

GIULIANO EUGÊNIO DE SOUZA

**SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL EM UMA PROPRIEDADE  
RURAL SUINÍCOLA NO MUNICÍPIO DE BRAÇO DO NORTE**

Trabalho submetido à Banca  
Examinadora como parte dos  
requisitos para Conclusão do Curso de  
Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental – TCC II

Prof. Dr. Paulo Belli Filho  
Orientador

MSc. Hugo Adolfo Gosmann  
Coorientador

Florianópolis  
Agosto de 2015

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

Souza, Giuliano Eugênio de  
Sustentabilidade ambiental em uma propriedade rural  
suinícola no município de Braço do Norte / Giuliano Eugênio  
de Souza ; orientador, Paulo Belli Filho ; coorientador,  
Hugo Adolfo Gosmann. - Florianópolis, SC, 2015.  
128 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.  
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

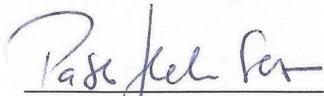
1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2.  
Sustentabilidade Ambiental. 3. Manejo de Dejetos de Suínos.  
4. Biofertilizante. 5. Biogás. I. Filho, Paulo Belli. II.  
Gosmann, Hugo Adolfo. III. Universidade Federal de Santa  
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
IV. Título.

GIULIANO EUGÊNIO DE SOUZA

**SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL EM UMA PROPRIEDADE  
RURAL SUINÍCOLA NO MUNICÍPIO DE BRAÇO DO NORTE**

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de  
“Engenheiro Sanitarista e Ambiental”.

Florianópolis, 18 de agosto de 2015.



Prof. Pablo Heleno Sezerino, Dr.  
Coordenador do Curso

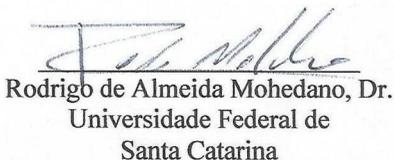
**Banca Examinadora:**



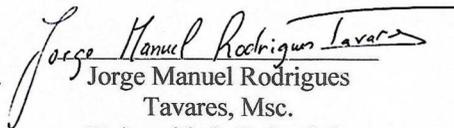
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de  
Santa Catarina



Hugo Adolfo Gosmann Msc.  
Coorientador  
Universidade Federal de  
Santa Catarina



Rodrigo de Almeida Mohedano, Dr.  
Universidade Federal de  
Santa Catarina



Jorge Manuel Rodrigues  
Tavares, Msc.  
Universidade Federal de  
Santa Catarina



Este trabalho é dedicado aos meus pais  
Osni e Albertina, meus irmãos  
Alessandro e Leandro e a minha  
esposa Moema.



## **AGRADECIMENTOS**

A minha família, pelo incondicional apoio desde o início desse percurso. Pai, mãe, Sandro e Leandro, obrigado!

A minha querida esposa, Moema, pelo amor, compreensão e ajuda até os últimos minutos! Te amo!

Aos meus orientadores, grandes mestres, Paulo Belli Filho e Hugo Gosmann pelos preciosos ensinamentos.

Aos membros da banca Rodrigo Mohedano e Jorge Tavares por terem aceitado o convite de avaliar este trabalho, além, é claro, das contribuições que o valorizaram.

Ao Wanderli pelo auxílio no laboratório e ao pessoal do Labeflu pelo compartilhamento do espaço e de material.

Ao pessoal do LIMA, Elaine, Murilo e, principalmente ao Maurício pela grande ajuda nas análises.

Ao Sr. Valdir, Dona Vanilda, Wolf e Valdecir pela sempre afável recepção na propriedade e ajuda nos trabalhos em campo.

Ao projeto TSGA pela bolsa de extensão e oportunidade de aprendizado.

As grandes pessoas com quem trabalhei em quase dois anos de TSGA: Alexandre, Amanda, Batata, Bia, Carol, Diego, Lluvia, Marco Antônio, Mateus, Matheus, Renan, Thaianna, Valéria, Vilmar e Victor.

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



Que os nossos esforços desafiem as impossibilidades. Lembrai-vos que as grandes proezas da história foram conquistas daquilo que parecia impossível.

(Charles Chaplin)



## RESUMO

O estado de Santa Catarina divide com o Rio Grande do Sul as primeiras posições de maiores produtores de carne suína do Brasil. A grande quantidade de animais em reduzidos espaços de criação – situação comum no estado – gera uma grande concentração de dejetos que devem ser tratados e podem ser utilizados como fertilizante em lavouras desde que se sigam critérios corretos de manejo. Sabendo da importância do estado na produção de suínos, o projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água (TSGA) vem desenvolvendo ações que visam o desenvolvimento e a consolidação de uma propriedade modelo produtora de suínos de Braço do Norte/SC. O projeto conta com ações no manejo e tratamento dos dejetos, sua valorização como biofertilizante e biogás para geração de energia térmica e elétrica, além de lemnas como subproduto do tratamento para alimentação de tilápias e a recuperação de áreas degradadas. O objetivo principal deste trabalho foi compilar os resultados de pesquisas realizadas nessa propriedade em um único trabalho para que este possa auxiliar na multiplicação das tecnologias implantadas. Os objetivos específicos foram: apresentar as ações evolutivas no sistema de tratamento de dejetos e sua valorização; apresentar as ações realizadas pelo projeto TSGA com foco na sustentabilidade ambiental da propriedade, apresentar as ações descritas no Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) em APP de Mata Ciliar e realizar uma avaliação da situação atual do sistema de tratamento dos dejetos. Buscou-se chegar a esses objetivos efetuando-se, primeiramente um levantamento dos trabalhos realizados na propriedade (Artigos, TCC, Dissertações e Teses), estudando-os e, por último, descrevendo seus objetivos, metodologias e resultados, procurando discuti-los em conjunto. Como resultado da compilação dos estudos realizados na propriedade obteve-se a evolução das ações realizadas pelo projeto TSGA, e antes deste, para a consolidação de uma Unidade Demonstrativa de sustentabilidade ambiental na suinocultura.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade Ambiental, Manejo de Dejetos de Suínos, Plano de Recuperação de Áreas Degradadas, Biofertilizante, Biogás.



## ABSTRACT

The state of Santa Catarina shares with Rio Grande do Sul the top positions of the largest producers of pork in Brazil. The high number of animals in small farms – a common situation in the state – generates a large concentration of waste that must be treated and can be used as fertilizer on crops, provided that proper criteria for management are followed. Aware of the importance of the state in pig production, the project Social Technologies for Water Management (TSGA) has been developing actions aimed at the development and consolidation of a model farm for pig production in Braço do Norte/SC. The Project has actions in the management and treatment of waste, its value as biofertilizer for crops and biogas for heat and electricity generation as well as duckweed as a treatment by-product for fish feed and the recovery of degraded areas. The main objective of this study was to compile the research conducted in this farm into a single job so that it can assist to multiply the deployed technologies. The specific objectives were: to present the evolutionary actions in the waste treatment system and their valuation; to present the actions taken by TSGA project focusing on the environmental sustainability of the farm, to present the actions described in the Degraded Areas Recovery Plan (PRAD) in Riparian Forest of Permanent Preservation Areas and conduct an assessment of the current situation of the waste treatment system. It was attempted to reach these goals conducting firstly a survey of the work done on the property (Articles, TCC, dissertations and theses), studying them and, finally describing their goals, methods and results, seeking to discuss them in sets. As a result of the compilation of studies done in the farm, it was obtained the progress of actions taken by TSGA, and before it, for the consolidation of a Demonstrative Unit for environmental sustainability in pig farming.

**Keywords:** Environmental Sustainability, Swine Waste Management, Recovery of Degraded Areas Plan, Biofertilizer, Biogas.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Regiões de abrangência do projeto TSGA II. ....	26
Figura 2. Distribuição espacial da suinocultura no Estado de Santa Catarina, tendo como base o agronegócio. ....	30
Figura 3. Principais problemas do manejo de dejetos líquidos de suínos. ....	33
Figura 4. Distâncias mínimas requeridas para instalação de esterqueiras e pocilgas segundo a legislação vigente no estado de Santa Catarina.....	43
Figura 5. Diferença entre as unidades de Bioesterqueira e Esterqueira. ....	48
Figura 6. Biodigestor tipo indiano. ....	50
Figura 7. Lagoa anaeróbia coberta. ....	50
Figura 8. Rotas metabólicas da Digestão Anaeróbia com redução de sulfato... 52	
Figura 9. Exemplo de uma lagoa de lemnas utilizada para tratamento de dejetos suíno e detalhes da planta aquática (lemnna) da espécie <i>Landoltia punctata</i> . ...	56
Figura 10. Representação dos processos que ocorrem durante o tratamento de efluentes, em lagoas com lemnáceas.....	58
Figura 11. Índice de Pressão Ambiental (IPA) médio dos estabelecimentos que possuem entre 100 e 5000 animais.. ....	67
Figura 12. Localização da propriedade e da Bacia Hidrográfica do Rio Coruja/Bonito. ....	72
Figura 13. Esquema do sistema de tratamento implantado na propriedade em 2005. ....	78
Figura 14. Representação esquemática do biodigestor instalado na propriedade.. ....	79
Figura 15. Vista do biodigestor (ao fundo) e lagoa de armazenamento (esterqueira 2).. ....	80
Figura 16. Readequação da lagoa de lemnas 1.....	81
Figura 17. Croqui do sistema de tratamento na propriedade.....	82
Figura 18. Reforma da Unidade de Recebimento e Bombeamento. ....	84
Figura 19. Recuperação do Biodigestor. Fonte: Arquivo TSGA. ....	85
Figura 20. Motogerador. ....	85
Figura 21. Croqui atualizado do sistema de tratamento da propriedade.....	87
Figura 22. Quantidades de N mineral na camada de 0-60cm do solo com e sem aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos.....	93
Figura 23. Quantidades de N mineral na camada de 0-60cm do solo com e sem aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos.....	94
Figura 24. Modelo esquemático da metodologia utilizada no trabalho.....	96
Figura 25. Delimitação da Área 1.....	99
Figura 26. Delimitação da Área 2.....	100
Figura 27. Delimitação da Área 3.....	101
Figura 28. Áreas de APP e Reserva Legal da propriedade.....	102
Figura 29. Modelo de plantio seguido (espaçamento de 3m entre linhas e 2m entre plantas).....	103



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Os 10 municípios com maior efetivo de suínos em 31.12.2013.....	28
Tabela 2. Produção diária de dejetos nos diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina.....	31
Tabela 3. Parâmetros físico-químicos de dejetos de suínos de acordo com vários autores.....	32
Tabela 4. Faixas de proteção em mata ciliar no Código Estadual de Meio Ambiente. Áreas consolidadas.....	41
Tabela 5. Composição química das bactérias metanogênicas.....	55
Tabela 6. Produção de biogás específica e teor de metano dos respectivos grupos de substâncias.....	60
Tabela 7. Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.....	62
Tabela 8. Consumo de biogás por aparelho.....	63
Tabela 9. Conteúdo médio de nutrientes (NPK) dos dejetos de suínos, de acordo com o teor de sólidos.....	65
Tabela 10. Dimensões das lagoas de lemnas.....	82
Tabela 11. Dados de produção de biogás e CH <sub>4</sub> no biodigestor durante o período de verão para diferentes parâmetros.....	91
Tabela 12. Dados de produção de biogás e CH <sub>4</sub> no biodigestor durante o período de inverno para diferentes parâmetros.....	91
Tabela 13. Dados de produção de biogás e CH <sub>4</sub> no biodigestor durante o período de primavera para diferentes parâmetros.....	91
Tabela 14. Primeira análise físico-química dos dejetos na propriedade (coleta em 13/04/2015).....	106
Tabela 15. Segunda análise físico-química dos dejetos na propriedade (coleta em 01/07/2015).....	106



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Ambientes Costeiros.
ACCS	Associação Catarinense de Criadores de Suínos.
AGV	Ácidos Graxos Voláteis.
AMAUC	Associação dos Municípios do Alto do Uruguai Catarinense.
AME	Atividade Metanogênica Específica.
APP	Área de Preservação Permanente.
ATP	Adenosina Trifosfato.
CAR	Cadastro Ambiental Rural.
CC	Ciclo Completo.
CCA	Centro de Ciências Agrárias.
CETRAGUA	Centro de Tecnologias Sociais e Gestão da Água.
Cfa	Clima Subtropical Úmido.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente.
CONSEMA	Conselho Estadual no Meio Ambiente.
COV	Carga Orgânica Volumétrica.
CT	Crescimento e Terminação.
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DQO <sub>Total</sub>	Demanda Química de Oxigênio Total.
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.
ENS	Engenharia Sanitária e Ambiental.
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina.
FATMA	Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina.
FUNDESA	Fundo de Desenvolvimento e Defesa Sanitária Animal.
GEE	Gases do Efeito Estufa.
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo.
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de Hidrogênio.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IPA	Índice de Pressão Ambiental.
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural.
LA	Lagoa de Armazenamento.
LAC	Levantamento Agropecuário Catarinense.
LAI	Licença Ambiental de Instalação.
LAO	Licença Ambiental de Operação.
LAP	Licença Ambiental Prévia.
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente.
MMA	Ministério do Meio Ambiente.
MOS	Matéria Orgânica Seca.

MP/SC	Ministério Público de Santa Catarina.
MS	Matéria Seca.
N.E.	Não Especificado.
NADP	Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo Fosfato.
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl.
PCI	Poder Calorífico Inferior.
pH	Potencial Hidrogeniônico.
PIB	Produto Interno Bruto.
ppm	Partes por Milhão.
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas.
P <sub>Total</sub>	Fósforo Total
PVC	Policloreto de Vinila.
RCV	Reservatório de Controle de Vazão.
RL	Reserva Legal.
SAU	Superfície Agrícola Útil.
SEB	Setor Elétrico Brasileiro.
SINIMA	Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente.
SNAD	Superfície Necessária para Aplicação do Dejeito.
SPD	Sistema de Plantio Direto.
SST	Sólidos Solúveis Totais.
ST	Sólidos Totais.
SV	Sólidos Voláteis.
TAC	Termo de Ajustamento de Conduta.
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica.
TSGA	Tecnologias Sociais para a Gestão da Água.
UD	Unidade Demonstrativa.
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina.
UPL	Unidade de Produção de Leite.
Vol.	Volume.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>21</b>
1.1. OBJETIVOS .....	23
<b>1.1.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>23</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos.....</b>	<b>23</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>25</b>
2.1. TECNOLOGIAS SOCIAIS E O PROJETO TSGA.....	25
2.2. SUINOCULTURA .....	27
<b>2.2.1. Suinocultura no Brasil e em Santa Catarina .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2.2. A Problemática Ambiental da Suinocultura .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.3. Sustentabilidade Ambiental na Produção de Suínos .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.4. Legislação Ambiental para a Suinocultura em Santa Catarina .....</b>	<b>36</b>
2.3. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS DEJETOS ESTUDADAS NA PROPRIEDADE.....	47
<b>2.3.1. Esterqueiras e Bioesterqueiras .....</b>	<b>47</b>
<b>2.3.2. Biodigestor.....</b>	<b>49</b>
<b>2.3.3. Lagoas de Lemnas .....</b>	<b>56</b>
2.4. VALORIZAÇÃO DOS SUBPRODUTOS .....	58
<b>2.4.1. Biogás.....</b>	<b>58</b>
<b>2.4.2. Uso dos Dejetos como Biofertilizante .....</b>	<b>63</b>
<b>2.4.3. Biomassa de Lemnas .....</b>	<b>67</b>
2.5. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	68
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>71</b>
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE .....	71
3.2. APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS .....	72
3.3. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DOS DEJETOS .....	73
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>77</b>
4.1. APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS .....	77
<b>4.1.1. Tratamento dos Dejetos e Produção de Biogás .....</b>	<b>77</b>
<b>4.1.2. Solo e Biofertilizante.....</b>	<b>92</b>
<b>4.1.3. Ações do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas .....</b>	<b>98</b>
4.2. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DOS DEJETOS.....	105

<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>107</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>119</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Estado de Santa Catarina (SC), apesar de ocupar apenas 1,13% do território nacional, é um dos maiores produtores de alimentos no país. Dentre as atividades agropecuárias se destaca a suinocultura, pelo seu volume de produção e produtividade.

A suinocultura desempenha um papel fundamental na economia catarinense. Com aproximadamente oito mil suinocultores em produção de escala comercial (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS, 2014) e 6,3 milhões de cabeças de suínos, segundo levantamento do IBGE (BRASIL, 2013), a atividade é responsável por 21,43% do PIB estadual (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS, 2014). Além disso, a suinocultura é tecnicizada e competitiva sob o aspecto da produção, sendo responsável por quase 20% do rebanho nacional e 30% da produção de carne suína, participando com 36% das exportações brasileiras (ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS, 2014).

A alta produtividade do setor suinícola e o grande número de animais produzidos em Santa Catarina costumava gerar uma insustentabilidade ambiental devido, principalmente, a produção diária de aproximadamente 44.000m<sup>3</sup> de dejetos. O rebanho suinícola está concentrado nas tradicionais regiões produtoras, como o oeste e o sul do estado, essa concentração da produção gera uma carência de área necessária para a destinação final dos dejetos produzidos. O excesso de dejetos de suínos despejados nos solos e nos corpos hídricos causa a poluição desses ecossistemas. A emissão de metano, e outros gases de efeito estufa (GEE), provenientes das esterqueiras também é um problema gerado pelo acúmulo de dejetos e causa poluição atmosférica.

A alta concentração de dejetos da suinocultura motivou estudos e pesquisas de sistemas adequados de manejo, armazenagem, tratamento e valorização desses subprodutos, principal fonte poluidora da rede hidrográfica catarinense.

Outro grande problema das propriedades rurais é a supressão de florestas para a implantação de lavouras ou pastagens. Segundo estudo da Fundação SOS Mata Atlântica que gerou o Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica para o período de 2012-2013, Santa Catarina foi o quinto Estado com maior área de desflorestamento no país. O Estado, que possui 23,2% de Mata Atlântica remanescente, desmatou 672 ha no período do estudo, 35% a mais que no ano anterior (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA/INPE, 2014).

Esta situação de agravamento da degradação ambiental com o comprometimento de recursos naturais motivou a implantação da propriedade piloto em manejo de dejetos de suínos em Braço do Norte/SC, a qual contou também com um plano de recuperação de áreas degradadas para regularização ambiental.

Trabalhos de campo e pesquisas vêm sendo elaborados nesta propriedade desde 2002 pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) tendo como objetivo o desenvolvimento de tecnologias que permitam um manejo mais ambientalmente sustentável da produção de suínos. Nesse período foram instalados na propriedade um biodigestor e uma lagoa de armazenamento que visavam à valorização dos dejetos prioritariamente à sua aplicação no solo. As unidades instaladas puderam então ser objetos de estudos que visavam avaliar o modelo de manejo e sua eficiência na manutenção de um ambiente mais saudável. Além disso, também foram desenvolvidas pesquisas referentes aos efeitos da aplicação dos dejetos no solo

Em 2007 passa a atuar na propriedade o projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água (TSGA) – projeto executado pela UFSC, em conjunto com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI e o Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, CNPSA/EMBRAPA e patrocinado pela Petrobras – o qual tinha por objetivo o uso sustentável da água através do apoio à capacidade de gestão local de comunidades em bacias hidrográficas em Santa Catarina, integrado à disseminação e implementação de tecnologias sociais na produção de alimentos e desenvolvimento de saneamento básico do meio rural (BELLI FILHO; VERAS, 2015). O projeto, de cunho tecnológico e pedagógico, atua em vários municípios de Santa Catarina com foco em diferentes problemas relacionados aos conflitos do uso da água. Na propriedade de Braço do Norte, o objetivo foi desenvolver uma unidade modelo de suinocultura, com arranjos de tecnologias e pesquisas voltados a sustentabilidade ambiental do meio rural.

Nesse período foram implantadas na propriedade duas lagoas de tratamento de dejetos, em fase terciária, operadas com macrófitas lemnáceas (Lemnas), o que possibilitou atingir um efluente com qualidade para reuso e um subproduto altamente protéico transformado em alimento para animais, tecnologia existente em poucas propriedades do gênero.

Em novembro de 2010 a propriedade recebeu autuação do Ministério Público de Santa Catarina após serem verificadas que parte das atividades de suinocultura estavam localizadas sobre área de

preservação permanente (APP) e sem as devidas licenças ambientais. O Laudo Técnico gerou um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC) que, por sua vez foi utilizado para a elaboração do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) e Averbção de Reserva Legal da propriedade por equipe técnica do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do departamento de Ciências Agrárias da UFSC.

O projeto TSGA, está atualmente em sua segunda fase (TSGA II), a qual teve início em janeiro de 2013 e tem como objetivo geral dar continuidade às ações da primeira fase do projeto de forma mais abrangente na disseminação do uso sustentável da água. Com a segunda fase do projeto em andamento, foi implantado o sistema de aproveitamento de biogás na geração de energia elétrica e térmica dentro da propriedade. O sistema está operando, porém ainda devem ser feitos estudos a respeito do seu funcionamento contínuo e do potencial de produção de energia, além de ajustes na vazão de combustível necessária.

Pretendeu-se assim, reunir em um único trabalho várias pesquisas realizadas na propriedade nesse período de mais de uma década. Para isso, foram selecionados trabalhos em várias áreas de atuação (tratamento de dejetos, fertilização do solo, produção de biogás e geração de energia, recuperação de áreas de APP e outros) que possam, eventualmente, auxiliar na implantação de sistemas similares de manejo de dejetos e recuperação de áreas degradadas em pequenas propriedades produtoras de suínos, possibilitando a adoção de tecnologias para a valorização dos subprodutos da produção suína.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo Geral

Compilar os resultados de pesquisas realizadas em uma propriedade rural suinícola com vistas à sustentabilidade ambiental.

### 1.1.2. Objetivos Específicos

- Apresentar as ações evolutivas no sistema de tratamento de dejetos e sua valorização.
- Apresentar as ações realizadas pelo projeto TSGA com foco na sustentabilidade ambiental da propriedade.

- Apresentar as ações descritas no Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) em APP de Mata Ciliar.
- Avaliar o estado atual das tecnologias de tratamento dos dejetos de suínos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. TECNOLOGIAS SOCIAIS E O PROJETO TSGA

O Instituto de Tecnologia Social (2004) define tecnologia social (TS) como sendo:

um conjunto de técnicas, metodologias transformadoras, desenvolvidas e/ou praticadas na interação com a população e apropriadas por ela, que representam soluções para a inclusão social e melhoria das condições de vida.

Além disso, um ponto importante em relação às TS consiste-se no fato de esta contrapor-se ao modelo que valoriza a liberação de mão-de-obra, utiliza insumos externos em excesso, degrada o meio ambiente, não valoriza o potencial e a cultura locais e gera dependência, características presentes nas tecnologias convencionais (ALMEIDA, 2010).

Segundo Almeida (2010), a concepção de TS vai além do enfoque no artefato e atém-se ao contexto e à realidade concreta dos sujeitos para transformar. A TS é um instrumento pedagógico, pelo qual todos aprendem na construção das soluções. É parte do universo e do espaço das pessoas a que se propõe auxiliar, parte de sua organização, de forma independente, autônoma e autogestionária.

Tecnologia Social compreende produtos, técnicas ou metodologias replicáveis, desenvolvidas de forma integrada com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social. É um conceito que remete para uma proposta inovadora de desenvolvimento, considerando a participação coletiva no processo de organização, desenvolvimento e implementação. Está baseado na disseminação de soluções para problemas relacionados a demandas de alimentação, educação, energia, habitação, renda, recursos hídricos, saúde, meio ambiente, dentre outras. As Tecnologias Sociais podem aliar saber popular, organização social e conhecimento técnico-científico. Importa essencialmente que sejam efetivas, de baixo custo e reaplicáveis, propiciando desenvolvimento social em escala (FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL, 2015).

O Projeto TSGA busca o desenvolvimento dessas tecnologias em comunidades de Santa Catarina que possuem diferentes de conflitos relacionados ao uso da água. Os municípios envolvidos diretamente com atividades do projeto são: Araranguá (conflito entre produção de arroz e

abastecimento de água), Braço do Norte (conflito de poluição causada por dejetos de suínos), Orleans (saneamento rural), Tubarão, Urubici (preservação da zona de recarga direta do Aquífero Guarani), Concórdia (desafio de construção de um ajustamento de conduta social e educacional para a criação de suínos e ações preventivas devido às cheias), Ituporanga, e Biguaçu. Os locais de atuação do projeto no estado são apresentados na Figura 1.



**Figura 1.** Regiões de abrangência do projeto TSGA II.

O projeto visa criar empoderamento em comunidades locais para a prática de produção sustentável, saneamento para áreas rurais e aumento da capacidade de gerenciamento local de bacias hidrográficas a fim de implementar um estilo sustentável de desenvolvimento.

Nas metodologias utilizadas incluem-se três questões básicas: a) combinar e consolidar tecnologias sociais já desenvolvidas e testadas em várias escalas, cuja implementação foi possibilitada pelo projeto de acordo com o critério de economia de experiência, b) usar modelos cognitivos e pedagógicos para a construção de processos de aprendizado, c) identificar contribuições de novas teorias e paradigmas aplicados ao gerenciamento social dos comuns e governança local (BELLI FILHO; MARTINS; SILVA, 2010).

As tecnologias de manejo de dejetos em propriedades suinícolas desenvolvidas na propriedade se enquadram no Programa I do quadro de programas estruturantes que compõem as metodologias do projeto:

### **Programa I – Tecnologias Sociais para Gestão da Água – Implantação e Avaliação de Unidades Demonstrativas.**

Se propõe ao desenvolvimento de pesquisas e inovação em tecnologias sociais e na revisão de tecnologias sociais consolidadas, visando à implementação de unidades demonstrativas pedagógicas que serão entregues à comunidade com a finalidade de atender às demandas locais e também servir como referência para disseminação e replicação da tecnologia.

Unidades demonstrativas propostas: sustentabilidade na suinocultura, wetland construído, recuperação e preservação de mata ciliar, cisterna convencional, cisterna de areia, filtro lento retro-lavável, agroecologia e turismo rural sustentável.

Assim, pretende-se disseminar o conceito de tratamento correto dos efluentes e sua utilização na produção de insumos (como biofertilizante, energia elétrica e ração animal) para o aproveitamento dentro da própria cadeia produtiva ou exterior a esta.

## **2.2. SUINOCULTURA**

### **2.2.1. Suinocultura no Brasil e em Santa Catarina**

O desenvolvimento da produção de carne suína no mundo e no Brasil nas décadas de 1990 e 2000 ocorreu a partir de transformações significativas, com o aumento da escala, da especialização e da concentração geográfica da produção primária, tendências concomitantes à crescente participação dos contratos na relação entre suinocultores e agroindústrias (MIELE, 2006).

A cadeia produtiva de carne suína no Brasil apresenta um dos melhores desempenhos econômicos no cenário internacional, aumentando paulatinamente sua participação de mercado. No plano interno, observa-se a consolidação de grupos agroindustriais com presença internacional, o fortalecimento de um setor pecuário tecnificado e competitivo, o desenvolvimento econômico das regiões produtoras, bem como a geração de emprego e renda entre os trabalhadores urbanos e aqueles suinocultores que conseguiram acompanhar o processo de intensificação em curso e não foram excluídos da atividade (MIELE, 2006).

Em Santa Catarina, grande parte da produção agropecuária é realizada em pequenas propriedades familiares. De acordo com o último censo agropecuário realizado pelo IBGE em 2006 (BRASIL, 2009), do total de 193.663 estabelecimentos existentes na época, mais de 168 mil foram classificados como estabelecimentos com predomínio total da agricultura familiar, atingindo 87% do total. Este valor faz de Santa Catarina uma das unidades da federação com os maiores percentuais de agricultores familiares do país.

Considerando apenas propriedades produtoras de suínos, segundo a Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2014), a produção familiar responde por 50% da produção total no Brasil.

Em 2013 o efetivo dos rebanhos de suínos no Brasil era de 36.743.593 animais, sendo que dessa quantidade, 6.270.797 animais foram produzidos em Santa Catarina, o que representa 17,1% da produção nacional (BRASIL, 2014).

Na Tabela 1 a seguir são apresentados os dez municípios brasileiros com maior efetivo de suínos.

**Tabela 1.** Os 10 municípios com maior efetivo de suínos em 31.12.2013.

Município	UF	Efetivo (cabeças)	Participações no efetivo total (%)	
			Relativa	Acumulada
<b>Uberlândia</b>	MG	927.500	2,5	2,5
<b>Rio Verde</b>	GO	780.000	2,1	4,6
<b>Toledo</b>	PR	438.990	1,2	5,8
<b>Tapurah</b>	MT	398.131	1,1	6,9
<b>Concórdia</b>	SC	367.775	1,0	7,9
<b>Três Arroios</b>	RS	276.622	0,8	8,7
<b>Sorriso</b>	MT	249.147	0,7	9,4
<b>Urucânia</b>	MG	232.228	0,6	10,0
<b>Seara</b>	SC	225.081	0,6	10,6
<b>Braço do Norte</b>	SC	202.583	0,6	11,2

Fonte: BRASIL (2014).

Fica evidente a participação de Santa Catarina com três municípios entre os dez maiores produtores nacionais, apesar da queda na produção entre 2012 e 2013, o que fez com que o estado do Rio Grande do Sul (RS) tomasse o posto de Santa Catarina como o maior produtor de suínos do país.

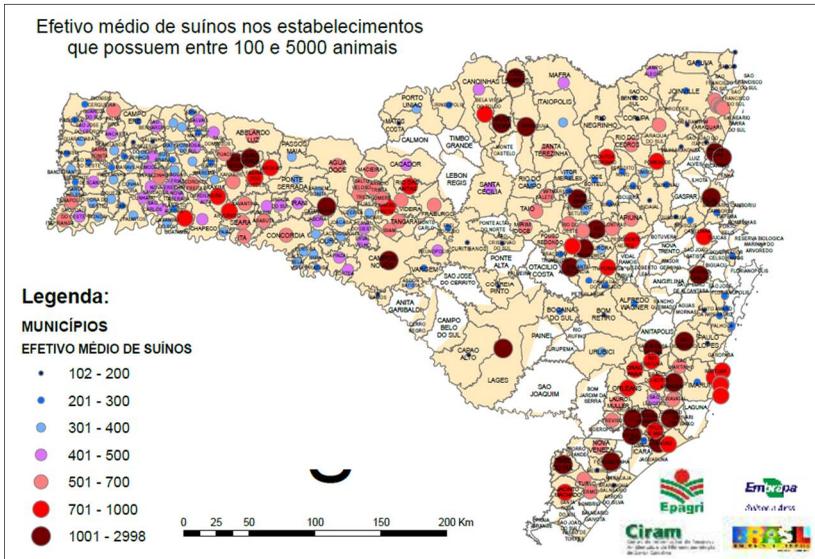
O relatório do IBGE sobre a produção pecuária municipal em 2013 (BRASIL, 2014) passou a medir o efetivo de matrizes de suínos.

Nessa primeira observação, houve o registro de 4,615 milhões de cabeças, sendo que Santa Catarina participa com 15% (690.725) do efetivo nacional, contra 13,1% do Paraná e 12,5% do RS.

A suinocultura representa uma importante atividade sócioeconômica para o estado de Santa Catarina. Sabe-se que esta atividade é uma importante cadeia produtiva e a questão ambiental é um dos grandes gargalos para a expansão e continuidade da produção. (BRASIL, 2006). Porém, segundo Belli Filho et al (2001), é considerado um setor com baixa qualidade ambiental, devido à poluição causada nas águas e nos solos, além de afetar a qualidade do ar nestas regiões, através da emissão de maus odores, pela proliferação descontrolada de insetos, o que ocasiona um desconforto ambiental às populações locais. O armazenamento e a distribuição dos dejetos são as principais fontes geradoras de maus odores.

Segundo Miele (2006), em que pese os ganhos de eficiência técnica e o excelente desempenho econômico resultante do processo conhecido como industrialização da suinocultura, não se verifica nesse mesmo período uma mudança na estratégia predominante de manejo dos dejetos suínos, baseada na sua reutilização como fertilizante do solo.

Na Figura 2, apresenta-se o mapa da distribuição espacial da suinocultura no estado, tendo como base o agronegócio, que representa 80,5% da atividade econômica e 75,6% do volume de dejetos produzidos.



**Figura 2.** Distribuição espacial da suinocultura no Estado de Santa Catarina, tendo como base o agronegócio. Fonte: Oliveira, 2012.

É possível visualizar uma concentração de propriedades com efetivo acima de 500 animais na região sul do estado, assim como uma grande concentração de propriedades na região oeste, em sua maioria com um efetivo entre 300 e 500 animais.

### 2.2.2. A Problemática Ambiental da Suinocultura

Os dejetos de suínos possuem alta concentração de matéria orgânica, nutrientes e patógenos, sendo extremamente poluentes se não devidamente tratados ou reutilizados.

Esses dejetos se apresentam basicamente na forma de uma mistura de fezes e urina, juntamente a águas de lavagem, resíduos de alimentos (ração), águas de vazamento de bebedouros, águas utilizadas na higienização das instalações e águas de chuva que podem entrar nas calhas (BELLI FILHO, 1995).

De acordo com Diesel et al (2002), podem apresentar grandes variações em seus componentes, dependendo do sistema de manejo adotado e, principalmente, da quantidade de água e nutrientes em sua composição. O esterco líquido dos suínos contém matéria orgânica,

nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos incluídos nas dietas dos animais.

Segundo Belli Filho (1995), o volume de dejetos produzido por animal depende de fatores como sistema de criação, número de animais, composição da alimentação, configuração das construções, tipos de bebedouros, manejo adotado, e também, do bem estar animal.

Além dos fatores citados, o volume de dejetos também varia de acordo com o peso vivo do animal. Segundo Oliveira (1993), a quantidade total de esterco produzida por um suíno varia de acordo com a sua massa corporal, apresentando valores decrescentes de 8,5 a 4,9% em relação a seu peso vivo/dia para a faixa de 15 a 100 kg. Cada suíno adulto produz em média de 7 a 8 litros de dejetos líquidos/dia ou 0,21 - 0,24m<sup>3</sup> de dejetos por mês (DIESEL, 2002).

Em estudos mais recentes, Tavares et al (2014) encontraram valores médios de produção de dejetos para suínos na fase fisiológica de crescimento/terminação iguais a 4,15 L/animal·dia para um ciclo de 10 semanas e 4,46 L/animal·dia em um ciclo de 15 semanas. Ou seja, valores abaixo dos avaliados por Oliveira (1993). Foram avaliados 33 ciclos de produção para esse estudo.

A Tabela 2 apresenta os valores de produção de dejetos pelas diferentes fases produtivas dos suínos de acordo com a nova instrução normativa nº 11 da FATMA.

**Tabela 2.** Produção diária de dejetos nos diferentes sistemas de criação de suínos em Santa Catarina.

<b>Sistema de Produção</b>	<b>Massa suínos (kg)</b>	<b>Volume de Dejetos (L/animal·dia)</b>
<b>Ciclo Completo (CC)</b>	-	47,1
<b>Unidade de Produção de Leitões (UPL)</b>	-	22,8
<b>Unidade de Produção de Desmamados (UPD)</b>	-	16,2
<b>Crechários (CR)</b>	6 - 28	2,3
<b>Unidade de Terminação (UT)</b>	23 - 120	4,5

Fonte: Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina, 2014.

A respeito dos parâmetros físico-químicos, Henn (2005) afirma que nos sistemas de criação de suínos, os dejetos produzidos agregam variações de ordem quantitativa e qualitativa e estas, por sua vez, dependem do manejo adotado. Com isso, o volume ou a massa de dejetos produzidos depende exclusivamente da quantidade de água que é

desperdiçada na beberagem dos animais e esta influencia diretamente na composição e nas características físico-químicas do efluente.

Na Tabela 3 são mostrados alguns valores relativos aos parâmetros físico-químicos de dejetos de suínos obtidos por diferentes autores e em diferentes épocas.

**Tabela 3.** Parâmetros físico-químicos de dejetos de suínos de acordo com vários autores.

Parâmetros (mg/L)	Autores				
	Cazarré (2000)	Henn (2005)	Monteiro (2005) <sup>1</sup>	Alves (2007)	Tavares (2012) <sup>2</sup>
pH	7,06	6,6	6,75	7,35	7,80
DQO <sub>Total</sub>	20.005	43.368	85.000	12.578	79.600
DBO <sub>5</sub>	-	21.300	23.000	9.110	-
NTK	2.487	1.990	1.600	1.621	5.690
P <sub>Total</sub>	541	712	750	286	1.190
ST	14.322	36.110	73.000	8.514	60.520
SV	9.304	25.230	53.000	5.288	45.730

Obs.: <sup>1</sup> mg/g. <sup>2</sup> Crescimento e terminação. Alojamento de 15 semanas.

Fonte: Adaptado de Dal Mago (2009); Tavares (2012).

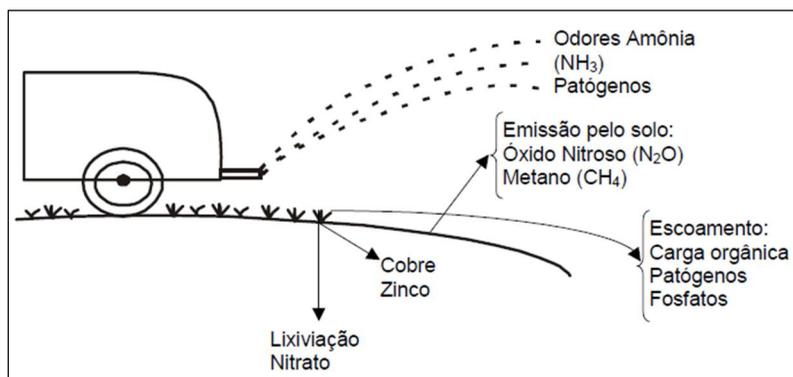
A suinocultura é classificada como uma atividade produtiva com grande potencial poluidor no que se refere à aplicabilidade dos instrumentos das políticas ambientais. Alguns aspectos contribuem para essa condição, entre eles, grande volume de dejetos produzidos, sistema de criação por confinamento (concentração de dejetos em pequenas áreas) e regionalização da atividade (ROESLER & CESCNETO, 2003)

Segundo Velho (2012), pesquisas indicam uma produção anual de 105,6 milhões de m<sup>3</sup> de dejetos suínos por ano no Brasil. Considerando que SC conta com 17,1% do efetivo nacional, a quantidade de dejetos produzidos no estado fica em torno de 18 milhões de m<sup>3</sup>/ano.

De acordo com Oliveira (2012), seria necessária uma área de 428.091 ha para a distribuição dos dejetos como adubo orgânico em lavouras no estado. O problema é que, nem sempre, o dejetos produzidos e a área disponível se encontram na mesma propriedade. Ainda segundo Oliveira (2012), para as propriedades incluídas no grupo de “agronegócio” (Figura 2), o que corresponde à maioria das propriedades em SC, essa área necessária seria de 330.708ha, porém a área disponível é de apenas 212.059ha.

Devido ao excesso de dejetos e pouca área para aplicação, muitas propriedades aplicam um volume acima do permitido, sem critério e, muitas vezes, extrapolam a capacidade de suporte do solo (SILVA JR.; ZAMPARETTI & MOSS, 2006). O lançamento de efluentes suínos em excesso no solo pode ser carregado para rios e lagos, o que constitui risco potencial para o aparecimento ou agravamento de doenças (verminoses, alergias, hepatites, câncer de estômago), desconforto na população (proliferação de moscas, borrachudos, maus odores) e degradação dos recursos naturais (morte de peixes e animais, toxicidade em plantas, eutrofização de recursos hídricos) (BELLI FILHO et al, 2001).

Na Figura 3 estão representadas de forma resumida as principais preocupações em relação ao meio ambiente devido ao manejo inadequado dos dejetos de suínos.



**Figura 3.** Principais problemas do manejo de dejetos líquidos de suínos.  
Fonte: Oliveira e Nunes (2006).

Segundo Miranda (2005) o problema da descarga dos dejetos é cumulativo. O ambiente possui uma capacidade suporte natural que aceita a absorção de certo nível de substâncias orgânicas e inorgânicas. Se esse nível for excedido poderá resultar na deterioração da qualidade das águas e das plantas e em distúrbios químicos, físicos e biológicos do solo.

Em face ao exposto, segundo Mohedano (2010), o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias que promovam um modelo de produção mais ambientalmente sustentável para a suinocultura são de extrema importância. Se faz necessária a integração da suinocultura nos princípios da Política Nacional dos Recursos de Hídricos (lei 9433/97) com uma redução significativa no volume de dejetos e gases lançados

no ambiente natural, sem comprometer a eficiência econômica da atividade.

### **2.2.3. Sustentabilidade Ambiental na Produção de Suínos**

De acordo com o Relatório de Brundtland, citado em FUNDESA (2014), o conceito de sustentabilidade tem sua origem relacionada ao termo “desenvolvimento sustentável”, que se define como aquele que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades.

Segundo Jacobi (2003), o desenvolvimento sustentável somente pode ser entendido como um processo no qual, de um lado, as restrições mais relevantes estão relacionadas com a exploração dos recursos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e o padrão institucional. De outro, o crescimento deve enfatizar os aspectos qualitativos, notadamente os relacionados com a equidade, o uso de recursos – em particular da energia – e a geração de resíduos e contaminantes. Além disso, o desenvolvimento deve focar na superação dos déficits sociais, nas necessidades básicas e na alteração de padrões de consumo.

Honeyman (1996) define produção sustentável de suínos como uma combinação de técnicas de produção que ampliam o lucro do produtor e beneficiam as condições ambientais e socioeconômicas da região. Segundo o autor, para se obter essa melhora, a produção de suínos deve estar integrada com os sistemas humano e de cultivo de uma maneira sinérgica.

Do ponto de vista ambiental a suinocultura é uma das atividades agropecuárias de maior potencial poluidor em função do volume de dejetos produzidos e do elevado número de contaminantes contidos no efluente, os quais, em ação individual ou combinada, representam uma fonte potencial de contaminação e degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo (MIELE, 2006 e OLIVEIRA, 2012). As inovações técnicas e organizacionais focadas em reduzir custos de produção e de logística proporcionaram um aumento da escala e da concentração geográfica na produção de suínos. A falta de investimentos em tecnologias de tratamento e mudanças nas práticas de manejo de dejetos adequadas a esta nova realidade produtiva, gerou uma contrapartida ambiental: a pressão crescente sobre o meio ambiente (MIELE, 2006).

Segundo Oliveira e Nunes (2006) os avanços tecnológicos e financeiros alcançados pelo sistema integrado de produção<sup>1</sup> nas propriedades rurais e agroindústrias no oeste de Santa Catarina, até os anos 80, ocorreram sem qualquer preocupação com os problemas ambientais. A partir dos anos 90, projetos como o Microbacias I e o “Programa de Expansão da Suinocultura e Tratamento e Aproveitamento dos Dejetos” iniciaram ações para a melhoria ambiental no estado. No entanto, as ações voltadas aos tratamentos de dejetos resumiram-se na construção de esterqueiras e bioesterqueiras, muitas vezes mal dimensionadas, e sem comprovação de que seriam as tecnologias mais adequadas e eficientes para resolver os problemas de poluição causados pela suinocultura.

Os mesmos autores afirmam que os processos adotados para o tratamento dos dejetos devem proporcionar agregação de valor ao subproduto final, tornando-o sustentável economicamente. A sustentabilidade pode ser adquirida através da valorização agrônômica do resíduo como biofertilizante, a produção comercial de fertilizante orgânico ou a geração de energia (térmica ou elétrica).

Nesse sentido, Palhares (2004) sustenta que os problemas ambientais da suinocultura sejam vistos como um sistema, e não em partes fragmentadas. A visão fragmentada não possibilita a resolução desses problemas e, em alguns casos, pode intensificá-los. O sistema de tratamento é apenas um elo da complexa cadeia de produção de suínos. Além do tratamento dos dejetos, devem ser tomadas ações como recuperação de áreas de preservação permanente, compostagem de animais mortos, redução do consumo de água e seu reuso, além de monitoramento da qualidade, entre outros. Muitos dos quais já são obrigatórios pela legislação atual.

Para se promover a melhora ambiental de uma granja, devem-se considerar os seguintes manejos (PALHARES, 2004):

### *1. Manejo nutricional da granja.*

Inclui o balanceamento rigoroso das rações; a instalação correta dos equipamentos para o arraçoamento dos animais, sendo também os mais propícios para cada categoria animal; prezar por altos índices produtivos e menor gasto de ração. Ambientes ideais para o conforto

---

<sup>1</sup> Sistema Integrado de Produção consiste na parceria da indústria com o produtor, sendo a primeira fornecedora dos animais, dos insumos, da assistência técnica e a coletora da produção e o segundo o responsável pela construção das instalações produtoras e pelo fornecimento da mão de obra para produção. (OLIVEIRA; NUNES, 2006)

animal, visto que essas variáveis também podem influenciar no consumo de ração.

### 2. *Manejo hídrico da granja.*

Instalação correta dos bebedouros, de acordo com recomendações do fabricante e adequada a cada categoria animal; fazer a lavagem do piso somente quando necessário, fazendo-se primeiramente uma raspagem dos dejetos; evitar o uso de água em excesso e verificar constantemente a existência de vazamentos.

### 3. *Instalações.*

Devem ser as mais adequadas a fim de viabilizar o manejo dos dejetos. Canaletas bem dimensionadas e protegidas contra a entrada de água externa, bem como as instalações de armazenamento e tratamento de dejetos. Além disso, o dimensionamento das instalações deve levar em conta os princípios de conforto animal, evitando estresse e possibilitando uma otimização do consumo de água e ração.

Com relação ao manejo hídrico da granja, Tavares et al (2012) constataram a importância dos diferentes tipos de bebedouros para a redução do desperdício de água e do volume de dejetos produzidos.

Segundo os autores, em estudo comparativo entre os bebedouros dos tipos *Bite Ball*, Chupeta e Taça Ecológica para um ciclo de produção na fase de crescimento e terminação, constatou-se um melhor resultado para o bebedouro do tipo Chupeta, que apresentou consumo médio de 5,13L/animal·dia, enquanto que os bebedouros dos tipos *bite ball* e taça ecológica apresentaram, em média, consumo de 7,94 e 6,71 L/animal·dia respectivamente. Da mesma forma, a produção de dejetos se mostrou menor com a utilização do bebedouro tipo chupeta, sendo os seguintes resultados obtidos: chupeta = 3,14 L/animal·dia; taça ecológica = 4,38 L/animal·dia e *bite ball* = 5,00 L/animal·dia.

## **2.2.4. Legislação Ambiental para a Suinocultura em Santa Catarina**

No Brasil não existe uma legislação própria para a suinocultura. Tem-se, porém, vários instrumentos legais que interveem no ordenamento da atividade (SILVA, 2001 apud MIRANDA, 2005).

A legislação ambiental brasileira compõe-se de inúmeras leis, decretos, portarias e resoluções, em nível federal, estadual e municipal (MIRANDA, 2005). Pode-se afirmar que o Código de Águas (Decreto Presidencial nº 24.643 de 10 de julho de 1934) e o Código Florestal

(Decreto nº 23.793 de 23 de janeiro 1934) foram os primeiros instrumentos de proteção ao meio ambiente rural.

Atualmente, esses termos são regidos pela Lei nº 12.727/2012 (Código Florestal Federal) e pela Lei 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos).

#### 2.2.4.1. Termo de Ajustamento de Conduta – TAC

Nos anos 1990, houveram tentativas de melhoria das práticas de manejo dos dejetos de suinocultura, através de programas como o “Programa de Expansão da Suinocultura e Tratamento e Aproveitamento dos Dejetos” no oeste do estado. Porém, o programa não foi totalmente bem sucedido devido ao fato de que boa parte dos recursos financeiros destinados foi aplicada somente na expansão e implantação de novas instalações e matrizes<sup>2</sup> e não necessariamente em políticas de manejo e tratamento de dejetos. Outro motivo foi a prática de altos juros cobrados aos suinocultores na obtenção de recursos aliado às mudanças na política econômica do país nesse período (ALBUQUERQUE; WEYDMANN, 2007).

Ainda segundo Albuquerque e Weydmann (2007), após esse período, o Ministério Público de Santa Catarina (MPSC) em conjunto com os principais atores envolvidos na cadeia produtiva (como o Governo do Estado, Epagri, Embrapa, ACCS e outras instituições relacionadas ao poder público e a atividade suinícola), formulou uma proposta de conduta a ser seguida pelos produtores e pelas agroindústrias intitulado Termo de Ajustamento de Conduta – TAC. O TAC iniciou, principalmente, por pressão da população e pela urgência de ações que necessitavam ser tomadas em relação ao problema da poluição gerada pela suinocultura.

O Termo de Ajustamento de Conduta é um instrumento previsto na Lei de Ação Civil Pública, que tem natureza de título executivo extrajudicial e possibilita pôr fim ao inquérito civil mediante adequação ou correção da conduta. Além de evitar a propositura de ação civil pública, o TAC possibilita ao interessado a oportunidade de avaliar investimentos e participar de forma ativa na definição dos prazos e

---

<sup>2</sup> Mais informações em: GUIVANT, Julia S. Conflitos e negociações nas políticas de controle ambiental: O caso da suinocultura em SC, 1995; e em: SILVA, A. P. Diagnostico Sócio, Econômico e Ambiental. Aspectos sobre a sustentabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica dos Fragosos, Concórdia/SC. Tese de Mestrado, UFSC, Florianópolis, 2000, 205p.

cronograma da implementação das obrigações assumidas no documento (MIRANDA, 2005).

Sendo assim, o TAC da suinocultura, assinado em junho de 2004 pelos suinocultores e outros membros da cadeia produtiva na região dos municípios do Alto Uruguai Catarinense (AMAUC), foi um documento que buscou viabilizar o Licenciamento Ambiental para a produção de suínos. Procurou regulamentar as propriedades que não cumpriam as exigências previstas na Legislação Ambiental vigente proporcionando um período de tempo viável para que os suinocultores pudessem adequar as suas propriedades, continuando com a atividade e conservando o meio ambiente (MIRANDA; BONÊZ, 2009).

Dessa forma, foram elaborados diversos TAC, para diferentes bacias hidrográficas do estado, considerando as particularidades de cada uma delas. Como exemplo, pode-se mencionar o TAC para a bacia hidrográfica do rio Jacutinga e rios contíguos, localizada no oeste do estado, firmado em junho de 2004 e o TAC para as bacias hidrográficas do Lajeado Fragosos em Concórdia e do Rio Coruja/Bonito em Braço do Norte, firmado em dezembro de 2003. As últimas duas bacias hidrográficas citadas destacam-se pela alta concentração de suínos, e conseqüentemente, grandes volumes de dejetos e problemas de desconforto ambiental como odores (ROTTA, 2009).

A Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina – FATMA elaborou a Instrução Normativa nº 41, que define a documentação necessária para o Licenciamento/Autorização Ambiental para as atividades que integram os Termos de Compromisso de Ajustamento de Condutas da Suinocultura no estado.

#### 2.2.4.2. Licenciamento Ambiental

O licenciamento é um dos instrumentos de gestão ambiental estabelecido pela lei Federal n.º 6.938, de 31/08/1981, também conhecida como Lei da Política Nacional do Meio Ambiente. É uma obrigação legal prévia à instalação de qualquer empreendimento ou atividade potencialmente poluidora ou degradadora do meio ambiente.

A Resolução CONAMA nº 237 de 1997 define as competências da União, Estados e Municípios e determina que o licenciamento deva ser sempre feito em um único nível de competência.

Em Santa Catarina, o licenciamento ambiental é regulado pelo art. 69º do Decreto 14.250/1981. Sendo que o Código Estadual do Meio Ambiente (Lei nº 14.675/2009 alterada pela Lei nº 16.342/2014) estabelece a Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA)

como sendo o órgão ambiental responsável por este procedimento no estado.

Segundo o art 2º da Resolução CONAMA nº 237,

a localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis.

Em Santa Catarina, as atividades definidas como potencialmente causadoras de degradação ambiental e que, portanto, necessitam de licenciamento ambiental, são listadas pela Resolução CONSEMA nº 03/2008.

A Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA) utiliza alguns instrumentos técnicos no licenciamento da suinocultura previstos na atualização de 2014 da Instrução Normativa nº 11, quais sejam:

- ✓ Estudo Ambiental Simplificado (EAS);
- ✓ Relatório Ambiental Prévio (RAP) e;
- ✓ Estudo de Conformidade Ambiental (ECA).

Os quais são exigidos dependendo do porte da propriedade.

Assim, são três as licenças expedidas pela FATMA e uma Autorização Ambiental (AuA), para o caso de propriedades que estejam dispensadas da apresentação dos estudos ambientais previstos na IN devido ao seu pequeno porte.

Licença Ambiental Prévia (LAP): concedida na fase preliminar, no planejamento do empreendimento ou atividade, aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação.

Licença Ambiental de Instalação (LAI): autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as

medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante.

Licença Ambiental de Operação (LAO): autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

Para obtenção do licenciamento, o produtor conta com a Instrução Normativa nº 11, produzida pela FATMA e que apresenta as exigências requeridas para a obtenção da licença ambiental. Para tanto, o produtor deve levantar dados da propriedade, tais como o rebanho, o volume e o local de destino dos dejetos, bem como a localização das instalações em relação aos afastamentos previstos pelo Código Florestal e pelo Código Sanitário. Além da instrução, encaminha-se um projeto técnico, elaborado por profissional habilitado, detalhando aspectos de como serão realizados o manejo, o tratamento e a deposição dos dejetos.

O período de validade das licenças depende da confiabilidade do projeto e seus prazos máximos diferem de acordo com o tipo de licença requerido. Sendo esse prazo definido pela Lei nº 14.675/2009 (alterada pela Lei nº 12.727/2012) combinada com a Resolução CONAMA nº 237/97.

#### 2.2.4.3. Áreas de Preservação Permanente – APP

O Código Florestal brasileiro define Área de Preservação Permanente no inciso II de seu art 3º:

área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

O Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina (Lei nº 14.675/2009, alterada pela Lei nº 16.342/2014), valendo-se da Constituição Federal (artigo 24, inciso VI), que diz que os estados e a união têm *competência concorrente* para legislar sobre matéria de meio ambiente, procura ser menos restritivo que o código florestal nacional

por considerar as particularidades do estado e diferenciação entre áreas rurais consolidadas<sup>3</sup> e não consolidadas.

São consideradas áreas de preservação permanente as florestas e demais formas de cobertura vegetal situadas ao longo dos rios ou de qualquer curso de água desde o seu nível mais alto em faixa marginal (CÓDIGO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE – LEI nº 16.342/2014).

Sendo assim, o Código Estadual de Meio Ambiente estabelece, para áreas rurais não consolidadas, em seu artigo 120, incisos I e II, o mesmo que estabelece o Código Florestal Nacional para faixas de preservação ao longo de corpos d'água.

Os distanciamentos mínimos para APP ao longo de cursos d'água em propriedades com áreas consolidadas são definidos no artigo 121 do código estadual de acordo com o tamanho da propriedade rural e estão apresentados na Tabela 4. Além desses, também são consideradas APP uma faixa mínima de 15m no entorno de nascentes ou olhos d'água perenes. Podendo ser esta alterada de acordo com critérios técnicos definidos pela EPAGRI e respeitando-se as áreas consolidadas. Entre outras áreas discriminadas no texto da lei.

**Tabela 4.** Faixas de proteção em mata ciliar no Código Estadual de Meio Ambiente. Áreas consolidadas.

<b>Tamanho da propriedade (Módulos Fiscais)</b>	<b>Largura do curso d'água</b>	<b>Faixa de APP</b>
≤ 1	qualquer	5m
> 1 e ≤ 2	qualquer	8m
> 2 e ≤ 4	qualquer	15m
> 4 e ≤ 10	até 10m	20m
> 10	-	entre 20m e 100m

Fonte: Código Estadual do Meio Ambiente de Santa Catarina (Lei nº 14.675/2009, alterada pela Lei nº 16.342/2014).

<sup>3</sup> área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvopastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pouso.

No entorno de lagos e lagoas naturais são definidas as faixas de preservação da seguinte maneira:

- a) 5m (cinco metros), para imóveis rurais com área de até 1 (um) módulo fiscal;
- b) 8m (oito metros), para imóveis rurais com área superior a 1 (um) módulo fiscal e de até 2 (dois) módulos fiscais;
- c) 15m (quinze metros), para imóveis rurais com área superior a 2 (dois) módulos fiscais e de até 4 (quatro) módulos fiscais; e
- d) 30m (trinta metros), para imóveis rurais com área superior a 4 (quatro) módulos fiscais.

O Código Sanitário da Secretaria Estadual de Saúde (Lei nº 6.320/1983, regulamentada pelo Decreto nº 24.980/1985, alterado pelo Decreto nº 4.085/2002) dispõe sobre habitação rural e urbana. Determina que o produtor não poderá manter depósito de lixo ou estrume a uma distância menor que 20 metros de qualquer habitação rural. Também determina o distanciamento de 20 metros da área de criação e unidades de armazenamento e/ou tratamento de dejetos, das divisas dos terrenos vizinhos; 15 metros para rodovias federais e estaduais e 10 metros para estradas municipais.

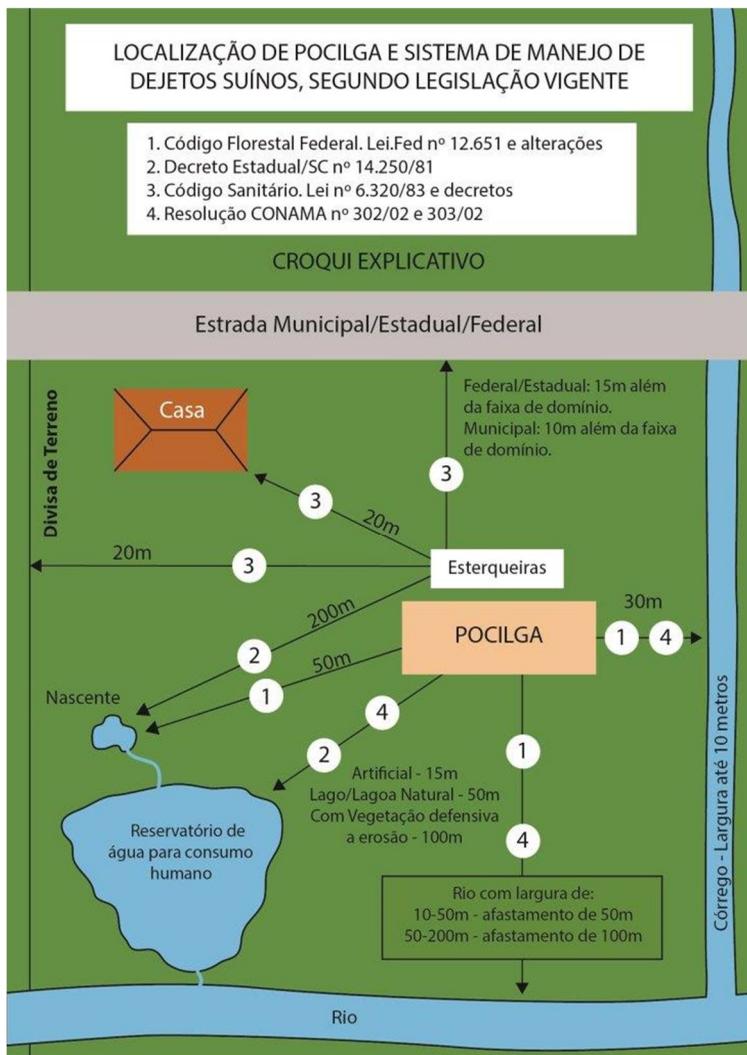
O Decreto Estadual nº. 14.250/81, art. 9º, determina que

as construções de unidades industriais, de estruturas ou de depósitos de armazenagem de substâncias capazes de causar riscos aos recursos hídricos, deverão ser dotados de dispositivos dentro das normas de segurança e prevenção de acidentes, e localizadas a uma distância mínima de 200 (duzentos) metros dos corpos d'água.

E complementa no parágrafo 1º que:

verificada a impossibilidade técnica de ser mantida a distância de que trata este artigo ou de serem construídos dispositivos de prevenção de acidentes, a execução do projeto poderá ser autorizada desde que oferecidas outras medidas de segurança.

Na figura 4, são mostradas as principais distâncias, previstas na legislação para o estado de Santa Catarina, que devem ser observadas para a localização de benfeitorias na propriedade.



**Figura 4.** Distâncias mínimas requeridas para instalação de esterqueiras e pocilgas segundo a legislação vigente no estado de Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de AMARAL et al (2003).

#### 2.2.4.4. Reserva Legal

Reserva Legal (RL) é definida, segundo o Código Florestal Federal (artigo 3º, inciso III), como

área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, delimitada nos termos do art. 12, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa

Assim, o artigo 12 diz que: “*todo imóvel rural deve manter área com cobertura de vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre as Áreas de Preservação Permanente*”. Sendo que a área mínima exigida é de 20% da área da propriedade, exceto para imóveis rurais situados dentro da área da Amazônia Legal, para os quais a lei estabelece outros percentuais.

No estado de Santa Catarina, o Código do Ambiental define no Art. 125 que “*Todo imóvel rural deve manter o percentual mínimo de 20% (vinte por cento) de sua área coberta com vegetação nativa, a título de Reserva Legal, sem prejuízo da aplicação das normas sobre APP*”. Ainda no artigo 125, a Lei estabelece que a área de Reserva Legal “*deve ser conservada com cobertura de vegetação nativa pelo proprietário do imóvel rural, possuidor ou ocupante a qualquer título, pessoa física ou jurídica, de direito público ou privado*”.

A localização das áreas de RL não é estipulada por lei, mas deve levar em consideração os seguintes estudos e critérios:

- I – o plano de bacia hidrográfica;
- II – o Zoneamento Ecológico-Econômico;
- III – a formação de corredores ecológicos com outra Reserva Legal, com APP, com Unidade de Conservação ou com outra área legalmente protegida;
- IV – as áreas de maior importância para a conservação da biodiversidade; e
- V – as áreas de maior fragilidade ambiental.

Além disso, a Reserva Legal será instituída de modo a não inviabilizar atividades agrossilvipastoris já realizadas em áreas rurais consolidadas e, preferencialmente, será localizada em áreas não agricultáveis.

A FATMA apresenta através da Instrução Normativa nº 15 (IN-15), atualizada em janeiro de 2013, as instruções gerais para o procedimento de Averbação da Reserva Legal.

#### 2.2.4.5. Padrão de Lançamento de Efluentes

A Resolução nº 357/2005 do CONAMA (complementada e alterada pela Resolução 430/2011) dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e da outras providências.

Os efluentes de quaisquer fontes poluidoras somente poderão ser lançados direta ou indiretamente no corpo receptor desde que obedeçam às condições e padrões previstos nas normas federais e estaduais. Este despejo não poderá exceder ou modificar a qualidade do curso d'água quanto aos limites estabelecidos para suas respectivas classes. Os parâmetros que não estiverem incluídos na lei deverão obedecer aos padrões que constam na classe pela qual o corpo receptor está enquadrado (CONAMA 357/2005).

No âmbito estadual, a Portaria Estadual nº 24/1979 enquadra nas diferentes classes os cursos d'água do Estado de Santa Catarina. Referente ao lançamento de efluentes há duas principais normatizações: o Decreto nº 14.250/1981, que define, entre outros, a classificação e utilização dos corpos d'água, os padrões de classificação e os padrões de emissão de efluentes líquidos; e a Lei nº 14.675/2009 (16.342/2014) que institui o código Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. Estas, dentre outras determinações, estabelecem que *“os efluentes líquidos não deverão conferir ao corpo receptor características em desacordo com os critérios e padrões de qualidade de água adequados aos diversos usos benéficos previstos para o corpo de água”*.

#### 2.2.4.6. Cadastro Ambiental Rural – CAR

A Lei 12.651/2012, que institui o código florestal nacional, em seu artigo 29, cria o Cadastro Ambiental Rural (CAR), no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (SINIMA), e define:

registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais, com a finalidade de integrar as informações ambientais

das propriedades e posses rurais, compondo base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

Em Santa Catarina o CAR é estipulado pelo artigo 117 do código estadual do meio ambiente (alteração de Lei nº 16.342/2014).

Os proprietários de imóveis rurais deverão inscrever seus imóveis, preferencialmente, no órgão ambiental municipal ou estadual em que se encontram, sendo requeridos para isso:

I - identificação do proprietário ou possuidor rural;

II - comprovação da propriedade ou posse;

III - identificação do imóvel por meio de planta e memorial descritivo, contendo a indicação das coordenadas geográficas, informando a localização dos remanescentes de vegetação nativa, das Áreas de Preservação Permanente, das Áreas de Uso Restrito, das áreas consolidadas e, caso existente, também da localização da Reserva Legal.

Caso a Reserva legal já tenha sido averbada, o proprietário do imóvel fica isento de apresentar documentação referente à averbação.

O cadastramento da propriedade no CAR facilita ao produtor a participação em programas de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente e compensação pelas medidas de conservação ambiental necessárias para o cumprimento dos objetivos da Lei, como: obtenção de crédito agrícola, em todas as suas modalidades, com taxas de juros menores, bem como limites e prazos maiores que os praticados no mercado; contratação do seguro agrícola em condições melhores que as praticadas no mercado; isenção de impostos para os principais insumos e equipamentos utilizados para os processos de recuperação e manutenção das Áreas de Preservação Permanente, de Reserva Legal e de uso restrito; dedução das APP, de Reserva Legal e de uso restrito da base de cálculo do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR, gerando créditos tributários; e outros.

#### 2.2.4.7. Lei de Crimes Ambientais

Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998, dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências.

O artigo 54 define como crime ambiental: “*causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em*

*danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”.*

Segundo Miranda (2005), a lei de crimes ambientais reordena a legislação brasileira no que se refere às infrações e punições. A partir dela, a pessoa jurídica, autora ou coautora da infração ambiental, pode ser penalizada, chegando à liquidação da empresa se ela tiver sido criada ou usada para facilitar ou ocultar crime ambiental. Apesar de sua abrangência, tem sido pouco aplicada em relação à atividade suinícola.

### 2.3. TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DOS DEJETOS ESTUDADAS NA PROPRIEDADE

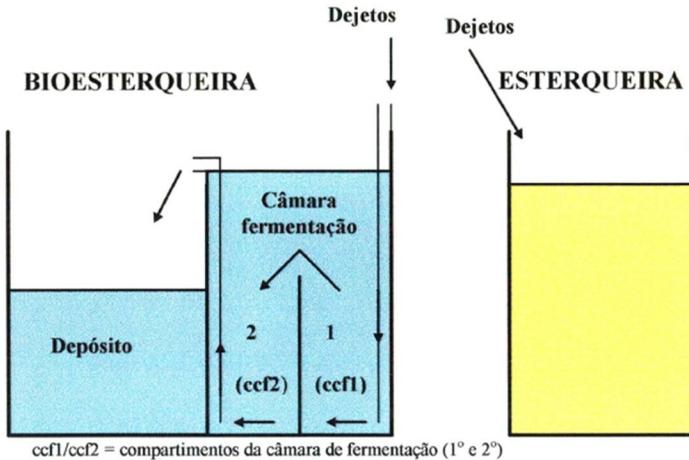
Várias são as tecnologias de tratamento que podem ser utilizadas na suinocultura. O tratamento biológico é uma excelente alternativa devido ao grande teor de matéria orgânica do efluente. Segundo Mohedano (2010), o alto valor da relação DBO/DQO demonstra a elevada biodegradabilidade do dejetos bruto. Neste trabalho, serão citadas apenas as tecnologias utilizadas na propriedade.

A forma mais usual de manejo de dejetos realizada no Brasil é o armazenamento em esterqueiras ou em lagoas para posterior aplicação no solo (KUNZ et al, 2004). Porém, se esses dejetos forem tratados anteriormente a armazenagem e aplicação no solo, tem-se uma diminuição da carga orgânica, possibilitando o aproveitamento dos nutrientes pelas plantas com menor impacto sobre o ambiente.

Nem todo dejetos produzido na propriedade pode ser utilizado na lavoura, devido à quantidade máxima de nutrientes assimiláveis pelas plantas e aos limites de aplicação previstos na legislação (IN-11 para Santa Catarina). Assim, esse excesso de efluente deve ser tratado para se obter condições favoráveis aos padrões de lançamento em corpos hídricos (item 2.2.4.5).

#### 2.3.1. Esterqueiras e Bioesterqueiras

De acordo com Gosmann (1997) a bioesterqueira utilizada em SC é baseada no biodigestor indiano, porém sem captação de biogás. O sistema conta com uma câmara de fermentação com 45 dias de tempo de retenção hidráulica (TRH) e um depósito na sequência para mais 90-120 dias de armazenamento, completando 135-165 dias. Já a esterqueira é constituída de apenas uma câmara, que serve como unidade de estocagem. A Figura 5 apresenta a diferença entre os dois sistemas de armazenamento.



**Figura 5.** Diferença entre as unidades de Bioesterqueira e Esterqueira.  
Fonte: Gosmann (1997).

As esterqueiras não são, na realidade, consideradas unidades de tratamento. De acordo com Miranda (2005), a esterqueira serve apenas para o armazenamento dos dejetos, onde será promovida a fermentação da biomassa e redução dos patógenos presentes. Estas são opções de baixo custo para os produtores que possuem áreas de cultivo suficientes, onde esses resíduos possam ser utilizados como fertilizante orgânico.

Nas esterqueiras e nas bioesterqueiras ocorrem as fases da digestão anaeróbia de forma simultânea e sequencial, respectivamente. Ambas possuem eficiências equivalentes na remoção da matéria orgânica e mantém o valor fertilizante dos dejetos, contudo as esterqueiras possuem um custo de construção em torno de 20% menor (GOSMANN, 1997).

O tempo de armazenamento recomendado para certa estabilização da matéria orgânica e inativação de patógenos é de 120 dias, podendo variar de acordo com algumas condições específicas previstas na legislação vigente (KUNZ et al, 2004).

O tempo de armazenamento ou estocagem é o período em dias, que o efluente permanece na unidade de armazenamento. Pode ser definido como a razão entre o volume total da unidade de armazenamento e o volume produzido ao longo de um período de tempo conhecido. Este tempo varia de acordo com a capacidade suporte do solo e da cultura que receberá o biofertilizante (HENN, 2005). Também

é função do intervalo entre retiradas do dejetos para aplicação nas áreas agrícolas, dependendo do tipo de cultivo. Por exemplo, em áreas que preveem duas aplicações por ano, o tempo de armazenamento deve ser de 180 dias (FATMA, 2014).

De acordo com Kunz et al (2004), as esterqueiras podem ser utilizadas quando o produtor possuir área suficiente (própria ou de terceiros) para aplicação no solo, a qual deve seguir critérios específicos e recomendações agronômicas<sup>4</sup>.

As esterqueiras, tanto quanto lagoas, devem ser impermeabilizadas com revestimento interno, que podem ser PVC ou PEAD ou ainda argamassa para o caso de tanques construídos com alvenaria de tijolos ou pedras. Porém, estes últimos são susceptíveis a rachaduras, que podem ocasionar vazamento e contaminação ambiental (KUNZ et al, 2004).

Ainda segundo Kunz et al (2004), a utilização de esterqueiras para armazenagem de dejetos deve ser acompanhada de algumas alterações no manejo e instalações da granja como: uso de bebedouros que diminuam o desperdício de água, um plano de manejo de dejetos, ações para redução da entrada de água de chuva nas canaletas e nas próprias esterqueiras, além de um plano agronômico para disposição dos dejetos no solo.

### **2.3.2. Biodigestor**

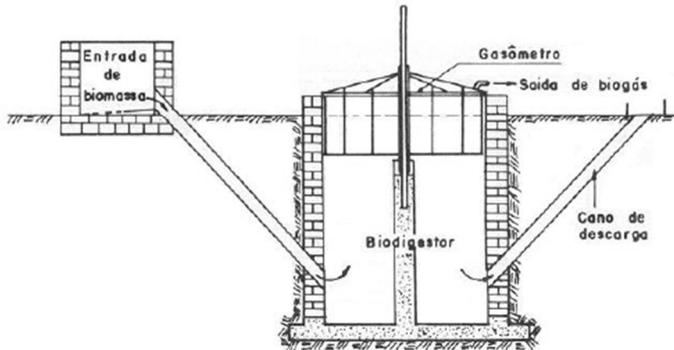
O biodigestor é um reator biológico que degrada a matéria orgânica (biomassa) em condições anaeróbias (ausência de oxigênio), produzindo um efluente líquido (biofertilizante) e gerando o biogás (KUNZ, HIGARASHI e OLIVEIRA, 2005).

Os biodigestores trabalham com dois tipos de regime hidráulico, o biodigestor em batelada e o contínuo. No Brasil, o modelo Indiano (Figura 6) foi o mais difundido pela sua simplicidade e funcionalidade. Atualmente, o modelo Lagoa Anaeróbia Coberta (Figura 7) com cobertura de lona de PVC tem sido bastante utilizado em virtude dos menores custos e facilidade de implantação. A vantagem do processo de digestão está na produção constante de biogás, que está relacionado com a carga diária de sólidos voláteis (OLIVEIRA, 2004).

---

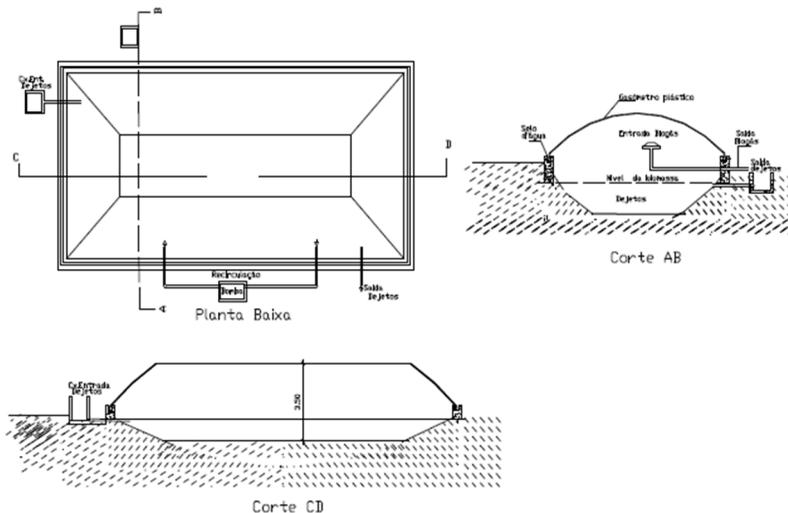
<sup>4</sup> Em Santa Catarina, a Instrução Normativa nº11 da Fundação do Meio Ambiente determina taxas de aplicação em função de análises de solo, necessidade nutricional da cultura a ser adubada, concentração de nutrientes e índice de eficiência agronômica dos nutrientes para cada tipo de fertilizante orgânico.

Independente do modelo utilizado, segundo Henn (2005), a principal finalidade de um biodigestor é a estabilização da matéria orgânica através dos processos da digestão anaeróbia. Porém, estes também são empregados com a finalidade de produção de biogás, eliminação de microrganismos patogênicos, valorização de efluente para a lavoura (no caso de dejetos de suínos) e redução de odores.



**Figura 6.** Biodigestor tipo indiano.

Fonte: Nogueira (1986) citado por Henn (2005).



**Figura 7.** Lagoa anaeróbia coberta.

Fonte: Oliveira e Higarashi (2006).

Apesar dos avanços obtidos no país a respeito do conhecimento do processo de digestão anaeróbia, da tecnologia de construção e de

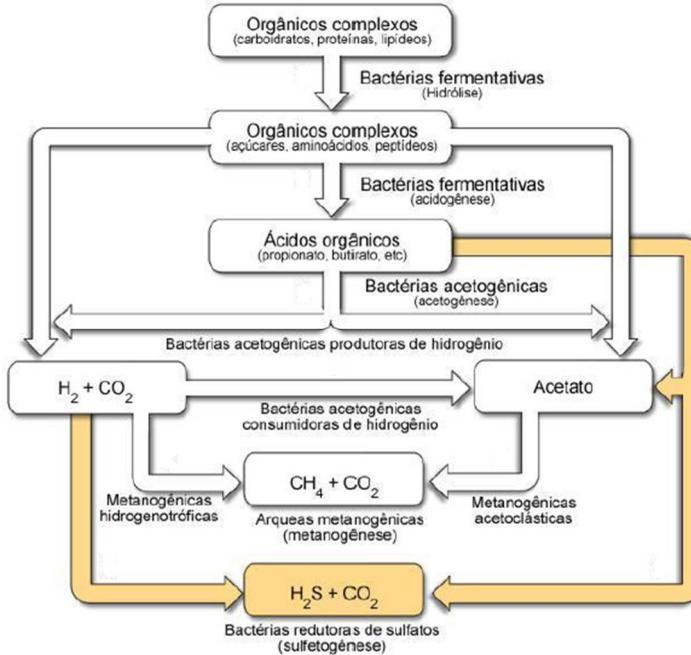
operação de biodigestores, da redução dos custos de investimento e de manutenção, ainda existem problemas na utilização da tecnologia. Falta a disponibilidade de equipamentos específicos para o biogás, principalmente aquecedores, que poderiam substituir os sistemas convencionais desenvolvidos para o gás liquefeito de petróleo (GLP) ou a lenha (PERDOMO, et al. 2003; OLIVEIRA, 2004 apud OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

Conforme Oliveira (2004), o uso de biogás como combustível, no meio rural em Santa Catarina, tem como modelo de produção os biodigestores mais simples. Estes são depósitos semelhantes às esterqueiras, diferenciando-se apenas por possuírem cobertura para armazenar o biogás gerado pelo processo de digestão anaeróbia.

Em relação ao processo de digestão anaeróbia, embora seja simplificada como de duas fases (acidogênica e metanogênica), este pode ser dividido em várias rotas metabólicas, com a participação de diversos grupos microbianos, cada um com um comportamento fisiológico diferente, sendo eles: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese (CHERNICHARO, 1997).

De acordo com Belli Filho (1995), a utilização da digestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos é importante, pois preserva seu poder fertilizante.

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, envolvendo processos metabólicos complexos, que ocorrem em etapas sequenciais (Figura 8) e que dependem da atividade de, no mínimo, três grupos fisiológicos de microrganismos: i) bactérias fermentativas (ou acidogênicas); ii) bactérias sintróficas (ou acetogênicas); e iii) microrganismos metanogênicos. Cada grupo microbiano tem suas funções específicas (CHERNICHARO, 1997). Os microrganismos asseguram a energia e os nutrientes necessários para o seu próprio crescimento e reprodução. (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).



**Figura 8.** Rotas metabólicas da Digestão Anaeróbica com redução de sulfato. Fonte: Chernicharo (1997), adaptado de Lettinga et al (1996).

### 2.3.2.1. Parâmetros Operacionais e Condições do Meio

A operação de um biodigestor está ligada à sequência de transformações metabólicas do processo de digestão, bem como de uma série de fatores que interferem no processo, entre os quais, temperatura, pH, concentrações de sólidos e composição do substrato (OLIVEIRA; HIGARASHI, 2006).

#### a) Temperatura

A temperatura é um fator determinante para a produção gasosa e eficiência do tratamento na digestão anaeróbica (BELLI FILHO, 1995).

Dos fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies, pois a temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura do ambiente em que se encontra (HENN, 2005).

Em função da temperatura ótima de cada tipo de microrganismo envolvido no processo de digestão, esta se divide em três fases (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010):

- Faixa psicrófila: de 0°C a aproximadamente 20°C: embora dispense o aquecimento do substrato e do biodigestor, a digestão nesta faixa se caracteriza pela lenta decomposição e reduzida produção de gás.
- Faixa mesófila: de 20°C a aproximadamente 45°C: a maioria dos microrganismos metanogênicos apresenta picos de crescimento em faixas mesofílicas entre 37 e 42°C. Essa faixa de temperatura permite rendimentos relativamente elevados na produção de gás e proporciona uma boa estabilidade do processo.
- Faixa termófila: acima de 45°C: a fermentação com culturas termofílicas é adequada em processos que requerem o extermínio de germes nocivos pela higienização do substrato, ou que utilizam como matéria-prima substratos com temperaturas intrinsecamente elevadas (por exemplo, águas residuárias). A faixa de temperatura ideal de tais culturas é de 50 a 60°C

A influência da temperatura afeta diretamente as velocidades das reações químicas. Segundo Lagrange (1979) citado por Dal Mago (2009), a atividade enzimática das bactérias é estritamente dependente da temperatura. Próximo a 10°C a atividade enzimática é fraca, e acima dos 65°C as enzimas são desnaturadas pelo calor.

Assim, Belli Filho (1995), em seu estudo com dejetos de suínos, afirma que as condições ótimas para a digestão anaeróbia são obtidas na faixa mesófila, entre 30°C e 35°C.

O que se percebe na prática, no entanto, é que não há limites rígidos entre as diferentes faixas de temperatura. Variações bruscas de temperatura podem prejudicar os microrganismos, por outro lado, os microrganismos metanogênicos são capazes de se adaptar a diferentes níveis de temperatura quando a sua variação é lenta. Por isso, a estabilidade do processo depende muito mais da constância da temperatura do que do seu valor absoluto em si (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

Nesse contexto, Chernicharo (1997) afirma que uma variação suportável usual em um reator é de cerca de 2°C por dia, confirmando

ser essencial a manutenção da temperatura uniforme dentro do reator, visto que mudanças bruscas de temperatura pode provocar um desbalanceamento entre as duas maiores populações microbianas e a consequente falha do processo.

#### *b) Valor de pH*

Assim como a temperatura, o pH também possui faixas ideais para cada microrganismo envolvido nos diversos estágios de decomposição anaeróbia.

No caso das bactérias hidrolíticas e acidogênicas, o pH ideal é de 5,2 a 6,3. Estas bactérias, porém, não dependem estritamente dessa faixa e são capazes de transformar o substrato mesmo na presença de valores de pH levemente elevados, sendo a sua atividade apenas ligeiramente diminuída. Já as bactérias acetogênicas e as arqueas metanogênicas, por outro lado, dependem inteiramente de um pH neutro entre 6,5 e 8. Portanto, processos de fermentação realizados em apenas um biodigestor devem respeitar essa faixa de pH (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

O valor e a estabilidade do pH no reator anaeróbio são extremamente importantes. Uma taxa elevada de metanogênese só pode se desenvolver se o pH se mantiver em uma faixa estreita, perto do valor neutro. Caso o pH atinja um valor menor que 6,3 ou superior a 7,8 a taxa de metanogênese diminui rapidamente. Porém, o pH no digestor automaticamente adquire um valor na faixa ótima, sem que haja necessidade de adição de um alcalinizante. Isto se deve à capacidade de tamponamento do sistema ácido/base mais importante no digestor: o sistema carbônico (VAN HAANDEL, 1994 apud HENN, 2005).

#### *c) Nutrientes*

Cada espécie de microrganismo envolvido na decomposição anaeróbia tem uma necessidade própria de vitaminas, e de micro e macronutrientes. A disponibilidade e a concentração desses nutrientes é que irão condicionar a taxa de crescimento e a atividade das diversas populações microbianas (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

Segundo Lagrange (1979), citado por Dal Mago (2009), as condições para o crescimento celular exigem substâncias que fazem parte da estrutura molecular das células, sendo as principais: carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre. Outras substâncias como cálcio, magnésio,

ferro, zinco e potássio também são requeridas, além de outros elementos-traço.

Devido à grande diversidade de culturas (em parte caracterizada pela excepcional capacidade adaptativa), os limites máximo e mínimo de concentração típicos de cada espécie são difíceis de definir. Porém, a proporção adequada entre macro e micronutrientes é um pré-requisito para a estabilidade do processo. Desta forma, de acordo com Chernicharo (1997), os requisitos de nutrientes são determinados com base na composição empírica das células microbianas. A seguir, na Tabela 5, é apresentada a composição química das bactérias metanogênicas.

**Tabela 5.** Composição química das bactérias metanogênicas.

<b>Macronutrientes</b>		<b>Micronutrientes</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Concentração (g/kg SST)</b>	<b>Elemento</b>	<b>Concentração (mg/kg SST)</b>
Nitrogênio	65	Ferro	1800
Fósforo	15	Níquel	100
Potássio	10	Cobalto	75
Enxofre	10	Molibdênio	60
Cálcio	4	Zinco	60
Magnésio	3	Manganês	20
		Cobre	10

Fonte: LETTINGA et al., 1996 apud CHERNICHARO, 1997.

Segundo Friehe, Weiland e Schattauer (2010), um parâmetro importante de dimensionamento do biodigestor é o tempo de retenção hidráulica (TRH), que representa o tempo médio que um substrato permanece dentro do reator. Deve ser dimensionado conforme a matéria orgânica presente no substrato, a temperatura e o grau de degradação que se deseja. Dividindo-se o volume do reator pelo volume de substrato introduzido diariamente tem-se o valor de TRH expresso em dias.

Por vezes, observa-se a separação do conteúdo e a formação de um substrato heterogêneo em virtude da diferença de densidade entre as várias substâncias que o compõe, e do empuxo provocado pelo desprendimento de gás da massa líquida. Por isso, é importante promover o contato entre os microrganismos e o substrato por meio da agitação no biodigestor, o que promove maior eficiência na digestão e um nível de produção mais elevado de biogás (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

### 2.3.3. Lagoas de Lemnas

As lagoas de lemnas são uma configuração de lagoas de estabilização utilizadas no tratamento de diversos tipos de efluentes orgânicos. São caracterizadas por serem cobertas por um tipo predominante de macrófita aquática conhecida popularmente como lemna, ou lentilha d' água. Estas plantas pertencem à subfamília *Lemnoideae*, um grupo com cerca de 40 espécies, dentre as quais muitas são nativas do Brasil (Figura 9). Possuem como habitat natural os ecossistemas alagados de água doce, sendo encontradas na superfície de águas paradas, como lagoas, pântanos, canais de drenagem e açudes (MOHEDANO, 2010).



**Figura 9.** Exemplo de uma lagoa de lemnas utilizada para tratamento de dejetos suíno e detalhes da planta aquática (lemna) da espécie *Landoltia punctata*. Fonte: Mohedano (2010).

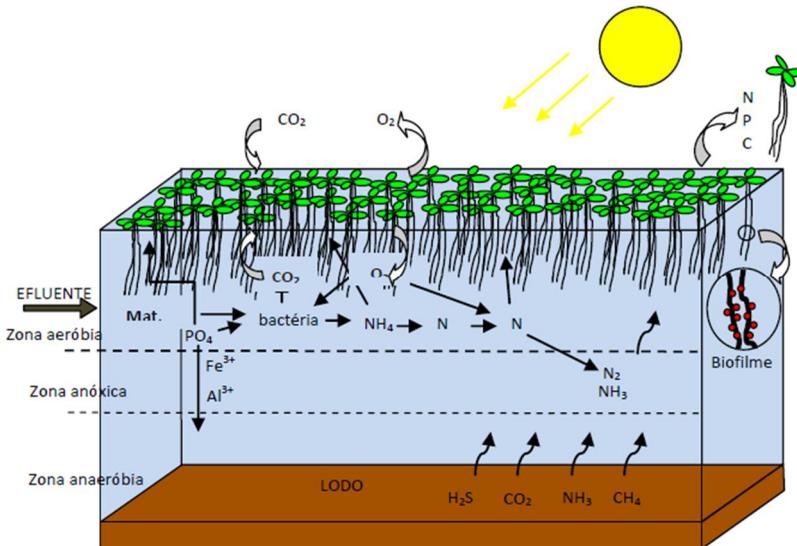
Lagoas de Lemnas tem sido utilizadas com sucesso para o polimento de dejetos de suínos, principalmente para remoção de nutrientes, gerando uma biomassa com alto teor de proteína (MOHEDANO et al, 2012).

A utilização destas plantas em lagoas de tratamento tem como principal objetivo reduzir o potencial de poluição ambiental de diversos tipos de efluentes. Sua eficiência no tratamento deve-se, principalmente, a alta taxa de crescimento associada com a elevada capacidade de remoção de nutrientes (como nitrogênio, fósforo e potássio) e metais pesados (como zinco, cobre, etc). A grande vantagem deste vegetal sobre as outras espécies utilizadas em tratamento de efluentes, como o aguapé, é a produção de uma biomassa com elevado valor nutricional, podendo chegar a mais de 40% de proteína bruta. Deste modo, além de reduzir a carga poluidora – aproveitando o potencial nutriente de efluentes orgânicos – as lemnáceas podem amenizar o custo de produção na criação de animais pela geração de um alimento proteico a ser utilizado para a formulação de rações (MOHEDANO, 2010).

Segundo Mohedano (2010), as lemnáceas são plantas exigentes na absorção de nitrogênio. A disponibilidade desse nutriente é indispensável para o seu metabolismo, sendo que até 50% da remoção de nitrogênio em lagoas é devida a incorporação direta na biomassa das plantas.

Já a remoção de fósforo, segundo diversos autores citados por Mohedano (2010), é de 5 a 10 vezes menor que a remoção de nitrogênio. A assimilação direta pela biomassa é a principal via de remoção, ocorrendo também adsorção por partículas de argila e de matéria orgânica, precipitação química com  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  e assimilação pelas bactérias. Devido à ausência de componentes voláteis, a precipitação química e a assimilação pelas bactérias causam um acúmulo de P no sistema, cuja remoção somente é possível através da coleta das plantas da superfície ou dragagem do solo (IQBAL, 1999).

Um esquema dos mecanismos de remoção de nutrientes pode ser visto na Figura 10 a seguir.



**Figura 10.** Representação dos processos que ocorrem durante o tratamento de efluentes, em lagoas com lêmnicas. Fonte: Mohedano (2010).

## 2.4. VALORIZAÇÃO DOS SUBPRODUTOS

### 2.4.1. Biogás

Como o próprio nome diz, o biogás é originado por um processo biológico que nada mais é que uma mistura gasosa retirada através da decomposição da matéria orgânica por meio de digestão anaeróbia. Esse processo pode ser encontrado facilmente em pântanos, fundos de lagos, esterqueiras e até mesmo no rúmen de animais ruminantes. Boa parte da matéria orgânica é transformada em biogás através de diversos microrganismos, além de produzir também nova biomassa e energia em forma de calor (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

Atualmente, a geração de energia a partir do biogás é de suma importância devido a dois fatores de risco para o meio ambiente e para a sociedade em geral: A emissão de gases do efeito estufa (GEE) e a segurança no suprimento de energia. Neste contexto, o biogás é considerado uma fonte de energia renovável versátil, que pode ser usada em substituição a combustíveis fósseis na produção de energia elétrica e calor e também como combustível para veículos movidos a gás.

#### 2.4.1.1. Propriedades do Biogás

De acordo com Friehe, Weiland e Schattauer (2010), o biogás é formado basicamente de metano e dióxido de carbono, mas pode conter ainda pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases traço. A sua composição é influenciada principalmente pelos substratos utilizados, pela técnica de fermentação e pelas diferentes tecnologias de construção de usinas.

Segundo Weiland (2009), a produção de biogás através de digestão anaeróbia oferece significantes vantagens sobre outras formas de produção de bioenergia. Essa tecnologia tem sido avaliada como uma das mais eficientes e benéficas ao meio ambiente na produção de bioenergia. A geração de energia através do biogás reduz drasticamente a emissão de GEE – comparada aos combustíveis fósseis – utilizando recursos disponíveis localmente. O substrato digerido é um fertilizante aprimorado em termos de sua disponibilidade para a lavoura, e pode substituir fertilizantes minerais.

Segundo Oliveira e Higarashi (2006), citando La Farge (1995), a presença de vapor d'água, CO<sub>2</sub> e gases corrosivos (H<sub>2</sub>S) se torna o principal problema no armazenamento do biogás “in natura”, e na produção de energia. Equipamentos como motores à combustão, geradores, bombas e compressores têm vida útil extremamente reduzida devido a esses componentes. A remoção desses e outros elementos através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem é imprescindível para a viabilidade de uso em longo prazo. Na indústria brasileira, o desenvolvimento de equipamentos para o uso com biogás é ainda muito pequeno, é preciso investir no desenvolvimento de equipamentos, materiais e serviços adequados e confiáveis para os produtores.

#### 2.4.1.2. Produção de Biogás

A quantidade de biogás gerada em uma usina depende sobretudo da composição do substrato utilizado e através da sua quantidade pode-se estimar o seu rendimento (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010). Segundo Oliveira (2005), a produção de biogás é estimada pela temperatura de operação do biodigestor e alguns outros fatores como a diluição dos dejetos em função do manejo de água na propriedade (limpeza das baias, tipo de bebedouro, desperdício, água da chuva e outros).

Conforme Lucas Jr (1994), La Farge (1995) e CCE (2000), citados por Oliveira (2005), o teor de matéria seca (MS) e/ou Sólidos Totais (ST) presentes nos dejetos determina o seu grau de diluição. Os Sólidos Voláteis (SV) são os responsáveis diretos pela produção de biogás e, no caso de dejetos suínos, representam de 70 a 75% da quantidade de ST. Uma maior concentração de SV na alimentação do biodigestor proporcionará maior eficiência na produção de biogás.

O teor de matéria seca no biodigestor influencia na produtividade do gás. Mas, apesar de se buscar concentrações elevadas, quando em grande quantidade, dificulta o transporte do substrato devido à baixa fluidez e com isso os microrganismos conseguem decompor apenas os compostos com o qual entram em contato. Além disso, teores de MS acima de 40% podem causar a suspensão da fermentação em virtude da baixa quantidade de água necessária para os microrganismos (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

Ainda segundo os mesmos autores, o aumento da temperatura acarreta na aceleração dos processos de decomposição, porém até um determinado limite, pois depois de excedida a temperatura máxima as bactérias são prejudicadas e resulta em um efeito contrário.

A seguir, apresenta-se na Tabela 6 a produção específica de biogás e o teor de metano dos respectivos grupos de substâncias.

**Tabela 6.** Produção de biogás específica e teor de metano dos respectivos grupos de substâncias.

<b>Substância</b>	<b>Produção de biogás (l/kg MOS)</b>	<b>Teor de metano (% em vol.)</b>
Proteína digestível (PB)	700	71
Gordura digestível (EE)	1.250	68
Carboidratos digestíveis (FB + ENN)	790	50

PB: proteína bruta; EE: extrato etéreo; FB: fibra bruta; ENN: extratos não nitrogenados. Fonte: Friehe, Weiland e Schattauer (2010).

De acordo com a tabela acima cada um dos grupos de elementos se diferencia por um teor de metano próprio e uma produção de gás característica que resultam das diferentes frações relativas de carbono. Entretanto outros fatores como o tempo de retenção dos substratos no biodigestor, a concentração de ácidos graxos e eventuais substâncias inibidoras são fatores que influenciam na produtividade de biogás que se pode alcançar (FRIEHE, WEILAND & SCHATTAUER, 2010).

Oliveira (2005) recomenda uma alimentação diária de 55 a 65 kg/m<sup>3</sup> de SV e uma temperatura da biomassa entre 35 e 40°C para maior produção de biogás e maior eficiência na redução da matéria orgânica do substrato.

Dal Mago (2009), em estudos de regionalização da produção de biogás, estimou uma produção de 15 milhões de m<sup>3</sup> biogás/ano para o município de Braço do Norte, com 9 milhões de m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> no mesmo período. Para o município de Concórdia, a capacidade de produção calculada é 36 milhões de m<sup>3</sup> biogás/ano e 20 milhões de m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano. Já para o estado de Santa Catarina foi estimado um volume de 556 milhões de m<sup>3</sup> biogás/ano e 309 milhões de m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ano.

#### 2.4.1.3. Geração de Energia

Segundo Oliveira (2012), a possibilidade de utilização do biogás para geração de energia térmica e elétrica agrega valor ao dejetos, diminuindo seus custos com tratamento. Em seu estudo sobre a produção de suínos em sistemas sustentáveis, o autor afirma que a demanda e o preço da energia necessária para atender o consumo nas atividades produtivas são os fatores determinantes na viabilidade econômica da geração de energia elétrica com o uso do biogás. Os benefícios calculados em sua análise resultam na economia do produtor com a energia que deixa de comprar da concessionária ou na renda obtida com a comercialização da energia gerada na propriedade.

Além da geração de energia elétrica e térmica, o metano também pode ser vendido como combustível em tanques ou injetado na rede de gás natural, abastecendo postos de combustível e/ou usuários finais.

Segundo Coldebella et al (2008), o metano – em condições normais de temperatura (0°C) e pressão (1 atm) – tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m<sup>3</sup>. Já o biogás, com teor de metano entre 50% e 80% apresenta PCI entre 4,95 kWh/m<sup>3</sup> e 7,92 kWh/m<sup>3</sup>.

A seguir, na Tabela 7, são apresentadas algumas relações de equivalência energética entre o biogás e outras fontes de energia, segundo diferentes autores.

**Tabela 7.** Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia.

Fontes	Ferraz & Mariel (1980)	Sganzerla (1983)	Nogueira (1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene (L)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,80	-
Carvão M. (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,50	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

Fonte: Coldebella et al (2008).

Em estudo sobre eficiência energética em uma granja de suínos do tipo unidade de terminação, Angonese et al (2005), determinaram uma eficiência de 0,38 ( $J_{saída}/J_{entrada}$ ). Da energia direta de saída, 56,8% se referem aos suínos para abate e os outros 43,2% estão relacionados com os resíduos, sendo 30,2% referente ao biofertilizante e 13% referente ao biogás. Ou seja, esta é uma fonte de energia disponível que atualmente é desperdiçada na maioria das propriedades suinícolas.

Lindemeyer (2008) verificou a viabilidade econômica e financeira da geração distribuída baseada no biogás gerado pela produção de suínos. Segundo o autor,

os benefícios do biogás associados à estrutura e a conjuntura favorável à inserção da bioeletricidade no setor elétrico brasileiro (SEB) abrem uma janela de oportunidade para a inserção da bioenergia em maior escala na matriz elétrica brasileira.

Gomes (2009) verificou um potencial de geração de energia na bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito de 5,2MW a 7,7MW para tratamento descentralizado, o que corresponderia à alimentação de 528 a 774 residências com um consumo padrão de 300kW/mês. Considerando um tratamento centralizado, essa capacidade subiria para 9,7MW a 14,3MW. É preciso considerar, porém, a redução de 27% do rebanho de suínos na região de Braço do Norte, segundo dados dos relatórios da Produção da Pecuária Municipal de 2009 e de 2013 do IBGE.

Na Tabela 8 é mostrado o consumo de biogás de alguns aparelhos utilizados com frequência.

**Tabela 8.** Consumo de biogás por aparelho.

<b>Aparelho</b>	<b>Aisse &amp; Obladem (1982)</b>	<b>Metalúrgica Jackwal Ltda (1983)</b>
Lampião (100 velas)	0,12 m <sup>3</sup> /h	0,13 m <sup>3</sup> /h
Fogão	0,33 m <sup>3</sup> /pessoa·dia	0,32 m <sup>3</sup> /h
Forno (fogão doméstico)	-	0,44 m <sup>3</sup> /h
Geladeira (média)	-	2,2 m <sup>3</sup> /dia
Chuveiro	0,8 m <sup>3</sup> /banho	0,8 m <sup>3</sup> /banho
Incubadora	0,71 m <sup>3</sup> /h	0,60 m <sup>3</sup> /h
Campânula	-	0,162 m <sup>3</sup> /h
Motor Combustão Interna	0,45 m <sup>3</sup> /HP·h	0,45 m <sup>3</sup> /HP·h
Produção de eletricidade	0,62 m <sup>3</sup> /kWh	-

Fonte: Coldebella et al (2008).

O uso de geradores de eletricidade é estabelecido por normas técnicas específicas no Brasil e já são conhecidos há muito tempo (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006). No entanto, uma série de entraves precisam ser solucionados para a promoção do uso do biogás na geração distribuída de energia, entre os quais, a instabilidade regulatória, a indefinição tributária no mercado de carbono e de energia elétrica e a falta de estrutura de apoio aos suinocultores (LINDEMEYER, 2008).

#### **2.4.2. Uso dos Dejetos como Biofertilizante**

O destino final dos dejetos de suínos é seu aproveitamento como biofertilizante em lavouras, pastagens, pomares e reflorestamentos, sendo que a concentração de nutrientes nos dejetos é extremamente importante para a viabilidade econômica do uso (OLIVEIRA & NUNES, 2006).

De acordo com Gosmann (1997), é indispensável o uso dos dejetos suínos em propriedades suinícolas, uma vez que este dejetos possui os principais elementos fertilizantes e é um recurso renovável, podendo proporcionar o aumento da produtividade agrícola e da renda do produtor. A alimentação representa grande parte do custo final do suíno produzido, contudo, a conversão efetiva da ração em crescimento

e ganho de peso atinge uma média de 40 a 60%, sendo o restante eliminado nos dejetos (KONZEN, 2003).

Conforme a Instrução Normativa nº 11 (FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA, 2014):

A aplicação de fertilizantes orgânicos ao solo visando a sua reciclagem na adubação de culturas agrícolas, florestais e outras, deve seguir as recomendações agronômicas vigentes e estabelecidas pelo Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004) e suas atualizações, com taxas de aplicação determinadas em função da análise de solo realizada em laboratório credenciado pela Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (ROLAS), necessidade nutricional da cultura a ser adubada, concentração de nutrientes e índice de eficiência agronômica dos nutrientes para cada tipo de fertilizante orgânico.

Apesar de proporcionar grande potencial de produção agrícola, caso a utilização do fertilizante orgânico seja feita sem os critérios técnicos adequados, poderá provocar redução na produtividade e impactos negativos ao ambiente. A recomendação do uso destes insumos deve sempre estar respaldada por profissional que detenha formação qualificada (CORRÊA et al, 2011).

Quando presente em elevados níveis no solo, o nitrogênio pode contribuir para a contaminação ambiental. As aplicações excessivas e contínuas de N via dejetos podem causar seu acúmulo em formas biodisponíveis no solo, principalmente na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), consequência da mineralização do N orgânico e da nitrificação da amônia ( $\text{NH}_3$ ) (BENEDET et al, 2013).

De acordo com o teor de sólidos nos dejetos líquidos é possível estimar sua composição em relação à concentração de nutrientes. Segundo Konzen (2003) a maioria dos criatórios suínocolas produzem dejetos líquidos com sólidos que variam de 1,7% a 3,0%. A Tabela 9 mostra valores de concentração média de nutrientes relacionados ao teor de sólidos dos dejetos.

**Tabela 9.** Conteúdo médio de nutrientes (NPK) dos dejetos de suínos, de acordo com o teor de sólidos.

Nutrientes (kg/m <sup>3</sup> )	Sólidos					
	0,72%	1,63%	2,09%	2,54%	3,46%	4,37%
Nitrogênio	1,29	1,91	2,21	2,52	3,13	3,75
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,83	1,45	1,75	2,06	2,68	3,29
K <sub>2</sub> O	0,88	1,13	1,25	1,38	1,63	1,88
NPK	3,00	4,49	5,21	5,96	7,44	8,92

Fonte: Miranda et al (1999) apud Konzen (2003)

No campo, utilizando-se o método expedito, é possível determinar a densidade dos dejetos com um densímetro. A densidade obtida permite estimar o nível de nutrientes dos dejetos e calcular a dose adequada a ser aplicada para uma determinada cultura. Com o valor da densidade, obtêm-se uma estimativa das características químicas dos dejetos analisados por meio de uma Tabela de Conversão (Anexo A) (ZAMPARETTI; GAYA, 2004).

Segundo Silva Jr., Zamparetti e Moss (2006), a adubação orgânica com dejetos de suínos é um recurso essencial nas propriedades rurais. Possibilita substituir a adubação química, o que reduz os custos de produção e aumenta a margem de lucro para os produtores, requisitos fundamentais para a sustentabilidade econômica da suinocultura. Porém, os autores afirmam que:

o que se observa nas regiões produtoras é o uso indiscriminado dos dejetos sem critério algum, extrapolando muitas vezes a capacidade de suporte do solo em receber esses dejetos, causando poluição do ar, das águas superficiais e subterrâneas, do próprio solo, e também toxidez para as plantas, uma vez que as mesmas não conseguem absorver a grande quantidade de nutrientes aplicada. Para uma utilização adequada dos dejetos como fertilizante, com o mínimo risco de poluição, não basta apenas levar em conta a sua composição. Faz-se também necessário um estudo adequado do solo envolvendo análises físicas e químicas, para verificar a sua composição, a determinação de sua classe de uso, aptidão e a necessidade nutricional da cultura que será implantada (SILVA JR., ZAMPARETTI & MOSS, 2006).

Nesse contexto, Oliveira (2012), a partir de dados do levantamento Agropecuário Catarinense (LAC), considerando a quantidade de dejetos produzidos por propriedades suínolas em Santa Catarina e a área necessária para o uso desses dejetos como fertilizante orgânico de acordo com a IN-11 da FATMA<sup>5</sup> gerou o Índice de Pressão Ambiental (IPA) para a suinocultura do estado. Tendo como referência produtores do grupo denominado *agronegócio*<sup>6</sup>, o Índice de pressão ambiental foi calculado pela diferença entre a Superfície Agrícola Útil (SAU), usada para aplicação de dejetos na propriedade, e a Superfície Necessária para Aplicação do Dejetos (SNAD), ou seja:

$$IPA(ha) = SAU - SNAD$$

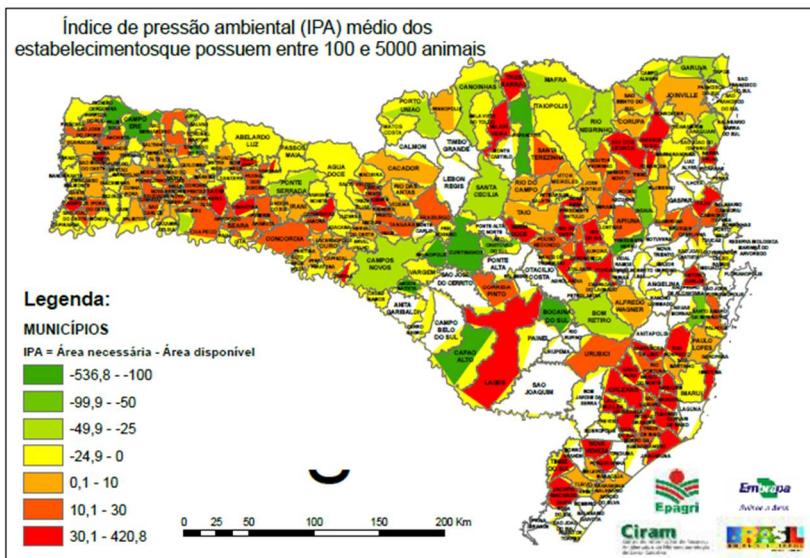
Se IPA for positivo então todo o dejetos produzido pode ser usado na própria propriedade como adubo orgânico. Essas propriedades além de atenderem a legislação podem ser indicadas para a expansão da suinocultura. Se IPA for zero a propriedade ainda atende a legislação, mas o limite de produção e utilização do adubo orgânico foi atingido. Se IPA for negativo então tais propriedades estão fora da legislação, uma vez que teriam que buscar uma área igual ao valor absoluto de IPA obtido (OLIVEIRA, 2012).

O resultado pode ser observado na Figura 11, a qual apresenta a distribuição espacial do IPA em Santa Catarina. É possível visualizar a falta de área para o uso dos dejetos como fertilizante orgânico nas regiões produtoras de suínos.

---

<sup>5</sup> Anterior à revisão de 2014, considerando 50m<sup>3</sup>/ha.ano.

<sup>6</sup> Grupo de produtores que possuem na propriedade um efetivo de suínos entre 100 e 5.000 animais. Representa 80,5% da atividade econômica e 75,6% do volume de dejetos produzidos.



**Figura 11.** Índice de Pressão Ambiental (IPA) médio dos estabelecimentos que possuem entre 100 e 5000 animais. Fonte: Oliveira (2012).

### 2.4.3. Biomassa de Lemnas

Como foi dito anteriormente, o tratamento de efluentes com lagoas de lemnas gera a produção de uma biomassa com elevado valor nutricional, podendo chegar até 40% de proteína.

De acordo com Iqbal (1999), a produtividade das lemnas pode variar de 10 a 30 ton/ha/ano de matéria seca. As variações devem-se a fatores como: espécie, condições climáticas, superfície de cultivo, disponibilidade de nutrientes e manejo. Assumindo uma produtividade anual de 17,6 ton/ha/ano com um nível protéico de 37% na matéria seca, a produção de proteína por hectare das lemnas é maior que a maioria dos vegetais cultiváveis e cerca de 10 vezes maior que a soja.

Tavares (2004) concluiu em seus estudos que as lemnas proporcionaram satisfatórios ganhos de peso e podem ser usadas na dieta de tilápias em um nível de inclusão de até 50% na quantidade de ração, com reduções de custos de produção de até 35%.

## 2.5. RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

Área degradada é aquela que sofreu, em algum grau, perturbações em sua integridade, sejam elas de natureza física, química ou biológica.

A recuperação de áreas degradadas está intimamente ligada à ciência da restauração ecológica. Restauração ecológica é o processo de auxílio ao restabelecimento de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído. Um ecossistema é considerado recuperado – e restaurado – quando contém recursos bióticos e abióticos suficientes para continuar seu desenvolvimento sem auxílio ou subsídios adicionais (BRASIL, 2015).

A Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000<sup>7</sup>, em seu art. 2º, distingue, para seus fins, um ecossistema “recuperado” de um “restaurado”, da seguinte forma (Art. 2º, incisos XIII e XIV respectivamente):

- *“Recuperação: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”;*
- *“Restauração: restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada o mais próximo possível da sua condição original”.*

A Instrução Normativa nº 04 do MMA (IBAMA) estabelece procedimentos para elaboração de Projeto de Recuperação de Área Degradada – PRAD ou Área Alterada, para fins de cumprimento da legislação ambiental. Em seu artigo 1º, §2º estipula que:

O PRAD deverá reunir informações, diagnósticos, levantamentos e estudos que permitam a avaliação da degradação ou alteração e a consequente definição de medidas adequadas à recuperação da área, em conformidade com as especificações dos Termos de Referência constantes nos Anexos desta Instrução Normativa.

O PRAD deve *“informar os métodos e técnicas a serem empregados de acordo com as peculiaridades de cada área, devendo ser utilizados de forma isolada ou conjunta, preferencialmente aqueles*

---

<sup>7</sup> Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

*de eficácia já comprovada*”, além de propor medidas que assegurem a proteção das áreas degradadas de quaisquer fatores que possam dificultar ou impedir o processo de recuperação. Atenção especial à proteção e conservação do solo e dos recursos hídricos também é um quesito necessário para a realização de um plano de recuperação eficiente.

Em Santa Catarina, o projeto de recuperação de áreas degradadas deverá conter informações mínimas e documentações especificadas na Instrução Normativa nº 16 da FATMA.

De acordo com Sparovek et al (2010), citado por Brasil (2015) em website do Ministério do Meio Ambiente, estima-se que o Brasil possua um déficit de cerca de 43 milhões de hectares de Áreas de Preservação Permanente (APP) e de 42 milhões de hectares de Reserva Legal (RL).



### 3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, o presente estudo procurou descrever trabalhos que avaliaram as tecnologias sociais instaladas em uma propriedade produtora de suínos de Braço do Norte, na qual foram realizados vários trabalhos pelo projeto TSGA e pela UFSC.

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

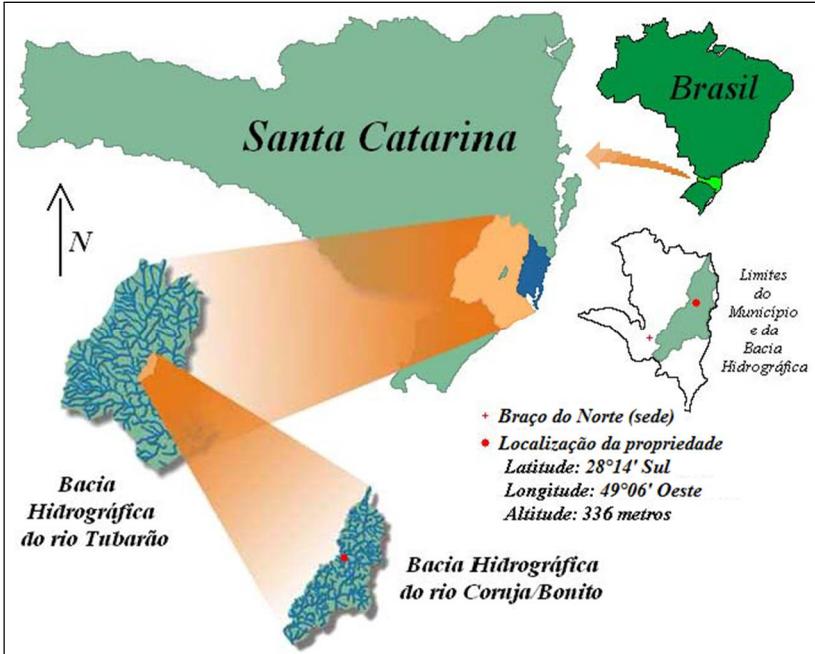
A propriedade suinícola trabalhada pelo projeto TSGA localiza-se na microbacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito, no município de Braço do Norte, região conhecida por possuir uma das maiores concentrações de suínos do mundo. O município faz parte da sub-bacia do Rio Tubarão, no sul do estado de Santa Catarina.

Até o último levantamento realizado (GOMES 2009), a bacia possuía 63 propriedades suinícolas e um plantel de 69.000 suínos, com densidade de 1.327 animais/km<sup>2</sup>, gerando aproximadamente 552.000 m<sup>3</sup> de dejetos líquidos/ano.

As coordenadas geográficas da propriedade são 28°14' de latitude Sul e 49°06' de longitude Oeste.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfa (clima subtropical úmido), com temperatura média anual de 18 °C. As temperaturas médias máxima e mínima são 35 °C e 0 °C, respectivamente. Os meses mais quentes e chuvosos são os meses de janeiro e fevereiro e os meses mais frios são junho e julho. O período do ano com maior probabilidade de ocorrência de geadas é de maio a agosto. A precipitação média anual é de 1.471mm, porém má distribuída, o que causa prejuízos na produção agrícola. O solo na propriedade é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo.

A Bacia do rio Coruja/Bonito abrange uma extensão aproximada de 52 km<sup>2</sup>, sua rede de drenagem é composta pelo rio Coruja/Bonito e seus tributários e tem sua foz no rio Braço do Norte. É uma bacia hidrográfica de 4ª ordem, com uma densidade de drenagem de 2,61 km/km<sup>2</sup>, o que define um sistema de drenagem bastante desenvolvido. A Figura 12 apresenta a localização da bacia hidrográfica e da propriedade.



**Figura 12.** Localização da propriedade e da Bacia Hidrográfica do Rio Coruja/Bonito. Fonte: Adaptado de Henn (2005).

A propriedade é considerada pequena, de base familiar, característica representativa da região, sua agricultura é de subsistência e possui uma área total de aproximadamente 24ha, dos quais 15ha recebem dejetos para adubação de culturas de milho e aveia. O plantel de suínos da propriedade conta com 50 matrizes em ciclo completo (CC) e um rebanho de aproximadamente 500 animais.

### 3.2. APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

Para o estudo da propriedade e suas contribuições para o desenvolvimento científico visando à sustentabilidade ambiental em propriedades rurais suinícolas, foram levantados os trabalhos, pesquisas e ações realizadas pelos departamentos de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) e Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de Santa Catarina, no âmbito do projeto TSGA.

Os levantamentos foram feitos com professores do ENS e bolsistas do projeto TSGA que tinham conhecimento dos trabalhos

realizados, foi feita uma organização dos trabalhos por tema, os quais foram estudados e, posteriormente, compilados deste trabalho.

Os trabalhos estudados referem-se a três linhas de atuação dentro da propriedade, sendo eles:

- Manejo e tratamento dos dejetos gerados;
- Valorização dos resíduos (biofertilizante, biogás e lemnas); e
- Recuperação de áreas degradadas e licenciamento ambiental.

Dentro dessas áreas de atuação foram levantados os trabalhos com os seguintes temas:

- Avaliação de sistema de manejo de dejetos – condição de partida;
- Avaliação de biodigestor (tratamento e produção de biogás);
- Uso de macrófitas lemnáceas no polimento e valorização do efluente de suinocultura;
- Redução do consumo de água e da produção de dejetos;
- Avaliação de teores de nitrogênio total e mineral em solo submetido à aplicação de dejetos de suínos;
- Dinâmica do carbono e rendimento de culturas com aplicação de dejetos de suínos e fertilizante nitrogenado mineral;
- Vulnerabilidade do solo à poluição por fósforo, cobre e zinco em área sob aplicação de dejetos de suínos;
- Plano de Recuperação de Áreas Degradadas em APP de mata ciliar.

### 3.3. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DOS DEJETOS

Para a concretização deste trabalho, além do levantamento sobre as atividades e pesquisas efetivadas na propriedade, foram realizadas também novas coletas de amostras para avaliação do estado de funcionamento do biodigestor no que diz respeito à degradação da matéria orgânica.

Foram feitas apenas duas coletas de material, uma em 13 de abril de 2015 e outra em 01 de julho de 2015. Em cada uma das datas foram coletadas amostras em três diferentes pontos, sendo eles:

PT01 – Caixa de Areia (dejeito bruto);

PT02 – Saída do biodigestor e;  
PT03 – Lagoa de Armazenamento (LA).

Como na LA não há uma tubulação de saída de fluxo contínuo (existe apenas um tubo por onde é sugado o dejetos através de uma bomba para a adubação das lavouras), optou-se por fazer a coleta no ponto oposto à entrada dos dejetos vindos do biodigestor.

Sabe-se da impossibilidade metodológica de avaliação de um sistema ou qualidade do dejetos com apenas duas amostragens, porém esta foi uma avaliação pontual apenas para se ter uma noção de como se encontra o dejetos e o funcionamento do biodigestor na propriedade, tendo em vista que há 5 anos não se faziam essas avaliações.

As coletas foram feitas nas datas citadas e as amostras armazenadas em recipientes plásticos de 1,5L, estas foram mantidas refrigeradas em uma caixa de isopor com gelo para a viagem de volta a Florianópolis e para as análises, as quais foram feitas no dia seguinte ao das coletas. Foram feitas análises de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis Totais (SV), Fósforo (P) e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK). As análises foram feitas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - ENS/UFSC, segundo os padrões estabelecidos pela *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005). Também de acordo com APHA; AWWA; WEF (2005), parte das amostras da primeira coleta foram acidificadas e mantidas congeladas para análise de NTK em uma única execução, juntamente com as amostras da segunda coleta. Todas as análises foram feitas em duplicata, com exceção de DQO, a qual foi feita em triplicata.

Não foram feitas coletas de efluente nas lagoas de lemnas, pois estas não estavam sendo utilizadas durante o período de análises. Como o sistema havia sido dimensionado para uma produção de 500 suínos em terminação, e o produtor estava com um plantel de aproximadamente 300 animais, todo o dejetos estava sendo utilizado para adubação do solo, não necessitando de tratamento para dejetos excedentes. Uma pequena parte dos dejetos era adicionada nas lagoas apenas para manutenção da produção de lemnas para piscicultura.

Durante a segunda coleta de material, feita no dia 1º de julho, no ponto PT01 (dejetos bruto) durante o processo de coleta, houve uma descarga pontual de efluente de uma das unidades da granja, o qual aparentou estar altamente diluído, por se tratar, provavelmente, de lavagem do chiqueiro.

No mesmo dia, a lagoa de armazenamento (PT03) estava com seu nível extremamente baixo, devido ao fato de o produtor estar fertilizando a lavoura de aveia durante aquela semana, o que fez com que tivéssemos que coletar amostra do fundo da lagoa.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de atividades do projeto TSGA (2007 – 2015) na propriedade estudada em Braço do Norte, foram feitos estudos e desenvolvidas ações em várias frentes de trabalho com o objetivo de gerar e aplicar conhecimento científico e proporcionar um padrão de produção e manejo ambientalmente sustentáveis em regiões sob criação intensiva de suínos.

### 4.1. APRESENTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS

#### 4.1.1. Tratamento dos Dejetos e Produção de Biogás

A propriedade piloto do projeto TSGA conta com um sistema de tratamento e manejo dos dejetos implantado pela UFSC em parceria com a Epagri e Embrapa há mais de uma década.

Primeiramente, a propriedade contava apenas com esterqueiras para armazenamento dos dejetos e posterior aplicação no solo. O primeiro sistema com biodigestor foi instalado em 2003 em conjunto com o projeto “Suínos – SC” e foi projetado por equipe formada por professores e mestrands do curso de Engenharia Ambiental da UFSC por ocasião de uma pesquisa de mestrado desenvolvida por Alan Henn. A pesquisa, que gerou a dissertação intitulada: “*Avaliação de Dois Sistemas de Manejo de Dejetos em Uma Pequena Propriedade Produtora de Suínos - Condição de Partida*” teve por objetivo o estudo da fase inicial (partida) de dois sistemas de manejo de dejetos, sendo um deles integrado com tratamento anaeróbio em biodigestor.

Como objetivos específicos, o trabalho propunha operar e monitorar o funcionamento do sistema; avaliar o desempenho da digestão anaeróbia e sua eficiência; estimar a produção de biogás; oferecer um manejo alternativo dos dejetos com redução da poluição e; estimular uma gestão ambientalmente sustentável da propriedade.

Os dois sistemas implantados na propriedade e estudados pelo autor foram:

- Sistema 1: Esterqueira seguida de aplicação no solo.

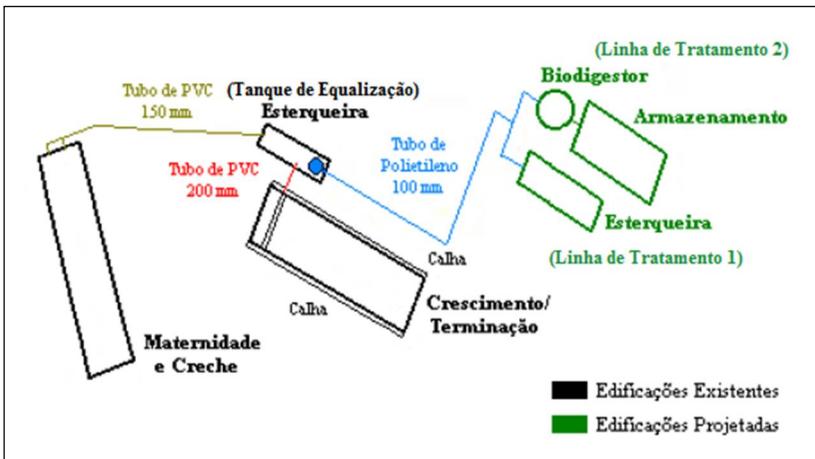
Reator biológico, tipo esterqueira. De baixo custo e possibilita a redução da fração orgânica mantendo o potencial de fertilização (nutrientes) dos dejetos de suínos.

- Sistema 2: Biodigestor, esterqueira e aplicação no solo.

Além do tratamento, agrega valor aos dejetos ao se obter um efluente líquido rico e menos poluente e o biogás que pode ser aproveitado como insumo de energia.

Para o desenvolvimento da pesquisa, o sistema de tratamento de efluentes foi dividido em duas linhas independentes. A primeira linha era constituída por uma esterqueira, cujo dejetos estabilizados era utilizado para aplicação no solo. A segunda linha era composta pelo biodigestor seguido de um tanque de armazenamento (esterqueira) que também utilizava o resíduo para aplicação no solo. Antes de chegar ao sistema propriamente dito, o dejetos passava por um tanque de equalização para só então ser bombeado para uma das linhas de tratamento.

Um esquema das linhas de tratamento está representado na Figura 13.



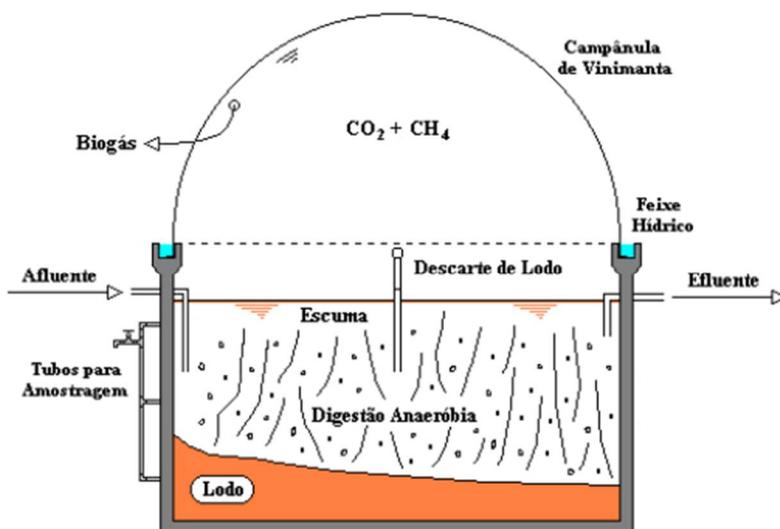
**Figura 13.** Esquema do sistema de tratamento implantado na propriedade em 2005. Fonte: Henn (2005).

A esterqueira da linha de tratamento 1 foi projetada para uma capacidade de  $240\text{m}^3$  e uma vazão de  $2\text{m}^3/\text{dia}$ , perfazendo assim um TRH de 120 dias. Após esse tempo o dejetos era aplicado na lavoura.

Na linha de tratamento 2 o biodigestor foi dimensionado para uma vazão de  $3\text{m}^3/\text{dia}$ , sendo seu volume útil de  $90\text{m}^3$ , este mantinha um TRH de 30 dias para a degradação anaeróbia da matéria orgânica. Após

o biodigestor, o dejetos seguiu para a lagoa de armazenamento, a qual possuía 360m<sup>3</sup> de volume e TRH de 120 dias.

O biodigestor foi construído com formato cilíndrico, em alvenaria de pedras e impermeabilizado internamente com argamassa. Possui um diâmetro de 6,2m e altura útil de 3,0m. O biogás produzido pela digestão anaeróbia era captado por uma campânula de vinimanta, a qual foi fixada ao longo da circunferência do biodigestor com um selo hídrico (canaleta de 0,2m x 0,2m) para evitar a fuga de gás para a atmosfera. A Figura 14 apresenta um desenho esquemático do funcionamento do biodigestor.



**Figura 14.** Representação esquemática do biodigestor instalado na propriedade. Fonte: Henn (2005).

As análises compreenderam a caracterização físico-química dos dejetos, além de teste de atividade metanogênica específica (AME). As análises foram feitas no período de cinco meses, do início de setembro de 2003 ao final de janeiro de 2004<sup>8</sup>. A Figura 15 mostra foto do biodigestor e da lagoa de armazenamento em primeiro plano.

<sup>8</sup> A metodologia detalhada encontra-se em Henn (2005).



**Figura 15.** Vista do biodigestor (ao fundo) e lagoa de armazenamento (esterqueira 2). Fonte: Henn (2005).

Após esse período novos estudos foram realizados por Anigeli Dal Mago em 2008, quando avaliou biodigestores em Concórdia e em Braço do Norte com o objetivo de determinar suas eficiências de tratamento e produção de biogás.

O trabalho de mestrado de Dal Mago (2009) – *Avaliação de Biodigestores com o Uso de Dejetos de Suínos em Braço do Norte e em Concórdia* – teve como objetivos específicos a avaliação da eficiência dos biodigestores em termos de decomposição de matéria orgânica e produção de biogás (volume e composição); estimar a potencialidade de geração de biogás e metano e; estimar parâmetros regionalizados para o tratamento de dejetos de suínos através de biodigestores anaeróbios.

Em suas amostragens, Dal Mago realizou análise de composição e produção de biogás *in loco* e parâmetros físico-químicos dos dejetos afluentes e efluentes do biodigestor posteriormente em laboratório. Foram feitas três amostragens em períodos distintos, sendo elas no verão, no inverno e na primavera<sup>9</sup> do ano de 2008.

Em 2009 o sistema passou por uma modificação quando foram inseridas lagoas de lemnas no processo de tratamento para o polimento

---

<sup>9</sup> Detalhes da metodologia em Dal Mago (2009).

do dejetos (tratamento terciário) após a passagem deste pelo biodigestor e lagoa de armazenamento.

A pesquisa de doutorado de Rodrigo Mohedano, publicada em 2010 com o título “*Uso de Macrófitas Lemnáceas (Landoltia punctata) no Polimento e Valorização do Efluente de Suinocultura e na Fixação de Carbono*” objetivou avaliar o potencial de lagoas de lemnanas no polimento e valorização de dejetos suínos e na fixação de gás carbônico para a redução de GEE. Como objetivos específicos, relacionados à propriedade rural trabalhada, a pesquisa buscou avaliar o desempenho das lagoas de lemnanas no polimento dos dejetos, em condições reais de produção e estudar o manejo e a produção de biomassa de lemnanas visando sua valorização como alimento protéico.

As seguintes alterações foram feitas no sistema:

- A esterqueira da linha de tratamento 1, que possuía um volume útil de 240m<sup>3</sup>, foi readequada para funcionar como a primeira lagoa de polimento com lemnanas, tendo sua profundidade modificada de 3m para 1m, sendo 0,8m úteis (Figura 16).
- Uma nova lagoa foi construída para funcionar (também com lemnanas) em série com a primeira.
- Foi desenvolvido um sistema hidráulico para distribuição do efluente, nas lagoas e para a medição do volume de afluente aplicado.



**Figura 16.** Readequação da lagoa de lemnanas 1. Fonte: Mohedano (2010).

As dimensões das lagoas de lemnanas (nomeadas LM1 e LM2 na sequência de tratamento) são apresentadas na Tabela 10.

**Tabela 10.** Dimensões das lagoas de lemnas.

Dimensões	LM1	LM2
Comprimento (m)	20,5	15,0
Largura (m)	7,5	6,0
Área (m <sup>2</sup> )	153,0	90,0
Profundidade (m)	0,8	0,4
Volume (m <sup>3</sup> )	100	36

Fonte: Mohedano (2010).

Um croqui da configuração do sistema com as lagoas de lemnas é apresentado na Figura 17 a seguir.

**Figura 17.** Croqui do sistema de tratamento na propriedade.

Fonte: Mohedano (2010).

O efluente, ao sair do biodigestor, segue para a Lagoa de Armazenamento e, em seguida, para a Lagoa de Lemnas 1, Lagoa de Lemnas 2 e Reservatório de Reuso. O processo hidráulico é descrito por Mohedano (2010) da seguinte forma:

O efluente da LA é succionado por uma bomba (15HP) e levado para o reservatório de controle de vazão (RCV), depois é liberado por gravidade e entra em LM1 distribuído por uma tubulação em 'T' perfurada, disposta a 30 cm da superfície. Do mesmo modo, o efluente é elevado da LM1 para o RCV novamente e depois drenado para LM2 [...]. Após LM2 o efluente tratado é disposto em um reservatório de 3000L para fins de reuso.

Já a biomassa de lemnas, que é periodicamente recolhida, é destinada a alimentação de tilápias, criadas no açude da propriedade, o que fornece mais uma fonte de renda para o produtor.

#### *Implantação de motogerador para aproveitamento energético.*

Durante esse período de pesquisas, o biogás produzido no biodigestor não estava sendo aproveitado na propriedade. Sendo que o biodigestor chegou a operar por um tempo sem a campânula retentora de biogás, devido a avarias, deixando o mesmo escapar para a atmosfera.

Em dezembro de 2013 iniciaram-se os trabalhos para reforma do sistema e ampliação para aproveitamento energético do biogás.

Dentre as ações tomadas para a reforma do sistema estão:

- A esterqueira (tanque de recebimento e homogeneização) foi completamente esvaziada para a instalação de dois reservatórios de fibra de vidro de 5m<sup>3</sup> para melhor estanqueidade. Também foi construída uma caixa de areia anterior à esterqueira para fazer a coleta de material particulado mineral e evitar possíveis danos ao equipamento e acúmulo no fundo dos reservatórios (Figura 18) (Anexo B). Esta passou a se chamar *Tanque de Recebimento e Bombeamento*.
- Reforma da bomba de recalque de 15,2cv, reposicionamento e construção de abrigo.
- Reforma da campânula do biodigestor, com construção de estrutura em madeira para apoiar a lona em caso de danos ou pouca produção de biogás (Figura 19) (Anexo C).

- Instalação de conjunto moto-gerador de 3,6kVA (B4T-5000 da marca Branco)(Figura 20).

A escolha do conjunto moto-gerador em questão deve-se ao fato de que a propriedade estava operando com 25 matrizes em ciclo completo, o equivalente a 250 animais em terminação. Para os 250 animais estimou-se uma produção aproximada de biogás de 40 m<sup>3</sup>/dia ou 1,67m<sup>3</sup>/h, o que equivale a uma potência de 3,34 kW.

Baseado na capacidade de produção de biogás na propriedade optou-se pelo uso do motogerador B4T-5000. Este gerador possui uma potência nominal de 3,6kVA e máxima de 4kVA. O consumo na potência nominal é de 2m<sup>3</sup>/h, o que se encaixa perfeitamente com a produção de biogás da propriedade.



**Figura 18.** Reforma da Unidade de Recebimento e Bombeamento.  
Fonte: Arquivo TSGA.



**Figura 19.** Recuperação do Biodigestor. Fonte: Arquivo TSGA.



**Figura 20.** Motogerador. Fonte: Arquivo TSGA.

Após a reforma e instalação de novos equipamentos, o sistema passou a operar de forma completa e integrada.

A partir das unidades de produção da granja, os dejetos são encaminhados por gravidade para o tanque de recebimento, de onde é bombeado para o biodigestor (TRH de 30 dias).

Após o biodigestor, onde ocorre a degradação do substrato e geração de biogás, o dejetos é encaminhado para a Lagoa de Armazenamento. O principal papel da Lagoa de Armazenamento é a estocagem dos dejetos, com segurança ambiental, para a sua utilização na fertilização do solo. Contudo, devido ao tempo de detenção, os dejetos continuam sofrendo degradação apresentando reduções dos parâmetros avaliados. A partir desta lagoa, em torno de 70% dos dejetos é destinada à adubação do solo nas lavouras de milho e aveia, os quais são utilizados para a alimentação do rebanho. A parte excedente (30%) segue para as lagoas de lemnas.

As lagoas de lemnas são responsáveis pela retirada de nutrientes e polimento do efluente que não foi utilizado como fertilizante, além de

promover a inserção de  $O_2$  no meio líquido. Neste sistema, as duas lagoas instaladas operam em série e têm TRH de 102 e 34 dias respectivamente. Devido à taxa de crescimento das macrófitas lemnáceas, a remoção de biomassa é feita aproximadamente a cada dois dias, quando são removidas as plantas em uma quantidade equivalente à 1/5 da superfície da lagoa. A biomassa removida é então utilizada para alimentação dos peixes criados nos açudes da propriedade. Após a passagem pela sequência de lagoas de lemnas, o efluente tratado é então reutilizado na lavagem das unidades da granja.

O biogás captado no biodigestor é conduzido para o motogerador passando por filtro para eliminação do gás sulfídrico ( $H_2S$ ). A energia elétrica obtida através do motogerador é utilizada nas lâmpadas dos escamoteadores para aquecimento dos leitões na maternidade e, em algumas tomadas da residência. Simultaneamente, a energia térmica presente nos gases de escape do motor auxilia na secagem dos grãos na unidade de silo secador devido ao seu posicionamento estratégico ao lado da tomada de ar do silo.

A Figura 21 apresenta um croqui atualizado do sistema.



parâmetros indicadores de poluição nas avaliações realizadas. O funcionamento do biodigestor tem se mostrado estável durante os anos em que vem sendo analisado.

A temperatura média de funcionamento observada dentro do biodigestor pelos autores foi de 22,4 °C (HENN, 2005), 19,9°C (DAL MAGO, 2009) e 19,9°C (MOHEDANO, 2010). Esta temperatura (próxima dos 20°C) está no limite entre a faixa psicofílica e mesofílica. Percebe-se que não há uma variação muito grande da temperatura durante o ano, como observou Dal Mago (2009) – que obteve temperaturas de 24,3°C no verão, 19,4°C na primavera e 16°C no inverno – o que faz com que as bactérias não sofram com uma mudança abrupta de temperatura, entretanto, o biodigestor opera em uma temperatura baixa comparada com o que seria ideal apresentado na literatura (próximo de 30°C). O que indica que pode ser ainda mais eficiente na produção de biogás caso seja operado com aquecimento e agitação.

Com relação ao pH, observou-se que, no biodigestor, estes ficaram dentro da faixa ótima para a digestão anaeróbia, ou seja, próximos à neutralidade. Segundo valores obtidos por Henn (2005), o pH médio dentro do biodigestor foi de 7,39. Sendo a faixa tolerável para as bactérias metanogênicas de 6,5 a 8,0, de acordo com Friehe, Weiland & Schattauer (2010) e o ideal, 7,0. Da mesma forma Mohedano (2010) e Dal Mago (2009) encontraram valores de pH iguais a 7,19 e 7,42 respectivamente.

Após o biodigestor, normalmente há um aumento do pH na Lagoa de Armazenamento, o que, segundo Henn (2005) pode ser decorrente da dessorção de CO<sub>2</sub> dentro do biodigestor na produção de biogás. Segundo Van Haandel & Lettinga (1994) citado por Henn (2005), durante a metanogênese, há remoção de parte do ácido acético, aumentando assim a alcalinidade e reduzindo a acidez do meio, ou seja, ocorre um incremento no pH do sistema.

Os valores de DQO do efluente bruto encontrado pelos autores dos estudos na propriedade tem por característica uma concentração elevada. Dal Mago (2009) obteve valores acima de 100.000 mg/L, Henn (2005) encontrou uma concentração média de 43.368 mg/L, porém também obteve 105.810 mg/L de valor máximo. Mohedano (2010) em seus estudos obteve valor médio de 63.280 mg/L. Segundo Dal Mago (2009) esta característica é influenciada diretamente pela forma de manejo dos animais e dos dejetos, em que são utilizados bebedouros do tipo ecológico e sistema de raspagem dos dejetos nas instalações para

evitar o desperdício de água, ocorrendo uma maior concentração da matéria orgânica, o que é relevante para uma boa produção de biogás.

A remoção da DQO é, sem dúvida, um dos pontos primordiais do funcionamento do sistema de tratamento implantado. E este tem se mostrado eficiente nesse quesito. Apesar da variação no valor da DQO do dejetto bruto, Henn (2005) ao avaliar o sistema formado pelo biodigestor e pela lagoa de armazenamento obteve eficiência média de 97,8%, chegando a atingir 99,9% no final de sua pesquisa. Dal Mago (2009) obteve valores iguais a 90,2% no inverno e 97,3% no verão avaliando apenas o biodigestor, Mohedano (2010) por sua vez, encontrou uma eficiência de 95,1% para o conjunto biodigestor e esterqueira, no entanto, seu estudo avaliou o sistema completo incorporando as lagoas de lemnas em série, o que possibilitou um efluente final com 99,8% de remoção de DQO, em média. Segundo Mohedano (2010) a alta relação  $DBO_5/DQO_t$  demonstra uma elevada biodegradabilidade do dejetto bruto, o que é um fator favorável para a eficiência de digestores anaeróbios no tratamento deste efluente.

A concentração de ST do dejetto bruto também sofreu variação durante os períodos de análise e entre os estudos. Os valores variaram desde 6.860 mg/L (HENN, 2005) até 142.170mg/L (DAL MAGO, 2009). Henn (2005) encontrou valores mais elevados na carga aplicada no biodigestor após a instalação de bebedouros ecológicos, ao que o autor atribuiu ao menor desperdício de água na granja. Dal Mago (2009), por sua vez, obteve valores mais elevados durante o inverno, o que se justifica também pelo menor consumo e desperdício de água neste período.

As eficiências de remoção de ST obtidas por Henn (2005) foram de 88,1% no biodigestor e 94,7% considerando o sistema Biodigestor-Lagoa de Armazenamento, com uma concentração final de 1.919 mg/L. Dal Mago (2009) em sua pesquisa, chegou a obter uma eficiência de 96,5% de remoção de ST no biodigestor durante o verão, e 91,5% no inverno, sendo este, em média, o de maior eficiência entre os biodigestores avaliados pela autora.

Mohedano (2010) também obteve uma eficiência de 96% no biodigestor, além de mais 92,8% de remoção de ST nas lagoas de lemnas a partir da LA. Obtendo um efluente final com apenas 360mg/L de ST.

A remoção de ST se deve a hidrólise da matéria orgânica e ao processo físico de sedimentação dos sólidos.

Para os sólidos voláteis (SV), Henn (2005) e Dal Mago (2010) apresentaram padrões de concentração e remoção semelhantes aos

sólidos totais, com eficiências de remoção de 92,4% e 96,4% em média, respectivamente.

A eficiência média de remoção de NTK obtida por Henn (2005) para o biodigestor foi de 46,6%, com grande variação de concentração nos dejetos brutos. Este parâmetro chegou a 86,5% considerando a continuação do tratamento na LA, e uma concentração final média de 268mg N/L.

É sabido, da literatura, que os biodigestores não têm alta eficiência na remoção de nutrientes, o que no caso de propriedades suinícolas é até desejável, uma vez que o potencial fertilizante desses nutrientes será aproveitado em lavouras, na produção de alimentos para os animais.

Contudo, o dejetos excedente deve ser tratado. Nesse sentido, as lagoas de lemnas operadas por Mohedano (2010) obtiveram eficiência de 98% na remoção de NTK, além de alta eficiência também na remoção de outras formas de nitrogênio.

Os resultados obtidos por Henn (2005) para a eficiência de remoção de fósforo dos dejetos no biodigestor foram de 70,4%, chegando a 93,3% após a LA. A concentração média obtida pelas análises do dejetos bruto ficaram em torno de 211,2mg/L. De acordo com o autor, segundo a literatura, o fósforo de dejetos suínos está em grande parte sob a forma de sais insolúveis, por isso, quase sua totalidade fica depositada nos sedimentos das esterqueiras.

O fósforo restante no efluente da LA é removido em 95% nas lagoas de lemnas da propriedade, segundo Mohedano (2010). O autor observou também uma elevada remoção de fósforo no processo anaeróbio da LA, o que teve importante papel na redução das cargas aplicadas em LM1.

O sistema de geração de energia a partir do biogás captado no biodigestor foi o trabalho mais recente realizado na propriedade piloto. Inicialmente previsto para suprir uma carga de 2,6kW referentes à 4 refrigeradores e às lâmpadas da granja, o motogerador se mostrou instável na operação com cargas indutivas oscilantes, como o caso dos refrigeradores. Isto se deve à atual impossibilidade do controle da vazão de combustível no motogerador, fazendo com que, a cada partida dos compressores dos refrigeradores, o motor perdesse rotação e, conseqüentemente, diminuísse sua frequência.

Segundo Dal Mago (2009), que avaliou a composição do biogás produzido na propriedade, a concentração de metano se apresentou dentro da faixa recomendada pela literatura. A autora obteve valores

entre 66,3% e 69% de CH<sub>4</sub> durante as diferentes épocas do ano, sendo o valor mais elevado obtido na primavera, com uma vazão de 1,10m<sup>3</sup>/h. As concentrações de CO<sub>2</sub> no mesmo período foram respectivamente 32,5% e 29,5%. Apesar de uma qualidade inferior em termos de concentração de CH<sub>4</sub>, a produção de biogás foi maior no verão. Os dados de produção nas três estações trabalhadas por Dal Mago (2009) encontram-se nas tabelas 11, 12 e 13, a seguir.

**Tabela 11.** Dados de produção de biogás e CH<sub>4</sub> no biodigestor durante o período de verão para diferentes parâmetros.

Parâmetro	Produção de Biogás	Produção de CH <sub>4</sub>	Unidade
Sólidos Voláteis Removidos	1,14	0,75	m <sup>3</sup> /kg SV <sub>Rem</sub>
DQO Removida	0,42	0,28	m <sup>3</sup> /kg DQO <sub>Rem</sub>
Volume útil do biodigestor	0,44	0,29	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>Bio</sub> ·dia
Animal	0,98	0,652	m <sup>3</sup> /suíno·dia

Fonte: Dal Mago (2009).

**Tabela 12.** Dados de produção de biogás e CH<sub>4</sub> no biodigestor durante o período de inverno para diferentes parâmetros.

Parâmetro	Produção de Biogás	Produção de CH <sub>4</sub>	Unidade
Sólidos Voláteis Removidos	0,63	0,43	m <sup>3</sup> /kg SV <sub>Rem</sub>
DQO Removida	0,39	0,27	m <sup>3</sup> /kg DQO <sub>Rem</sub>
Volume útil do biodigestor	0,38	0,25	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>Bio</sub> ·dia
Animal	0,85	0,574	m <sup>3</sup> /suíno·dia

Fonte: Dal Mago (2009).

**Tabela 13.** Dados de produção de biogás e CH<sub>4</sub> no biodigestor durante o período de primavera para diferentes parâmetros.

Parâmetro	Produção de Biogás	Produção de CH <sub>4</sub>	Unidade
Sólidos Voláteis Removidos	0,30	0,21	m <sup>3</sup> /kg SV <sub>Rem</sub>
DQO Removida	0,20	0,14	m <sup>3</sup> /kg DQO <sub>Rem</sub>
Volume útil do biodigestor	0,29	0,20	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>Bio</sub> ·dia
Animal	0,66	0,455	m <sup>3</sup> /suíno·dia

Fonte: Dal Mago (2009).

#### 4.1.2. Solo e Biofertilizante

Como foi dito anteriormente, em torno de 70% dos dejetos produzidos na propriedade são utilizados para adubação do solo na produção de milho e aveia. Apesar de essencial ao desenvolvimento das plantas, nutrientes (N, P e K) em excesso no solo podem contribuir para a contaminação ambiental. Na propriedade, foram feitos alguns estudos, como avaliação dos teores de N total e mineral, avaliação da dinâmica do carbono e rendimento das culturas em solo com aplicação de dejetos de suínos e estudo de vulnerabilidade do solo à contaminação por P e outros elementos, este último, realizado em todo alto da bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito, com análises de solo de áreas de pastagem, floresta e lavouras de milho/aveia.

Benedet et al (2013) em seu trabalho denominado “*Teores de Nitrogênio Mineral e Total em Solo Submetido a Oito Anos de Aplicações de Dejetos Suínos*” realizaram trabalho na propriedade visando avaliar os teores de N total e mineral em solo submetido a diferentes doses de dejetos suínos em sistema de plantio direto (SPD). O experimento, com a aplicação de diferentes doses de dejetos, foi instalado na propriedade em 2002, sendo a avaliação do solo feita pelos autores no início do ano de 2012.

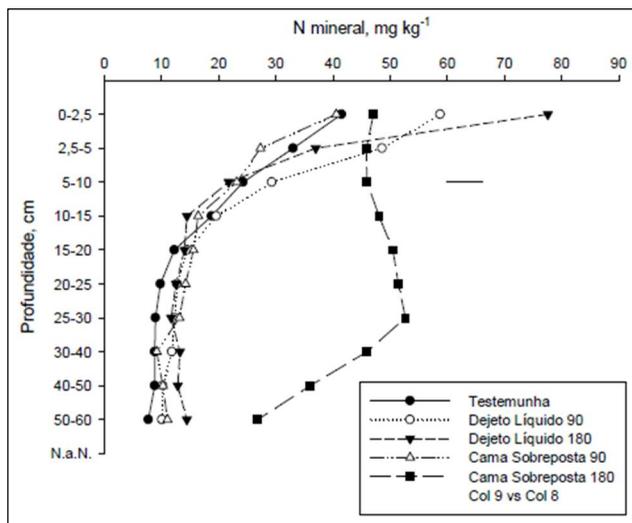
Para o desenvolvimento do experimento foram realizados os seguintes tratamentos no solo: testemunha sem adubação (T); adubação com dejetos líquidos de suínos equivalente a recomendação de N/ha·ano para a cultura do milho e da aveia (DL90) e ao dobro da dose (DL180); adubação com cama sobreposta de suínos equivalente a recomendação de N/ha·ano para a cultura do milho e da aveia (CS90) e ao dobro da dose (CS180). Foram selecionados blocos ao acaso com três repetições para o delineamento experimental, sendo que cada parcela possui dimensões de 4,5m X 6,0m.

As amostras foram coletadas a profundidades de 0-2,5cm, 2,5-5cm, 5-10cm, 10-15cm, 15-20cm, 20-25cm, 25-30cm, 30-40cm, 40-50cm e 50-60cm. Após a coleta, as amostras foram secas, moídas, peneiradas com malha de 2 mm e levadas para análises de N total e mineral.

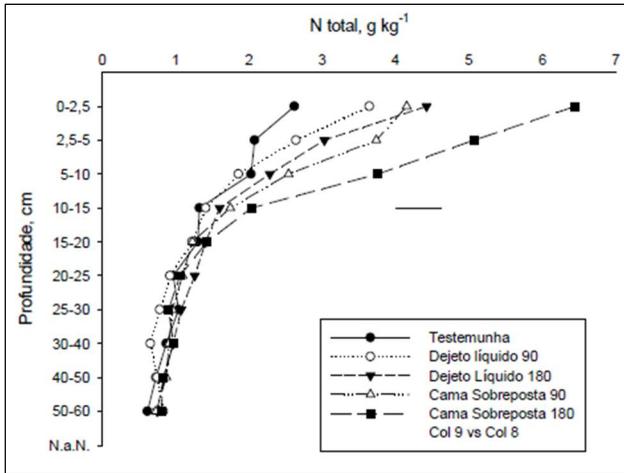
O resultado obtido pelos autores mostrou maiores teores de nitrogênio total (até 15cm de profundidade) em solos com aplicação de 180kg N/ha·ano de cama sobreposta. Na camada superficial de solo (até 2,5cm), foram obtidas maiores concentrações de N mineral com o tratamento de dejetos líquidos (180kg N/ha·ano), entretanto, para as

camadas mais profundas, foi o tratamento CS180 que apresentou os maiores teores (Figura 22).

No tratamento testemunha (sem aplicação de dejetos), foram observados os maiores teores de N total até os 10cm de profundidade, porém com valores inferiores aos outros tratamentos. A adição dos dejetos não influenciou os teores naturais de N total a partir dos 15cm de profundidade (Figura 23).



**Figura 22.** Quantidades de N mineral na camada de 0-60cm do solo com e sem aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. Fonte: Benedet et al (2013).



**Figura 23.** Quantidades de N mineral na camada de 0-60cm do solo com e sem aplicação de dejeto líquido e cama sobreposta de suínos.

Fonte: Benedet et al (2013).

Utilizando o mesmo delineamento experimental, o estudo “*Dinâmica do Carbono e Rendimento de Culturas em Solo com Histórico de Aplicação de Dejetos Suínos e Fertilizante Nitrogenado Mineral*” de Couto (2010), buscou avaliar a dinâmica do carbono e o rendimento de culturas em solo submetido à aplicação de dejetos de suínos em sistema de plantio direto. Seu objetivo específico foi avaliar o teor de carbono orgânico total do solo, o carbono da biomassa microbiana, a respiração e o quociente metabólico dos microrganismos do solo; a decomposição dos resíduos culturais da aveia e o rendimento das culturas da aveia e do milho em solo submetido à aplicação de dejetos de suínos e fertilizantes nitrogenados.

O trabalho foi conduzido durante os anos de 2008 e 2009. Os tratamentos utilizados foram: (i) testemunha (T); (ii) adubação com cama sobreposta de suínos com a recomendação normal do N às culturas (CS1) e com o dobro da recomendação (CS2); (iii) adubação com dejeto líquido de suínos com a recomendação normal do N às culturas (DL1) e com o dobro da recomendação (DL2); e (iv) adubação com fertilizante nitrogenado mineral com a recomendação normal do N às culturas (AQ1) e com o dobro da recomendação (AQ2).

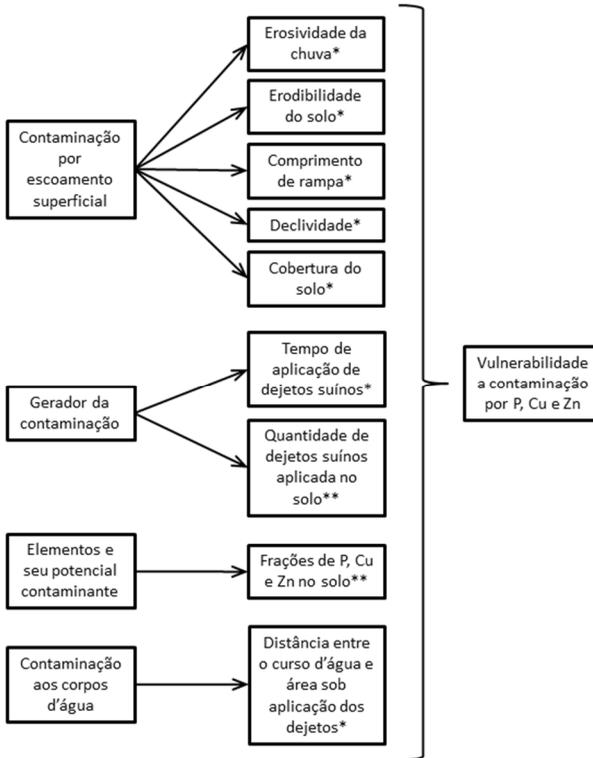
De acordo com os resultados obtidos por Couto (2010), tanto a aplicação de dejeto de suíno na forma líquida e sólida, quanto de fertilizante nitrogenado mineral não afetaram o teor de carbono orgânico

total no solo e pouco influenciaram a biomassa microbiana. A respiração basal do solo não sofreu influência das doses e dos tipos de adubos testados, assim como estes também não afetaram a decomposição da palhada nem o rendimento da aveia e do milho. Influenciaram apenas nos atributos químicos pH, P, K, Ca e Mg nos tratamentos realizados, sendo que os maiores valores foram obtidos no tratamento com cama sobreposta (CS2).

O trabalho de Couto (2014) intitulado “*Vulnerabilidade do Solo a Poluição por Fósforo, Cobre e Zinco, em Áreas Sob Aplicação de Dejetos Suínos*”, com o intuito de contribuir na formação do conhecimento científico e servir como base para o gerenciamento de regiões com criação intensiva de suínos, avaliou a vulnerabilidade do solo com base nas frações de fósforo, cobre e zinco em áreas da bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito. Teve como objetivos específicos adaptar a metodologia P-index para incluir as frações de P, Cu e Zn na avaliação da vulnerabilidade a poluição de áreas com aplicação de dejetos líquidos de suínos na bacia hidrográfica do Rio Coruja/Bonito e; estabelecer índices de vulnerabilidade do solo para áreas do alto da bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito.

Para atingir os objetivos do estudo, Couto (2014) buscou informações que indicassem o nível de poluição de P, Cu e Zn de áreas sob aplicação de dejetos líquidos de suínos (áreas de referência) e posteriormente extrapolou estes dados para as áreas com características ambientais semelhantes.

Primeiramente realizou um estudo de caso em dez propriedades suinícolas e uma área de floresta sem aplicação de dejetos, para entender e descrever os processos ambientais da suinocultura. Nesta etapa, através de dados de perda de solo, cobertura do solo, tempo e quantidade de aplicação de dejetos líquidos de suínos e teores das frações de P, Cu e Zn no solo, estabeleceu a vulnerabilidade utilizando uma análise multicritério (Figura 24).



**Figura 24.** Modelo esquemático da metodologia utilizada no trabalho.  
Fonte: Couto (2014).

Posteriormente, realizou a extrapolação dos teores de P, Cu e Zn das áreas de referência estabelecidas, e o levantamento das perdas de solo, cobertura do solo e tempo de aplicação de dejetos líquidos de suínos de parte da bacia hidrográfica Rio Coruja/Bonito. A partir de tais dados, e, através de uma análise estatística multicritério, estabeleceu a vulnerabilidade à poluição por P, Cu e Zn da área avaliada.

Para a realização das etapas do trabalho, as áreas de referência foram caracterizadas quanto ao tipo de cobertura de solo, o tempo de aplicação de dejetos suínos e a área de abrangência. Com estes dados geoprocessados, o autor utilizou de métodos geoestatísticos (krigagem) para a interpolação dos dados e posterior extrapolação das áreas de referência.

A composição do índice de vulnerabilidade utilizado, por sua vez, é uma variação do proposto por Lemunyon e Gilbert (1993), citados por Couto (2014), que consideram três critérios fundamentais para determinação da vulnerabilidade de áreas, i) perda de solo estimada; ii) distância entre a fonte de P, Cu e Zn e o corpo d'água; e iii) os teores de P, Cu e Zn no solo. A obtenção do índice de vulnerabilidade foi realizada por uma combinação linear ponderada, que considera a escala de importância, os pesos e o número de critérios avaliados. As tabelas do Anexo D apresentam os dados adotados pelo autor na classificação da vulnerabilidade de cada região.

Segundo os estudos de Couto (2014) nas áreas de referência, onde os tempos de aplicação de dejetos líquidos de suínos variam de 3 a 30 anos, os maiores teores das frações de P orgânicas e inorgânicas extraídas com NaOH 0,1 e 0,5 mol/L, NaHCO<sub>3</sub> e das inorgânicas extraídas com resina trocadora de ânions e HCl foram observadas nas camadas superficiais do solo. Os maiores tempos e frequências de aplicação de dejetos líquidos de suínos geraram os maiores teores das frações de P observados nas propriedades.

As aplicações de dejetos líquidos de suínos aumentaram as frações de Cu e Zn solúvel, trocável, mineral, orgânica e total na camada superficial do solo, no entanto, o Cu e o Zn migraram no perfil do solo nas áreas com mais de 17 anos de aplicação de dejetos.

O Cu é acumulado principalmente na forma orgânica e mineral do solo, e o Zn preferencialmente na forma mineral. O Cu oferece maior risco à poluição das águas superficiais que o Zn, especialmente nas áreas com mais de 17 anos de aplicação de dejetos líquidos de suínos.

Por meio das análises estatísticas utilizadas e dos teores de P, Cu e Zn no solo foi possível agrupar as áreas de acordo com o tempo de aplicação de dejetos líquidos de suínos da seguinte forma:

- Para P: (i) área de floresta e áreas entre 3 e 7 anos de aplicação de dejetos de suínos; (ii) áreas com 14 e 25 anos de aplicação de dejetos suínos; (iii) áreas com 12 e 16 anos de aplicação de dejetos suínos e (iv) áreas entre 18 e 30 anos de aplicação de dejetos.
- Para o Cu: (i) floresta; e áreas entre 3 e 16 anos de aplicação de dejetos, (ii) áreas entre 18 e 25 anos de aplicação de dejetos; e (iv) áreas entre 28 e 30 anos de aplicação de dejetos suínos.
- Para o Zn: (i) área de floresta e áreas entre 3 e 7 anos de aplicação de dejetos suínos; (ii) áreas entre 12 e 16 anos de

aplicação de dejetos suínos e (iii) áreas entre 14 e 30 anos de aplicação de dejetos suínos.

O alto da bacia do Rio Coruja/Bonito apresenta vulnerabilidade a P, Cu e Zn predominantemente Muito Baixa e Média, sendo o tipo de cultivo e o tempo de aplicação de dejetos suínos no solo os principais elementos responsáveis pelo resultado.

#### **4.1.3. Ações do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas**

Com o intuito de regulamentar a propriedade rural de acordo com as exigências nos itens do Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta e diminuir os impactos da degradação ambiental foi desenvolvido o Plano de Recuperação de Área Degradada em APP de Mata Ciliar.

De acordo com o laudo técnico gerado pelo Ministério Público/SC, foram encontradas nascentes, cursos d'água e açudes com escassez de vegetação ciliar, sem o devido respeito às extensões de APP determinadas pelo Código Florestal Federal de 1965. A aplicação desse Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) visou recuperar e conservar as zonas ripárias da propriedade, o que fez parte das ações para obtenção da Licença Ambiental de Operação segundo o Termo de compromisso de ajustamento de conduta proposto pelo MP/SC, promotoria de Braço do Norte.

A metodologia utilizada para a elaboração do plano foi a seguinte:

a) Seleção das áreas a serem recuperadas.

Foram selecionadas as faixas determinadas pelo Código Florestal Federal, sendo assim, delimitou-se as zonas ripárias próximas aos afloramentos e cursos d'água, considerando-se uma faixa de 30 metros para os açudes e riachos e 50 metros para nascentes.

Em vistoria realizada por técnicos do MP/SC havia sido verificado que a propriedade possuía benfeitorias que não respeitam as distâncias determinadas por lei, porém eram de difícil realocação. Além disso, a recuperação de toda a área aconselhada legalmente para APP, inviabilizaria as atividades agropecuárias na propriedade. Dessa forma, foram selecionadas áreas para recuperação que conciliassem aspectos relacionados à legislação ambiental, ao meio ambiente e ecossistemas influenciados pelas matas ciliares e às características de relevo, onde se procurou adaptar o polígono ideal às benfeitorias existentes.

A região a ser recuperada foi dividida em três áreas, escolhidas de acordo com a localização na propriedade e estado de degradação, que estão classificadas nos itens a seguir.

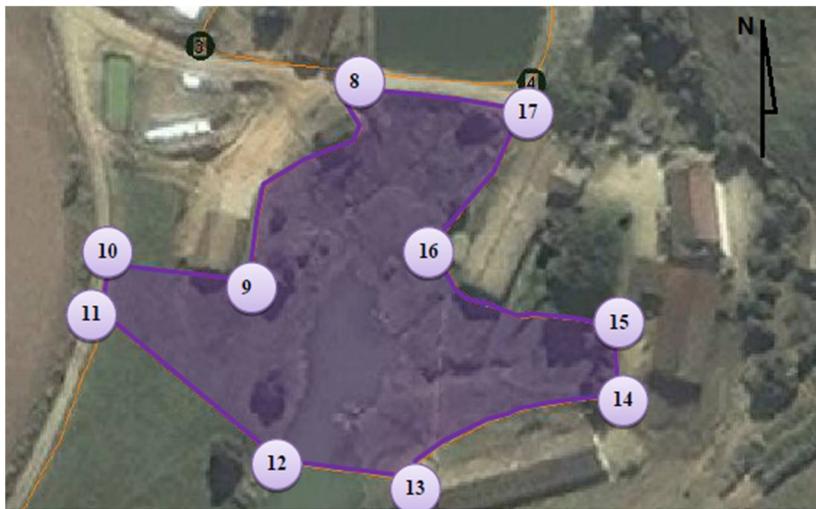
**Área 1:** Situada no norte da propriedade, é limitada pela divisa com o terreno vizinho, pela via de circulação interna e pelos distanciamentos propostos. Dentro do seu limite estão situados um açude e duas nascentes, que possuem fragmentos de vegetação em processo inicial de regeneração. Esta área apresenta uma grande parte de pastagem, árvores isoladas e algumas áreas de mata nativa que surgiram espontaneamente. Este polígono possui uma área de recuperação de 10.282m<sup>2</sup>. O delineamento da área 1 é apresentado na Figura 25.



**Figura 25.** Delimitação da Área 1. Fonte: Gonçalves (2012).

**Área 2:** É a área central da propriedade. Limita-se ao norte pela via de circulação interna, ao sul pelo ponto final da unidade da maternidade e lateralmente pelos contornos das edificações e cercas existentes. Inclui-se nesta área um afloramento intermitente localizado próximo à residência dos proprietários e parte do segundo açude.

Esta foi a área mais restrita para a abrangência do PRAD devido a presença da maioria das construções, incluindo a esterqueira, que recebe os dejetos da granja e localiza-se às margens do açude. A área de recuperação formada pelo polígono 2 possui 4.249m<sup>2</sup>. A Figura 26 ilustra o delineamento da área 2.



**Figura 26.** Delimitação da Área 2. Fonte: Gonçalves (2012).

**Área 3:** A área 3 localiza-se na parte sul da propriedade, sendo limitada a norte pela área 2, ao sul pela divisa do terreno vizinho e lateralmente pelos distanciamentos propostos. Nesta área está incluso o restante do segundo açude, além do principal córrego que atravessa a propriedade. Suas características são similares a área 1, com relevo bastante ondulado, presença de árvores isoladas e cobertura de gramíneas.

Devido à existência de um caminho vicinal, que dividiu a área 3 em duas partes, não foi possível abranger os 30 metros ao longo de todo o açude. Na margem leste do açude existem áreas onde os 30 metros foram contemplados com a recuperação da vegetação, assim como foi aproveitada a delimitação já existente, por isso algumas localidades não atingiram as exigências da legislação ambiental. Esta delimitação possui uma área de 9.102m<sup>2</sup>, sendo 917m<sup>2</sup> referentes à região limitada pelo terreno vizinho, na extrema sul, e outros 8.185m<sup>2</sup> referentes ao restante da porção que faz limite com a área 2. Na Figura 27 apresenta-se o delineamento da área 3.



**Figura 27.** Delimitação da Área 3. Fonte: Gonçalves (2012).

**Configuração da área total:** A soma das três regiões selecionadas para o PRAD totaliza uma área de 23.633 m<sup>2</sup>, o que equivale a cerca de 9,85% da área total da propriedade. A área de recuperação determinada pela legislação que não foi possível abranger pelo plano de recuperação foi compensada em Averbação Legal de área superior aos 20% exigidos pelos instrumentos legais. Assim, foi averbada uma área de reserva florestal de 26,25% da área total da propriedade. Pode-se visualizar a área total de APP e a área de reserva legal na Figura 28.



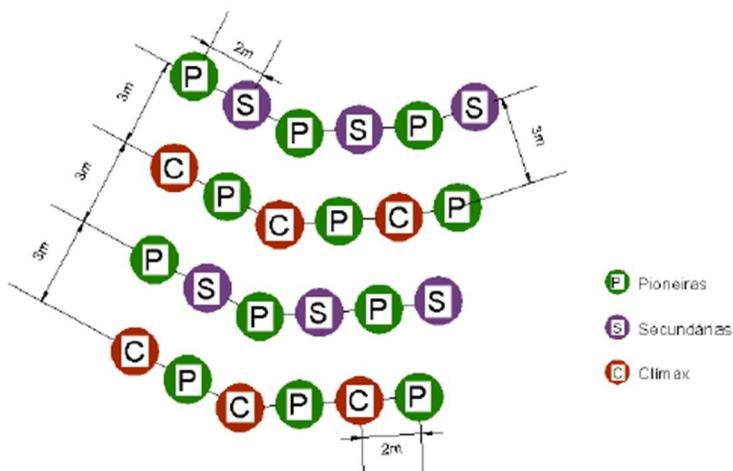
**Figura 28.** Áreas de APP e Reserva Legal da propriedade.

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2012).

#### b) Modelo de Recuperação

O modelo de recuperação do PRAD considerou a diversidade de espécies e as inter-relações entre plantas e animais. Como método de recuperação foi empregado o plantio de espécies nativas (Floresta Ombrófila Densa e Mista) em conjunto com o controle da regeneração natural de espécies, de acordo com o preconizado pela Instrução Normativa nº 05 do Ministério do Meio Ambiente.

Foi feita a demarcação e isolamento das áreas a serem recuperadas e realizado o plantio de mudas, visando estimular e acelerar o processo de sucessão natural da APP. Para o reflorestamento foi seguido a sucessão ecológica das espécies, sendo obedecida a cronologia e sua distribuição na área baseado nos estágios sucessionais. Dessa forma, o plantio foi iniciado com as espécies pioneiras, depois as secundárias iniciais, secundárias tardias e por último as climácicas. O modelo de plantio seguido é apresentado na Figura 29.



**Figura 29.** Modelo de plantio seguido (espaçamento de 3m entre linhas e 2m entre plantas). Fonte: Gonçalves (2012).

c) Procedimentos para implantação do PRAD

Na implantação do PRAD foi seguido um procedimento que incluiu os seguintes itens:

- **Isolamento da área:** foi o primeiro procedimento a ser tomado. Destinado a bloquear a entrada de animais, principalmente de bovinos, evitando assim o comprometimento da recuperação das APP's.
- **Limpeza da área:** para evitar a competição por luz, umidade e nutrientes entre as mudas plantadas e espécies invasoras foi realizado o corte da vegetação herbácea e da subarbustiva invasora, além da remoção de espécies exóticas.
- **Combate às formigas Cortadeiras:** foi iniciado o combate as formigas um mês antes e mantido durante os primeiros 15 dias do plantio. O monitoramento da APP também foi feito durante todo o período dessa atividade para evitar novos focos de formigueiros. A área de combate incluiu as áreas de recuperação e mais 50 metros ao longo dessa faixa. O combate ocorreu de acordo com o item 3 do Anexo III da Instrução Normativa nº 07, do Ministério da Agricultura.

- **Preparo do solo:** O solo foi preparado com aração, prévia adubação, demarcação das linhas de plantio, seguido de abertura de covas e preparado das “camas” para o plantio das mudas.
- **Execução do plantio:** foi feita a abertura da cova e preenchida com solo local e adubo, em seguida foi feito o plantio da muda e a cova preenchida com solo até altura em que o caule se mantivesse exposto. Logo após, as mudas são irrigadas para completar o plantio.
- **Adubação:** foram realizadas adubação de plantio e de cobertura, pois em certas áreas foi diagnosticado empobrecimento do solo. A adubação foi realizada, principalmente, devido à necessidade de crescimento rápido das mudas para evitar competição com espécies invasoras.
- **Seleção das espécies vegetais a serem introduzidas:** As espécies que foram selecionadas para compor o reflorestamento do projeto foram fundamentadas em levantamentos florísticos realizados por NEGRELLE e CARPANEZZI (2003) e complementada por SGROTT (2003), citados por Gonçalves (2012), na região da sub-bacia do Rio Coruja/Bonito. Foi observada a recuperação de matas ciliares e espécies presentes nos fragmentos florestais da propriedade e complementados com os seguintes aspectos: característica quanto à exigência de luminosidade (heliófita e esciófita); características quanto à exigência de umidade (xerófita e higrófita); adaptação a solos empobrecidos; plantas com sistema radicular vasto, capazes de conter erosão; e plantas com frutos comestíveis e medicinais.

A implementação do PRAD iniciou-se com a nova fase do projeto TSGA e foi recém finalizado, não havendo, portanto, muitos resultados obtidos em termos de áreas já recuperadas.

No entanto a produção mais sustentável e o correto manejo dos dejetos produzidos, assim como a averbação de reserva legal e o plano de recuperação de áreas degradadas possibilitaram a obtenção de licença ambiental e a conformidade da propriedade com a legislação vigente no estado. Dessa forma, esta propriedade tem sido considerada pelo projeto TSGA uma unidade demonstrativa (UD) de tecnologias para o manejo de dejetos e sustentabilidade ambiental.

#### 4.2. AVALIAÇÃO DA SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE TRATAMENTO DOS DEJETOS

Na avaliação atual, foram obtidos os valores pontuais que mostraram uma variação em relação aos dados disponíveis. O que é bastante comum considerando-se as variações no número de animais e nos ciclos de engorda.

Sem o rigor da constância de amostragem, não se pode fazer uma avaliação muito precisa em relação ao manejo da granja, como o desperdício de água e a qualidade dos dejetos, por exemplo.

Entretanto, os valores obtidos, de forma geral, mostram boa eficiência no funcionamento do sistema. Os valores de pH no biodigestor, por exemplo – 7,49 e 6,88 nas duas avaliações – sugerem um funcionamento bastante favorável para a digestão anaeróbia, por estarem dentro da faixa ideal para a metanogênese.

Conforme comentado anteriormente, a segunda data de amostragem foi atípica, pois além de o dejetos bruto estar muito diluído por conta de uma descarga pontual, o efluente da lagoa de armazenamento estava sendo utilizado praticamente em sua totalidade para adubação de lavoura de aveia, restando apenas um pequeno volume no fundo do tanque. A análise desse efluente, no entanto, mostrou valores altos de fósforo e NTK (Tabela 15), o que condiz com a literatura, que relata a estratificação dos dejetos devido a diferente solubilidade dos elementos fertilizantes. Belli Filho (1995) afirma que o P e o N orgânico se concentram (82% e 62%) na região sedimentar.

A DQO se apresentou com valor baixo para os dejetos da propriedade. Equivalente aos menores valores encontrados em análises anteriores. Porém a eficiência de degradação do biodigestor permaneceu próxima de 80% para as amostras da primeira coleta (Tabela 14). Ao fim da Lagoa de Armazenamento a remoção de DQO chega a 93%, com um teor de fósforo total de 41mg/L e de NTK igual a 430mg/L. Estes valores devem ser levados em conta no cálculo do volume máximo de dejetos a ser aplicado na lavoura para fertilização.

A concentração de sólidos totais e voláteis dos dejetos brutos está dentro do esperado. Entretanto, suas concentrações finais estão bastante elevadas. A eficiência do biodigestor (48,4% e 59,3%) na remoção desses parâmetros é baixa, se comparada com os estudos já realizados na propriedade, os quais obtiveram valores acima de 90% na degradação de SV.

Nas análises do material da primeira coleta, observou-se um aumento da concentração de NTK no biodigestor. Como o biodigestor

possui um TRH de 30 dias, e esta foi uma amostragem pontual, não se pode afirmar com exatidão o motivo do aumento da concentração. Contudo, é provável que essa tenha sido uma variação do NTK do dejetos bruto que se encontrava mais concentrado próximo dos 30 dias anteriores à data da coleta.

Os dados de análises dos dejetos da primeira coleta encontram-se na Tabela 14, e os dados da segunda análise são apresentados na Tabela 15.

**Tabela 14.** Primeira análise físico-química dos dejetos na propriedade (coleta em 13/04/2015).

PONTOS	PARÂMETROS					
	pH	DQO [mg/L]	ST [mg/kg]	SV [mg/kg]	Fósforo [mg/L]	NTK [mg/L]
<b>PT-01</b>	6,53	41.810	28.600	20.630	530,00	1.200
<b>PT-02</b>	7,49	9.150	14.760	8.400	282,30	1.310
<b>E<sub>bio</sub> (%)</b>	-	78,1	48,4	59,3	46,7	-
<b>PT-03</b>	7,78	2.920	4.840	1.910	41,00	430
<b>E<sub>Total</sub> (%)</b>	-	93,0	83,1	90,7	92,3	-

**Tabela 15.** Segunda análise físico-química dos dejetos na propriedade (coleta em 01/07/2015).

PONTOS	PARÂMETROS					
	pH	DQO [mg/L]	ST [mg/kg]	SV [mg/kg]	Fósforo [mg/L]	NTK [mg/L]
<b>PT-01</b>	8,52	6.950	18.240	11.130	494,00	1.010
<b>PT-02</b>	6,88	9.570	17.300	10.660	295,00	896
<b>E<sub>bio</sub> (%)</b>	-	-	-	-	-	-
<b>PT-03</b>	7,28	6.180	14.460	8.060	141,60	1.015
<b>E<sub>Total</sub> (%)</b>	-	-	-	-	-	-

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- ✓ As avaliações de eficiência do sistema de tratamento dos dejetos realizadas pelos autores citados têm mostrado ótimos resultados desde os primeiros estudos realizados em 2005.
- ✓ Ao reunir os trabalhos realizados na propriedade pelo projeto TSGA, a partir de 2007, percebe-se a evolução da propriedade como Unidade Demonstrativa de sustentabilidade ambiental na suinocultura, tendo em vista as pesquisas e ações que visam a não poluição (degradação) do ambiente local e a valorização dos subprodutos da cadeia produtiva.
- ✓ Para a implementação de um sistema eficaz de aproveitamento energético do biogás na propriedade, deve ser considerada a inclusão de um controlador de vazão de biogás automático no conjunto motogerador para as variações de cargas indutivas oscilantes.
- ✓ A avaliação atual realizada no sistema de tratamento de dejetos apresentou valores dentro da amplitude de variação encontrada pelos autores dos estudos apresentados.
- ✓ As ações do projeto TSGA voltadas à adequação ambiental da propriedade, referente às exigências legais vigentes (TAC, PRAD, RL e CAR), a têm conduzido a uma posição de destaque na região como propriedade modelo.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE CRIADORES DE SUÍNOS (Santa Catarina). **Relatório Anual 2013**. Concórdia: ACCS, 2014. 28 p.

ALBUQUERQUE, Allan Lange; WEYDMANN, Celso Leonardo. **Avaliação da Regulação Ambiental para a Suinocultura: Comparação Entre os Principais Estados Produtores**. In: ENCONTRO DE ECONOMIA CATARINENSE, 1. 2007, Rio do Sul. Anais... . Rio do Sul: APEC, 2007.

ALMEIDA, Aelson Silva de. **A Contribuição da Extensão Universitária para o Desenvolvimento de Tecnologias Sociais**. In: REDE DE TECNOLOGIA SOCIAL (Org.). *Tecnologia Social e Desenvolvimento Sustentável: Contribuições da RTS para a formulação de uma Política de Estado de Ciência, Tecnologia e Inovação*. Brasília: RTS, 2010. p. 9-15.

ALVES, Rui Guilherme Cavaleiro de Macedo. **Tratamento e Valorização de Dejetos da Suinocultura Através de Processos Anaeróbios: Operação e Avaliação de Diversos Reatores em Escala Real**. 2007. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

AMARAL, Liza Lyszkowski do; FERREIRA, Tatiana Fleck; MOREIRA, Braz Camões; MARCHI, Sincler Luiz; PEDROSO-DE-PAIVA, Doralice. **Regularização Ambiental da Atividade Suinícola no Estado de Santa Catarina**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2003. 6p. (EMBRAPA-CNPSA. Cartilha Técnica).

ANGONESE, André R.; CAMPOS, Alessandro T.; ZACARKIM, Carlos E.; MATSUO, Melissa S.; CUNHA, Francielly. **Eficiência Energética de Sistema de Produção de Suíno com Tratamento dos Resíduos em Biodigestor**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 3, p.745-750, dez. 2005.

APHA . (American Public Health Association) – AWWA (American Water Works Association) – WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th Edition, 2005.

- BELLI FILHO, Paulo. **Stockage et odeurs des dejections animales: cas du lisier de porc**. 1995. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Química Industrial e Ambiental, Université de Rennes I, Rennes. França, 1995.
- BELLI FILHO, Paulo; CASTILHOS JR. Armando Borges de; COSTA, Rejane Helena Ribeiro da; SOARES, Sebastião Roberto; PERDOMO, Carlos Cláudio. **Tecnologias para o Tratamento de Dejetos de Suínos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v. 5, n. 1, p.166-170. abr/2001.
- BELLI FILHO, Paulo; MARTINS, Sergio Roberto; SILVA, Daniel José da. **Social Technologies for the Management of Water**. In: SENS, Maurício Luiz; MONDARDO, Renata Iza (Org.). Science and Technology for Environmental Studies: Experiences from Brazil, Portugal and Germany. Florianópolis: UFSC, 2010. p. 109-119.
- BELLI FILHO, Paulo; VERAS, Valéria. **Projeto Tecnologias Sociais para Gestão da Água**. In: BOLDRINI, Eliane Beê; LACERDA, Liliane; CASSILHA, Murilo Fernandes (Org.). Floresta, Água e Clima: Boas Práticas nos Biomas Brasileiros. Curitiba: Ademadan, 2015. p. 226-228.
- BENEDET, Lucas; MÜLLER JR, Vilmar; VENTURA, Barbara Santos; LAZZARI, Cleiton Júnior Ribeiro; SOUZA, Monique; COMIN, Jucinei José. **Teores de Nitrogênio Mineral e Total em Solo Submetido a Oito Anos de Aplicações de Dejetos Suínos**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 34º, 2013, Florianópolis. Anais... . Florianópolis: CBCS, 2013. 4p.
- BRASIL. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006: Agricultura Familiar**. Primeiros Resultados. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 265 p.
- \_\_\_\_\_. **Produção da Pecuária Municipal, 2013**. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 108 p.
- BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Política Nacional do Meio Ambiente**. Brasília, DF.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.605, de 12 de janeiro de 1998. **Lei de Crimes Ambientais**. Brasília, DF.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.651, de 25 de janeiro de 2012. **Código Florestal Federal**. Brasília, DF.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (Org.). **Gestão Ambiental de Propriedades Suinícolas: Experiência do Projeto Suinocultura Santa Catarina - PNMA II**. Florianópolis: FATMA / Embrapa, 2006.

\_\_\_\_\_. **Recuperação de Áreas Degradadas**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/assuntos-internacionais/temas-multilaterais/item/8705-recuperacao-de-areas-degradadas>>. Acesso em: 02 jul. 2015.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 380 p. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias; 5).

COLDEBELLA, Anderson; SOUZA, Samuel Nelson Melegari de; FERRI, Priscila; KOLLING, Evandro Marcos. **Viabilidade da Geração de Energia Elétrica Através de um Motor Gerador Utilizando Biogás da Suinocultura**. Informe Gepec - Unioeste, Toledo/PR, v. 12, n. 2, p.44-55, jul. 2008.

COUTO, Rafael da Rosa. **Dinâmica do Carbono e Rendimento de Culturas em Solo com Histórico de Aplicação de Dejetos Suínos e Fertilizante Nitrogenado Mineral**. 2010. 107 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agroecossistemas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

\_\_\_\_\_. **Vulnerabilidade do Solo a Poluição por Fósforo, Cobre e Zinco, em Áreas Sob Aplicação de Dejetos Suínos**. 2014. 179 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 237**, de 19 de janeiro de 1997. Brasília, DF.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 357**, de 17 de janeiro de 2005. Brasília, DF, Complementada e alterada pelas Resoluções 410/2009 e 430/2011.

CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (Estado). Resolução nº 03, de 25 de janeiro de 2008. **Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental**. Florianópolis, SC.

CORRÊA, Juliano Corulli; NICOLOSO, Rodrigo da Silveira; MENEZES, June Faria Scherrer; BENITES, Vinícius de Melo. **CrITÉrios Técnicos para Recomendação de Biofertilizante de Origem Animal em Sistemas de Produção Agrícolas e Florestais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. 8 p. Comunicado Técnico 486.

DAL MAGO, Anigeli. **Avaliação de Biodigestores com o Uso de Dejetos de Suínos em Braço do Norte e em Concórdia**. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

DIESEL, Roberto; MIRANDA, Cláudio Rocha; PERDOMO, Carlos Cláudio. **Coletânea de Tecnologias Sobre Dejetos Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves / Emater, 2002. (Boletim Informativo BIPERS).

FRIEHE, JÖRG; WEILAND, PETER; SCHATTAUER, ALEXANDER. **Fundamentos da Fermentação Anaeróbia**. In: FNR. FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE (Alemanha) (Org.). Guia Prático do Biogás: Geração e Utilização. 5. ed. Gülzow: FNR, 2010. Cap. 2. p. 20-30.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA. **Instrução Normativa nº 11 - Suinocultura**. Florianópolis: FATMA, 2014.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 15: Averbação de Reserva Legal**. Florianópolis: FATMA, 2013.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 16: Recuperação de Áreas Degradadas**. Florianópolis: FATMA, 2012.

\_\_\_\_\_. **Instrução Normativa nº 41: Suinocultura – Termo de Ajustamento de Conduta.** Florianópolis: FATMA, 2008.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. **Tecnologia Social.** Disponível em: <<http://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/o-que-e/tecnologia-social/>>. Acesso em: 15 ago. 2015.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA / INPE (Brasil). **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica: Período 2012 - 2013.** São Paulo: SOS MA / INPE, 2014. 61 p. (Relatório Técnico).

FUNDESA. **Sustentabilidade Ambiental na Produção de Suínos: Recomendações Básicas.** Porto Alegre: Fundesa, 2014. 58 p. (Coord. Conselho Técnico Operacional de Suinocultura Fundesa).

GOMES, A. V. **Potencial de Geração de Energia Através da Gestão dos Dejetos na Suinocultura na Sub-bacia Hidrográfica do Rio Coruja/Bonito em Braço do Norte/SC.** 2009. 63f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

GONÇALVES, Juliane. **Licenciamento Ambiental em Propriedades Rurais: Estudo de Caso em Estabelecimento Suinícola em Braço do Norte / SC.** 2012. 132 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GOSMANN, Hugo Adolfo. **Estudos Comparativos com Bioesterqueira e Esterqueira para Armazenamento e Valorização dos Dejetos de Suínos.** 1997. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

HENN, Alan. **Avaliação de Dois Sistemas de Manejo de Dejetos em Uma Pequena Propriedade Produtora de Suínos - Condição de Partida.** 2005. 157 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

HONEYMAN, Mark S. **Sustainability Issues of U.S. Swine Production.** Journal Of Animal Science, [s.l.], n. 74, p.1410-1417, 1996.

INSTITUTO DE TECNOLOGIA SOCIAL. **Reflexões Sobre a Construção do Conceito de Tecnologia Social.** In: FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL (Org.). Tecnologia Social: Uma Estratégia para o Desenvolvimento. Rio de Janeiro: FBB, 2004. p. 117-133.

JACOBI, Pedro. **Educação Ambiental, Cidadania e Sustentabilidade.** Cadernos de Pesquisa, São Paulo, v. 118, p.189-205, mar. 2003.

KONZEN, Egídio Arno. **Fertilização de Lavoura e Pastagem com Dejetos de Suínos e Cama de Aves.** Videira: Embrapa, 2003. 16 p. (V Seminário Técnico da Cultura de Milho).

KUNZ, Airon; HIGARASHI, Martha Mayumi; OLIVEIRA, Paulo Armando de. **Tecnologias de Manejo e Tratamento de Dejetos de Suínos Estudadas no Brasil.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 3, p.651-665, dez/2005.

KUNZ, Airon; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de; HIGARASHI, Martha Mayumi; SANGOI, Vicente. **Recomendações para Uso de Esterqueiras para Armazenagem de Dejetos de Suínos.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 4 p. (Comunicado Técnico 361).

LINDEMEYER, Ricardo Matsukura. **Análise da Viabilidade Econômico-financeira do Uso do Biogás como Fonte de Energia Elétrica.** 2008. 105 f. Trabalho de Conclusão de Estágio (Graduação) - Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MIELE, Marcelo. **Contratos, Especialização, Escala de Produção e Potencial Poluidor na Suinocultura de Santa Catarina.** Tese (Doutorado). UFRGS. Porto Alegre. 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa nº 04,** de 13 de janeiro de 2011. **Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas.** Brasília, 2011.

MIRANDA, Cláudio Rocha de. **Avaliação de Estratégias para Sustentabilidade da Suinocultura**. 2005. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

MIRANDA, Cláudio Rocha de; BONÊZ, Gentil (Org). **Dia de Campo: suinocultura e Meio Ambiente: Termo de Ajustamento de Condutas da Suinocultura**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009. 47p.

MOHEDANO, Rodrigo de Almeida. **Uso de Macrófitas Lemnáceas (*Landoltia punctata*) no Polimento e Valorização do Efluente de Suinocultura e na Fixação de Carbono**. 2010. 270 f. Tese (Doutorado) - Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

MOHEDANO, Rodrigo de A.; COSTA, Rejane Helena R. da; TAVARES, Flávia A.; BELLI FILHO, Paulo. **High Nutrient Removal Rate from Swine Wastes and Protein Biomass Production by Full-scale Duckweed Ponds**. Bioresource Technology, [s.l.], v. 112, p.98-104, maio 2012. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.02.083.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de. **Produção e Aproveitamento do Biogás**. In: OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de (Coord.). Tecnologias para o Manejo de Resíduos na Produção de Suínos: Manual de Boas Práticas. Concórdia: Embrapa, 2004. Cap. 4. p. 42-55. (PNMA II - Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina).

\_\_\_\_\_. **Projeto de Biodigestor e Estimativa da Produção de Biogás em Sistema de Produção**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005. 8 p. (Comunicado Técnico 417).

\_\_\_\_\_. **Produção de Suínos em Sistemas Sustentáveis**. In: II ANISUS - CONGRESSO BRASILEIRO DE PRODUÇÃO ANIMAL SUSTENTÁVEL. 2012. Anais... . Chapecó: ANISUS, 2012. p. 57 - 70.

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; HIGARASHI, Martha Mayumi. **Geração e Utilização de Biogás em Unidades de Produção de Suínos**. Concórdia: Embrapa, 2006. 42 p. (Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em Santa Catarina).

OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de; NUNES, Maria Luisa A.. **Sustentabilidade Ambiental da Suinocultura**. 2006. Disponível em: <[http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/anais0205\\_oliveira.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais0205_oliveira.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2015.

PALHARES, Julio Cesar Pascale. **Considerações Técnicas para a Viabilização Ambiental de uma Granja de Suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. (Comunicado Técnico 364).

ROESLER, Marli R. Von Borstel; CESCNETO, Eugênia Aparecida. **A Produção de Suínos e as Propostas de Gestão de Ativos Ambientais: O Caso da Região de Toledo – Paraná**. 2003.

ROTTA, André Renato. **Avaliação de Propriedades Suinícolas Familiares Quanto à Legislação Ambiental Vigente: Estudo de Caso em Propriedade Rural de Braço do Norte / SC**. 2009. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SANTA CATARINA. Epagri. Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca (Ed.). **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2013-2014**. Florianópolis: Epagri / Cepa, 2014. 208 p.

SANTA CATARINA (Estado). **Decreto nº 14.250**, de 05 de janeiro de 1981.

\_\_\_\_\_. Lei nº 6.320, de 20 de dezembro de 1983. **Código Sanitário Estadual**. Florianópolis, SC.

\_\_\_\_\_. Lei nº 14.675, de 13 de janeiro de 2009. **Código Estadual do Meio Ambiente**. Florianópolis, SC.

\_\_\_\_\_. **Portaria nº 24**, de 19 de janeiro de 1979. Florianópolis, SC.

SÃO PAULO. CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Biogás: Fundamentos**. 2015. Disponível em: <<http://biogas.cetesb.sp.gov.br/biogas/fundamentos>>. Acesso em: 13 mar. 2015.

SILVA JR., Vamilson Prudêncio da; ZAMPARETTI, Adilson de Freitas; MOSS, Rodney Edwin. **Uso de Dejetos como Fertilizante**

**Orgânico.** In: BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. (Org.). Gestão Ambiental de Propriedades Suinícolas: Experiência do Projeto Suinocultura SC - PNMA II. Florianópolis: Fatma / Embrapa, 2006. p. 43-56.

TAVARES, Flávia de Almeida. **Eficiência da *Lemna sp* no Tratamento de Efluentes Líquidos de Suinocultura e sua Utilização como Fonte Alternativa de Alimento para Tilápias.** 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues. **Consumo de Água e Produção de Dejetos na Suinocultura.** 2012. 233 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

TAVARES, Jorge M. Rodrigues; BELLI FILHO, Paulo; COLDEBELLA, Anderson. **The Water Disappearance and Manure Production at Commercial Growing-Finishing Pig Farms.** Livestock Science, [s.l.], v. 169, p.146-154, nov. 2014. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.livsci.2014.09.006.

TAVARES, Jorge Manuel Rodrigues; OLIVEIRA, Paulo Armando V. de; BELLI FILHO, Paulo. **Sustentabilidade na Suinocultura: Reduções de Consumo de Água e de Dejetos na Produção Animal.** Belo Horizonte, MG: SILUBESA, 2012. 10 p. (XV Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental).

VELHO, Viviane F; MOHEDANO, Rodrigo de Almeida; BELLI FILHO, Paulo; COSTA, Rejane Helena R. da. **The Viability of Treated Piggery Wastewater for Reuse in Agricultural Irrigation.** International Journal Of Recycling Of Organic Waste In Agriculture, [s.l.], v. 1, n. 1, p.10-18, 2012. DOI: 10.1186/2251-7715-1-10.

WEILAND, Peter. **Biogas Production: Current State and Perspectives.** Applied Microbiology and Biotechnology, [s.l.], v. 85, n.4, p.849-860, 24 set. 2009. DOI: 10.1007/s00253-009-2246-7.

ZAMPARETTI, Adilson; GAYA, João Paulo. **O Uso Racional dos Dejetos como Adubo Orgânico.** In: OLIVEIRA, Paulo Armando Victória de (Coord.). Tecnologias para o Manejo de Resíduos na

Produção de Suínos: Manual de Boas Práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. Cap. 7. p. 80-86. (Projeto de Controle da Degradação Ambiental Decorrente da Suinocultura em SC - PNMA II).

## ANEXOS

ANEXO A: Tabela de conversão da medida de densidade dos dejetos ( $\text{kg/m}^3$ ), para estimativa de concentração de nutrientes e dosagem de dejetos ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) a ser aplicada em lavouras de milho.

Densidade ( $\text{kg/m}^3$ )	MS (%)	N ( $\text{kg/m}^3$ )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( $\text{kg/m}^3$ )	K <sub>2</sub> O ( $\text{kg/m}^3$ )	Dejetos a aplicar, lavoura de milho ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )			
					De 50 a 100 sc/ha		Mais de 100 sacos/ha	
					M.O.(%) 2,6 a 3,5	M.O. (%) 3,6 a 4,5	M.O. (%) 2,6 a 3,5	M.O. (%) 3,6 a 4,5
1002	-	0,68	0,22	0,63	162	132	206	176
1004	0,27	0,98	0,52	0,75	112	92	143	122
1006	0,72	1,29	0,83	0,88	85	70	109	93
1008	1,17	1,60	1,14	1,00	69	56	88	75
1010	1,63	1,91	1,45	1,13	58	47	73	63
1012	2,09	2,12	1,75	1,25	52	42	66	57
1014	2,54	2,52	2,06	1,38	44	36	56	48
1016	3,00	2,83	2,37	1,50	39	32	49	42
1018	3,46	3,13	2,68	1,63	35	29	45	38
1020	3,91	3,44	2,99	1,75	32	26	41	35
1022	4,37	3,75	3,29	1,88	29	24	37	32
1024	4,82	4,06	3,60	2,00	27	22	34	30
1026	5,28	4,36	3,91	2,13	25	21	32	28
1028	5,74	4,67	4,22	2,25	24	19	30	26
1030	6,19	4,98	4,53	2,38	22	18	28	24
1032	6,65	5,28	4,84	2,50	21	17	27	23
1034	7,10	5,59	5,14	2,63	20	16	25	21
1036	7,56	5,90	5,45	2,75	19	15	24	20
1038	8,02	6,21	5,76	2,88	18	14	23	19

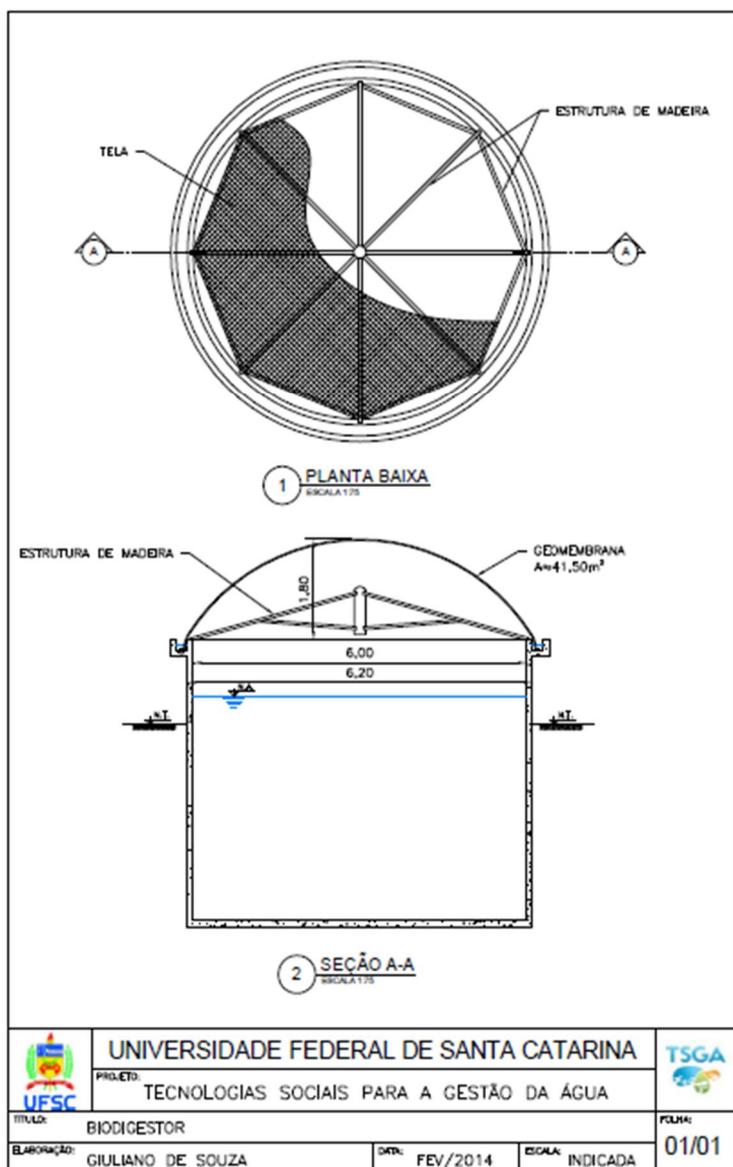
Fonte: Adaptado de Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC (1995) apud Oliveira (2004).







## ANEXO C: Planta da reforma do Biodigestor.





ANEXO D: Tabelas com critérios, escala, escore e pesos adotados na classificação da vulnerabilidade à poluição por fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) em áreas sob aplicações de dejetos líquidos de suínos.

Tabela 1. Classificação da vulnerabilidade à poluição por fósforo (P), cobre (Cu) e zinco (Zn) em áreas sob aplicações de dejetos líquidos de suínos.

Critério	Variação	Escala	Escore	Peso
Perda de solo em Mg ha <sup>-1</sup>	<0,1	Muito baixa	0,90	0,45
	0,1-12	Baixa	0,85	
	12,1 - 25	Média	0,60	
	25,1 - 37	Alta	0,25	
	>37,1	Muito alta	0,10	
Distância de drenagem em metros	> 150	Muito baixa	0,85	0,05
	149-100	Baixa	0,80	
	99-80	Média	0,65	
	79-50	Alta	0,35	
	< 50	Muito alta	0,30	
Elemento químico adimensional no solo (P, Cu ou Zn) <sup>(1)</sup>	-	Muito baixa	0,95	0,30
	-	Baixa	0,85	
	-	Média	0,55	
	-	Alta	0,25	
	-	Muito alta	0,10	
Taxa de Aplicação de P, Cu e Zn em m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> <sub>1(2)</sub>	-	Nula	0,99	0,20
	-	Baixa	0,75	
	-	Média	0,5	
	-	Alta	0,1	
	-			

<sup>(1)</sup> Faixa de variação para P, Cu e Zn adimensional conforme Tabela 2.

<sup>(2)</sup> Faixa de variação para o critério Taxa de Aplicação, conforme Tabela 3.

Tabela 2. Faixa de variação e escala para os elementos P, Cu e Zn adimensional no solo.

Critério	Varição	Escala
Fósforo adimensional no solo	0,90 - 1	Muito Baixo
	0,75 - 0,89	Baixo
	0,5 - 0,74	Médio
	0,49 - 0,20	Alto
	0,19 - 0,00	Muito alto
Cobre ou Zinco adimensional no solo	0,85 - 1	Muito baixo
	0,70 - 0,84	Baixo
	0,40 - 0,69	Médio
	0,39 - 0,10	Alto
	0,09 - 0,00	Muito alto

Tabela 3. Critério, variação e escala da taxa de aplicação de P, Cu e Zn contido nos dejetos líquidos de suínos.

Critério	Varição	Escala
Taxa de Aplicação de P em $m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	Não aplica	Nula
	1 até 32	Baixa
	33 até 65	Média
	>65	Alta
Taxa de Aplicação de Cu em $m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	Não aplica	Nula
	1 até 10	Baixa
	10 até 20	Média
Taxa de Aplicação de Zn em $m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$	Não aplica	Nula
	1 até 15	Baixa
	15 até 30	Média
	>30	Alta