santa Catarina


Prof. João Carlos Souza, Dr.
Universidade Federal de Santa
Catarina

Este trabalho é dedicado à minha família, minha namorada e aos meus amigos.

AGRACEDIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, causa primária de todas as coisas.

A minha mãe Mercedes Duarte pelo amor, e pela oportunidade de estudar. Ao meu pai. Ao meu irmão Marcos Vinícius e minha cunhada Morgana Rinaldi por serem um exemplo de dedicação e paciência. E as minhas tias Emanuela Duarte Isfer e Inês Duarte por serem minhas segundas mães. Família é base.

Ao meu orientador Prof. Dr. Sérgio Fernando Mayerle que conduziu o processo de orientação com tamanha maestria.

A UFSC pela estrutura disponibilizada. Ao CNPq pela bolsa de estudos. E ao PPGEP, todos seus funcionários, e corpo docente, especialmente aos Professores Dr. Antônio Sergio Coelho, Dr. Carlos Manuel Taboada Rodriguez e Dr. Lucila Maria de Souza Campos.

A minha namorada Jhulielli da Rocha pelo carinho, companherismo e tranquilidade.

Ao professor Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert e sua esposa Msc. Adriana da Silva Santos pelo incentivo inicial. Ao professor Dr. Ricardo Berger, e Artur Padão Garcia Campos pelas lições de economia. Ao professor Msc. Hugo Adolfo Gosmann e Msc Wanderli Rogério Leite. Ao Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos – LABERFLU, especialmente ao Msc. Jorge Manuel Rodrigues Tavares por esclarecerem alguns aspectos relacionados à suinocultura.

Aos Colegas do Operational Research Laboratory - ORLAB por compartilharem seus conhecimentos de otimização e modelagem matemática.

Aos amigos Maycon José Maciel, Sebastian Petruch e Richardson Guenther Schechi, com quem sempre pude contar em Florianópolis. Ao Dr. Severo Ruppel por ser um incentivador incansável do progresso.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma fizeram parte desta caminhada.

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” Antoine Laurent de Lavoisier.

RESUMO

O tratamento dos dejetos da suinocultura por meio de biodigestores é extremamente interessante. Além de reduzir o poder poluente dos dejetos, esta tecnologia de tratamento ainda disponibiliza dois subprodutos: biofertilizante e biogás. O primeiro subproduto pode dar suporte a plantações agrícolas, aumentando consideravelmente a produtividade. Já o segundo pode ser convertido em energia renovável através de geradores de combustão interna. A implantação e manutenção de projetos de transformação de biomassa em biogás e biofertilizante tem como pré-requisito a oferta de biomassa uniforme ao longo do ano, e eficiente em termos de custo. Para o alcance de tais pré-requisitos é necessário que decisões nos âmbitos estratégico, tático e operacional sejam tomadas de modo eficiente na cadeia de suprimento de biomassa. Assim, o uso de modelos além de dar suporte aos processos de tomadas de decisões estratégicas, táticas e operacionais, torna possível também compreender melhor o ambiente em questão, levantar problemas, estabelecer estratégias, e visualizar oportunidades. Considerando o contexto exposto anteriormente, o presente trabalho teve como objetivo propor um modelo matemático para avaliar a viabilidade da cadeia de suprimento de dejetos da suinocultura para geração de biogás e biofertilizante. Para o processo de modelagem foram utilizadas equações encontradas em trabalhos que retratavam a fermentação anaeróbia dos dejetos suinícolas, além de expressões relativas ao transporte. Após construído, o modelo foi aplicado para um estudo de caso. A região do estudo foi Tupandi – RS, composta por 82 propriedades e um local central, onde os biodigestores seriam supostamente implantados. O modelo indicou que a atividade de transformação dos dejetos em biogás e biofertilizante, para o estudo em questão, é viável. O valor presente líquido (VPL) do projeto ficou em R\$ 118.029, e a taxa interna de retorno (TIR) foi de 16,09%, sem considerar os custos de adaptação das granjas para aumentar a concentração de sólidos voláteis dos dejetos. Notou-se que a viabilidade do projeto está estritamente relacionada com a concentração de sólidos voláteis dos dejetos, sendo que a redução desta concentração pode inviabilizar totalmente o projeto. Assim aspectos que diluam os dejetos devem ser evitados. Outra variável que afeta fortemente a viabilidade do projeto é a temperatura interna dos biodigestores.

Palavras-chaves: dejetos, suínos, modelagem matemática, transporte, biogás

ABSTRACT

The processing of waste of pig farming for the use of bio digester is extremely interesting. In addition to its potential to reduce pollution, the processing technology offers two by-products: bio fertilizer and biogas. The former could greatly increase productivity of agricultural plantation. The latter can be converted into renewable energies through internal combustion generators. The implementation and maintenance of projects transforming biomass into biogas and bio fertilizer, has the requirement to deliver a constant supply of biomass throughout the year. Further, it needs to be efficient in terms of costs. To achieve these requirements, decisions for the biomass supply-chain should be taken efficiently on strategic, tactic and operational level. Besides supporting the decision process on these levels, the model also contributes to a better understanding of the context of the field under study by raising problems, establishing strategies and visualizing opportunities. Through considering these mentioned aspects, the thesis has the objective to purpose a mathematical model for assess the feasibility of the supply chain of waste of pig farming for the generation of biogas and bio fertilizer. Besides the expressions concerning transpotation, equitations found in articles treating anaerobic fermentation for pig farming waste, were used for the process modelling. After the construction of the model, a case study was applied. The context of the study was Tupandi - RS, which consists of 82 properties and inhabits a central site, where bio digesters were supposed to be deployed. The model indicated, that the activity of transformation of pig waste into biogas and bio digester - for this respective case study - is viable. The net present value (NPV) of the project was 118.029 R\$ and the internal rate of return (IRR) was 16,09 percent, without considering the costs for farm adaptation for the increasement of volatile solids concentration in waste. It was found that the feasibility of the project is closely related to the volatile solids concentration of the slurry and that reducing this concentration may totally ruin the project. Hence, aspects that dilute the waste should be avoided. Another variable that strongly affects the feasibility of the project is the internal temperature of digesters.

Keywords: waste, pigs, mathematical modeling, transportation, biogas

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção mundial de carne (livestock – criação de animais terrestres).....	31
Figura 2 - Evolução da produção de carne suína brasileira.....	33
Figura 3 - Processo de modelagem.....	36
Figura 4 - Visão sistêmica da produção suinícola.....	40
Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de produção como uma fábrica de suínos.....	45
Figura 6 - Modelo conceitual de transformações da produção suinícola.....	50
Figura 7 - Esquema de instalações para criação de suínos com camas biológicas.....	52
Figura 8 - Esquema de reator UASB.....	56
Figura 9 - Biodigestor modelo indiano.....	57
Figura 10 - Biodigestor modelo chinês.....	58
Figura 11 - Biodigestor modelo biolagoa coberta.....	59
Figura 12 - Etapas do processo de digestão anaeróbia.....	66
Figura 13 - Fluxograma do modelo proposto.....	74
Figura 14 - Segmentação da DQO total após o tratamento em biodigestores.....	84
Figura 15 - Mapa de localização de Tupandi - RS.....	93
Figura 16 - Fluxograma para resolução do estudo de caso.....	99
Figura 17 - Variação do VPL e da TIR conforme o número de biodigestores.....	100
Figura 18 - Gráfico do valor presente dos custos.....	101
Figura 19 - Gráfico do valor presente da receita.....	104
Figura 20 - Comportamento da produção de biogás em função da concentração de SV e da temperatura.....	112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking de países produtores de carne suína.....	32
Tabela 2 - Alimentos constituintes da ração suínica	42
Tabela 3 - Níveis nutricionais médios recomendados para diferentes fases de suínos.....	44
Tabela 4 - Expectativa de performance de suínos do nascimento ao abate	50
Tabela 5 - Percentual médio de matéria seca (MS) dos dejetos, dos substratos e dos dejetos tratados de acordo com os tratamentos	55
Tabela 6 - Resumo das principais tecnologias de tratamento dos dejetos da suinocultura	61
Tabela 7 - Resumo dos trabalhos contendo a composição dos sistemas e % de remoção de DBO, P, N, ST, Cu e Zn	65
Tabela 8 - Substâncias que influenciam a digestão anaeróbia.....	69
Tabela 9 - Temperaturas mensais médias de Tupandi - RS	94
Tabela 10 - Parâmetros referentes a preços e aspectos operacionais.....	95
Tabela 11 - Concentrações de sólidos voláteis dos dejetos encontradas na literatura.....	96
Tabela 12 - Valor presente dos custos.....	102
Tabela 13 - Custos mensais	103
Tabela 14 - Receitas mensais	105
Tabela 15 - Resultados de %Ci, VDEJ, TRH, BIOG, MBIO.....	105
Tabela 16 - Aspectos relativos ao resultado da DQO do sistema.....	107
Tabela 17 - Número de geradores utilizados conforme o mês.....	108
Tabela 18 - Comparativo da produção mensal de biogás por animal com outros trabalhos encontrados na literatura.....	110
Tabela 19 - Variação do VPL e TIR do projeto para diferentes concentrações de SV dos dejetos.....	111
Tabela 20 - Produção de biogás conforme concentração de SV dos dejetos e média de temperatura mensal	111
Tabela 22 - Porcentagem de remoção da DQO de acordo com a concentração de SV e média de temperatura mensal.	114

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SINAIS

– Classificação

ABIEPCS – Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína

ADP – Adenosina Difosfato

ATP – Adenosina Trifosfato

BIO – Biodigestor

BSC – Biomass Supply Chain

CC – Caixa de Carga

CRV – Caixa Reguladora de Vazão

DBO – Demanda Bioquímica por Oxigênio

DE – Decantador

DQO – Demanda Química por Oxigênio

DS – Dejetos da Suinocultura

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EQ – Equalizador

FA – Filtro Anaeróbio

FAO – Food and Agriculture Organization

FP – Filtro Percolador

g – Grama

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – International Energy Agency

kcal – quilocalorias

LA – Lagoa Anaeróbia

LAF – Lagoa Aerada Facultativa

LAG – Lagoa de Aguapé

LAL – Lagoa de Algas

LD – Lagoa de Decantação

LE – Lagoa de Estabilização

LF – Lagoa Facultativa

LM – Lagoa de Maturação

MOC – Matéria Orgânica Complexada

MS – Matéria Seca

NI – Não Informado

NMP – Número Mais Provável

NRC – National Research Council

PB – Proteína Bruta

PVC – Policloreto de Polivilina

RS – Rio Grande do Sul

RAC – Reator Anaeróbio Compartimentado

SS – Sólidos em Suspensão
SST – Sólidos Solúveis Totais
ST – Sólidos Totais
STF – Sólidos Totais Fixos
STV – Sólidos Totais Voláteis
SV – Sólidos Voláteis, ou quantidade de sólidos voláteis em kg
TAE – Tanque de Acidificação e Equalização
ton – Toneladas
TRH – Tempo de Retenção Hídrica
UASB – Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente
UFLA – Universidade Federal de Lavras
UPL – Unidade de Produção de Leitões
UT – Unidade de Terminação
Y – Coeficiente de Crescimento da Biomassa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	31
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO: PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA.....	31
1.2 OBJETIVO.....	35
1.2.1 Objetivo Geral	35
1.2.2 Objetivos Específicos	35
1.3 METODOLOGIA EMPREGADA.....	36
1.4 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DO TRABALHO	37
1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	37
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	38
2. SISTEMA PRODUTIVO SUINÍCOLA: PROCESSOS E FLUXOS	39
2.1 FORMAÇÃO DA RAÇÃO.....	41
2.1.1 Processo de Fotossíntese	41
2.1.2 Ingredientes para Rações	42
2.2 PRODUÇÃO SUINÍCOLA.....	45
2.2.1 Alimentos e elementos essenciais.....	46
2.2.2 Conversão Alimentar	49
2.3 TRATAMENTO DOS DEJETOS DE SUÍNOS	51
2.3.1 Criação de suínos em camas sobrepostas	52
2.3.2 Esterqueiras	53
2.3.3 Lagoas de estabilização	53
2.3.4 Compostagem	54
2.3.5 Reatores anaeróbico de manta de lodo (upflow anaerobic sludge blanket, UASB)	55
2.3.6 Biodigestores	56
2.3.7 Filtros orgânicos	59
2.3.8 Resumo sobre as tecnologias de tratamento dos dejetos de suínos.....	60

2.3.9	Sistemas de tratamento de dejetos de suínos	63
2.4.	DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	66
2.4.1	Influência da características do digestor no processo de digestão anaeróbia	67
2.4.2	Influência da características do substrato no processo de digestão anaeróbia	68
2.4.3	Influência da operação do digestor no processo de digestão anaeróbia.....	70
2.5	ESTUDOS DE VIABILIDADE PARA A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUINÍCOLAS	71
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
3	MODELO PROPOSTO	73
3.1	QUANTIDADE DE SÓLIDOS VOLÁTEIS E VOLUME GERADO PARA CADA PROPRIEDADE.....	73
3.2	DISTÂCIA, TEMPO, VOLUME, E PORCENTAGEM DE COLETA DOS DEJETOS	75
3.3	ESTIMATIVA DOS CUSTOS DO SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE, TRATAMENTO DOS DEJETOS SUINÍCOLAS	77
3.3.1	Custo da cadeia de suprimento	78
3.3.2	Custo de tratamento	81
3.3.3	Custo de geração.....	82
3.3.4	Custo administrativo do sistema.....	83
3.4	SISTEMA DE FERMENTAÇÃO: ESTIMATIVAS DA REDUÇÃO DA DQO, E DAS PRODUÇÕES DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE	84
3.4.1	Estimativa da DQO total.....	84
3.4.2	Estimativa da produção de metano e da parcela de DQO convertida em metano.....	85

3.4.3 Estimativa da produção de biomassa e das parcelas de DQO utilizada para o crescimento celular e mantida no biodigestor	87
3.4.4 Estimativa da DQO do efluente após o tratamento....	88
3.5 ESTIMATIVA DAS RECEITAS DO SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE E TRATAMENTO DOS DEJETOS SUINÍCOLAS	88
3.6 FUNÇÃO OBJETIVO E VARIÁVEIS DE DECISÃO ...	89
3.7 RESTRIÇÕES	89
3.8 O MODELO PROPRIAMENTE DITO	89
3.9 MÉTODO DE SOLUÇÃO PROPOSTO.....	91
3.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
4 ESTUDO DE CASO	93
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	93
4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA	94
4.3 IMPLANTAÇÃO E RESOLUÇÃO DO ESTUDO DE CASO	97
4.3.1 Determinação da quantidade ideal de biodigestores..	97
4.3.2 Determinação da influência da concentração de sólidos voláteis	98
4.3.3 Resumo da metodologia de resolução do estudo de caso.....	99
4.4 RESULTADOS	99
4.4.1 Custos	101
4.4.2 Receitas.....	104
4.4.3 Porcentagem de coleta, volume coletado, TRH, produções de biogás e biofertilizante, e DQO do sistema.....	105
4.4.4 Equipamentos	108
4.5 VALIDAÇÃO PARCIAL DO MODELO ATRAVÉS DA LITERATURA.....	108
4.6 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	111

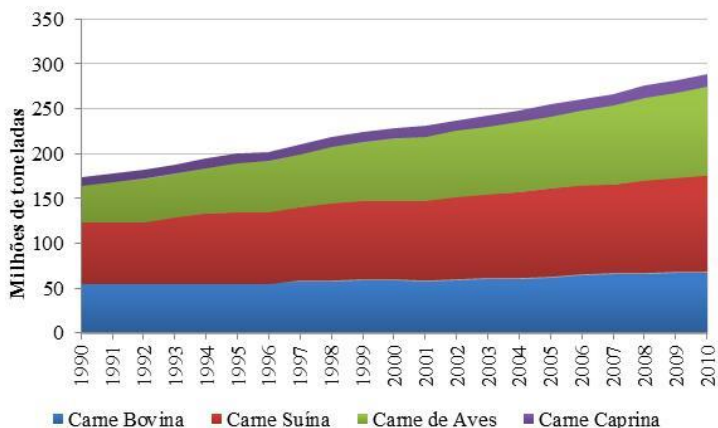
4.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
5 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	117
5.1 CONCLUSÕES.....	117
5.2 RECOMENDAÇÕES.....	117
5.3 SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO	118
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119
APÊNDICE – Demais dados de entrada do modelo	129

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO: PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

O crescimento da população, a urbanização e o aumento da renda nos países desenvolvidos, e em desenvolvimento, contribui para um incremento no consumo de alimentos de origem animal em todo o mundo. Paralelamente a este aumento da demanda, a oferta se ajusta mediante o aumento do número de animais por área. Este crescimento da oferta de carne (livestock – produção intensiva confinada) pode ser observado na figura 1, que demonstra a evolução da produção de carne livestock no mundo.

Figura 1 - Evolução da produção mundial de carne (livestock – criação de animais terrestres).



Fonte: Adaptado de Food and Agriculture Organization (FAO) (2013).

De acordo com FAO (2013), no ano de 2010, a produção suína foi responsável por 38% da produção mundial total de carne, seguida pela avicultura, bovinocultura e caprinocultura, respectivamente com 34%, 23% e 5% do total da produção mundial. Em 2010, a China caracterizou-se como o maior produtor de carne suína do mundo, com uma produção cinco vezes maior que o segundo colocado, os Estados Unidos. A tabela 1 apresenta os maiores produtores de carne suinícola do mundo.

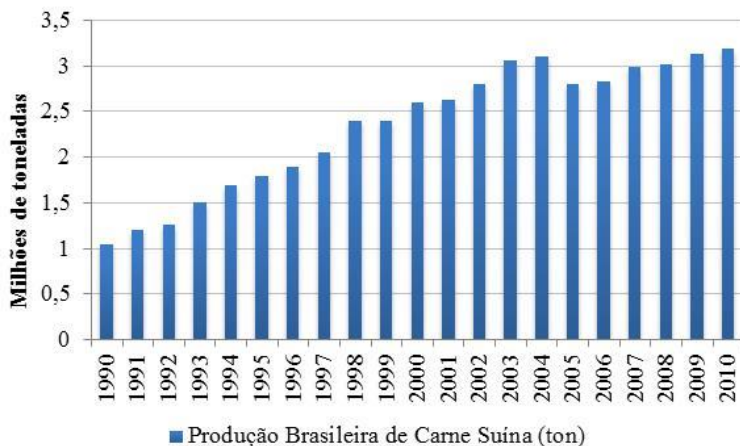
Tabela 1 - Ranking de países produtores de carne suína

#	PAÍS	PRODUÇÃO DE CARNE SUÍNA (ton)	% DA PRODUÇÃO MUNDIAL
1	China	51.545.464	47,1%
2	Estados Unidos	10.185.600	9,3%
3	Alemanha	5.488.370	5,0%
4	Espanha	3.368.920	3,1%
5	Brasil	3.195.000	2,9%
6	Vietnam	3.036.360	2,8%
7	Rússia	2.330.810	2,1%
8	França	2.190.970	2,0%
9	Canadá	1.925.930	1,8%
10	Polônia	1.894.800	1,7%
11	Resto do Mundo	24.208.274	22,1%
Total Mundial		109.370.480	100,0%

Fonte: Adaptado de Food and Agriculture Organization (FAO) (2013)

No cenário suínico mundial o Brasil é o 5º maior produtor, com quase 3,2 milhões de toneladas de carne produzidas em 2010. O crescimento da suinocultura brasileira ocorre de forma expressiva conforme mencionado em diversas literaturas, como, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS (2013), FAO (2013), entre outros. Este crescimento pode ser observado na figura 2 que demonstra a evolução da produção de carne suína brasileira.

Figura 2 - Evolução da produção de carne suína brasileira



Fonte: Adaptado de Food and Agriculture Organization (FAO) (2013)

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2014), em 2012 o Brasil possuía 38,8 milhões de cabeças de suínos. A produção suinícola brasileira é direcionada em grande parte para o mercado interno, aproximadamente 83%. Os 17% restantes da produção de carne suína é exportada, ou seja, 581 mil toneladas, esta exportação gera em torno de R\$ 1,49 bilhão de receita cambial (ABIPECS, 2013).

A suinocultura brasileira origina cerca de 600 mil empregos, sua produção concentra-se especialmente na região sul, sendo esta responsável por 61,4% da produção nacional. Santa Catarina caracteriza-se com o maior produtor de carne suína do país com 25,1% da produção total nacional, seguido por Rio Grande do Sul, e Paraná, ambos com produções de 19,3% e 17%, respectivamente. Outro fator relevante é o aumento do consumo per capita de carne suína no Brasil, em 2009 o consumo per capita era de 13,7 kg de carne/habitante, já em 2012 este número passou para 15,1 kg de carne/habitante. (ABIPECS, 2013).

O aumento do consumo de carne suína impulsiona a modernização da suinocultura, que se fundamenta em sistemas confinados de produção, e na concentração produtiva em algumas regiões, a fim de facilitar aspectos logísticos e redução de custos. (SOBESTIANSKY et al., 1998; GOMES et al., 1992). Este aumento da produção, somado com a concentração da atividade suinícola em algumas regiões específicas produz impactos ambientais negativos,

especialmente em decorrência da grande quantidade de dejetos gerados. Tanto que, em 1997, devido a grande quantidade de dejetos da suinocultura, o estado americano da Carolina do Norte precisou declarar moratória para novas instalações suinícolas, em virtude de preocupações públicas referentes ao excesso de dejetos da suinocultura (ANEJA et al., 2008). As maiores preocupações ambientais relacionadas à suinocultura referem-se à contaminação dos solos, lenções freáticos pela lixiviação dos dejetos, e a liberação de gases como o dióxido de carbono, metano e gás sulfídrico, que em grandes quantidades são maléficos para a biosfera (SARDÁ et al., 2010). Entretanto as tecnologias, e sistemas para reduzir o poder poluente dos dejetos avançam continuamente, contribuindo, desta forma, para a melhoria da qualidade dos efluentes da suinocultura. De acordo com Belli Filho et al. (2001), são diversas as formas de manejo dos dejetos que reduzem sua carga de poluentes, minimizando assim, a Demanda Química por Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), entre outros indicadores.

Apesar dos dejetos suinícolas apresentarem-se como uma ameaça ao equilíbrio ambiental, estes também podem oferecer funções benéficas para a sociedade, sendo utilizados na agricultura, para adubação e fertirrigação (ASSMANN et al., 2009; BAUMGARTNER et al., 2007), na piscicultura como alimento (MARTINS et al., 2010), e para a geração de bioenergia, através da combustão do biogás liberado pela fermentação dos dejetos (MARTINS e OLIVEIRA, 2011).

Paralelamente ao desenvolvimento da suinocultura e consequente aumento dos dejetos suinícolas, a utilização da biomassa para energia ganhou interesse particular nos últimos anos, devido ao esgotamento progressivo dos combustíveis fósseis convencionais. Além disso, as baixas emissões de enxofre e gases de efeito estufa, associados com o uso de biomassa para produção de energia, incentivam à crescente pressão das políticas governamentais sobre um avanço do desenvolvimento desta nova tendência energética (DEMIRBAS, 2001).

A oferta uniforme de biomassa, sem interrupções ao longo do ano, e eficiente em termos de custos é imprescindível para a implantação e manutenção de projetos de transformação de biomassa em energia (INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA, 2007). Para se alcançar tais pré-requisitos é necessário que decisões nos âmbitos estratégico, tático e operacional sejam tomadas de modo eficiente na BSC¹. Dentro deste contexto o uso de modelos matemáticos além de dar

¹ Segundo Becher e Kaltschmitt (1994), Cadeia de Suprimento de Biomassa, ou do Inglês *Biomass Supply Chain (BSC)*, consiste em processos

suporte aos processos de tomadas de decisões estratégicas, táticas e operacionais, torna possível também compreender melhor o ambiente em questão, levantar problemas, estabelecer estratégias, e visualizar oportunidades (MIGUEL et al., 2010).

1.2 OBJETIVO

Considerando o contexto exposto anteriormente, serão apresentados o objetivo geral, e objetivos específicos do presente trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho foi propor um modelo matemático para avaliar a viabilidade da cadeia de suprimento de dejetos da suinocultura para geração de biogás e biofertilizante.

1.2.2 Objetivos Específicos

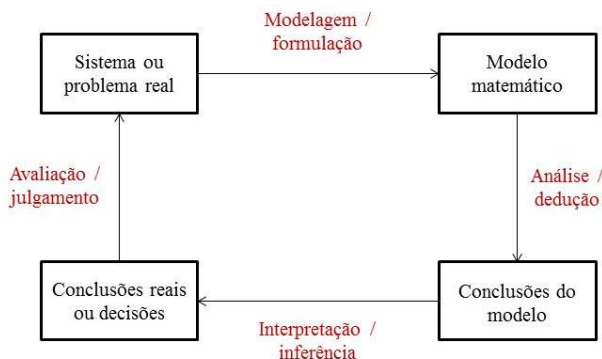
- Determinar o dimensionamento ótimo da infraestrutura necessária para operar um sistema de coleta, transporte e transformação dos dejetos suinícolas;
- Obter indicadores econômicos e financeiros para sistemas de coleta, transporte e transformação de dejetos suinícolas em biogás e biofertilizante, verificando a influência da temperatura e das características do dejetos nestes indicadores;
- Aplicação do modelo em um estudo de caso.

distintos desde a colheita, passando por armazenamento até o transporte da biomassa para a unidade de conversão.

1.3 METODOLOGIA EMPREGADA

A presente pesquisa é classificada, segundo Miguel et al. (2010), como axiomática quantitativa. Esse tipo de pesquisa gera conhecimento sobre o comportamento de certas variáveis do modelo, fundamentada em premissas sobre o comportamento de outras variáveis. Já o processo de modelagem e simulação será conduzido segundo o diagrama proposto por Arenales et al. (2007), conforme visualizado na figura 3.

Figura 3 - Processo de modelagem



Fonte: Adaptado de Arenales et al. (2007)

A formulação ou modelagem estabelece as variáveis de interesse e suas relações matemáticas com o intuito de descrever o comportamento do sistema ou problema. A análise ou dedução emprega conceitos matemáticos e tecnologias computacionais para a resolução do modelo matemático, além de visualizar conclusões e/ou decisões recomendadas pelo modelo. A interpretação ou inferência discute se as conclusões do modelo são válidas para problemas reais. E para finalizar, a avaliação ou julgamento mostra se tais conclusões ou decisões são adequadas, caso contrário, o escopo do problema e sua modelagem matemática, precisam de revisão, iniciando-se assim um novo ciclo (ARENALES et al., 2007).

1.4 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DO TRABALHO

O presente trabalho exhibe um modelo matemático para a cadeia de suprimento de dejetos da suinocultura para a geração de biogás e biofertilizante. O estudo contém elementos básicos que elucidam o sistema de produção de suínos, o tratamento de dejetos, o processo de fermentação anaeróbia e a modelagem matemática proposta. Estruturado nestes elementos citados, e nas conclusões do trabalho, é possível entender a influência que as características dos dejetos, e a temperatura interna dos biodigestores exercem sobre os aspectos econômicos, financeiros, infraestruturais e ambientais na geração de biogás e biofertilizante.

1.5 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

O trabalho, bem como o modelo proposto delimitam-se apenas a geração de biogás e biofertilizante, a partir de dejetos de suínos. Demais resíduos, e dejetos de outros animais excluem-se do escopo da pesquisa.

O modelo em questão delimita-se também somente para sistemas com apenas um local destinado à fermentação dos dejetos. Outro fator importante é que não foram incluídas restrições no modelo relativas aos aspectos legais de descarte dos efluentes dos biodigestores. Limitando assim o modelo apenas aos aspectos econômicos da geração de biogás e biofertilizante. Contudo para a adequação dos efluentes oriundos dos biodigestores é necessário à realização de pós-tratamento utilizando outras tecnologias disponíveis.

A principal limitação técnica do modelo é o fato da produção de biofertilizante não estar associada diretamente com a temperatura interna dos biodigestores. Esta limitação é oriunda da falta de uma equação no modelo que relacione temperatura e tempo de retenção hídrico (TRH) com o crescimento da biomassa (Y) do biodigestor.

Outra limitação diz respeito ao processo de validação do modelo. Para a validação total do modelo seria necessário comparar seus resultados com os obtidos de um sistema idêntico, implantado na vida real. Entretanto, a inexistência deste sistema obriga a realização de comparações com trabalhos similares já publicados, ocorrendo assim, apenas uma validação parcial do modelo, com base na literatura.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado em cinco capítulos. Neste capítulo introdutório consta uma contextualização já expondo a problemática e a justificativa do trabalho. Os outros elementos deste capítulo são: objetivo geral e específicos do trabalho, metodologia empregada, contribuição científica do trabalho e limitações do trabalho.

No segundo capítulo, Sistema produtivo suinícola: processos e fluxos, é apresentada uma visão sistêmica sobre a produção suinícola, envolvendo desde a formação da ração até o tratamento dos dejetos. Neste capítulo é apresentado também o processo de fermentação anaeróbia, e alguns estudos que objetivam fornecer indicadores de viabilidade econômico-financeira para a biodigestão anaeróbia de dejetos suinícolas.

No terceiro capítulo, Modelo proposto, contém elementos essenciais para entender o processo de modelagem, as equações utilizadas, e o modelo propriamente dito.

No quarto capítulo, Estudo de caso, o modelo é aplicado para 82 propriedades localizadas no município de Tupandi – RS.

No quinto capítulo contém as conclusões, recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

2 SISTEMA PRODUTIVO SUINÍCOLA: PROCESSOS E FLUXOS

Segundo Hitomi (1996):

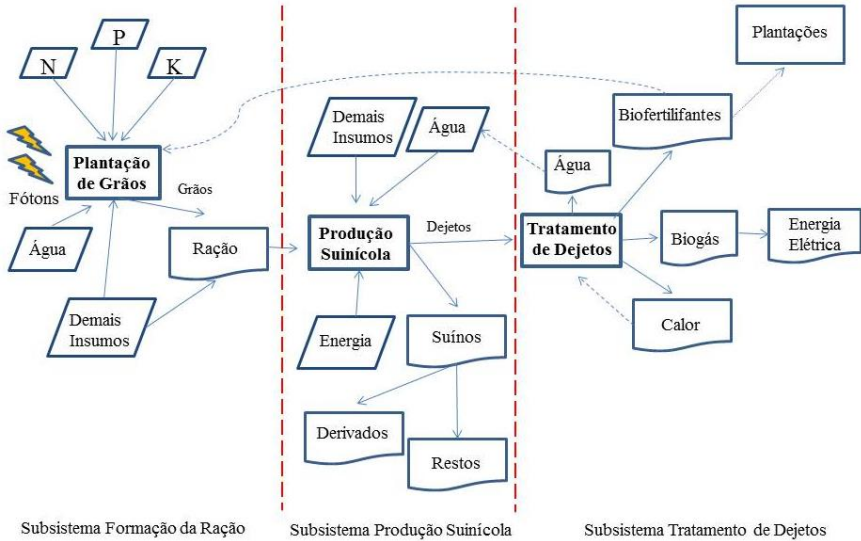
Um sistema é uma coleção de objetos ou coisas (animadas ou inanimadas) que recebe certas entradas e é forçado a agir sobre estas, de modo a produzir certas saídas, com o objetivo de maximizar alguma função da entrada e saída.

De acordo com o mesmo autor, um sistema é composto por diferentes unidades, sendo elas: componentes, fatores, elementos, subsistemas, dentre outras. Tais sistemas devem conter interações entre unidades, caso contrário, as unidades compõem apenas grupos ou conjuntos.

De acordo com Conway (1987), agroecossistemas são sistemas ecológicos modificados pelos seres humanos para produzir alimentos, fibra e outros produtos agrícolas. Agroecossistemas geralmente apresentam estrutura e dinâmica complexas, sendo que a complexidade surge principalmente a partir da interação entre processos sócio-econômicos e ecológicos.

Considerando o conceito de sistema exposto por Hitomi (1996), e o conceito de agroecossistema de Conway (1987), bem como a produção suinícola, serão apresentadas as unidades que compõem tal agroecossistema produtivo. Na figura 4 pode-se ter uma noção simplificada da composição de tal sistema.

Figura 4 - Visão sistêmica da produção suinícola



Fonte: O Autor, baseado em Hitomi (1996), e Conway (1987).

O agroecossistema de produção suinícola é composto por três subsistemas. O primeiro, localizado na ponta do agroecossistema, constitui a Formação da Ração. O segundo, situado no meio, denomina-se de Produção Suinícola. E o último, Tratamento de Dejetos.

O subsistema Formação da Ração é responsável pela transformação dos nutrientes, da água, da energia solar, e demais insumos em grãos. Após tal transformação os grãos, somados a outros insumos são convertidos em ração, a qual será disponibilizada ao subsistema Produção Suinícola.

A Produção Suinícola, caracteriza-se como um subsistema que tem como principal objetivo a produção de proteína animal. Nele ocorre a assimilação de ração, água, energia e demais insumos pelos suínos, que após adquirirem certo peso estão aptos à comercialização. Segundo Sardá et al. (2010), o excesso de dejetos oriundos da atividade suinícola podem ocasionar à contaminação dos solos, lençóis freáticos, e a liberação de gases como o dióxido de carbono, metano e gás sulfídrico, que em grandes quantidades são maléficos para a biosfera. Entretanto Oliveira et al. (1993), descrevem os fatores positivos relacionados aos dejetos de suínos, como possível geração de biogás e de biofertilizantes, caso os dejetos sejam bem manejados. Desta forma, é necessário adequar os dejetos da suinocultura para sua utilização e/ou redução do

poder poluente, através de um subsistema de tratamento, localizado na extremidade de saída de todo o agroecossistema.

2.1 FORMAÇÃO DA RAÇÃO

O subsistema Formação da Ração está segmentado no Processo de Fotossíntese, e Ingredientes para Rações.

2.1.1 Processo de Fotossíntese

A Plantação de Grãos, como toda atividade agrícola, produz essencialmente alimentos, fibras, combustíveis, e resíduos orgânicos. Tal atividade para ser realizada necessita do consumo de energia solar, ar, água, nutrientes orgânicos e minerais do solo (BEBER, 1989). Pode-se dizer que a principal responsável pela transformação dos *inputs* em *outputs* é a fotossíntese que consiste num processo físico-químico que converte água e dióxido de carbono em oxigênio e glicose. O processo pode ser resumido pela equação 1 (TAIZ e ZEIGER, 2004):



Onde:

H_2O – Água;

CO_2 – Dióxido de Carbono;

O_2 – Oxigênio; e

$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ – Glicose.

Para a produção de glicose a planta necessita de minerais do solo, sendo os de maior relevância o Nitrogênio (N), o Fósforo (P), e o Potássio (K), denominados de macronutrientes. O nitrogênio tem como principal função nas plantas a síntese de proteínas, influenciando diretamente no desenvolvimento das plantas. O fósforo atua na síntese e armazenamento de energia na planta, especificamente no ciclo de Krebs na transformação de ADP (adenosina difosfato) em ATP (adenosina trifosfato) – fonte de energia da planta. Já o potássio é importante para as reações enzimáticas da planta, especialmente na produção de carboidratos (TAIZ e ZEIGER, 2004).

2.1.2 Ingredientes para Rações

A composição da ração para os suínos varia conforme as necessidades fisiológicas dos animais, dependendo de sua fase de vida. A ração de uma forma geral é composta por ingredientes alimentícios e por um núcleo ou premix mineral-vitamínico (EMBRAPA, 2003).

Segundo Zardo e Lima (1999), é possível classificar os ingredientes para rações para suínos de acordo com o teor de energia, proteína, fibra ou minerais presentes. A tabela 2 apresenta um breve resumo sobre os alimentos que compõem a ração suína.

Tabela 2 - Alimentos constituintes da ração suínica

ALIMENTO	EXEMPLOS
Essencialmente energéticos	Açúcar, gordura de aves, gordura bovina, melaço em pó, óleo de soja degomado ou bruto, raiz de mandioca integral seca.
Energéticos também fornecedores de proteína	Quirera de arroz, cevada em grão, soro de leite seco, grão de milho cozido, sorgo baixo tanino, trigo integral, trigo mourisco, trigoilhado e triticale.
Energéticos com médio a alto teor de fibra	Farelo de arroz integral, farelo de amendoim, aveia integral moída, farelo de castanha de caju, cavada em grão com casca, polpa de citrus, farelo de coco, torta de dendê, grão de guandu cozido, raspa de mandioca, milho com espiga e palha.
Fibrosos com baixa concentração de energia e médio teor de proteínas	Feno moído de alfafa, farelo de algodão, farelo de babaçu, farelo de canola e farelo de girassol.
Fibrosos com baixa concentração em proteína	Farelo de algaroba, farelo de arroz desengordurado, farelo de polpa de caju, casca de soja e farelo de trigo.
Proteicos com alto teor de energia	Leite desnatado em pó, levedura seca, glúten de milho, farinha de penas e vísceras, farinha de sangue, soja cozida seca, soja extrusada, farelo de soja 42% PB*, farelo de soja 45% PB*, farelo de soja 48% e soja integral tostada.

ALIMENTO	EXEMPLOS
Proteicos com alto teor de minerais	Farinhas de carne e ossos com diferentes níveis e farinha de peixe.
Exclusivamente fornecedores de minerais	Calcário calcítico, fosfato bi cálcico, fosfato monoamônio, farinha de ossos calcinada, farinha de ostras e sal comum.

*Proteína Bruta

Fonte: Embrapa (2003)

É interessante ressaltar que os grãos de cereais e outras sementes variam sua composição de acordo com fatores edafoclimáticos da região de sua origem, bem como condições de armazenamento e processamento (EMBRAPA, 2003).

A formulação adequada para a maioria das fases dos suínos é composta geralmente através da combinação de alimentos energéticos também fornecedores de proteína, com alimentos protéicos com alto teor de energia. As outras classes de alimentos que podem compor a ração, bem como a inclusão de premix vitamínico e de micro-minerais servem para complementar a dieta dos suínos. Também pode ser feito a utilização de aminoácidos sintéticos, desde que haja autorização prévia de técnicos responsáveis (EMBRAPA, 2003).

De uma forma geral, as rações devem conter ingredientes com composição e valor nutricional conhecidos que atendam as necessidades nutricionais dos suínos. É necessário sempre minimizar os erros no processo de produção de rações, uma vez que, os gastos com a alimentação caracterizam-se como a maior parte dos custos de produção dos suínos. (EMBRAPA, 1996). A tabela 3 apresenta valores médios dos níveis nutricionais recomendados para as diferentes fases de produção.

Tabela 3 - Níveis nutricionais médios recomendados para diferentes fases de suínos

NUTRIENTES	GESTAÇÃO	LACTAÇÃO	PRÉ- INICIAL	INICIAL	CRESCIMENTO	TERMINAÇÃO
Energia metabolizável (Kcal/kg)	3210	3300	3360	3300	3280	3250
Proteína bruta (%)	13,5	18,0	18,0	16,0	15,0	13,0
Lisina (%)	0,6	1,0	1,4	1,2	0,9	0,7
Metionina (%)	0,2	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2
Metionina + Cistina (%)	0,4	0,7	0,8	0,7	0,6	0,4
Treonina (%)	0,4	0,6	0,8	0,7	0,6	0,5
Triptofano (%)	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Cálcio (%)	0,7	1,2	0,9	0,8	0,7	0,5
Fósforo total (%)	0,6	0,8	0,7	0,7	0,6	0,4
Fósforo disponível (%)	0,3	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
Sódio (%)	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1

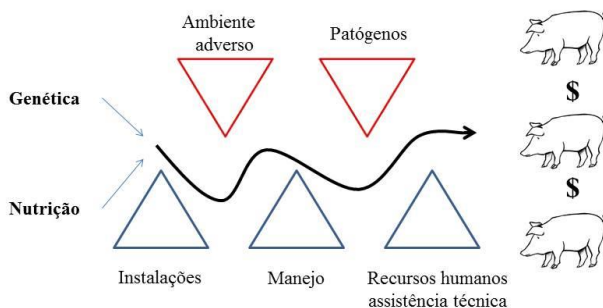
Fonte: EMBRAPA, 1996

As quantidades nutricionais mencionadas na tabela 3 servem apenas como um número médio para as necessidades dos animais conforme a fase. Entretanto, para aperfeiçoar a produção de um sistema específico devem ser levados em consideração aspectos genéticos dos suínos, aspectos ambientais e outros fatores que possam influenciar no aproveitamento da ração. Sendo assim, para evitar desperdícios são imprescindíveis estudos nutricionais direcionados aos animais de um sistema específico (EMBRAPA, 1996).

2.2 PRODUÇÃO SUINÍCOLA

De acordo com Sobestiansky et al. (1998), a suinocultura moderna caracteriza-se pela produção tecnificada de suínos para abate e/ou para a reprodução. Esta atividade pode ser representada esquematicamente como sendo uma “Fábrica de Suínos” (Figura 5).

Figura 5 - Representação esquemática de um sistema de produção como uma fábrica de suínos



Fonte: adaptado de (SOBESTIANSKY et al., 1998)

Para o sucesso desta “fábrica” é necessário uma boa interação e sincronismo entre a genética e nutrição, levando em consideração também os outros aspectos mencionados na figura, sendo eles: instalações, ambiente adverso, manejo, patógenos, recursos humanos e assistência técnica. Os fatores patógenos e ambiente adverso devem ser minimizados ou extinguidos através da combinação genética e nutricional, bem como pela eficiência das instalações, manejo, recursos humanos e assistência técnica. Outro aspecto relevante para a

manutenção da prosperidade da “fábrica” é a constante modernização, adaptação e melhoria da qualidade de todos os fatores mencionados (SOBESTIANSKY et al., 1998).

As fases da produção suinícola são classificadas de acordo com a idade ou estado na qual o animal se encontra. Como mencionado anteriormente na tabela 3, as fases são comumente classificadas em gestação, lactação, pré-inicial, inicial, crescimento e terminação. Segundo Embrapa (2003), pode-se classificar a produção em duas unidades produtivas de acordo com as fases em que os animais se encontram. Estas são denominadas de Unidade de Produção de Leitões (UPL) e de Unidade de Terminação (UT). A UPL produz leitões até a saída da creche, enquanto a UT recebe os leitões de uma UPL e executa as fases de crescimento e terminação.

2.2.1 Alimentos e elementos essenciais

Segundo Vianna (1975), os alimentos são essenciais para a vida, e são utilizados de três maneiras distintas: uma parte destinada para a manutenção do organismo, outra para a produção, e a última desaparece como desperdício. Considerando estes três coeficientes é que são realizados os estudos referentes à alimentação de animais. Apenas após as exigências alimentícias para a manutenção serem atendidas é que o restante da ração disponibilizada é transformado em produtos de utilidade como carne, leite, lã, etc.

Desta forma, quando há *déficit* nas exigências de manutenção a produção fica em recessão, uma vez que o organismo tem a necessidade de lançar mão de suas reservas para manter o equilíbrio das funções vitais do animal (VIANNA, 1975).

Lovatto e Oliveira (1996) descreveram a função de cada alimento para o desenvolvimento dos suínos. Estes autores classificaram os alimentos em: água, carboidratos, lipídeos e proteínas. Segundo os mesmos Autores a alimentação dos suínos também é incrementada através de aditivos, sendo estes: antibióticos, probióticos, e enzimas.

Já Vianna (1975) mencionou em sua obra as exigências de manutenção e produção dos suínos, sendo elas: calor, energia, proteína, sais minerais, vitaminas, ar e água.

Levando em consideração as obras de Lovatto e Oliveira (1996) e Vianna (1975) serão apresentadas as funções de cada elemento citado por ambas.

- Água e Ar

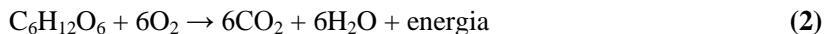
A água caracteriza-se como o componente em maior proporção no organismo animal, constituindo-se num dos elementos mais importantes para a produtividade e saúde. Tal elemento desempenha várias funções no corpo dos animais: atua no metabolismo e digestão, transporte de nutrientes e regulação da temperatura corporal (LANDEFELD e BETTINGER, 2002). Já o oxigênio do ar participa da respiração celular, sendo muito importante na glicólise – quebra da glicose – e consequente liberação de energia para as funções vitais do animal.

- Carboidratos e Lipídeos

Os carboidratos representam a principal fonte energética para os animais sendo classificados em polissacarídeos como o amido, dissacarídeos como a sacarose e a maltose, e monossacarídeos como a glicose e a frutose. Outro alimento com grande função energética são os lipídeos. Estes tem grande importância no organismo animal, sendo uma das principais reservas energéticas (LOVATTO e OLIVEIRA, 1996).

- Energia e Calor

A energia utilizada nos processos vitais dos animais, dentre eles a manutenção do calor corporal, é obtida principalmente através da respiração celular. Este procedimento ocorre no ambiente intracelular, especificamente na organela denominada mitocôndria. O processo básico da respiração celular é a glicólise, a qual quebra a glicose formada na fotossíntese pela equação 1. Tal processo de quebra pode ser expresso simplificadamente pela equação 2 (LEHNINGER et al., 1995):



- Proteína

Segundo Vianna (1975), as proteínas são necessárias para reparar as perdas diárias dos tecidos, sendo fundamentais também para a construção da carne magra dos suínos. De acordo com Kansas State University (1994), os suínos não apresentam exigências específicas para

proteínas, e sim para as estruturas que compõem as proteínas, os aminoácidos.

Durante a digestão dos alimentos, as proteínas são fragmentadas em aminoácidos que entram na corrente sanguínea, e posteriormente participam do metabolismo e síntese de tecidos (KANSAS STATE UNIVERSITY, 1994).

- Sais minerais

Os sais minerais possuem uma gama de funções no organismo animal, variando desde questões estruturais, em alguns tecidos, a uma grande variedade de funções regulatórias (SOBESTIANSKY et al., 1998).

Tanto cálcio como fósforo são importantes na formação e desenvolvimento dos ossos e dentes. Entretanto, também são encontrados nos tecidos moles. Os dois participam, ainda, na contração muscular, no metabolismo de energia e na coagulação sanguínea (KANSAS STATE UNIVERSITY, 1994).

O cloro caracteriza-se como o principal ânion extracelular, além de ser também o principal ânion do suco gástrico. Em contrapartida o sódio é o principal cátion extracelular (National Research Council - NRC, 1988).

- Vitaminas

Vitaminas são compostos orgânicos distintos de aminoácidos, lipídios e glicídios, necessários em pequenas quantidades nas dietas dos suínos, que promovem o funcionamento normal do metabolismo, o desenvolvimento dos tecidos, o crescimento, a saúde e a reprodução (NRC, 1988; KANSAS STATE UNIVERSITY, 1994).

- Aditivos Alimentares

Aditivos Alimentares são substâncias que não são vitais para o organismo dos suínos, mas proporcionam um incremento no peso dos suínos. Embora, muitas vezes o mecanismo de ação de tais substâncias seja desconhecido, e ainda haja grande polêmica quanto aos riscos que podem causar à saúde humana, o uso destes aditivos tem aumentado muito na produção suinícola (LOVATTO e OLIVEIRA, 1996). A seguir são apresentadas as principais classes de Aditivos Alimentares.

1. Antibióticos

Os antibióticos, termo que significa contra a vida, parecem atuar sobre os microorganismos do trato digestivo, restringindo os resíduos tóxicos do seu metabolismo, os quais carecem de grande dispêndio de energia, por parte do suíno, para sua neutralização. Esta energia seria, então, utilizada para gerar síntese nutricional, aumentando assim o ganho de peso dos animais (LOVATTO e OLIVEIRA, 1996).

2. Probióticos

Os probióticos são essencialmente bactérias benéficas multiplicadas em laboratório que auxiliam nas atividades digestivas dos animais (LOVATTO e OLIVEIRA, 1996).

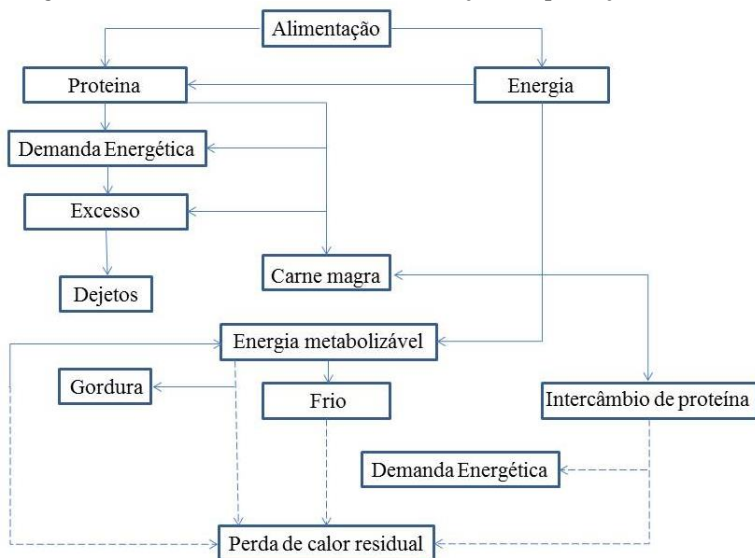
3. Enzimas

As enzimas são proteínas que aceleram as reações químicas no organismo dos animais. Estas proteínas parecem agir na remoção de fatores antinutricionais, e também no aumento da digestibilidade de nutrientes existentes (FIREMAN e FIREMAN, 1998).

2.2.2 Conversão Alimentar

Whittemore (1998) apresentou de forma simples, através de método dedutivo, um sistema que relaciona algumas transformações de alimento em carne magra, gordura e outros elementos (figura 6).

Figura 6 - Modelo conceitual de transformações da produção suinícola.



Fonte: Adaptado de Whittemore (1998)

A eficiência da conversão de ração em peso corporal é função de aspectos genéticos, ambientais, da fase em que o animal se encontra, entre outros fatores. De uma forma geral, esta eficiência decresce conforme o animal ganha peso (NRC, 1988). A tabela 4 apresenta o comportamento médio entre consumo e desempenho dos suínos.

Tabela 4 - Expectativa de performance de suínos do nascimento ao abate

CONSUMO E DESEMPENHO	PESO CORPORAL (KG)				
	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 110
Ganho esperado (g/dia)	200	250	450	700	820
Consumo esperado (g/dia)	250	460	950	1900	3110
Eficiência ganho	0,800	0,543	0,474	0,368	0,264
Conversão ganho	1,25	1,84	2,11	2,71	3,79
Consumo Energia Digestível (kcal/dia)	850	1.560	3.230	6.460	10.570
Consumo Energia Metabol. (kcal/dia)	805	1.490	3.090	6.200	10.185

CONSUMO E DESEMPENHO	PESO CORPORAL (KG)				
	1 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 50	50 - 110
Energia Metabolizável (kcal/dia)	3220	3420	3250	3260	3275
Proteína (%)	24	20	18	15	13

Fonte: NRC, 1988

A adaptação da alimentação com as necessidades do animal, conforme sua fase de vida, é essencial para aperfeiçoar a produção de carne, e minimizar a produção de dejetos, facilitando assim o tratamento dos mesmos.

2.3 TRATAMENTO DOS DEJETOS DE SUÍNOS

Vários fatores influenciam no processo de tratamento dos dejetos da suinocultura (DS), sendo eles ambientais ou referentes ao sistema de produção suinícola. Dentre eles podemos destacar a temperatura, e principalmente a quantidade de água presente nos DS. Porém existem formas de manejo da produção que minimizam a quantidade de água nos dejetos, como as camas com maravalha, casca de arroz e outros materiais absorventes. Há também processos como a floculação, sedimentação, peneiramento e coagulação que separam a fase sólida da fase líquida, contribuindo também significativamente no Tempo de Retenção Hidrico (TRH) do tratamento de afluentes líquidos (KUNZ et al., 2010).

A fase líquida, após a separação da fase sólida, ou os dejetos in natura, são geralmente tratados em Esterqueiras, Lagoas de Estabilização (LE), Reatores, e Biodigestores. Já os processos de decomposição da fração sólida ocorrem geralmente em composteiras. No entanto, de acordo com Belli Filho et al. (2001), são inúmeras as maneiras que o DS podem ser tratados, sendo que o sistema de tratamento não respeita uma ordem especificamente de tecnologias de tratamento, e que são função, especialmente, da disponibilidade financeira do produtor. Na presente seção são apresentadas as principais tecnologias de tratamento dos DS utilizadas no Brasil.

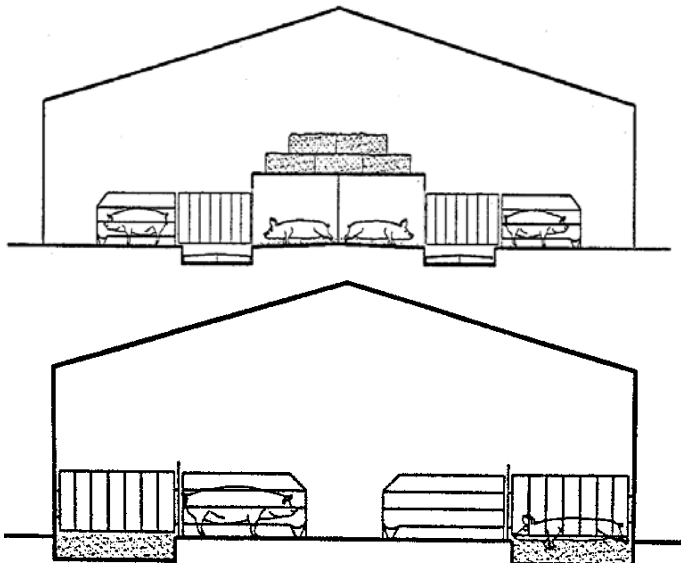
2.3.1 Criação de suínos em camas sobrepostas

A criação de suínos em camas sobrepostas surgiu com alternativa à redução do volume dos dejetos produzidos na granja, que conseqüentemente minimiza a poluição ambiental. O princípio consiste num revestimento do piso da granja por material poroso (maravalha, casca de arroz, etc.) com altura média de 0,5 m, que absorve os dejetos, reduzindo assim seu volume, e facilitando o manejo dos DS. A cama sobreposta pode ser mantida por até 18 meses, embora haja autores que afirmam que o tempo varia de acordo com as condições climáticas, e regime de alimentação dos porcos (KUNZ et al., 2010).

Segundo Paulo et al. (2009), a utilização de cama sobrepostas além de evitar a limpeza frequente das baias, reduzindo o consumo de água, diminui a emissão de amônia (NH_3) comparado com o piso de concreto, e ainda facilita o processo de decomposição da matéria orgânica. Outro fator relevante é a possibilidade da utilização do composto (cama + dejetos) como adubo orgânico simples (HIGARASHI et al., 2008).

Corrêa et al. (2008), verificaram que a altura da cama não apresenta influência significativa nas condições ambientais da granja.

Figura 7 - Esquema de instalações para criação de suínos com camas biológicas



Fonte: Belli Filho et al. (2001).

2.3.2 Esterqueiras

As esterqueiras representam uma maneira simples e rudimentar, porém eficiente no armazenamento in natura, e na redução do poder poluente dos DS. Após a permanência nas esterqueiras os DS são geralmente utilizados como fertilizante, salvo raros casos, nos quais são encaminhados para lagoas de estabilização.

No estudo de Santos et al. (2007), a utilização de esterqueiras reduziu a carga poluente dos DS, especialmente entre o 30º e 60º dia. No entanto não houve remoções de nitrogênio amoniacal por nitrificação/desnitrificação, e nem redução de Número Mais Provável (NMP) de coliformes. Já Diesel et al. (2002), afirmaram que, embora haja redução do poder poluente dos DS, o armazenamento dos dejetos em esterqueiras geralmente não cumpre com os parâmetros exigidos pela legislação ambiental para o lançamento em cursos de água. Outro fator importante é a grande quantidade de *E. coli*, que pode conter nos resíduos tratados em esterqueiras. Estas bactérias podem adquirir grande resistência, devido às altas quantidades de antibióticos ingeridos pelos animais. Esta resistência das bactérias pode vir a ser um novo parâmetro de impacto ambiental a ser avaliado (SILVA et al., 2008).

2.3.3 Lagoas de estabilização

Lagoas de estabilização apresentam-se como uma boa alternativa para o tratamento dos dejetos de suínos. Tais lagoas apresentam baixos custos econômicos, embora ocupem grandes áreas. Segundo Pearson et al. (1995), as lagoas de estabilização são classificadas de acordo com sua atividade metabólica predominante na degradação da matéria orgânica. No presente trabalho abordaremos as lagoas mais utilizadas no Brasil, sendo elas as lagoas anaeróbicas, facultativas, de maturação e de aguapés. As taxas de redução de indicadores de poluição para cada lagoa não foram abordadas na presente subseção, levando em consideração que oscilam muito conforme a combinação dos sistemas de tratamentos dos DS.

Lagoas anaeróbicas são caracterizadas pelo não uso de oxigênio no processo de fermentação metânica e digestão ácida da carga dos poluentes, por intermédio de bactérias anaeróbicas. Geralmente estas lagoas são isoladas por uma fina película, que evita a entrada de oxigênio. Já para as lagoas facultativas ocorre a incorporação de

oxigênio, predominando processos aeróbicos na parte superior, e anaeróbicos na parte inferior, para a redução de poluentes dos DS (MEDRI, 1997).

As lagoas de maturação são sistemas de pós-tratamento, recebem afluentes com a DBO praticamente já estabilizada, e tem como principal objetivo a remoção de patogênicos, bem como nitrogênio e fósforo (MEDRI, 1997).

As lagoas de aguapés são revestidas por plantas aquáticas, aguapés (*Eichornia crassipes*), e proporcionam bom desempenho na remoção de nutrientes dos DS, no entanto, pecam na redução da DBO (BARTHEL, 2008). Segundo Gonçalves Jr et al. (2008) a *Eichornia crassipes* possui bom potencial para a remoção de metais pesados, como cádmio, chumbo e cromo, dos DS.

2.3.4 Compostagem

Para DS com baixas concentrações de sólidos são indicados sistemas anaeróbicos de tratamento. Tais sistemas são mais eficientes quando ocorre a separação de sólidos, deixando o tratamento do afluente mais rápido, eficiente e econômico (RICO et al., 2006). Esta melhora ocorre devido ao isolamento da fração sólida que apresenta menor superfície de contato e estruturas mais difíceis para a decomposição. No entanto, após a separação, surge a necessidade de tratar a fração sólida dos DS.

A compostagem, um processo predominantemente aeróbico, aparece como uma boa alternativa para o tratamento da fração sólida dos dejetos (OLIVEIRA, 2004). Serpa et al. (2012), verificaram que o processo de compostagem está associado à integração e ao equilíbrio dos seguintes fatores: umidade, percolação e temperatura.

No estudo realizado por Orrico et al. (2009), a compostagem foi eficaz no tratamento da fração sólida da água residuária de suinocultura, com reduções de 71,24% nos teores de Sólidos Totais (ST), 64,55% no volume, 56,89% no teor de DQO e 56,89% na Matéria Orgânica Complexada (MOC). Foram também verificadas reduções de 100% no número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes, o que torna possível seu uso como adubo orgânico.

A compostagem pode ser implementada não só após a separação da fase líquida da sólida, mas também através da incorporação de substratos na fase líquida dos DS. Pra et al. (2008), em experimento realizado em granjas no nordeste do Rio Grande do Sul, verificaram que

a compostagem dos DS acrescido de serragem, maravalha, ou cama de aviário apresentou uma redução significativa no volume final dos DS, comparado ao tratamento in natura (esterqueira), além de um aumento no percentual de matéria seca para os dejetos (Tabela 5).

Tabela 5 - Percentual médio de matéria seca (MS) dos dejetos, dos substratos e dos dejetos tratados de acordo com os tratamentos

PARÂMETRO	T1	T2	T3	T4
MS dos dejetos	2,52	2,52	2,52	2,52
MS dos substratos	73,54	88,96	83,47	-
MS dos dejetos tratados	61,89	52,72	44,4	2,14

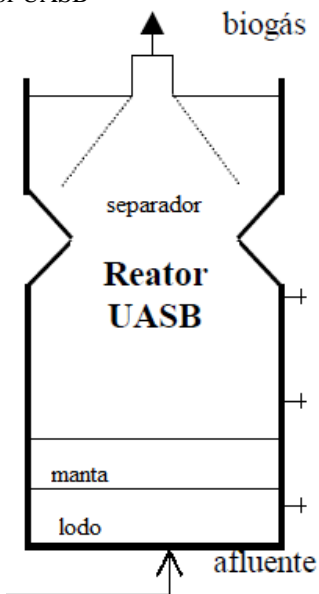
T1 – substrato: serragem; T2 – substrato: maravalha; T3 – substrato: cama de aviário e T4 – sistema convencional de tratamento com esterqueira

Fonte: Adaptado de Pra et al. (2008).

2.3.5 Reatores anaeróbico de manta de lodo (upflow anaerobic sludge blanket, UASB)

Os reatores de fluxo ascendente (UASB) apresentam bom desempenho, com baixo tempo de retenção hidráulica (TRH), no tratamento de águas residuárias com pouco teor de sólidos, o que motiva a sua utilização no tratamento de dejetos de suínos, uma vez que os DS são extremamente diluídos (FERREIRA et al. 2001). No Reator Anaeróbico de Manta de Lodo (UASB), o afluente entra por baixo e segue em fluxo ascendente, até o topo do Reator, atravessando três etapas: o leito de lodo, onde há muita biomassa ativa, logo após uma biomassa menos densa, chamada da manta de lodo e finalmente passa por um separador de três fases, onde há a separação dos sólidos em suspensão (lodo), do líquido e do subproduto biogás formado através do processo anaeróbico (CHERNICHARO, 1997).

Figura 8 - Esquema de reator UASB



Fonte: Adaptado de Belli Filho et al. (2001)

Urbinati et al. (2013), avaliaram o desempenho de reatores UASB, em dois estágios, no tratando de águas residuárias de suinocultura. As eficiências médias de remoção de DBO variaram, no primeiro reator de 66,3 a 88,8%, já no segundo reator foram de 85,5 a 95,5%. O sistema inteiro (reator 1 + reator 2) teve remoção média da DBO de 93,4%, se apresentando como uma boa medida para a remoção do poder poluentes das águas residuárias da suinocultura.

2.3.6 Biodigestores

Nos biodigestores o processo de fermentação dos dejetos, assim como nos reatores UASB, é anaeróbio, e tem também como subproduto o biogás. Apesar da semelhança existente entre os biodigestores e os reatores UASB, estes apresentam infraestrutura mais complexa e maiores custos de implantação e operação. Porém para determinados casos podem ser mais aptos para o tratamento dos dejetos. Tal fato não ocorre na realidade da suinocultura brasileira, na qual se observa que o uso de biodigestores é mais difundido. Em relação ao desempenho dos

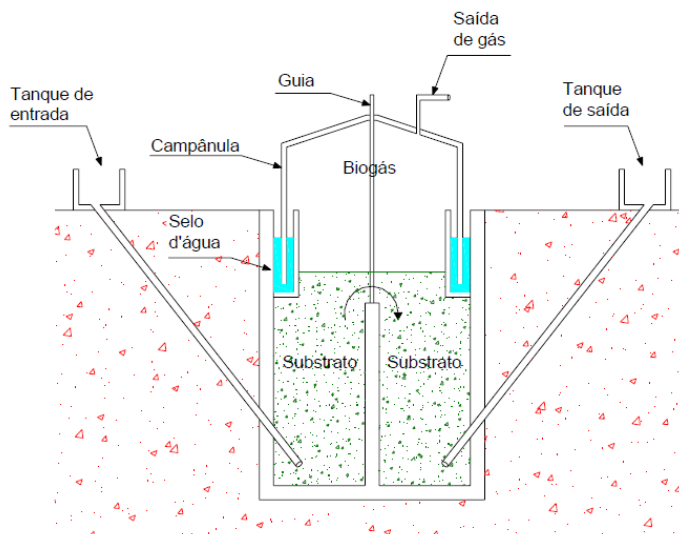
biodigestores, este varia conforme as características ambientais, do biodigestor, e dos dejetos. O ítem 2.4 do presente trabalho retrata a digestão anaeróbia, e os fatores que a influenciam de forma mais detalhada.

No Brasil os biodigestores mais difundidos são os modelos indiano, chinês e biolagoa coberta (chamada por alguns autores de Biodigestor Canadense), este último destaca-se devido sua facilidade de construção (KUNZ e OLIVEIRA, 2006). A seguir serão apresentados tais modelos de biodigestores.

- Modelo Indiano

O modelo indiano caracteriza-se por ter uma campânula flutuante como gasômetro, tornando-o um biodigestor de pressão constante. Outra característica é a parede central que divide longitudinalmente o local de fermentação em duas câmaras. Conforme pode ser visto na figura 9, uma metade conecta-se ao tanque de entrada, enquanto a outra conecta-se ao tanque de saída. Tal biodigestor é construído em alvenaria (Nishimura, 2009).

Figura 9 - Biodigestor modelo indiano



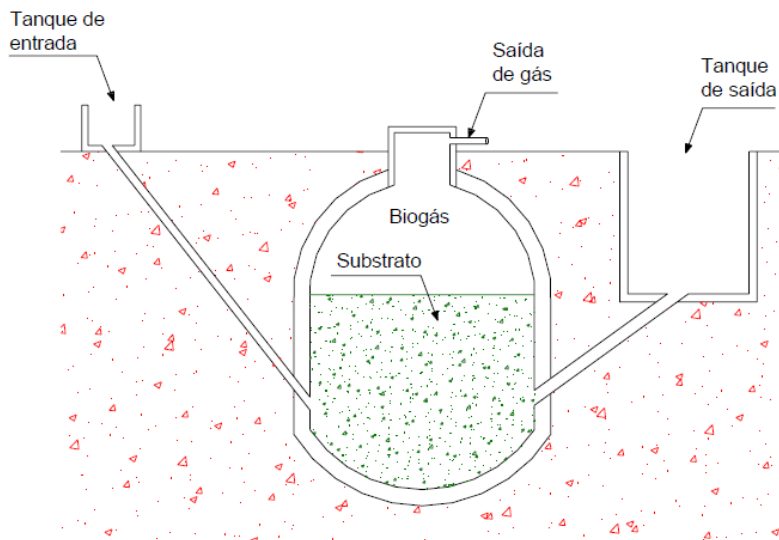
Fonte: Nishimura (2009)

As duas câmaras possibilitam a movimentação do material em fermentação. Inicialmente o substrato a ser digerido entra no fundo do biodigestor, a medida que vai sendo fermentado sua densidade diminui, fazendo com que ele suba, até atravessar para a outra metade do biodigestor. Para evitar que o biogás oriundo da fermentação escape, há uma campânula na parte superior do biofertilizante que flutua sobre o próprio substrato ou selo d'água. Tal mecanismo mantém a pressão do interior do biodigestor constante, independente da variação do volume (Nishimura, 2009).

- Modelo Chinês

O modelo chinês não possui gasômetro, sendo o gás armazenado no interior do reator. É construído em alvenaria, e apresenta custo de construção inferior ao indiano por não ter gasômetro e utilizar materiais de menor custo e de fácil aquisição (Nishimura 2009). A figura 10 apresenta um biodigestor modelo chinês.

Figura 10 - Biodigestor modelo chinês



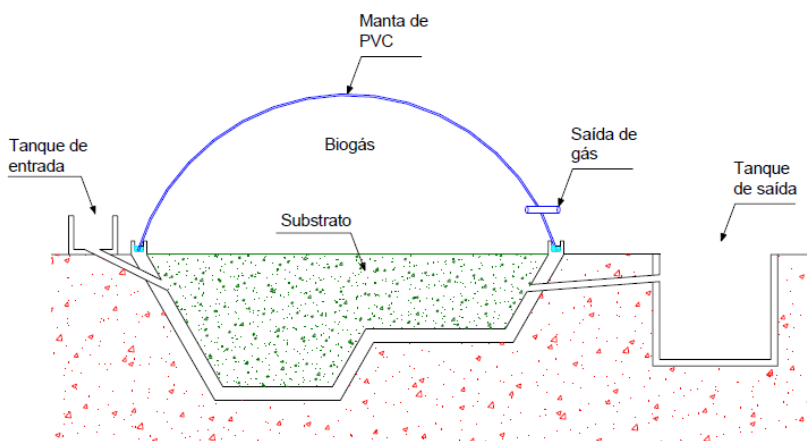
Fonte: Nishimura (2009)

O Funcionamento do biodigestor chinês é similar ao de uma prensa hidráulica, sendo o responsável pelo deslocamento do substrato a ser digerido o aumento da pressão interior (GASPAR, 2003).

- Modelo Biologoa Coberta

Atualmente, o modelo biologoa coberta é o mais utilizado nas propriedades suinícolas do Brasil (HAACK, 2009). Tal modelo de biodigestor possui base retangular construída em alvenaria, onde se deposita o substrato, seu gasômetro é feito em manta de PVC, conforme pode ser visualizado na figura 11.

Figura 11 - Biodigestor modelo biologoa coberta



Fonte: Nishimura (2009)

Segundo Lindemeyer (2008), a implantação do modelo canadense demanda menor custo comparado aos biodigestores com campânulas metálicas ou de fibra de vidro. Por este motivo, Cunha (2007) concluiu que tal modelo é o mais indicado para o tratamento de grandes volumes de dejetos suinícolas.

2.3.8 Resumo sobre as tecnologias de tratamento dos dejetos de suínos

Cada tecnologia discutida anteriormente apresenta características especiais que se adaptam a realidades específicas. Para uma melhor visualização sobre as principais particularidades de cada tecnologia, encontradas na literatura brasileira, é conveniente analisar a tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Resumo das principais tecnologias de tratamento dos dejetos da suinocultura

TECNOLOGIA	CARACTERÍSTICA DO DEJETO	VANTAGENS	DESVANTAGENS	PROCESSO
Camas Sobrepostas	In natura	Evita limpezas frequentes das baias, reduzindo o consumo de água / Diminui emissão de amônio / Diminui a porcentagem líquida dos dejetos	Aumento significativo da matéria orgânica nas baias	Abiótico
Esterqueiras	In natura / líquidos	Necessidade de estrutura simples / Baixos custos econômicos	Baixa redução da carga de poluentes / grande quantidade de E. Coli	Aeróbico na superfície / Anaeróbico abaixo da superfície
Lagoas de Estabilização	In natura / líquidos	Baixos custos econômicos	Ocupam grandes áreas	Aeróbico na superfície / Anaeróbico abaixo da superfície
Compostagem	Sólidos	Necessidade de estrutura simples / Baixos custos econômicos	-	Aeróbico
Reatores UASB	In natura / Líquidos	Baixo TRH / Possível	Estrutura mais complexa /	Anaeróbico

TECNOLOGIA	CARACTERÍSTICA DO DEJETO	VANTAGENS	DESVANTAGENS	PROCESSO
		aproveitamento do metano gerado na fermentação	Não indicado para dejetos com grandes concentrações de sólidos	
Biodigestores	In natura / Líquidos	Aproveitamento do metano gerado na fermentação	Ocupação de grandes áreas	Anaeróbico

Fonte: o Autor

2.3.9 Sistemas de tratamento de dejetos de suínos

Um sistema de tratamento de DS consiste em uma configuração de tecnologias, entre a entrada do afluente e saída do efluente que reduzem o potencial de poluição dos DS. No presente ítem serão apresentados alguns sistemas de tratamento de DS alvo de trabalhos científicos brasileiros, bem como uma tabela resumo comparando-os entre si (Tabela 7).

Ferreira et al. (2001), apresentaram resultados satisfatórios de redução do poder poluente de DS. Em experimento realizado em Jaboticabal, com o sistema composto por caixa de carga, caixa reguladora de vazão e dois reatores UASB em série. O sistema reduziu a DBO dos dejetos em 88,4%, em 29,3% do P, e em 33,2% para o N. Houve também redução expressiva de cobre (Cu) e zinco (Zn), com 87,8% e 90,0%, respectivamente. No entanto, as concentrações de Na não sofreram alterações significativas.

Carmo et al. (2004) e Campos et al. (2006), conduziram um experimento em laboratório, composto por um tanque de acidificação e equalização, um reator anaeróbico de manta de lodo UASB, e uma lagoa aerada facultativa para polimento. O sistema proporcionou remoção média de 93% de DQO, 69% de ST, 29% de Sólidos Totais Fixos (STF) e 85% de Sólidos Totais Voláteis (STV).

Medri e Medri (2004) criaram um modelo matemático de minimização de custos para tratamento de DS, a partir de parâmetros coletados de três sistemas de lagoas, localizados no município de Concordia SC, onde a média de redução dos três sistemas era de 90% para DBO e 76% para o N.

Barthel et al. (2008), analisaram dois sistemas de tratamento, o primeiro denominado “A” composto por um equalizador, um decantador, duas lagoas anaeróbicas, uma lagoa de alga, e duas lagoas de maturação, tal sistema apresentou as seguintes remoções médias: DBO 95%, ST 60%, N 98%, P 97%. O sistema denominado “B” composto por um equalizador, um decantador, duas lagoas anaeróbicas, uma lagoa de alga, uma lagoa de maturação, e uma lagoa de aguapé. Este sistema obteve as seguintes remoções médias: DBO 96%, ST 64%, N 97%, P 97%.

Vivian et al. (2010), analisaram a eficiência no tratamento de um sistema em Concordia SC, composto por um biodigestor, uma lagoa anaeróbia, uma facultativa e duas lagoas de maturação. Os resultados apontaram para a remoção de 98% da DBO, 89,8% de N, 98,6% de P,

98,7% de Cu, e 99,4% de Zn. A remoção de ST foi mencionada apenas para o biodigestor do sistema, que reduziu os ST em 24,16%.

Rodrigues et al. (2010), avaliaram um sistema composto por um decantador seguido por um reator UASB, localizado no município de Igarapé, MG. O sistema apresentou remoção de DBO e de ST de 92% e 88%, respectivamente.

Pereira et al. (2010), avaliaram o desempenho de um Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) seguido de um reator tipo UASB, localizados no Departamento de Zootecnia da UFLA, o sistema atingiu 77,8% de remoção da DBO dos DS.

Duda e Oliveira (2011) realizaram um experimento em Jaboticabal para verificar um sistema de tratamento composto por um reator UASB, seguido por um filtro anaeróbio, um filtro percolador, e um decantador. Foram atingidas as seguintes remoções médias: DBO 98%, Sólidos Solúveis Totais (SST) 99%, N 78%, P 84%, Cu 99%, Zn 98%.

Araújo et al. (2012), obtiveram redução da DBO em 97%, 74% para o P, e 83% para N. O sistema analisado, localizado em Braço do Norte, SC, era composto por uma lagoa de decantação, lagoa anaeróbica, reator UASB, lagoa facultativa aerada e lagoa de maturação.

A tabela 7 abaixo apresenta um breve resumo dos trabalhos mencionados, contendo a composição do sistema de tratamento, bem como a porcentagem de remoção da DBO, P, N, ST, Cu e Zn.

Tabela 7 - Resumo dos trabalhos contendo a composição dos sistemas e % de remoção de DBO, P, N, ST, Cu e Zn

Trabalho	Composição do Sistema	% de Remoção					
		DBO	P	N	ST	Cu	Zn
Ferreira et al. (2001)	CC, CRV, UASB, UASB	88	29	33	-	88	90
Carmo et al. (2004) Campos et al. (2006)	TAE, UASB, LAF	93	69	-	29	-	-
Medri e Medri (2004)	NI	90	-	76	-	-	-
Barthel et al. (2008) Sistema A	EQ, DE, LA, LA, LAL, LM, LM	95	97	98	60	-	-
Barthel et al. (2008) Sistema B	EQ, DE, LA, LA, LAL, LM, LAG	96	97	97	64	-	-
Vivian et al. (2010)	BIO, LA, LF, LM, LM	98	99	90	-	99	99
Rodrigues et al. (2010)	DE, UASB	92	-	-	88	-	-
Pereira et al. (2010)	RAC, UASB	78	-	-	-	-	-
Duda e Oliveira (2011)	UASB, FA, FP, DE	98	84	78	99	99	98
Araújo et al. (2012)	LD, LA, UASB, LAF, LM	97	74	83	-	-	-

CC – Caixa de Carga; CRV – Caixa Reguladora de Vazão; UASB – Reator Anaeróbio UASB; TAE – Tanque de Acidificação e Equalização; LAF – Lagoa Aerada Facultativa; NI – Não Informado; DE – Decantador; EQ – Equalizador; LA – Lagoa Anaeróbia; LAL – Lagoa de Algas; LM – Lagoa de Maturação; LAG – Lagoa de Agupapé; BIO – Biodigestor; LF – Lagoa Facultativa; RAC – Reator Anaeróbio Compartimentado; FA – Filtro Anaeróbio; FP – Filtro Percolador; LD – Lagoa de Decantação

Fonte: O Autor

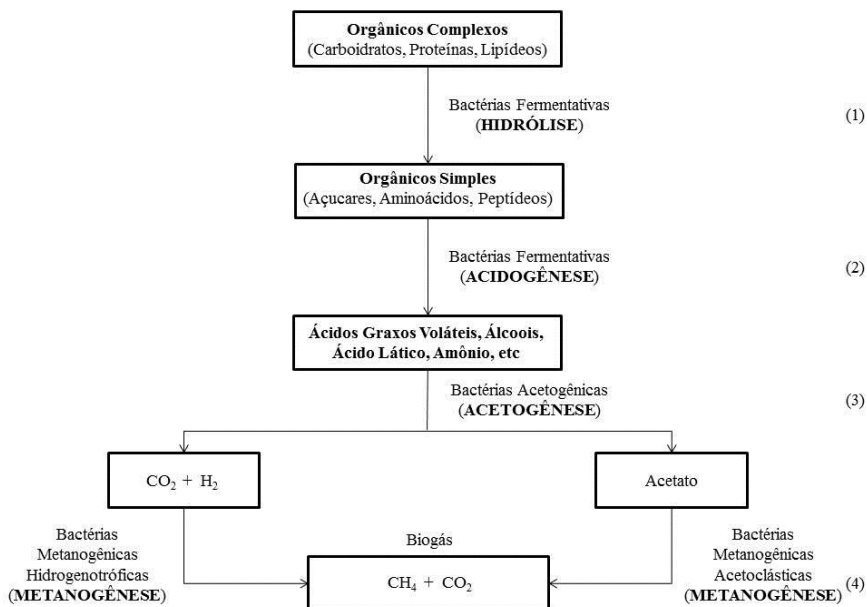
Dentre os sistemas apresentados na tabela 7 destacam-se aqueles que possuem biodigestor ou reatores. Tais tecnologias de tratamento além de reduzirem o poder poluente dos dejetos da suinocultura, podem ainda reter o biogás, subproduto da digestão anaeróbia, para posteriormente ser aproveitado como fonte energética.

2.4. DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia ocorre da interação de microorganismos que trabalham mutuamente, na ausência de oxigênio, para a conversão de matéria orgânica complexa em metano e outros compostos menos complexos, como o gás carbônico, água, entre outros (CHERNICHARO, 1997; STAFFORD et al., 1980).

O processo de digestão anaeróbia foi descrito por Chernicharo (1997) em quatro etapas conforme pode ser observado na figura 12.

Figura 12 - Etapas do processo de digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997) e Bitton (2005)

A seguir são descritas as quatro etapas do processo de digestão anaeróbia, conforme Chernicharo (1997) e Parawira (2004).

1. **Hidrólise:** consiste na quebra de materiais particulados complexos como carboidratos, proteínas e lipídeos, em moléculas menores, através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Estas moléculas menores (açúcares, aminoácidos e peptídeos) são capazes de atravessar as paredes celulares das bactérias fermentativas.
2. **Acidogênese:** os produtos gerados na fase de hidrólise são convertidos no interior das bactérias fermentativas acidogênicas em ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônio e sulfeto de hidrogênio.
3. **Acetogênese:** ocorre a oxidação das moléculas da acidogênese, através das bactérias acetogênicas, em substrato adequado para as bactérias metanogênicas. Os produtos gerados são hidrogênio, dióxido de carbono e acetato.
4. **Metanogênese:** esta etapa caracteriza-se como a última do processo global de digestão anaeróbia, ocorrendo pela ação de dois grupos de bactéria. As bactérias metanogênicas acetoclásticas convertem acetato em metano e dióxido de carbono, já as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas reduzem dióxido de carbono e hidrogênio em metano.

De acordo com Souza (1984), há três grupos de fatores, geralmente passíveis de controle, que influenciam o processo de digestão anaeróbia, sendo estes: relativos às características do digestor, do substrato a ser digerido, e à forma de operação do digestor.

2.4.1 Influência das características do digestor no processo de digestão anaeróbia

Segundo Souza (1984), são três os fatores relativos às características do digestor: idade do lodo, grau de agitação ou grau de contato, e temperatura.

A idade do lodo influencia a velocidade da digestão da matéria orgânica. Esta influência é negativa quando a biomassa é retirada do digestor com taxas maiores que o crescimento bacteriano, tal fato, denominado lavagem de bactérias, ocasiona um lodo “novo” com número reduzido de microrganismos, podendo até levar a inoperância do digestor. Em contrapartida, quando a taxa de retirada da biomassa do digestor é igual ou menor ao crescimento bacteriano, o digestor encontra-se equilibrado do ponto de vista biológico, apresentando um funcionamento com velocidade constante ou crescente até determinado momento (SOUZA, 1984).

A insuficiência de contato, ocasionada pela inércia dentro do digestor, entre o substrato (matéria orgânica) e as bactérias metanogênicas pode reduzir drasticamente a velocidade do processo de digestão anaeróbia. Por outro lado, uma agitação excessiva no digestor favorece as bactérias acidogênicas, podendo ocasionar desequilíbrios no processo. Para digestores de fluxo ascendente a distribuição apropriada do efluente a ser digerido por toda a seção do digestor, geralmente já é satisfatória para proporcionar o contato necessário entre matéria orgânica e bactérias (SOUZA, 1984).

As bactérias metanogênicas atuam dentro de duas faixas de temperaturas. Na faixa mesofílica, entre 15 e 45°C, a digestão se desenvolve bem desde 30 até 40°C, sendo que a temperatura ótima está entre 35 e 37°C. Já para a faixa termofílica, que vai de 50 até 65°C, a temperatura ótima está entre 57 e 62°C. Considerando as duas faixas de temperatura, a digestão apresenta maior velocidade em temperaturas termofílicas. Entretanto, os custos relacionados ao aquecimento do digestor em geral não compensam a operação nesta faixa. Outro fator importante é que as variações de temperatura devem ser evitadas, uma vez que as bactérias metanogênicas são bastante sensíveis a tal fenômeno (SOUZA, 1984; COSTA, 2006).

2.4.2 Influência das características do substrato no processo de digestão anaeróbia

Souza (1984) classificou em seis os fatores relativos às características do substrato a ser digerido, sendo estes: grau de biodegradabilidade da matéria orgânica, diluição do material a ser digerido, estado da matéria orgânica, tamanho das partículas de sólidos em suspensão, nutrientes, e influência de compostos tóxicos.

O grau de biodegradabilidade da matéria orgânica corresponde o quanto do substrato pode ser degradado através da formação de metano. O substrato a ser digerido pode apresentar-se em diferentes diluições de Sólidos Voláteis (SV) por unidade de volume de dejetos, o que influencia diretamente a carga orgânica aplicada, e consequentemente o tempo de retenção hidráulico (TRH) no digestor. Já o estado da matéria orgânica a ser digerida, em suspensão ou em solução, geralmente serve para nortear o tipo de digestor a ser utilizado (SOUZA, 1984; CHERNICHARO, 1997; LUCAS JR, 1994).

O tamanho das partículas sólidas em suspensão está estreitamente correlacionado com o contato entre a matéria orgânica e os microrganismos digestores. Desta forma, quanto menor o diâmetro das partículas, mais eficaz é a interação matéria orgânica-bactérias (SOUZA, 1984; LEHNINGER et al., 1995).

As bactérias responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia necessitam de nitrogênio (N) e fósforo (P) para seu desenvolvimento e manutenção de suas atividades. De acordo com Souza (1984), para atender a demanda das bactérias por estes elementos é aconselhável que os dejetos tenham as seguintes relações de N e P com carbono (C):

$$C/N \leq 20 \text{ e } C/P \leq 100$$

Segundo Souza (1984) e Stafford et al. (1980), certas substâncias em determinadas quantidades podem, estimular, afetar, ou até mesmo inibir totalmente o processo de digestão anaeróbia. A tabela 8 apresenta algumas substâncias que podem influenciar a digestão anaeróbia e suas concentrações aproximadas de estimulação ou toxicidade.

Tabela 8 - Substâncias que influenciam a digestão anaeróbia

SUBSTÂNCIAS	CONCENTRAÇÕES	
	ESTIMULANTE	INIBITÓRIA
Ácidos Voláteis	-	> 6 g/l
Cádmio	-	180 mg/l
Cálcio	100 a 200 mg/l	2.500 a 4.500 mg/l
Cianetos	-	> 40 mg/l
Cobre	-	170 mg/l
Enxofre	-	> 290mgS/l
Fenóis	-	> 700 mg/l

SUBSTÂNCIAS	CONCENTRAÇÕES	
	ESTIMULANTE	INIBITÓRIA
Ferro	-	2,6 g/l
Magnésio	75 a 150 mg/l	1.000 a 1.500 mg/l
Nitratos	-	> mgN/l
Nitrogênio Amoniacal	-	> 3g/l
Oxigênio	-	> 1,3 gO ₂ /l
Potássio	200 a 400 mg/l	2.500 a 4.500 mg/l
Sódio	100 a 200 mg/l	3.500 a 5.500 mg/l
Sulfactantes	-	>600mg/l
Sulfatos	-	>6,75 gSO ₄ ²⁻ /l
Zinco	-	163 mg/l

Fonte: Adaptado de Souza (1984) e Stafford et al. (1980).

A tabela 8 despreza a interação que uma substância tem sobre outras. Este processo pode ser observado especialmente entre os metais pesados, tanto que Mosey (1976) criou uma equação que determina a influência conjunta dos metais pesados Zinco, Cádmio, Cobre, e Ferro, na digestão de efluentes.

2.4.3 Influência da operação do digester no processo de digestão anaeróbia

Até quando todos os fatores relativos às características do digester e do substrato encontram-se controlados, a digestão anaeróbia pode ainda ocorrer de forma insatisfatória ou totalmente inviável, devido a erros operacionais. Estas situações são frequentes quando um biodigester inicia seu funcionamento de forma muito brusca, ou quando há alterações nas condições normais do ambiente e sobrecargas orgânicas, hidráulicas ou tóxicas (STAFFORD et al., 1980; SOUZA, 1984).

2.5 ESTUDOS DE VIABILIDADE PARA A BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUINÍCOLAS

A seguir são citados alguns estudos que objetivam fornecer indicadores de viabilidade econômico-financeira para a digestão anaeróbia de dejetos suinícolas.

Pereira (2009) verificou a viabilidade econômica para a implantação de um sistema de coleta, transporte e transformação dos dejetos suinícolas em biogás, no município de Toledo – PR. A implantação deste sistema compreendido por 380 propriedades apresentou-se viável, além de contribuir consideravelmente para a redução do poder poluente dos dejetos da suinocultura.

Lindemeyer (2008) realizou uma análise de viabilidade econômico-financeira para a geração de energia elétrica a base de biogás, em uma granja suinícola localizada em Concórdia – SC. Verificou-se que a geração distribuída baseada no biogás é economicamente e financeiramente viável.

Bonfante (2010) comparou a viabilidade de implantação de biodigestores para o tratamento dos dejetos da suinocultura para dois cenários. O primeiro cenário é referente à inserção da atividade do projeto no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Já o segundo, que se apresentou mais favorável, aborda a geração de energia elétrica a partir do biogás.

Dias (2012) realizou um estudo de viabilidade econômica para implantação de um biodigestor indiano em granja de suínos de pequeno porte. Para o cenário de análise, a implantação deste biodigestor foi viável para a geração de biogás, bem como para a produção de biofertilizantes.

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo a suinocultura foi abordada de forma sistêmica. Inicialmente apresentou-se o processo de formação da ração, a partir dos carboidratos desenvolvidos pela fotossíntese e demais ingredientes adicionados à ração. Em um segundo momento foram abordados os principais aspectos necessários para que a produção suinícola seja realizada de forma adequada. Para finalizar a abordagem sistêmica, foram descritas as principais tecnologias de tratamento dos dejetos da

suinocultura, bem como alguns sistemas de tratamento encontrados na literatura brasileira.

O processo de digestão anaeróbia também foi retratado neste capítulo, juntamente com a exposição de alguns trabalhos brasileiros que fornecem indicadores de viabilidade econômico-financeira para a digestão anaeróbia de dejetos suinícolas.

No capítulo seguinte é apresentada a forma em que o modelo proposto foi idealizado.

3 MODELO PROPOSTO

O modelo proposto tem como objetivo dar suporte ao processo de decisão sobre a coleta, e conseqüente transporte até biodigestores, de dejetos suinícolas de propriedades rurais. A função objetivo do modelo é maximizar o lucro, considerando as receitas oriundas da venda de biogás e biofertilizante, bem como todos os custos associados ao processo de coleta, transporte, tratamento dos dejetos suinícolas, e geração de energia. As variáveis de decisão do modelo são as porcentagens de coleta de cada propriedade que disponibilize dejetos, e o TRH. O funcionamento do modelo pode ser representado resumidamente pelo fluxograma da figura 13.

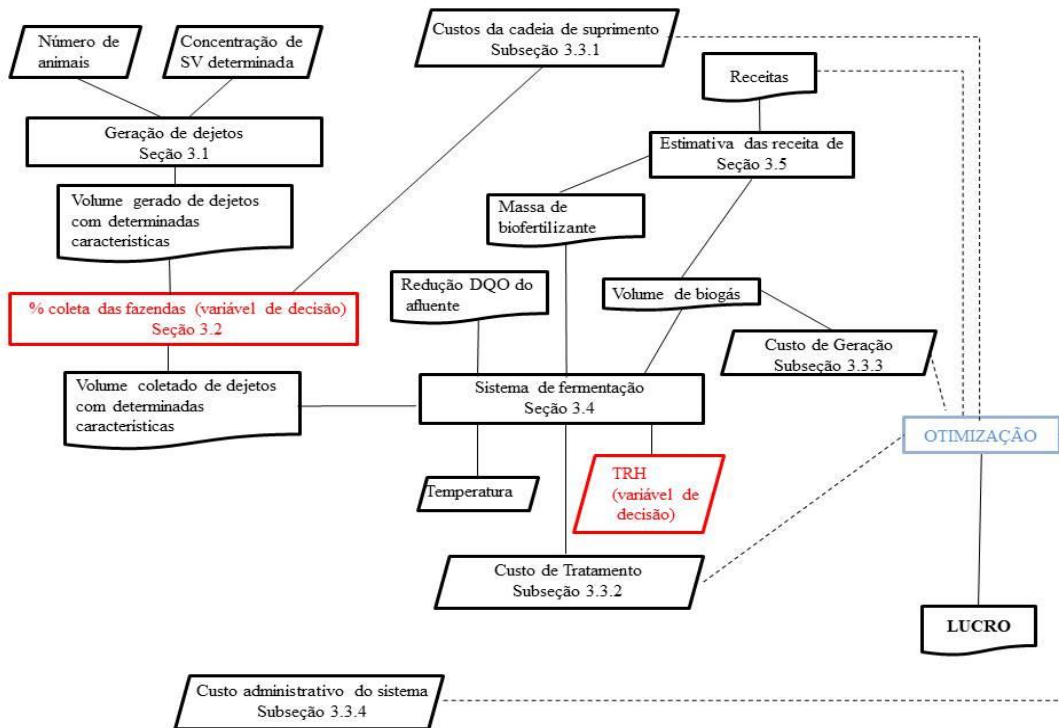
A seguir serão apresentados os parâmetros, equações, função objetivo, restrições do modelo e o modelo propriamente dito.

3.1 QUANTIDADE DE SÓLIDOS VOLÁTEIS E VOLUME GERADO PARA CADA PROPRIEDADE

Cada propriedade candidata a ter seus dejetos coletados e transportados até os biodigestores produz uma quantidade específica de dejetos, com certas características. Este volume produzido pode ser estimado através da razão entre massa dos sólidos voláteis gerados pelos suínos, com a concentração de sólidos voláteis que o dejetos da fazenda possui. Esta concentração está estreitamente relacionada com a quantidade de água incorporada aos dejetos, seja por ocasião da limpeza das baias, por entrada da água da chuva, pelo desperdício ocasionado pelos bebedouros, entre outros aspectos.

No modelo proposto, a quantidade de sólidos voláteis foi determinada através da relação sugerida pela equação 3, que utiliza os valores indicados por Tavares *et al.* (2014) e Tavares (2012) para a produção diária de dejetos por animal e concentração de sólidos voláteis, respectivamente. Também foi utilizada relação de massa/volume dos dejetos proposta por Rolas (1995) *apud* Miranda et al. (1999). A equação 3 estima a produção diária de sólidos voláteis por animal.

Figura 13 - Fluxograma do modelo proposto



Fonte: O Autor

$$SVa = 4,46 * 1,03 * 0,04573 \quad (3)$$

SVa_i = Produção de sólidos voláteis por animal (kg/dia).

A partir da massa diária gerada de SV por animal é possível obter uma estimativa para a quantidade de sólidos voláteis produzida semanalmente por cada propriedade i (SV_i), expressa em kg/semana, conforme equação 4.

$$SV_i = 7 \times SVa \times Na_i \quad (4)$$

Onde:

Na_i = Número de animais da propriedade i .

Considerando a SV_i , e a concentração de sólidos voláteis, o volume de dejetos associado à propriedade, Vpr_i , em m^3 /semana é dado pela equação 5.

$$Vpr_i = SV_i / So_i \quad (5)$$

Onde:

So_i = Concentração de sólidos voláteis no dejetos da propriedade i (kg/m^3)

Apesar de cada propriedade possuir um determinado número de animais, e conseqüente massa de SV e volume de dejetos, o modelo em questão pode ou não indicar a coleta destes em sua totalidade. A porcentagem que os dejetos são coletados em cada fazenda depende de aspectos econômicos e operacionais relacionados a elas que serão vistos na próxima seção.

3.2 DISTÂNCIA, TEMPO, VOLUME, E PORCENTAGEM DE COLETA DOS DEJETOS

Considerando que cada propriedade possui um Vpr_i , e que o veículo responsável pelo transporte possui uma carga, capacidade de tanque, torna-se possível determinar a frequência semanal necessária para realizar a coleta de 100% dos dejetos, através da equação 6:

$$Fr_i = Vpr_i / CaT \quad (6)$$

Onde:

Fr_i = Frequência de Viagem vinculada à propriedade i (viagem/semana);

Vpr_i = Volume de dejetos da propriedade (m^3);

CaT = Capacidade de Tanque (m^3);

Cada propriedade está vinculada a uma distância a ser percorrida, equivalente à soma das distâncias de ida e volta da propriedade até o local dos biodigestores (equação 7):

$$D_i = Di_i + Dv_i \quad (7)$$

Onde:

D_i = Distância total percorrida por viagem vinculada à propriedade i (km);

Di_i = Distância percorrida na ida por viagem vinculada à propriedade i (km);

Dv_i = Distância percorrida na volta por viagem vinculada à propriedade i (km);

O produto de Fr_i por D_i pela porcentagem de coleta, $C\%_i$, variável de decisão do modelo, possibilita obter a distância semanal percorrida associada à propriedade i (Ds_i), em km/semana (equação 8).

$$Ds_i = Fr_i \times D_i \times C\%_i \quad (8)$$

O somatório de Ds_i (equação 9) servirá como base para calcular os custos variáveis da cadeia de suprimento, de acordo com a subseção 3.3.1.

$$Ds = \sum_{i=1}^f Ds_i \quad (9)$$

Onde:

Ds = Distância total semanal percorrida (km)

f = número de propriedades do sistema

Associado à distância total, aos tempos de bombeamento do dejetos e Start-ups, cada propriedade possui um tempo necessário para realizar a coleta e transporte dos dejetos das propriedades até os biodigestores, dado por Tc_i , Tempo de ciclo, expresso em horas/semana.

O produto de Fr_i por Tc_i pela $C\%_i$ resultará no tempo de ciclo semanal da propriedade i (Tcs_i) (Equação 10).

$$Tcs_i = Fr_i \times Tc_i \times C\%_i \quad (10)$$

O somatório de Tcs_i (equação 11) para as f propriedades servirá como subsídio para calcular os custos fixos da cadeia de suprimento, conforme pode ser visto na subseção 3.3.1.

$$Tcs = \sum_{i=1}^f Tcs_i \quad (11)$$

Onde:

Tcs = Tempo de ciclo semanal total (horas/semana)

A quantidade de dejetos a ser fermentada, em m^3 , de cada propriedade ($VDEJ_i$) é dada pela equação 12.

$$VDEJ_i = Fr_i \times Vpr_i \times C\%_i \quad (12)$$

O somatório de $VDEJ_i$ para todas as f propriedades fornecerá o volume total a ser fermentado, $VDEJ$, em m^3 (equação 13):

$$VDEJ = \sum_{i=1}^f VDEJ_i \quad (13)$$

As receitas oriundas do biofertilizante e biogás, bem como os custos de tratamento e geração são função de $VDEJ$.

3.3 ESTIMATIVAS DOS CUSTOS DO SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE E TRATAMENTO DOS DEJETOS

Os custos do sistema de coleta, transporte e tratamento dos dejetos suínólicas são segmentados em custos da cadeia de suprimento,

de tratamento, de geração e administrativo. A seguir será apresentada a metodologia utilizada para estimar tais custos.

3.3.1 Custo da cadeia de suprimento

A cadeia de suprimento apresenta custos fixo e variável. O fixo independe diretamente do volume de dejetos coletados e da distância percorrida para realizar a coleta, sendo representado pela soma dos custos básicos do motorista, com juros e depreciação do veículo e bomba, e manutenção do veículo e bomba. Já o variável depende diretamente do volume de dejetos coletados e da distância percorrida para realizar a coleta. O custo variável é composto pelos custos de bombeamento, combustível no deslocamento, e desgaste dos pneus. As equações 14 até 19 referem-se à composição do custo fixo, enquanto as equações 20 até 23 relacionam-se à formação do custo variável da cadeia de suprimento:

Equação referente ao custo básico do motorista (equação 14):

$$C_{mot} = N_{mot} \times (7/30) \times (1 + ES_{mot}) \times Sal_{mot} \quad (14)$$

Onde:

C_{mot} = Custo básico do motorista (R\$/semana);

N_{mot} = Número de motoristas necessários na cadeia de suprimento;

ES_{mot} = Encargos sociais referentes ao motorista (% do salário bruto);

Sal_{mot} = Salário Bruto do Motorista (R\$/mês).

O número de motorista é dado por (equação 15):

$$N_{mot} = \lceil (Tcs/Hstmot) \rceil \quad (15)$$

Onde:

Hts_{mot} = Horas semanais trabalhadas por motorista (horas/semana).

A equação 16 refere-se aos juros e depreciação do veículo e bomba.

$$C_{Jdvb} = N_{vei} \frac{7}{30} \left[(Pr_{vei} + Pr_{bomb}) - \frac{Pr_{rvb}}{(1 + TMA)^{N_{uvb}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{uvb}}}{(1 + TMA)^{N_{uvb}} - 1} \quad (16)$$

Onde:

C_{jdvb} = Juros e depreciação do veículo + bomba (R\$/semana);

Pr_{vei} = Preço do veículo (R\$);

Pr_{bomb} = Preço da bomba (R\$);

Pr_{rvb} = Preço residual do conjunto veículo + bomba (R\$);

TMA = Taxa mínima de atratividade;

N_{uvb} = Vida útil do conjunto veículo + bomba (meses);

N_{vei} = Número de veículos;

O número de veículo é dado pela equação 17:

$$N_{vei} = \lceil (Tcs / (Hts_{vei})) \rceil \quad (17)$$

Onde:

Hts_{vei} = horas semanais trabalhadas por veículo

A equação 18 é referente ao custo de manutenção do veículo e bomba.

$$C_{mvb} = N_{vei} \times (7/365) \times T_{m vb} \times (Pr_{vei} + Pr_{bomb}) \quad (18)$$

Onde:

$C_{m vb}$ = Custo de manutenção do veículo e bomba (R\$/semana);

$T_{m vb}$ = Taxa anual de manutenção do conjunto veículo + bomba (% do Pr_{vei}).

Considerando as equações 14, 16 e 18 torna-se possível calcular o custo fixo da cadeia de suprimento (equação 19).

$$CF_{cs} = C_{mot} + C_{jdvb} + C_{m vb} \quad (19)$$

Onde:

CF_{cs} = Custo fixo da cadeia de suprimento (R\$/semana).

Como dito anteriormente, o custo variável é composto pelos custos de bombeamento, combustível no deslocamento, e desgaste dos pneus. As equações 20 até 23 compreendem o processo de formação dos custos variáveis da cadeia de suprimento.

Custo de bombeamento (equação 20):

$$C_{bomb} = VDEJ \times (Con_{dieb} \times Pr_{die}/Va_{bomb}) \quad (20)$$

Onde:

C_{bomb} = Custo de bombeamento (R\$/semana);

$VDEJ$ = Volume total de dejetos a ser fermentado (m³/semana);

Con_{dieb} = Consumo de óleo diesel pela bomba (L/hora);

Pr_{die} = Preço do diesel (R\$/L);

Va_{bomb} = Vazão da bomba (m³/hora).

Custo de combustível no deslocamento (equação 21):

$$C_{comb} = Ds \times (Pr_{die}/Con_{diev}) \quad (21)$$

Onde:

C_{comb} = Custo de combustível no deslocamento (R\$/semana);

Ds = Distância total semanal percorrida (km/semana);

Con_{diev} = Consumo de diesel pelo veículo (R\$/km);

Desgaste dos pneus (equação 22):

$$C_{pneus} = \frac{Ds \times N_{pneus} \times (Pr_{pneu} + N_{rec} \times Pr_{rec})}{(1 + N_{rec}) \times D_{pneu}} \quad (22)$$

Onde:

C_{pneus} = Custo de desgaste dos pneus (R\$/semana);

N_{pneus} = Número de pneus do conjunto veículo e bomba;

Pr_{pneu} = Preço de cada pneu (R\$/unidade);

N_{rec} = Número de recapeamento por $jogdo$ de pneus;

Pr_{rec} = Preço de recapeamento por pneu (R\$/unidade);
 D_{pneu} = Distância média percorrida por jogo de pneus (Km).

A partir das equações 20, 21 e 22 é possível calcular o custo variável da cadeia de suprimento, conforme equação 23.

$$CV_{cs} = C_{bomb} + C_{comb} + C_{pneus} \quad (23)$$

Onde:

CV_{cs} = Custo variável da cadeia de suprimento (R\$/semana).

3.3.2 Custo de Tratamento

Fazem parte dos custos de tratamento os juros e depreciação referentes ao valor de aquisição dos biodigestores, bem como os gastos despendidos em manutenção e operação para eles. A equação 24 calcula os juros e depreciação dos biodigestores (C_{jdb}), em R\$/semana:

$$C_{jdb} = N_{bio} \frac{7}{30} \left[Pr_{bio} - \frac{Pr_{rb}}{(1 + TMA)^{N_{ub}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{ub}}}{(1 + TMA)^{N_{ub}} - 1} \quad (24)$$

Onde:

N_{bio} = Número de biodigestores;
 Pr_{bio} = Preço de um biodigestor (R\$);
 Pr_{rb} = Preço residual de um biodigestor (R\$);
 N_{ub} = Vida útil de um biodigestor (meses).

O número de biodigestores é dado pela equação 25:

$$N_{bio} = [TRH \times VDEJ \times (1/7) / CAP_{bio}] \quad (25)$$

Onde:

TRH = Tempo de retenção hídrico (dias);
 CAP_{bio} = Capacidade de um biodigestor (m³)

Já a equação 26 fornece o custo de manutenção e operação dos biodigestores (C_{mob}), em R\$/semana:

$$C_{mob} = N_{bio} \times (7/365) \times T_{mb} \times Pr_{bio} \quad (26)$$

Onde:

T_{mnb} = Taxa anual de manutenção e operação do biodigestor (% do Pr_{bio}).

Considerando os juros e depreciação dos biodigestores e o custo de manutenção e operação pode-se obter o custo de tratamento (C_{trat}), em R\$/semana, através da equação 27.

$$C_{trat} = C_{jdb} + C_{mob} \quad (27)$$

3.3.3 Custo de Geração

O custo de geração refere-se aos valores associados para a transformação do biogás em energia elétrica, através de geradores de combustão interna. Tal custo se segmenta em juros e depreciação referentes ao valor de aquisição dos geradores, bem como os gastos despendidos em manutenção.

A equação 28 apresenta os juros e depreciação referentes ao valor de aquisição dos geradores (C_{jdg}), em R\$ por semana:

$$C_{Jdg} = N_{ger} \frac{7}{30} \left[Pr_{ger} - \frac{Pr_{rg}}{(1 + TMA)^{N_{ug}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{ug}}}{(1 + TMA)^{N_{ug}} - 1} \quad (28)$$

Onde:

Pr_{ger} = Preço de um gerador (R\$);
 Pr_{rb} = Preço residual de um gerador (R\$);
 N_{ub} = Vida útil de um gerador (meses);
 N_{ger} = Número de geradores.

O número de geradores é calculado através da equação 29:

$$N_{ger} = \left[(EL/(\%_{opg} \times 24 \times 7))/Pot_{ger} \right] \quad (29)$$

Onde:

EL = Energia elétrica (kWh/semana);

%opg = porcentagem de operação frente à capacidade máxima do gerador (%).

Pot_{ger} = Potência de um gerador (kWh).

A energia elétrica produzida é diretamente proporcional à quantidade de biogás. Segundo Santos (2000), cada m³ de biogás equivale a 1,62 kWh, convertidos por meio de motores de combustão interna. A equação 30 apresenta EL em função da quantidade de biogás produzida.

$$EL = 1,62 \times BIOG \quad (30)$$

Onde:

BIOG = Volume total de biogás produzido (m³/semana).

O custo de manutenção dos geradores C_{mg}, em R\$/semana, é dado pela equação 31:

$$C_{mg} = N_{ger} \times (7/365) \times T_{mg} \times Pr_{ger} \quad (31)$$

Onde:

T_{mg} = Taxa anual de manutenção do gerador (% do Pr_{ger}).

Levando em consideração C_{jdg} e C_{mg} é possível calcular o custo de geração (C_{ger}), em R\$/semana, por meio da equação 32:

$$C_{ger} = C_{jdg} + C_{mg} \quad (32)$$

3.3.4 Custo Administrativo do Sistema

O custo administrativo do sistema (C_{as}), expresso em R\$/mês, envolve o salário de um auxiliar administrativo e encargos sociais. A equação 33 calcula o C_{as}:

$$C_{as} = 7/30 \times (1 + ES_{adm}) \times Sal_{adm} \quad (33)$$

Onde:

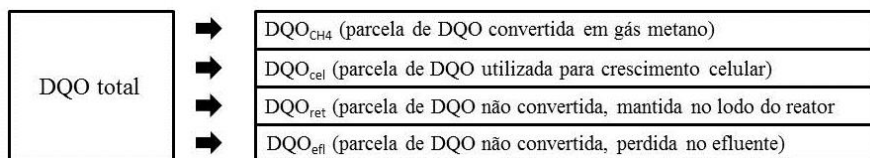
ES_{adm} = Encargos sociais ao auxiliar administrativo (% do salário bruto);

Sal_{adm} = Salário bruto do auxiliar administrativo (R\$/mês).

3.4 SISTEMA DE FERMENTAÇÃO: ESTIMATIVAS DA REDUÇÃO DA DQO, E DAS PRODUÇÕES DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE.

Segundo Chernicharo (1997), a DQO total que entra em um biodigestor segmenta-se após o tratamento em quatro parcelas distintas, sendo estas: parcela de DQO convertida em gás metano; parcela utilizada para o crescimento celular bacteriano; parcela de DQO não convertida, e mantida no lodo do reator; e parcela de DQO não convertida, perdida no efluente. A figura 14 apresenta um esquema sobre a segmentação da DQO total após o tratamento em biodigestores.

Figura 14 - Segmentação da DQO total após o tratamento em biodigestores



Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

Com base no esquema proposto por Chernicharo (1997) é admissível sistematizar o processo de fermentação em biodigestores. Através desta sistematização é possível obter estimativas das produções de biogás e biofertilizante, bem como da redução da DQO do afluente suinícola. A seguir serão apresentadas as equações que fazem parte deste sistema.

3.4.1 Estimativa da DQO total

Para a obtenção da quantidade de DQO por kg de SV foi realizada a divisão da DQO (g O₂/L) pela concentração de SV (g/L) (equação 34). Tais parâmetros foram obtidos a partir do trabalho de Tavares (2012).

$$Q_{DQO} = 79,60/45,70 \quad (34)$$

Onde:

Q_{DQO} = quantidade de DQO em um Kg de sólidos voláteis (KgDQO/ Kg_{sv});

B_0 = taxa máxima de produção de metano (m³/Kg_{sv}).

A partir da determinação de Q_{DQO} , e do conhecimento da quantidade de SV presente em um determinado afluente, é possível determinar sua DQO total, através da equação 35.

$$DQO_{total} = Q_{DQO} \times SV \quad (35)$$

Onde:

DQO_{total} = DQO total de um afluente (KgDQO);

SV = massa de sólidos voláteis do afluente, (Kg).

3.4.2 Estimativa da produção de metano e da parcela de DQO convertida em metano

Hill (1983) classificou em três tipos os modelos matemáticos que estimam a produção de metano através de fermentação anaeróbica. Os modelos de primeira classe, fundamentados em equações cinéticas de primeira ordem, possuem vantagens devido à simplicidade dos dados de entrada, no entanto possuem pouca precisão. Em contrapartida os modelos de segunda classe, baseados na cinética de Monod, apresentam elevada precisão, mas requerem um grande número de dados de entrada de difícil obtenção, o que praticamente inviabiliza a utilização destes modelos. Já o modelo de terceira classe proposto por Chen e Hashimoto (1978), apesar de não se enquadrar em nenhuma das duas classes descritas anteriormente possui características de ambas, apresentando entradas de certa maneira simples, e saídas satisfatórias. Rearranjando o modelo proposto por Chen e Hashimoto (1978) a produção total de metano em determinado momento (B), dada em m³ de CH₄/Kg de SV, pode ser obtida através da equação 36.

$$B = B_0 \left(\frac{\mu_m * TRH - 1}{TRH * \mu_m - 1 + K} \right) \quad (36)$$

Onde:

B_0 = taxa máxima de produção de metano, com tempo tendendo ao infinito (m^3 de CH_4 / kg de SV);

S_0 = concentração de SV do efluente (kg / m^3);

TRH= tempo de retenção hídrico (dias), variável de decisão;

μ_m = taxa de crescimento máximo específico (dia^{-1});

K = coeficiente cinético (adimensional).

De acordo com Hashimoto et al. (1981), a taxa de crescimento específico é calculada através da equação 37:

$$\mu_m = 0,013 \times T - 0,129 \quad (37)$$

Onde:

T = temperatura da biomassa ($^{\circ}C$).

Já o coeficiente cinético (K) é obtido através da equação 38 (HASHIMOTO, 1984).

$$K = 0,6 + 0,206 \times e^{0,051 \times S_0} \quad (38)$$

Para calcular o volume total de metano produzido (CH_4), em m^3 , é necessário realizar o produto de B pela quantidade total de SV (equação 39).

$$CH_{4\ total} = B \times SV \quad (39)$$

De acordo com Hashimoto (1984), o biogás, oriundo da fermentação anaeróbica dos dejetos de suínos, possui em média 59,02% de metano. Desta forma pode-se estimar o volume total de biogás produzido (BIOG), em m^3 , a partir da equação 40:

$$BIOG = CH_{4\ total} / 0,5902 \quad (40)$$

. McCarty (1964), através de relações estequiométricas estabeleceu que para cada grama de DQO degradada é necessário a produção de 350 mililitros de CH_4 . Considerando tal relação

estequiométrica, a obtenção da parcela da DQO convertida em gás metano pode ser expressa pela equação 41:

$$DQO_{CH_4} = CH_{4\ total}/0,35 \quad (41)$$

Onde:

DQO_{CH_4} = DQO convertida em gás metano (KgDQO).

3.4.3 Estimativa da produção de biomassa e das parcelas de DQO utilizada para o crescimento celular e mantida no biodigestor

Segundo Campos et al. (2005), o coeficiente de produção de biomassa (Y), expresso em kgDQO.kgSV⁻¹.dia⁻¹, é dado pela equação 42:

$$Y = (2,9543/TRH) + 0,0409 \quad (42)$$

Ao multiplicarmos Y pela quantidade total de SV do afluente obtém-se a produção de sólidos no sistema (P_{lodo}), expresso em kgDQO_{lodo}, conforme equação 43:

$$P_{lodo} = Y \times SV \quad (43)$$

A partir do valor de P_{lodo} , e através da equação 44 proposta por Chernicharo (1997), pode-se obter o valor da soma da DQO convertida em crescimento celular das bactérias (DQO_{cel}), com aquela mantida no lodo do biodigestor (DQO_{ret}):

$$P_{lodo} = DQO_{cel} + DQO_{ret} \quad (44)$$

De acordo com Chernicharo (1997), 1,14kg de DQO_{lodo} possui 1 kg de Sólidos Totais. Desta forma, através da razão de P_{lodo} por 1,14, pode-se calcular a massa de sólidos do biodigestor que tem potencial para ser usada como biofertilizante (equação 45).

$$M_{biof} = P_{lodo}/1,14 \quad (45)$$

Onde:

M_{biof} = biomassa restante, ou biofertilizante (kg).

3.4.4 Estimativa da DQO do Efluente após o tratamento

Considerando que o afluente a ser tratado possui uma DQO_{total} , bem com a esquemática da figura 14, a estimativa da DQO do efluente após tratamento pode ser estimada através da equação 46:

$$DQO_{efl} = DQO_{total} - DQO_{CH_4} - P_{lodo} \quad (46)$$

3.5 ESTIMATIVA DAS RECEITAS DO SISTEMA DE COLETA, TRANSPORTE E TRATAMENTO DOS DEJETOS SUINÍCOLAS

As receitas do sistema de coleta, transporte e tratamento dos dejetos suinícolas é oriunda do produto das quantidades de biofertilizante e biogás por seus respectivos preços. Suas quantidades são geradas a partir das equações 45 e 40, respectivamente. O preço do biofertilizante pode ser adquirido de maneira simples, através de um levantamento de mercado na região onde o modelo for aplicado. Já a precificação do biogás é um pouco mais complexa, sendo necessária a criação de um fator que relacione a quantidade energética de 1 m³ de biogás em energia elétrica, ou seja, transforme m³ em kWh.

Segundo Santos (2000), a relação entre energia elétrica e biogás é de 6,5 kWh/m³, entretanto a converção de biogás em eletricidade, por meio de gerados de motor de combustão interna, tem rendimento médio de 25%, o que reduz esta relação para 1,62 kWh/m³. Desta forma, pode-se relacionar o preço do kWh com o m³ de biogás. Considerando o texto acima, as receitas provenientes do biofertilizante (R_{biof}) e biogás (R_{biog}) são expressas, respectivamente, pelas equações 47 e 48:

$$R_{biof} = M_{biof} \times Pr_{biof} \quad (47)$$

Onde:

Pr_{biof} = Preço do biofertilizante (R\$/kg).

$$R_{biog} = BIOG \times Pr_{kWh} \times 1,62 \quad (48)$$

Onde:

Pr_{kWh} = Preço da energia elétrica (R\$/kWh).

3.6 FUNÇÃO OBJETIVO E VARIÁVEIS DE DECISÃO

A função objetivo do problema é maximizar o lucro (Z), variando o TRH e a porcentagem de coleta semanal dos dejetos de cada propriedade. A equação 49 apresenta a função objetivo do problema.

$$\begin{aligned} \text{Max } Z (TRH, C\%_i) \\ = \{R_{biof} + R_{biog}\} - \{CF_{cs}\} - \{CV_{cs}\} - \{C_{trat}\} \\ - \{C_{ger}\} - \{C_{as}\} \end{aligned} \quad (49)$$

3.7 RESTRIÇÕES

Basicamente o modelo apresenta três restrições, entretanto, outras podem ser incluídas conforme demanda do problema. A primeira restrição é que a porcentagem dos dejetos coletados em cada propriedade ($C\%_i$) tem que ser maior ou igual à zero. A segunda é que esta porcentagem tem que ser menor ou igual a 100%. E a terceira diz respeito a não negatividade da DQO_{eff} . A equação 50 resume as três restrições do problema.

s.a:

$$\begin{aligned} C\%_i &\geq 0 \\ C\%_i &\leq 100\% \\ DQO_{eff} &\geq 0 \end{aligned} \quad (50)$$

3.8 O MODELO PROPRIAMENTE DITO

Considerando a função objetivo, variáveis de decisão, restrições, e todas as equações apresentadas nesta seção, o modelo proposto resume-se a:

$$\begin{aligned}
& \text{Max } Z (TRH, C\%_i) \\
& = \left\{ \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i \right. \\
& * C\%_i) \left[\left[B_0 \left(\frac{(0,013T - 0,129)TRH - 1}{TRH(0,013T - 0,129) - 1 + (0,6 + 0,206e^{0,051*S_0})} \right) \frac{1}{0,5902} \right] \right. \\
& + \left. \left[\frac{(2,9543/TRH) + 0,0409S_0 * Pr_{bio}}{1,14} \right] \right\} \\
& - \left\{ \left[\left[\frac{\sum_{i=1}^f (Fr_i * Tc_i * C\%_i)}{Hts_{mot}} \right] \frac{7}{30} (1 + Es_{mot}) Sal_{mot} \right] \right. \\
& + \left[\frac{\sum_{i=1}^f (Fr_i * Tc_i * C\%_i)}{Hts_{vei}} \right] \left[\left[(Pr_{vei} + Pr_{bomb}) \right. \right. \\
& - \left. \left. \frac{Pr_{rvb}}{(1 + TMA)^{N_{uvb}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{uvb}}}{(1 + TMA)^{N_{uvb}} - 1} \right] \\
& + \left. \left[\frac{7}{365} T_{m vb} * (Pr_{vei} + Pr_{bomb}) \right] \right\} \\
& - \left\{ \left[\sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i) * Con_{dieb} * Pr_{dieb} \frac{1}{Va_{bomb}} \right] \right. \\
& + \sum_{i=1}^f (Fr_i * d_i * C\%_i) \left[\left(\frac{Pr_{die}}{Con_{diev}} \right) \right. \\
& + \left. \left(\frac{N_{pneus}(Pr_{pneus} + N_{rec} * Pr_{rec})}{(1 + N_{rec})D_{pneus}} \right) \right] \left. \right\} \\
& - \left\{ \left[\frac{TRH * \sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i)}{CAP_{bio}} \right] \left[\left[\frac{7}{30} \left[Pr_{bio} \right. \right. \right. \right. \\
& - \left. \left. \left. \frac{Pr_{rb}}{(1 + TMA)^{N_{ub}}} \right] \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{ub}}}{(1 + TMA)^{N_{ub}} - 1} \right] + \left[\frac{7}{365} T_{mb} * Pr_{bio} \right] \right] \right\}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \left\{ \left[\left[B_0 \left(\frac{(0,013T - 0,129)TRH - 1}{TRH(0,013T - 0,129) - 1 + (0,6 + 0,206e^{0,051*S_0})} \right) \left(\sum_{i=1}^f (Fr_i \right. \right. \right. \\
& * Vpr_i * C\%_i) S_0 1,62 \right) \left(\frac{1}{\%_{opg} 168} \right) \left. \left. \left. \frac{1}{Pot_g} \left[\left[\frac{7}{30} (Pr_{ger} \right. \right. \right. \right. \right. \\
& - \left. \left. \left. \frac{Pr_{rg}}{(1 + TMA)^{N_{ug}}} \right) \frac{TMA(1 + TMA)^{N_{ug}}}{(1 + TMA)^{N_{ug}} - 1} \right] + \left[\frac{7}{365} T_{mg} * Pr_{ger} \right] \right] \right\} \\
& - \left\{ \frac{7}{30} (1 + Es_{adm}) Sal_{adm} \right\}
\end{aligned}$$

Sujeito a:

$$\begin{aligned}
& C\%_i \geq 0 \quad \forall i = 1, \dots, f \\
& C\%_i \leq 100\% \quad \forall i = 1, \dots, f \\
& \frac{79,8}{45,7} \left(\sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i) S_0 \right) \left(1 \right. \\
& - \left. \left(\frac{(0,013T - 0,129)TRH - 1}{TRH(0,013T - 0,129) - 1 + (0,6 + 0,206e^{0,051*S_0})} \right) \right) \\
& - \left((2,9543/TRH) + 0,0409 \right) \left(\sum_{i=1}^f (Fr_i * Vpr_i * C\%_i) S_0 \right) \geq 0
\end{aligned}$$

3.9 MÉTODO DE SOLUÇÃO PROPOSTO

Para a resolução do modelo foi utilizada a planilha eletrônica *Microsoft Excel 2010*. Tal software possui o suplemento *Solver*, que apresenta condições de resolver problemas de otimização com número reduzido de variáveis de decisão.

Para modelos não lineares, inteiros mistos, como o do presente trabalho, os métodos de resolução utilizados pelo *Solver* são:

- Métodos de buscas locais (implementado pela empresa *Frontline Systems, Inc*);

- Algoritmo Genético (implementado pela empresa *Frontline Systems, Inc*);
- Método de Gradiente Reduzido Generalizado (GRG2) (desenvolvido por Leon Lasdon da Universidade do Texas, e Alan Waren da Universidade de Cleveland, aprimorado por *Frontline Systems, Inc*).

3.10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram apresentadas todas as equações que de forma direta ou indireta fazem parte do modelo. Apresentou-se também o modelo propriamente dito, com sua função objetivo, variáveis de decisão e restrições. No fechamento do capítulo foram propostos alguns métodos de soluções que se adaptam ao modelo.

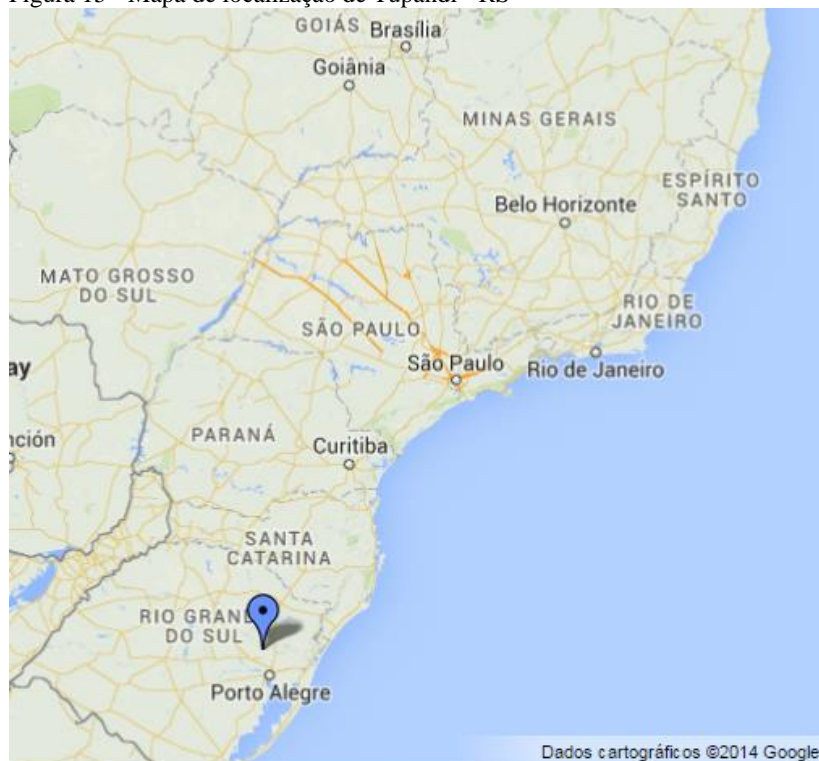
Uma vez confeccionado o modelo será aplicado em um estudo de caso, no qual o sistema é composto por um suposto local destinado para a instalação de biodigestores, e 82 propriedades suinícolas cadastradas no município de Tupandi – RS.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Tupandi - RS localiza-se na mesorregião Metropolitana de Porto Alegre, microrregião Montenegro, a uma latitude de 29°28'54'' sul e uma longitude 51°25'08'' oeste, sua sede está situada a uma altitude de 63 metros. O Município possui uma área aproximada de 59,5 km², e apresenta uma geografia acidentada, com regiões de vales e montanhas bem definidas. (IBGE, 2014); PREFEITURA MUNICIPAL DE TUPANDI, 2014). A figura 15 apresenta o mapa de localização deste município.

Figura 15 - Mapa de localização de Tupandi - RS



Fonte: Google Maps

Segundo o IBGE (2014), a população do município é estimada em 4309 habitantes, o que gera, considerando a área do município, uma densidade demográfica de 65,4 habitantes/ km². Assim como outros municípios da região, sua colonização por imigrantes alemães deu-se a partir do século XIX.

A economia de Tupandi é tipicamente voltada ao setor primário, e entre as atividades econômicas mais representativas estão as criações de aves e suínos.

4.2 PARÂMETROS DE ENTRADA

Os parâmetros de entrada para a aplicação do modelo no estudo de caso foram determinados de modo a se aproximarem o máximo possível da realidade local, ou com o intuito de manterem padrões estabelecidos nos experimentos que serviram de base para a construção do modelo.

A taxa máxima de produção de metano (B_0) adotada foi estimada através da produção específica de biogás, 0,45 m³/kg de SV, obtida por La Farge (1995) *apud* Macedo (2013) multiplicado pela porcentagem de metano, encontrada por Hashimoto (1984), no biogás oriundo da fermentação de dejetos suinícolas. Desta forma, o valor utilizado de B_0 foi de 0,266.

As temperaturas mensais médias adotadas no modelo são apresentadas na tabela 9.

Tabela 9 - Temperaturas mensais médias de Tupandi - RS

MÊS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
°C	24,7	23,8	21,5	18,6	15,9	15,1	15,4	16,7	18,2	20,5	22,7	21,7

Fonte: Climate-date.org

Os parâmetros referentes a preços, encargos e aspectos operacionais foram obtidos, durante os meses de agosto, setembro e outubro de 2014, através de pesquisas online ou telefonemas para vendedores e/ou representantes comerciais. A tabela 10 apresenta tais parâmetros.

Tabela 10 - Parâmetros referentes a preços e aspectos operacionais

CAMINHÃO, CONJUNTO TANQUE + MOTO-BOMBA	
Preço do Caminhão (R\$/unidade)	203.688
Preço do Conjunto Tanque + Moto-bomba (R\$/unidade)	38.000
Vida útil do Equipamento (meses)	72
Quantidade máxima de horas de funcionamento do veículo (horas/semana)	72
Valor Residual do Equipamento (R\$/unidade)	150.828
Taxa Anual de Manutenção do Equipamento (% do valor total)	5%
Capacidade do Tanque (m ³)	15
Vazão de Bombeamento (m ³ /hora)	150
Número de Pneus	10
Preço do Óleo Diesel (R\$/litro)	2
Preço do Pneu (R\$/unidade)	1.530
Preço do Recapeamento (R\$/unidade)	380
Consumo de Óleo Diesel pela Bomba (litros/hora)	17
Consumo de Óleo Diesel pelo Veículo (km/litro)	2
# Recapeamento por Jogos de Pneus	2
Distância Média Percorrida por Jogo de Pneus (km)	25.000
BIODIGESTOR	
Volume (m ³ /unidade)	1.012,66
Preço do biodigestor (R\$/unidade)	169.980
Vida útil (meses)	72
Valor Residual (R\$/unidade)	-
Taxa Anual de Manutenção e Operação (%)	5%
GERADOR	
Potência (kW/unidade)	100
Preço do Gerador (R\$/unidade)	120.000
Vida útil	72
Valor Residual	-
Taxa Anual de Manutenção (%)	5%
Porcentagem da capacidade de operação (% opg)	90%
ENERGIA ELÉTRICA	
Preço da Energia Elétrica (R\$/kWh)	0,301419
ENCARGOS FINANCEIROS	
Taxa Mínima de Atratividade (% a.a.)	12%
Taxa mínima de atratividade (%a.m.)	0,95%
SALÁRIOS E ENCARGOS SOCIAIS	

Salário Bruto do Motorista (R\$/mês)	1800
Salário Bruto do Auxiliar Administrativo (R\$/mês)	1800
Horas Normais de Trabalho por colaborador (horas/semana)	36
Encargos Sociais (%)	96%

Fonte: O Autor

Em relação à concentração de sólidos voláteis nos dejetos, foram utilizados os dados encontrados por Tavares (2012), uma vez que o espaço amostral de tal pesquisa é muito abrangente, dando assim uma estimativa para a concentração de sólidos voláteis segura. Foram considerados então a média da [SV], a média da [SV] menos uma unidade do desvio padrão, a média da [SV] mais uma unidade do desvio padrão. Tais valores são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Concentrações de sólidos voláteis dos dejetos encontradas na literatura

#	FONTE	CONCENTRAÇÃO (kgSV/m ³)
1	Média da [SV] – desvio padrão	34,00
2	Média da [SV]	45,73
3	Média da [SV] + desvio padrão	57,46

Fonte: O Autor, adaptado de Tavares (2012)

Para cada concentração da tabela 11 foi realizado um cenário de avaliação distinto. Tal evento permite verificar a influência da concentração em aspectos produtivos, ambientais e econômicos do projeto.

No apêndice A constam os demais parâmetros das propriedades necessários para o funcionamento do modelo obtidos a partir de levantamentos feitos junto à prefeitura municipal de Tupandi - RS (MAYERLE, 2011).

4.3 RESTRIÇÕES DO MODELO ADAPTADOS PARA O ESTUDO DE CASO

Na aplicação do modelo para o estudo de caso decidiu-se, considerando questões sociais e ambientais, que todo o dejetos das 82 propriedades deveriam ser coletados, a fim de evitar a exclusão de determinado produtor do sistema em questão, disponibilizando um sistema de tratamento igualitário para todos. Desta forma, a variável de

decisão porcentagem de coleta passou a ser uma restrição, que teve seu valor fixo em 100%.

4.4 IMPLANTAÇÃO E RESOLUÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A resolução do estudo de caso foi realizada em duas etapas.

Em um primeiro momento verificou-se qual o número de biodigestores supostamente implantados que retornaria o maior Valor Presente Líquido (VPL)², considerando a maior concentração de SV da tabela 11, supondo que os dejetos carregados devem possuir a menor diluição possível.

Após determinado o número ideal de biodigestores verificou-se a influência da concentração de sólidos voláteis nos aspectos produtivos, ambientais e financeiros do sistema de coleta, transporte e transformação de dejetos em biogás e biofertilizante. Tal influência foi obtida através de uma análise de sensibilidade, mantendo fixo o número ideal de biodigestores e variando a concentração de SV da tabela 11.

A metodologia da determinação da quantidade ideal de biodigestores, bem como da determinação da influência da concentração de sólidos voláteis, serão apresentadas de forma mais detalhada nas próximas duas subseções. Será apresentado também na terceira subseção um resumo da metodologia de resolução para o estudo de caso.

4.4.1 Determinação da quantidade ideal de biodigestores

Com o intuito de estabelecer a quantidade ideal de biodigestores baseado no maior VPL, foram criados fluxos de caixa com horizonte de planejamento de 72 meses, e comparados entre si. Para esta avaliação, considerou-se que a concentração de sólidos voláteis dos dejetos seria de 57,46 kgSV/m³, conforme tabela 11. Tal valor foi escolhido pelo fato desta concentração apresentar menor diluição e embasamento estatístico confiável.

² Valor Presente Líquido (VPL): é o resultado obtido ao subtrair-se a soma de todos os custos trazidos ao presente, da soma de todas as receitas trazidas ao presente de um investimento. É considerado atraente todo investimento maior ou igual a zero, sendo que quanto maior o VPL de um investimento mais atrativo ele é.

Inicialmente adicionou-se uma restrição ao modelo, na qual o número de biodigestores deveria ser fixo em determinada quantidade. Após a inclusão de tal restrição, o modelo foi rodado 12 vezes, cada uma com um valor distinto de temperatura, conforme a tabela 9. Os meses 1, 13, 25, 37, 49 e 61 do fluxo de caixa, receberam os mesmos outputs fornecidos pelo modelo (outputs de janeiro), pois a temperatura de entrada foi a mesma para estes, o mesmo ocorreu para os meses 2, 14, 26, 38, 50 e 62 que receberam outputs referentes a fevereiro. Este raciocínio estende-se até o mês de dezembro. Como o modelo foi confeccionado para fornecer outputs semanais houve a necessidade da transformação destes, de semanais para mensais, através da multiplicação pelo fator 7/30. Entretanto, alguns elementos não necessitaram ser transformados sendo estes: número de motoristas, veículos, geradores, entre outros. Os custos referentes a juros e depreciação dos biodigestores não foram considerados mensalmente, uma vez que esta saída do fluxo de caixa se deu no período zero, através da multiplicação do preço unitário do biodigestor pela sua quantidade. O próximo passo foi trazer todas as receitas e custos para o presente, considerando a TMA (a.m.)³ da tabela 10 e obter assim o VPL.

O processo descrito no parágrafo acima foi executado para a restrição do número de biodigestores fixa em 4, 5, 6, 7, 8 e 9 unidades. Estes números foram escolhidos para serem testados porque o modelo quando rodado sem tal restrição sugeriu valores compreendidos entre 4 e 9 biodigestores para as diferentes temperaturas da tabela 9.

O número ideal de biodigestores foi determinado como sendo o ponto de máximo da função (criada através da metodologia desta subseção) que relaciona VPL com o número de biodigestores.

4.4.2 Determinação da influência da concentração de sólidos voláteis

Foram criados três fluxos de caixa todos com o mesmo número de biodigestores (número ideal). A obtenção dos parâmetros mensais de cada um seguiu a subseção 4.4.1, considerando a variação de temperatura de entrada. Cada fluxo de caixa foi elaborado com valores distintos de entrada para a concentração de sólidos voláteis. Estes

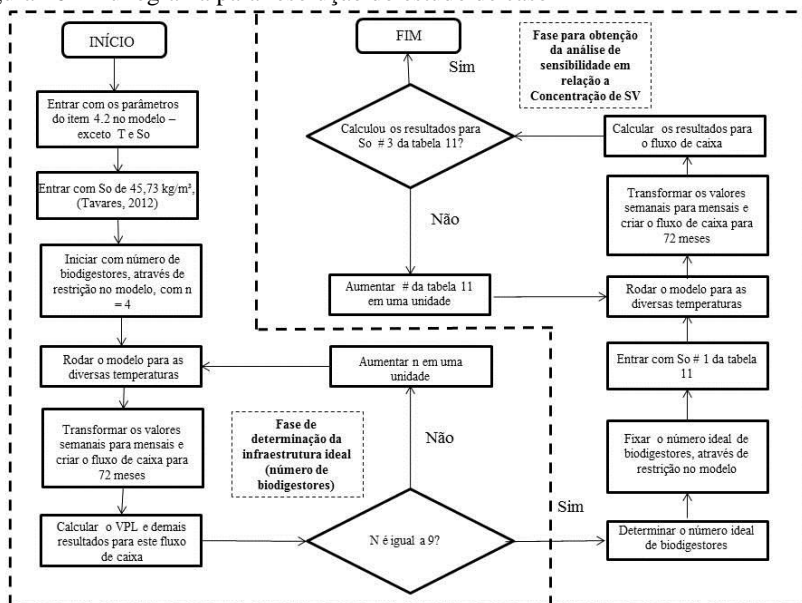
³ Taxa Mínima de Atratividade (TMA): é uma taxa de juros (i) que representa o mínimo que determinado investidor está disposto a ganhar quando faz um investimento. Para o trabalho em questão a TMA adotada foi de 12%, que se considerada de forma mensal corresponde a 0,95%.

valores estão na tabela 11. Para a obtenção dos indicadores financeiros seguiu-se a mesma metodologia da subseção 4.4.1

4.4.3 Resumo da metodologia de resolução do estudo de caso

A figura 16 apresenta um diagrama que resume a metodologia proposta para a resolução do estudo de caso.

Figura 16 - Fluxograma para resolução do estudo de caso



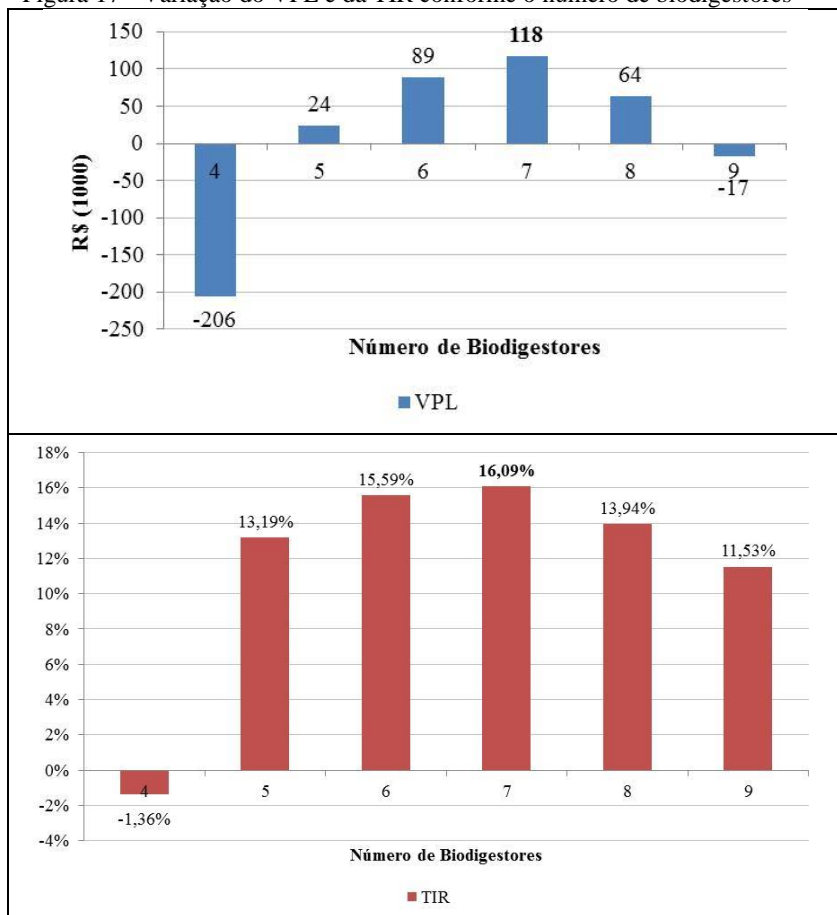
Fonte: O Autor

4.5 RESULTADOS

O número apontado como ideal para a quantidade de biodigestores foi de sete unidades. Lembrando que cada biodigestor apresenta capacidade aproximada de 1.000 m³ de dejetos. O VPL para o fluxo de caixa construído a partir de sete biodigestores foi de R\$

118.029, enquanto a TIR⁴ foi estimada em 16,09%. Na figura 17 é apresentada a variação do VPL e da TIR conforme o número de biodigestores.

Figura 17 - Variação do VPL e da TIR conforme o número de biodigestores



Fonte: O Autor

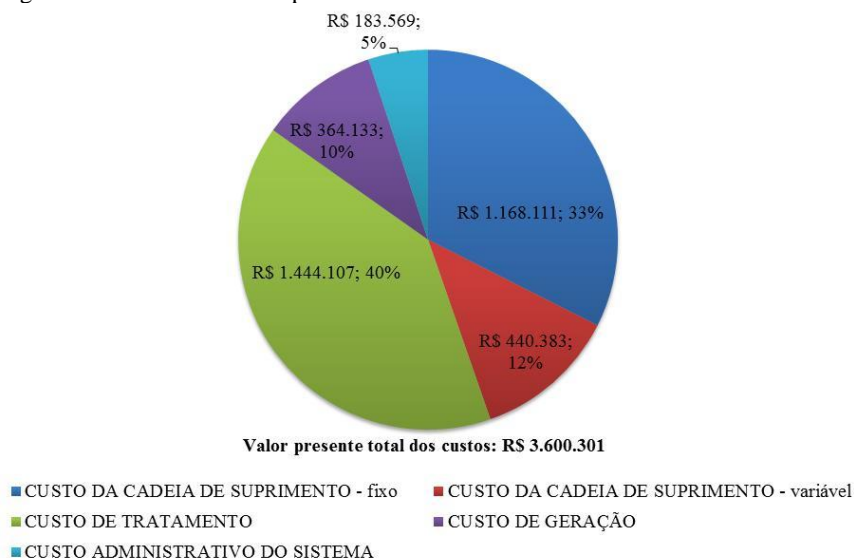
⁴ Taxa Interna de Retorno (TIR): é o percentual de retorno de um investimento, ou seja, o quanto se ganha percentualmente em relação aos valores investidos. Ela iguala o VPL à zero. Para se obter a TIR no presente trabalho utilizou-se a função atingir meta do excel, na qual o VPL deveria ser zero variando a taxa de juros adotado no investimento.

Pode-se notar também que é pequena a diferença relativa que há entre os VPLs e a TIRs, especialmente quando comparamos estes indicadores obtidos a partir de 6 ou 7 biodigestores.

4.5.1 Custos

Em relação ao valor presente dos custos totais para o sistema equipado com sete biodigestores, estes somam R\$ 3.600.301. A figura 18 apresenta o valor presente dos custos do cenário em questão.

Figura 18 - Gráfico do valor presente dos custos



Fonte: O Autor

O custo relacionado ao tratamento dos dejetos é o que corresponde à maior fração dos custos totais, com 40%. O segundo maior custo é o custo fixo da cadeia de suprimento com 33%, seguido pelo custo variável da cadeia de suprimento (12%), geração (12%), e administrativo do sistema (5%). Na tabela 12 contém o valor presente de todos os custos.

Tabela 12 - Valor presente dos custos

DESCRIÇÃO DO CUSTO	VALOR PRESENTE (R\$)
CUSTO DA CADEIA DE SUPRIMENTO - fixo	1.168.111
Custo básico do motorista, incluindo encargos sociais	734.276
Juros e depreciação do veículo e bomba	330.548
Custo de manutenção do veículo + bomba	103.287
CUSTO DA CADEIA DE SUPRIMENTO - variável	440.383
Bombeamento	95.663
combustível no deslocamento	269.854
Desgaste dos Pneus	74.866
CUSTO DE TRATAMENTO	1.444.107
Preço dos Biodigestores	1.189.860
Custo de manutenção do Biodigestor	254.247
CUSTO DE GERAÇÃO	364.133
Juros e Depreciação do Gerador	300.024
Custo de manutenção do Gerador	64.108
CUSTO ADMINISTRATIVO DO SISTEMA	183.569
CUSTOS TOTAIS	3.600.301

Fonte: O Autor

O valor presente dos custos é obtido através dos custos mensais do projeto apresentados na tabela 13. Ressalta-se que nesta tabela não está incluído o custo de aquisição dos sete biodigestores estimado em R\$ 1.189.860.

Tabela 13 - Custos mensais

DESCRIÇÃO DOS CUSTOS / PERÍODO	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
	R\$ mil											
CUSTO DA CADEIA DE SUPRIMENTO - fixo	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
Custo básico do motorista, incluindo encargos sociais	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1
Juros e depreciação do veículo e bomba	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
Custo de manutenção do veículo + bomba	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
CUSTO DA CADEIA DE SUPRIMENTO - variável	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
bombeamento	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
combustível no deslocamento	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Desgaste dos Pneus	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
CUSTO DE TRATAMENTO	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Custo de manutenção do Biodigestor	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9	4,9
CUSTO DE GERAÇÃO	8,4	8,4	8,4	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	8,4	8,4	8,4
Juros e Depreciação do Gerador	6,9	6,9	6,9	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	6,9	6,9	6,9
Custo de manutenção do Gerador	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5
CUSTO ADMINISTRATIVO DO SISTEMA	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
CUSTOS TOTAIS	70,6	70,6	70,6	67,8	67,8	67,8	67,8	67,8	67,8	70,6	70,6	70,6

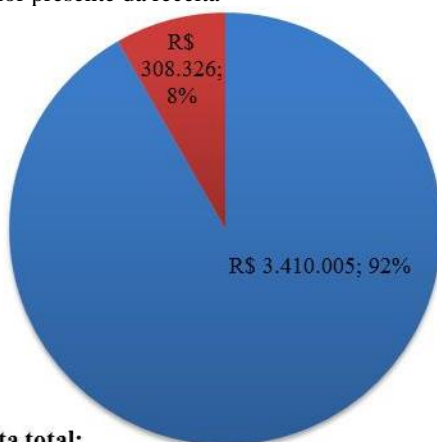
Fonte: O autor

Nota-se que os custos não apresentam variações durante os meses, com exceção aos custos que correspondem à geração.

4.5.2 Receitas

O valor presente da receita total foi estimado em R\$ 3.410.005, sendo que o biogás foi responsável por 92% deste montante, enquanto o biofertilizante limitou-se aos outros 8%. A figura 19 apresenta o gráfico que ilustra o valor presente da receita para o cenário com sete biodigestores.

Figura 19 - Gráfico do valor presente da receita



**Valor presente da receita total:
R\$ 3.718.331**

■ Valor presente da receita com biogás ■ Valor presente da receita com biofertilizante

Fonte: O Autor

O valor presente das receitas é oriundo das receitas mensais que constam na tabela 14.

Tabela 14 - Receitas mensais

MÊS	RECEITA BIOGÁS (R\$ mil)	RECEITA BIOFERTILIZANTE (R\$ mil)	RECEITA TOTAL (R\$ mil)
jan	78,9	5,9	84,8
fev	77,7	5,9	83,6
mar	73,9	5,9	79,8
abr	66,2	5,9	72,1
mai	52,2	5,9	58,2
jun	45,3	5,9	51,2
jul	48,1	5,9	54,1
ago	57,5	5,9	63,5
set	64,7	5,9	70,6
out	71,7	5,9	77,6
nov	76,1	5,9	82,0
dez	74,3	5,9	80,2

Fonte: O Autor

4.5.3 Porcentagem de coleta, volume coletado, TRH, produções de biogás e biofertilizante, e DQO do sistema

Conforme restrição imposta para o estudo de caso a variável de decisão %C_i (porcentagem de coleta na propriedade i) foi 100% para todas as f propriedades, o que acarretou na coleta de todo o volume de dejetos produzido pelos 69.953 animais do sistema. O tempo de retenção hídrico (TRH) foi o mesmo para todos os meses, 27,72 dias. Como consequência do resultado destas variáveis de decisão a variação na produção de biogás (BIOG) ficou sujeita apenas a temperatura, enquanto a produção de biofertilizante (MBIO) foi a mesma para todos os meses. A tabela 15 apresenta %C_i, VDEJ, TRH, BIOG, MBIO para as temperaturas associadas a cada mês.

Tabela 15 - Resultados de %C_i, VDEJ, TRH, BIOG, MBIO

Mês	°C	Volume de Dejetos (m ³ /mês)	Produção de Biogás (m ³ /mês)	Produção de Biofertilizante (kg/mês)	TRH
jan	24,7	7.672	161.553	74.124	27,7

Mês	°C	Volume de Dejeito (m ³ /mês)	Produção de Biogás (m ³ /mês)	Produção de Biofertilizante (kg/mês)	TRH
fev	23,8	7.672	159.157	74.124	27,7
mar	21,5	7.672	151.337	74.124	27,7
abr	18,6	7.672	135.541	74.124	27,7
mai	15,9	7.672	106.966	74.124	27,7
jun	15,1	7.672	92.731	74.124	27,7
jul	15,4	7.672	98.560	74.124	27,7
ago	16,7	7.672	117.820	74.124	27,7
set	18,2	7.672	132.490	74.124	27,7
out	20,5	7.672	146.872	74.124	27,7
nov	22,7	7.672	155.769	74.124	27,7
dez	21,7	7.672	152.139	74.124	27,7

Fonte: O Autor

Percebe-se que a produção de biogás mensal está relacionada à temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura, maior a produção de biogás.

Conforme descrito no capítulo três existem relações entre produção de metano, biofertilizante e DQO do sistema. Uma vez que as produções de metano e biofertilizante foram apresentadas, cabe agora, apresentar os aspectos relativos à DQO do sistema, através da tabela 16.

Tabela 16 - Aspectos relativos ao resultado da DQO do sistema

MÊS	°C	DQO Total (kg O ₂)	DQO Metano (kg O ₂)	DQO Lodo (kg O ₂)	DQO Efluente (kg O ₂)	DQO Total %	DQO Metano %	DQO Lodo %	DQO Efluente %
jan	24,7	769.814	272.424	65.021	432.369	100%	35%	8%	56%
fev	23,8	769.814	268.384	65.021	436.409	100%	35%	8%	57%
mar	21,5	769.814	255.198	65.021	449.595	100%	33%	8%	58%
abr	18,6	769.814	228.562	65.021	476.231	100%	30%	8%	62%
mai	15,9	769.814	180.375	65.021	524.418	100%	23%	8%	68%
jun	15,1	769.814	156.372	65.021	548.421	100%	20%	8%	71%
jul	15,4	769.814	166.201	65.021	538.592	100%	22%	8%	70%
ago	16,7	769.814	198.679	65.021	506.114	100%	26%	8%	66%
set	18,2	769.814	223.416	65.021	481.377	100%	29%	8%	63%
out	20,5	769.814	247.669	65.021	457.124	100%	32%	8%	59%
nov	22,7	769.814	262.672	65.021	442.121	100%	34%	8%	57%
dez	21,7	769.814	256.549	65.021	448.243	100%	33%	8%	58%

Fonte: O Autor.

A partir da tabela 16 é possível observar que no meses mais frios a DQO metano é menor, conseqüentemente a DQO do efluente é maior.

4.5.4 Equipamentos

Foram necessários dois veículos tanque equipados com bombas para realizar a coleta dos dejetos. Para operarem estes veículos são necessários quatro motoristas.

Em relação ao número de geradores estes variaram conforme o mês, na tabela 17 há os números de geradores de acordo com mês.

Tabela 17 - Número de geradores utilizados conforme o mês

MÊS	TEMPERATURA (°C)	NÚMERO DE GERADORES
Jan	24,7	3
Fev	23,8	3
mar	21,5	3
abr	18,6	2
mai	15,9	2
jun	15,1	2
jul	15,4	2
ago	16,7	2
set	18,2	2
out	20,5	3
nov	22,7	3
dez	21,7	3

Fonte: O Autor

Nota-se que nos meses mais quentes o número de geradores é maior.

4.6 VALIDAÇÃO PARCIAL DO MODELO ATRAVÉS DA LITERATURA

Para a validação total do modelo seria necessário comparar seus resultados com os obtidos de um sistema idêntico, implantado na vida real. Entretanto, a inexistência deste sistema impossibilita tal comparação, surgindo assim, a necessidade de outras formas de comparações que deem certa credibilidade ao modelo proposto. Dentro

deste contexto a comparação com trabalhos similares encontrados na literatura pode ser útil.

Existem diferenças de dimensionamento e parâmetros de entrada entre este trabalho e similares, o que torna, em um primeiro momento, difícil de compará-los entre si. Entretanto, através da transformação de números gerais dos trabalhos, que envolvem aspectos particulares de cada um, para valores unitários é possível compará-los de forma mais efetiva. Baseado neste argumento, serão comparados apenas dados unitários deste trabalho com outros encontrados na literatura. Os parâmetros a serem comparados são as produções mensais por suíno de biogás, e produções diárias de metano. Uma vez que os fatores econômicos, financeiros e ambientais estão fortemente atrelados a tais produções. A seguir são apresentados alguns trabalhos passíveis de comparação

Pereira (2009) realizou um estudo de viabilidade para a implantação de um sistema de coleta de dejetos suínos para 380 propriedades rurais, localizadas no município de Toledo – PR. Neste sistema foram atendidos 314 mil suínos, que produzem diariamente 1.515,4 toneladas de dejetos. Para o sistema proposto por Pereira (2009) a produção de biogás mensal por animal foi estimada em 5,14m³.

Nishimura (2009) elaborou um aplicativo computacional para obter e analisar o balanço energético de um sistema de criação de suínos com tratamento dos dejetos realizado por biodigestores. Primeiramente o Autor obteve uma produção de biogás de 3,16 m³/mês/animal, através da leitura no medidor de vazão de biogás de um sistema composto por 3 biodigestores. Secundariamente, utilizando também a equação proposta por Chen e Hashimoto (1978), o Autor chegou a uma produção de biogás de 4,14 m³/mês/animal, a partir de uma concentração de SV de 1,6%, e temperatura de 26 °C.

Lindemeyer (2008) realizou uma análise de viabilidade econômico-financeira para a geração de energia elétrica a base de biogás, em uma granja suinícola localizada em Concórdia – SC. Verificou-se que a produção de biogás é da ordem de 1,52 m³/mês/animal. A tabela 18 apresenta os valores encontrados para a produção mensal de biogás por animal para o presente trabalho e os demais citados anteriormente nesta seção.

Tabela 18 - Comparativo da produção mensal de biogás por animal com outros trabalhos encontrados na literatura

MÊS / TEMPERATURA °C	PRODUÇÃO DE BIOGÁS (m ³ /MÊS/ANIMAL)
Estimativa do modelo	
jan / 24,7	2,31
fev / 23,8	2,28
mar / 21,5	2,16
abr / 18,6	1,94
mai / 15,9	1,53
jun / 15,1	1,33
jul / 15,4	1,41
ago / 16,7	1,68
set / 18,2	1,89
out / 20,5	2,10
nov / 22,7	2,23
dez / 21,7	2,17
Trabalhos encontrados na literatura	
Nishimura (2009)A	3,16
Nishimura (2009)B	4,14
Lindemeyer (2008)	1,90

Fonte: O Autor

Os valores encontrados para a produção mensal de biogás por animal no presente trabalho apresentam-se coerentes com os obtidos em outras pesquisas citadas na tabela 18. Entretanto, o valor estimado de 4,14 m³/mês/animal por Nishimura, através do modelo de Chen e Hashimoto (1978) apresenta-se um pouco elevado comparado com a presente pesquisa. Tal fato pode se dar pelo alto valor de B₀ utilizado por Nishimura (2009), comparado com o presente trabalho, para realizar a estimativa da produção de metano, e posterior conversão em biogás (valor de B₀ utilizado por Nishimura (2009): 0,516 m³ de CH₄/kg de SV, valor de B₀ para a presente pesquisa: 0,266 CH₄/kg de SV). Já o valor da produção de biogás verificado pelo anterior autor no gasômetro da área experimental de seu trabalho, em uma temperatura média de 26 °C, foi ligeiramente superior ao estimado na presente dissertação para a temperatura de 24,7°C (3,16 e 2,31 m³/mês/animal, respectivamente).

Apesar da produção de biogás apresentada por Lindemeyer (2008) ser realizada de forma linear, esta também vai de encontro com os valores encontrados na presente pesquisa.

4.7 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

O VPL e a TIR do projeto sofrem forte influência da variação da concentração de sólidos voláteis dos dejetos. A tabela 19 apresenta a variação do VPL e TIR do projeto para diferentes concentrações de SV dos dejetos.

Tabela 19 - Variação do VPL e TIR do projeto para diferentes concentrações de SV dos dejetos

CONCENTRAÇÃO de SV	VPL	TIR
3,40%	-522.822	-7,82%
4,57%	-59.507	9,90%
5,75%	118.029	16,09%

Fonte: O Autor

Nota-se que quanto menor a concentração de SV menores são os valores do VPL e da TIR do projeto. O mesmo comportamento pode ser observado para a produção de biogás, que além desta influência de S_0 , é também influenciado pela média de temperatura mensal. Na tabela 20 consta a produção de biogás conforme a concentração de SV e a média da temperatura mensal.

Tabela 20 - Produção de biogás conforme concentração de SV dos dejetos e média de temperatura mensal

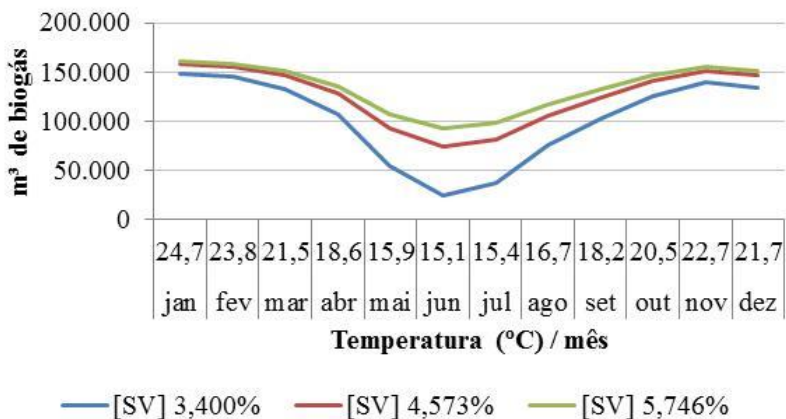
Mês	°C	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS		
		3,40%	4,57%	5,75%
Produção de biogás (m ³)				
jan	24,7	148.800	158.599	161.553
fev	23,8	145.243	155.890	159.157
mar	21,5	133.316	146.941	151.337
abr	18,6	107.635	128.344	135.541
mai	15,9	54.918	92.809	106.966
jun	15,1	25.092	74.132	92.731
jul	15,4	37.625	81.862	98.560
ago	16,7	75.986	106.606	117.820
set	18,2	102.411	124.668	132.490

Mês	°C	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS		
		3,40%	4,57%	5,75%
Produção de biogás (m³)				
out	20,5	126.280	141.756	146.872
nov	22,7	140.137	152.034	155.769
dez	21,7	134.562	147.866	152.139

Fonte: O Autor

Através da tabela 20 é possível identificar que quanto maiores são a concentração de SV dos dejetos e a temperatura, mais biogás é produzido. A figura 20 apresenta uma visualização gráfica para o comportamento da produção de biogás em função da temperatura e concentração de SV.

Figura 20 - Comportamento da produção de biogás em função da concentração de SV e da temperatura



Fonte: O Autor

Já a produção de biofertilizante apresenta comportamento diferente da produção de biogás, a medida que aumenta a concentração de SV dos dejetos, sua produção diminui (tabela 21).

Tabela 21 - Produção de biofertilizante conforme concentração de SV dos dejetos e média de temperatura mensal

Mês	°C	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS		
		3,400%	4,573%	5,746%
Produção de biofertilizante (kg)				
jan	24,7	111.086	87.865	74.124
fev	23,8	111.086	87.865	74.124
mar	21,5	111.086	87.865	74.124
abr	18,6	111.086	87.865	74.124
mai	15,9	111.086	87.865	74.124
jun	15,1	111.086	87.865	74.124
jul	15,4	111.086	87.865	74.124
ago	16,7	111.086	87.865	74.124
set	18,2	111.086	87.865	74.124
out	20,5	111.086	87.865	74.124
nov	22,7	111.086	87.865	74.124
dez	21,7	111.086	87.865	74.124

Fonte: O Autor

É possível verificar que a produção de biofertilizante não é influenciada pela temperatura, tal fato demonstra uma fragilidade do modelo em relação à estimativa da produção de biofertilizante. Entretanto, como a receita relativa ao biofertilizante é baixa comparada ao biogás, e a DQO do metano é muito superior a DQO do biofertilizante, tal limitação exerce pouca influência para os aspectos econômico-financeiros, e ambientais do trabalho.

A remoção da DQO dos dejetos suínícolos, através da fermentação anaeróbia, também mostrou-se influenciada pela concentração de SV, tal fato pode ser observado na tabela 22.

Tabela 22 - Porcentagem de remoção da DQO de acordo com a concentração de SV e média de temperatura mensal.

Mês	°C	CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS VOLÁTEIS		
		3,400%	4,573%	5,746%
Remoção DQO				
jan	24,7	45%	45%	44%
fev	23,8	44%	44%	43%
mar	21,5	42%	42%	42%
abr	18,6	36%	38%	38%
mai	15,9	25%	30%	32%
jun	15,1	18%	26%	29%
jul	15,4	21%	28%	30%
ago	16,7	29%	33%	34%
set	18,2	35%	37%	37%
out	20,5	40%	41%	41%
nov	22,7	43%	43%	43%
dez	21,7	42%	42%	42%

Fonte: O Autor

Percebe-se que nos meses de inverno, ou seja, em temperaturas mais frias, a influência da concentração de SV sob a remoção da DQO é muito maior que nos meses mais quentes de verão.

4.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de caso em questão apresentou viabilidade econômica, entretanto, aspectos relativos à adequação das características do efluente tratado, conforme legislação ambiental local, não foram levados em consideração. Sugerem-se então outras formas de tratamento combinadas ao biodigestor, a fim de atender a legislação ambiental local.

Os resultados apresentam variação em relação aos meses do ano. Percebe-se que em épocas de temperaturas mais frias, as produções de

biogás são baixas, em contrapartida nos meses mais quentes as produções de biogás se elevam, e conseqüentemente há também, uma elevação das receitas do sistema.

Percebeu-se também, através da análise de sensibilidade, que o aumento da concentração de SV nos dejetos suinícolas influencia positivamente a produção de biogás, fato também descrito por Hashimoto (1984). Este aumento da concentração de SV pode ser obtido pela limitação de água nos dejetos a serem fermentados. Além do mais, de acordo com Kunz [s.d], o excesso de água (derivada da chuva, bebedouros, lavação, entre outros), deve ser evitado, pois ocasiona o superdimensionamento das instalações de tratamento e a elevação nos custos de transporte dos dejetos até o seu destino final.

Afim de reduzir os custos de transporte dos dejetos sugere-se segmentar a unidade de tratamento composta pelos sete biodigestores em unidades menores com menos biodigestores, estas novas unidades devem ser alocadas de forma que reduza a distância total de transporte, o que acarretará na redução dos custos.

Com base nos argumentos dos parágrafos sucessor, e antecessor serão realizadas as conclusões e recomendações do trabalho.

5 CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

No início do trabalho intuía-se que a distância das propriedades até os biodigestores seria o fator de maior impacto sobre a viabilidade do projeto. No entanto, a geração dos dejetos *in situ*, nas granjas do município de Tupandi-RS, apresentou-se como o fator principal de variação face às oscilações do volume e respectivas características dos dejetos produzidos. A etapa de biodigestão apresentou relevância visto que diversos fatores, tais como a temperatura, influenciam fortemente a produção de biogás. Na atual conjuntura de mercado, as receitas oriundas do biogás são superiores às provindas da venda de biofertilizante.

Percebe-se que temperaturas mais altas proporcionam maior produção de biogás, e conseqüente incremento da renda, e maior redução da DQO dos dejetos.

O aumento da concentração de SV nos dejetos além de reduzir a infraestrutura necessária para o armazenamento, a coleta e o transporte dos dejetos, permite reduzir o número de viagens para a cadeia de suprimento de biomassa. O aumento desta concentração contribui ainda substancialmente para o incremento da produção de biogás, que tem como conseqüências o aumento de renda do projeto e a redução da DQO do sistema.

Convém referir que as estimativas apresentadas para a produção de biogás enquadram-se com os valores disponíveis na literatura, dando credibilidade ao modelo proposto neste trabalho.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Para melhorar o processo de biodigestão anaeróbia a construção dos biodigestores deve levar em consideração aspectos operacionais (condições climáticas, e aspectos de funcionamento do biodigestor, por exemplo agitação da biomassa) que melhorem o desempenho dos mesmos. É interessante verificar a viabilidade econômica e ambiental, em regiões mais frias, para o uso de biodigestores com auto aquecimento, a partir da queima de parcela do próprio biogás produzido, ou de energia de outras fontes. Conforme encontrado na literatura,

células fotovoltaicas acopladas a biodigestores também podem fornecer energia para o aquecimento dos mesmos, aumentando assim, a temperatura de biodigestão e demais aspectos produtivos relacionados.

A alta concentração de SV pode ser obtida pela limitação de água nos dejetos a serem fermentados. Desta forma, a entrada de água nos dejetos deve ser evitada. Como medidas para evitar tal entrada sugere-se o uso de bebedouros que evitem o desperdício de água, lavação da granja com técnicas que reduzam o consumo de água, isolamento adequado dos dejetos, e isolamento da granja para água da chuva. Enfim, toda medida que acarrete na redução da diluição dos dejetos deve ser considerada.

A otimização da cadeia de suprimento de dejetos da suinocultura para produção de biogás e biofertilizante, necessita iniciar-se muito antes do transporte. Devem ser tomadas medidas de manejo corretas em infraestruturas adequadas que reduzam a diluição dos dejetos dos suínos.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Verificou-se no presente trabalho, através da aplicação do modelo para um estudo de caso, que há viabilidade econômica para a coleta, transporte e transformação dos dejetos em biogás e biofertilizante. Entretanto, partiu-se do pressuposto que os dejetos já se encontravam na concentração de SV de 5,75%, e que não tinham custos associados à produção de tais dejetos com altas concentrações de SV. Considerando isto, trabalhos que contemplem este custeio (gastos com adequação de infraestrutura e manejo adequado) permitirão ajustar os valores observados nas granjas com os resultados obtidos na aplicação do modelo proposto.

Outro estudo interessante é uma adaptação do modelo para um sistema compostos por diversos locais onde possa ocorrer a biodigestão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEJA, V. P.; ARYA, S. P.; RUMSEY, I. C.; KIM, D. S.; BAJWA, K.S.; WILLIAMS, C. M. Characterizing ammonia emissions from swine farms in eastern North Carolina: Reduction of emissions from water-holding structures at two candidate superior technologies for waste treatment. **Atmospheric Environment**, v.42, n.14, p.3291-3300, 2008.

ARAÚJO, I. S.; OLIVEIRA, J. L. R.; ALVES, R. G. C. M.; BELLI FILHO, P.; COSTA, REJANE H. R. Avaliação de sistema de tratamento de dejetos suínos instalado no Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.7, p.745-753, 2012.

ARENALES, M. N. et al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2007.

ASSMANN, J. M.; BRAIDA, J. A.; CASSOL, L. C.; MAGIERO, E. C.; MANTELI, C.; GRIZ, E. Produção de matéria seca de forragem e acúmulo de nutrientes em pastagem anual de inverno tratada com esterco líquido de suínos. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2408-2416, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS. **Relatório anual 2012**. São Paulo. Disponível em: <http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/relatorios-associados/ABIPECS_relatorio_2012_pt.pdf>. Acesso em: 16 de mai. 2014.

BARTHEL, L.; OLIVEIRA, P. A. V.; COSTA, R. H. R. Plankton biomass in secondary ponds treating piggery waste. **Brazilian archives of biology and technology**, v.51, n.6, p.1287-1298, 2008.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; TEO, C. R. P. A.; SILVA, T. R. DA; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.27, n.1, p.152–163, 2007.

BEBER, J.A. C. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais**. Agudo, RS: UFSM, 1989. 295p. Dissertação Mestrado

BECHER, S; KALTSCHMITT, M. **Logistic chains of solid biomass-classification and chain analysis. Biomass for energy, environment, agriculture, and industry**. In: Proceedings of the 8th European biomass conference, Vienna, Austria. 1994. p. 401-8.

BELLI FILHO, P.; CASTILHOS JR, A. B.; COSTA, R. H. R.; SOARES, S. R., PERDOMO, C. C. Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.166-170, 2001.

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

BITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York: Ed. Willey-Liss, 2005.

CAMPOS, C., M., M.; CARMO, F. R.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. Desenvolvimento e operação de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) no tratamento dos efluentes da suinocultura em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.1, p.140-147, 2006.

CAMPOS, C. M. M.; SALÉH, B. B.; CARMO, F. R. do. Determination of kinetic parameters of a lab-scale upflow anaerobic sludge blanket reator (UASB) removing organic loading from swine manure effluents. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 1045-1051, 2005.

CARMO, F. R.; CAMPOS, C. M. M.; BOTELHO, C. G.; COSTA, C. C. Uso de lagoa aerada facultativa como polimento do reator anaeróbio de manta de lodo UASB no tratamento de dejetos de suínos em escala laboratorial. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, n.3, p.600-607, 2004.

CHEN, Y. R.; HASHIMOTO, A. G. **kinetics of methane fermentation**. In: Proceedings of the first symposium on biotechnology in energy production and conservation held at Gatlinbrug, Tennessee, p. 269-282, 1978.

CHERNICHARO, C. A. **Reatores anaeróbios. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 245p.

CLIMATE-DATA.ORG. Disponível em: < <http://pt.climate-data.org/location/313494/>>. Acesso em: 20 set. 2014.

CONWAY, G.R. The properties of agroecosystems. **Agricultural systems**, v.24, n.2, p. 95-117, 1987.

CORRÊA, É. K.; LUCIA JR, T.; GIL-TURNES, C.; CORRÊA, M. N.; BIANCHI, I.; COREZZOLLA, J. L.; ULGUIM, R. R. Efeito de diferentes profundidades de cama sobre parâmetros ambientais para suínos em crescimento e terminação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.5, p.540-545, 2008.

COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do tratamento de esgoto**. São Paulo: USP, 2006. 194p. Dissertação de Mestrado.

CUNHA, L. da. **Uso do biodigestor para tratamento de dejetos suínos**. Florianópolis: UFSC, 2007. 72p. Relatório de estágio supervisionado do curso de Agronomia.

DEMIRBAS A. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. **Energy Conversion and Management**. v.42, n.11, p. 1357-78, 2001.

DIAS, M., I., A., **Estudo da viabilidade econômica da implantação de biodigestor modelo indiano em granja de suínos de pequeno porte**. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2012.

DIESEL, R.; MIRANDA, C. R.; PERDOMO, C. C. **Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos**. 1.ed. Concórdia: Embrapa suínos e aves/Emater – RS, 2002. 31p.

DUDA, R., M.; OLIVEIRA, R., A. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.16, n.1, p.91-100, 2011.

EMBRAPA AVES E SUINOS. Curso de nutrição de suínos e aves. Concórdia, SC. **Anais**. Concórdia: Embrapa-CNPSA, 1996. 269p.

EMBRAPA SUÍNOS E AVES. **Sistema de produção**, Jul/ 2003. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/SP/suinos/nutricao.html>>. Acesso em: 1 ago. 2014.

FERREIRA, F., L., A.; AMARAL, L., A.; LUCAS JR, J. Desempenho do reator de fluxo ascendente com leito de lodo (UASB) na redução do poder poluente de águas residuárias de suinocultura. **Holos Environment**, v.1, n.2, p.228-237, 2001.

FIREMAN, F. A. T.; FIREMAN, A. K. B. A. T. Enzimas na alimentação de suínos. **Ciência Rural**, v.28, n.1, p.173-178, 1998.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **FAO statistical yearbook 2013**. Roma: FAO, 2013. 289p.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. Florianópolis: UFSC, 2003. 106p. Tese de Doutorado. 2003.

GOMES, M. F., GIROTTO, A. F., TALAMINI, D. J. D., LIMA, G. D., MORES, N., E TRAMONTINI, P. **Análise prospectiva do complexo agroindustrial de suínos no Brasil**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1992, 99p.

GONÇALVES JR, A. C.; LINDINO, C. A.; ROSA, M. F.; BARICCATTI, R.; GOMES, G. D. Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando macrófita aquática (*Eichornia crassipes*) como bioindicador. **Acta Scientiarum. Technology**, v.30, n.1, p.9-14, 2008.

HAACK, S. C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido baiano**. Salvador: UFBA, 2009. 215p. Dissertação de Mestrado.

HASHIMOTO, A. G.; CHEN, Y. R.; VAREL, V. H. **Theoretical aspects of methane production: State of the art**. In: *Livestock wastes: A renewable resource*, ASAE, 1981.

HASHIMOTO, A. G. Methane from Swine Manure: Effect of temperature and influent substrate concentration on kinetic parameter (K). **Agricultural Wastes**, v. 9, p299-308., 1984.

HIGARASHI, M. M.; COLDEBELLA, A.; OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A.; MATTEI, R. M.; SILVA, V., S.; AMARAL, A. L. Concentração de macronutrientes e metais pesados em maravalha de unidade de suínos em cama sobreposta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, n.3, p.311-317, 2008.

HILL, D. T. Simplified Monod kinetics of methane fermentation of animal wastes. **Agricultural wastes**, v. 5, n. 1, p. 1-16, 1983.

HITOMI, K. **Manufacturing Systems Engineering**. 2.ed. Great Britain: TeJ Press (Padstow) Ltd, 1996. 541p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática**. Brasília, 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/>>. Acesso em: 14 mai. 2014.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Good practice guidelines: bioenergy project development and biomass supply**. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris: OECD; 2007.

KANSAS STATE UNIVERSITY. **Kansas Swine Nutrition Guide**. Cooperative extension service. Kansas: Kansas State University, 1994. 12p.

KUNZ, A. Tratamento de dejetos: desafios da suinocultura tecnificada. Disponível em: < <http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=382>> Acesso em: 15 out. 2014.

KUNZ, A; OLIVEIRA, P. A. V. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, v.15, n.3, p.28-35, 2006.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R; BORTOLI, M. Separação sólido-líquido em efluentes da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.11, p.1220-1225, 2010.

LANDEFELD, M.; BETTINGER, J. Water effects on livestock performance, Ohio State University Fact Sheet, **Agricultural and natural resources**, v.13, n.2. 2002. Disponível em: <http://ohioline.osu.edu/anr-fact/0013.html>. Acesso em: 29 jun. 2014.

LEHNINGER, A. L.; NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de Bioquímica–Savier. **São Paulo–1996**, 1995.

LINDEMEYER, R. M. **Análise da viabilidade econômico-financeira do uso de biogás como fonte de energia elétrica**. Florianópolis: UFSC, 2008. 105p. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Administração.

LOVATTO, P. A.; OLIVEIRA, V. **Suinocultura geral**. 1.ed. Santa Maria: CCR, 1996. 165p.

LUCAS JR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. Jaboticabal: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, 1994. 113p. Tese de Doutorado.

MACEDO, F. J. de. **Dimensionamento de biodigestores para tratamento de dejetos da produção suína**. Florianópolis: UFSC, 2013. 117p. Trabalho de conclusão de curso.

MARTINS, M. L.; AZEVEDO, T. M. P.; GHIRALDELLI, L.; BERNARDI, N. Can the parasitic fauna on Nile tilapias be affected by different production systems?. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v.82, n.2, p.493-500, 2010.

MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A.V. Economic analysis of the generation of electric energy from biogas in pig production. **Revista Engenharia Agrícola**, v.31, n.3, p.477-486, 2011.

MAYERLE, S. F. **Sistema logístico para suprimento de biomassa da microcentral termelétrica de Tupandi-RS**. Relatório técnico: UFSC/GIZ/ELETROSUL, 2011. 183p.

MCCARTY, P. L. Anaerobic waste treatment fundamentals. **Public Works** – Partes 1, 2, 3 e 4. 95, n.9, p.107-112; n.10, p.123-126; n.11, p.91-94; n.12, p.95-99, 1964.

MEDRI, W. **Modelagem e otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos**. Florianópolis: UFSC, 1997. 206p. Tese de Doutorado.

MEDRI, W.; MEDRI, V. Otimização de sistemas de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos. **Ciências Exatas e Tecnológicas-SEMINA**, v.25, n.2, p.203-212, 2004.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MIRANDA et al. Uso de dejetos de suínos na agricultura. **Embrapa Suínos e Aves**, 1999. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/itsu011_fertilizanteID-NppyQkHNXo.pdf. Acesso em: 12 dez. 2015.

MOSEY, F. E. Assessment of the maximum concentration of heavy metals in crude sewage which will not inhibit the anaerobic digestion of sludge. **Water Pollution Control**, v.75, p.10-20, 1976.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of swine**. 9.ed. Washington, DC: National Academy Press, 1988. 93p.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional**. Campo Grande: UFMS, 2009. 84p. Dissertação de Mestrado.

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

ORRICO JR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JR, J. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Revista Engenharia Agrícola**, v.29, n.3, p.483-491, 2009.

PARAWIRA, W. **Anaerobic Treatment of Agricultural Residues and Wastewater-Application of High-Rate Reactors**. Lund University, 2004. Disponível em: < http://www.lub.lu.se/luft/diss/tec_848/tec_848_kappa.pdf> Acesso em: 4 mai. 2014.

PAULO, R. M. DE; TINÔCO, I., DE F., F.; OLIVEIRA, P. A.V. DE; SOUZA, C. DE F.; BAÊTA, F. DA C.; CECON, P. R. Avaliação da amônia emitida de camas sobrepostas e piso concretado utilizados na criação de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.210-213, 2009.

PEARSON, H. W.; MARA, D. D.; ARRIDGE, H. A. The influence of pond geometry and configuration on facultative and maturation waste stabilization pond performance and efficiency. **Water. Science Technology**, v.31, n.12, p129–139, 1995.

PEREIRA, E. L.; CAMPOS, C. M. M.; MOTERANI, F. Physical-chemical and operational performance of an anaerobic baffled reactor (ABR) treating swine wastewater. **Acta Scientiarum: Technology**, v.32, n.4, p.399-405, 2010.

PEREIRA, S. M. **Estudo dos custos operacionais e de viabilidade de implantação de um sistema de coleta de dejetos suínos para a geração de bioenergia, no município de Toledo – PR**. Toledo: Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2009. 110p. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu, Mestrado em Desenvolvimento Regional e Agronegócio).

RICO, J. L.; GARCIA, H.; RICO, C.; TEJERO, I. Characterization of solid and liquid fractions of dairy manure with regard to their component distribution and methane production. **Bioresource Technology**, v.98, n.5, p.971-979, 2006.

RODRIGUES, L. S.; SILVA, I., J. DA; ZOCRATO, M., C. DE; PAPA, D., N.; SPERLING, M., V.; OLIVEIRA, P., R. de. Avaliação de desempenho de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.94-100, 2010.

SANTOS, P. **Guia Técnico de Biogás**. Portugal: CCE – Centro para a Conservação de Energia, 2000.

SARDÁ, L. G.; HIGARASHI, M. M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P. A.; COMIN, J. J. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 1008-1013, 2010.

SERPA, R. F.; SEHNEM, S.; CERICATO, A.; SANTOS JR, S., FISCHER, A. Compostagem de Dejetos de Suínos. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.6, n.1, p.47-78, 2012.

SILVA, F. F. P.; SANTOS, M.; SCHMIDT, V. Resistência a antimicrobianos de *Escherichia coli* isolada de dejetos suínos em esterqueiras. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v.60, n.3, p762-765, 2008.

SOBESTIANSKY, J.; WENTZ, I.; SILVEIRA, P. R. S. DA; SESTI, L. A. C. **Suinocultura intensiva: produção, manejo e saúde do rebanho**. Brasília: Embrapa SPI; Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1998. 388p.

SOUZA, M. E. de. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, v. 44, n. 137, p. 88-94, 1984.

STAFFORD, D.A.; HAWKES, D.L.; HORTON T. Methane production from waste organic matter, environmental Conditions for the Control of Digester Performances, Boca Raton: CRC Press Inc, 1980, 149p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Arned, 2004. 719p.

TAVARES, J. M. R. **Consumo de água e produção de dejetos na suinocultura**. 232 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

TUPANDI (RS). Prefeitura. 2014. Disponível em: <http://http://www.tupandi.rs.gov.br/>. Acesso em: 08 out 2014.

URBINATI, E.; DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. de. Performance of UASB reactors in two stages under different HRT and OLR treating residual waters of swine farming. **Revista Engenharia Agrícola**, v.33, n.2, p.367-378, 2013.

VIANNA, A. T. **Os suínos: criação prática e econômica**. 5.ed. São Paulo: Editora Nobel, 1975. 384p.

VIVIAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J., PERDOMO, C.; TECHIO, V., H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.3, p.320-325, 2010.

WHITTEMORE, C. **The science and practice of pig production**. Oxford: Blackwell Science Ltd, 1998. 640p.

ZARDO, A. O.; LIMA, G. J. M. M. **Alimentos para suínos**. Embrapa Suínos e Aves : SC /Porto Alegre: EMATER/RS, 1999. 71p.

APÊNDICE A – Demais dados de entrada do modelo

Proprietário	Tipo Animal	Número de Animais	SV (Kg)	Carga (m ³ /viagem)	bombeamento (h)	Distância (km)	Viagem (h)	Tempo Ciclo (h)	Dist Ciclo (km)
P1	Creche	1500	1478	15	0,1	3,21	0,10	0,51	6,42
P2	Creche	200	197	15	0,1	3,25	0,11	0,52	6,50
P3	Creche	28000	27597	15	0,1	9,70	0,25	0,81	19,40
P4	Creche	1500	1478	15	0,1	0,49	0,03	0,36	0,97
P5	Terminação	900	3062	15	0,1	5,14	0,15	0,60	10,28
P6	Terminação	360	1225	15	0,1	10,45	0,27	0,84	20,89
P7	Terminação	500	1701	15	0,1	8,04	0,22	0,74	16,08
P8	Terminação	500	1701	15	0,1	2,91	0,08	0,46	5,83
P9	Terminação	200	680	15	0,1	3,85	0,10	0,49	7,70
P10	Terminação	360	1225	15	0,1	3,84	0,08	0,47	7,68
P11	Terminação	500	1701	15	0,1	1,98	0,07	0,45	3,96
P12	Terminação	400	1361	15	0,1	1,75	0,04	0,38	3,49
P13	Terminação	500	1701	15	0,1	9,10	0,23	0,75	18,19
P14	Terminação	300	1021	15	0,1	1,96	0,06	0,41	3,91
P15	Terminação	500	1701	15	0,1	6,77	0,26	0,82	13,55
P16	Terminação	360	1225	15	0,1	10,37	0,29	0,87	20,73
P17	Terminação	260	885	15	0,1	8,41	0,18	0,66	16,82

Proprietário	Tipo Animal	Número de Animais	SV (Kg)	Carga (m³/viagem)	bombeamento (h)	Distância (km)	Viagem (h)	Tempo Ciclo (h)	Dist Ciclo (km)
P18	Terminação	400	1361	15	0,1	0,92	0,04	0,39	1,84
P19	Terminação	360	1225	15	0,1	10,39	0,29	0,89	20,78
P20	Terminação	260	885	15	0,1	7,70	0,17	0,63	15,40
P21	Terminação	500	1701	15	0,1	12,66	0,37	1,03	25,32
P22	Terminação	500	1701	15	0,1	11,34	0,31	0,93	22,68
P23	Terminação	480	1633	15	0,1	5,16	0,12	0,54	10,32
P24	Terminação	360	1225	15	0,1	10,43	0,29	0,89	20,86
P25	Terminação	360	1225	15	0,1	1,58	0,05	0,39	3,16
P26	Terminação	400	1361	15	0,1	4,60	0,12	0,54	9,20
P27	Terminação	480	1633	15	0,1	0,73	0,03	0,36	1,45
P28	Terminação	240	816	15	0,1	12,56	0,36	1,01	25,12
P29	Terminação	500	1701	15	0,1	4,52	0,12	0,54	9,03
P30	Terminação	500	1701	15	0,1	7,55	0,19	0,68	15,09
P31	Terminação	240	816	15	0,1	3,77	0,09	0,47	7,53
P32	Terminação	240	816	15	0,1	0,96	0,03	0,37	1,91
P33	Terminação	240	816	15	0,1	0,75	0,03	0,37	1,49
P34	Terminação	300	1021	15	0,1	7,17	0,17	0,63	14,34
P35	Terminação	360	1225	15	0,1	4,12	0,09	0,49	8,24
P36	Terminação	360	1225	15	0,1	0,67	0,03	0,35	1,33
P37	Terminação	240	816	15	0,1	6,59	0,17	0,65	13,19

Proprietário	Tipo Animal	Número de Animais	SV (Kg)	Carga (m³/viagem)	bombeamento (h)	Distância (km)	Viagem (h)	Tempo Ciclo (h)	Dist Ciclo (km)
P38	Terminação	300	1021	15	0,1	3,71	0,09	0,48	7,42
P39	Terminação	500	1701	15	0,1	5,77	0,16	0,62	11,54
P40	Terminação	1000	3402	15	0,1	6,77	0,26	0,82	13,53
P41	Terminação	400	1361	15	0,1	1,40	0,05	0,40	2,79
P42	Terminação	400	1361	15	0,1	2,58	0,09	0,47	5,16
P43	Terminação	400	1361	15	0,1	0,49	0,01	0,33	0,97
P44	Terminação	400	1361	15	0,1	3,68	0,08	0,46	7,36
P45	Terminação	360	1225	15	0,1	6,09	0,17	0,64	12,18
P46	Terminação	240	816	15	0,1	6,75	0,26	0,81	13,51
P47	Terminação	1010	3436	15	0,1	8,92	0,26	0,82	17,83
P48	Terminação	500	1701	15	0,1	1,59	0,04	0,39	3,19
P49	Terminação	360	1225	15	0,1	10,96	0,31	0,93	21,91
P50	Terminação	400	1361	15	0,1	10,70	0,28	0,86	21,40
P51	Terminação	240	816	15	0,1	7,69	0,17	0,63	15,38
P52	Terminação	480	1633	15	0,1	3,41	0,08	0,46	6,81
P53	Terminação	200	680	15	0,1	1,28	0,04	0,37	2,56
P54	Terminação	480	1633	15	0,1	11,62	0,31	0,92	23,24
P55	Terminação	500	1701	15	0,1	7,99	0,22	0,73	15,98
P56	Terminação	250	851	15	0,1	6,63	0,17	0,65	13,25
P57	Terminação	360	1225	15	0,1	6,07	0,17	0,64	12,15

Proprietário	Tipo Animal	Número de Animais	SV (Kg)	Carga (m³/viagem)	bombeamento (h)	Distância (km)	Viagem (h)	Tempo Ciclo (h)	Dist Ciclo (km)
P58	Terminação	360	1225	15	0,1	8,93	0,23	0,76	17,86
P59	Terminação	250	851	15	0,1	10,99	0,29	0,88	21,97
P60	Terminação	500	1701	15	0,1	9,58	0,26	0,82	19,15
P61	Terminação	500	1701	15	0,1	3,14	0,14	0,58	6,27
P62	Terminação	240	816	15	0,1	9,63	0,27	0,84	19,26
P63	Terminação	500	1701	15	0,1	10,95	0,31	0,93	21,91
P64	Terminação	500	1701	15	0,1	0,75	0,03	0,37	1,49
P65	Terminação	360	1225	15	0,1	3,87	0,10	0,49	7,73
P66	Terminação	500	1701	15	0,1	8,51	0,20	0,69	17,02
P67	Terminação	240	816	15	0,1	5,97	0,13	0,57	11,95
P68	Terminação	480	1633	15	0,1	7,20	0,17	0,64	14,40
P69	Terminação	500	1701	15	0,1	9,74	0,30	0,91	19,49
P70	Terminação	500	1701	15	0,1	9,93	0,27	0,83	19,86
P71	Terminação	500	1701	15	0,1	9,80	0,26	0,81	19,59
P72	Terminação	500	1701	15	0,1	9,53	0,24	0,77	19,06
P73	Terminação	500	1701	15	0,1	6,74	0,26	0,81	13,48
P74	Terminação	1000	3402	15	0,1	9,43	0,28	0,85	18,86
P75	Leitões 21 dias	50	87	15	0,1	10,50	0,22	0,73	21,01
P76	Leitões 21	280	487	15	0,1	9,71	0,22	0,73	19,41

Proprietário	Tipo Animal	Número de Animais	SV (Kg)	Carga (m³/viagem)	bombeamento (h)	Distância (km)	Viagem (h)	Tempo Ciclo (h)	Dist Ciclo (km)
	dias								
P77	Leitões 21 dias	178	310	15	0,1	7,60	0,19	0,68	15,19
P78	Leitões 21 dias	2200	3825	15	0,1	2,27	0,06	0,41	4,54
P79	Leitões 21 dias	4000	6955	15	0,1	2,12	0,06	0,41	4,24
P80	Leitões 63 dias	150	261	15	0,1	3,92	0,09	0,48	7,84
P81	Leitões 63 dias	25	43	15	0,1	3,02	0,10	0,39	6,04
P82	Leitões 63 dias	2200	3825	15	0,1	6,72	0,27	0,84	13,44

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação
em Engenharia de Produção da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Fernando Mayerle.

Florianópolis, 2015