



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Centro Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental



ALAN HENN

**AVALIAÇÃO DE DOIS SISTEMAS DE MANEJO DE DEJETOS EM UMA
PEQUENA PROPRIEDADE PRODUTORA DE SUÍNOS – CONDIÇÃO DE PARTIDA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi

Florianópolis, SC – Brasil

Fevereiro, 2005

**“AVALIAÇÃO DE DOIS SISTEMAS DE MANEJO DE DEJETOS EM UMA
PEQUENA PROPRIEDADE PRODUTORA DE SUÍNOS – CONDIÇÃO DE
PARTIDA”.**

ALAN HENN

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

Aprovado por:

Prof. Paulo Belli Filho, Dr.

Prof. Narciso Angel Ramos Arroyo, Dr.

Prof. Henry Xavier Corseuil, Dr.
(Coordenador)

Prof. Luiz Sérgio Philippi, Dr.
(Orientador)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
25 DE FEVEREIRO DE 2005

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelas dádivas concedidas e por iluminar e guiar meus passos.

Ao Prof. Dr. Luiz Sérgio Philippi, pela valorosa orientação, amizade, paciência e incentivo para a concretização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Paulo Belli Filho, coordenador do Projeto “Suínos-SC” na UFSC, pela oportunidade, amizade e apoio para realização deste trabalho.

A Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) pelos conhecimentos transmitidos.

Ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS/UFSC), pela estrutura física, pessoal e laboratorial, em particular por oportunizar as instalações do Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) para realização das análises físico-químicas desta pesquisa.

A banca examinadora, Prof. Dr. Narciso Angel Ramos Arroyo e Prof. Dr. Paulo Belli Filho pelas valiosas contribuições no final da execução deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil pelo apoio recebido através da concessão de Bolsa de Formação de Pesquisador de Mestrado.

A UFSC, UNOESC, EPAGRI, EMBRAPA e PERDIGÃO S.A., instituições parceiras e a FUNDAGRO/FINEP, FUNCITEC e CNPq, instituições apoiadoras.

A Hugo Adolfo Gosmann, diretor do Ciram/EPAGRI/SC em Florianópolis, pela amizade e cooperação no decorrer da execução dos trabalhos.

A Antônio Paulo Correa Filgueiras, da EPAGRI de Braço do Norte/SC, pela amizade e apoio no período inicial dos trabalhos.

Ao Sr. Valdir Wiggers e família, donos da propriedade escolhida, pela amizade e generosidade durante todo o período de pesquisa de campo.

A Elisa Filter, minha mãe, pelo amor, carinho e cooperação durante todo este período.

Aos colegas de mestrado e doutorado pela amizade e participação no decorrer desta pesquisa.

A Rilliam Schauffert, minha namorada, pelo amor, amizade e incentivo demonstrado nesse período de convivência.

A Alexandre Ghilardi Machado, secretário do Projeto “Suínos-SC”, pela amizade e por sempre estar disposto a ajudar no decorrer da pesquisa.

A todos, que de alguma forma participaram para consolidação e existência desta dissertação.

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade, porque se tornará assim uma máquina utilizável e não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo, do que é moralmente correto”.

(Albert Einstein)

RESUMO

Esta pesquisa faz parte de um projeto, com diversos subcomponentes, intitulado “Validação de Tecnologias para o Manejo, Tratamento e Valorização dos Dejetos de Suínos em Santa Catarina – Pequenas e Médias Produções” que associa proposições tecnológicas, educação sanitária e ambiental com um meio ambiente equilibrado. A suinocultura catarinense é a mais dinâmica do Brasil, possuindo relevante importância social, econômica, ambiental e cultural. O Estado possui um plantel de aproximadamente 5,4 milhões de cabeças. Este plantel está alojado em cerca de 12 mil propriedades suícolas. A atividade em Santa Catarina responde por 24% da produção nacional e representa 54% das exportações brasileiras. A crescente evolução dos índices de desempenho e melhoria do padrão sanitário, obtido nos últimos anos, coloca a produção catarinense de suínos no patamar de competitividade internacional. O setor de produção da suinocultura demanda anualmente $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ de água e são gerados $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ de efluentes. No entanto, é um setor com baixa qualidade ambiental, pois polui as águas, os solos, emite maus odores e proporciona uma proliferação descontrolada de insetos, o que ocasiona nas regiões suícolas desconforto ambiental. Além disso, coloca em risco a sustentabilidade e a própria expansão da suinocultura como atividade econômica. O objetivo geral desta pesquisa foi estudar a fase de início de funcionamento de dois sistemas de manejo que integram o tratamento e o armazenamento de dejetos em escala real, implantados em uma pequena propriedade produtora de suínos, localizada no município de Braço do Norte – SC, no distrito de Pinheiral, na bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito. O primeiro sistema era uma esterqueira com 240 m^3 e tempo de armazenamento de 120 dias e o segundo era composto de um biodigestor com 90 m^3 e tempo de retenção hidráulico de 45 dias, seguido de uma esterqueira com 360 m^3 e tempo de armazenamento de 180 dias. Além disso, estimulou-se a gestão ambiental, através da implantação de bebedouros ecológicos, do manejo e do tratamento dos dejetos, visando minimizar seus impactos ambientais. Através de análises físico-químicas das amostras de entrada e saída dos sistemas foram monitorados parâmetros de performance da digestão anaeróbia como a temperatura, o pH, o potencial redox, a acidez total, a DBO_5 , a DQO, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV), sólidos sedimentáveis e nutrientes como nitrogênio e fósforo. O dejetos bruto que alimentava o biodigestor possuía concentrações médias para DQO de $43,4 \text{ Kg/m}^3$ e para ST de $36,1 \text{ Kg/m}^3$. As eficiências médias de remoção foram bastante satisfatórias: o biodigestor removeu 92% de DBO_5 , 92% de DQO, 88% de ST e 92% de SV, e na seqüência a esterqueira 2 removeu 75% de nitrogênio amoniacal, 75% de NTK e 77% de P. Já a esterqueira 1 removeu 82% de DQO e 74% de P. A tecnologia implantada na propriedade respondeu por alta remoção das cargas poluidoras. Os estudos realizados mostraram bons resultados, reflexo do andamento positivo desta pesquisa, frente ao problema sério de poluição local existente.

Palavras-chave: manejo, digestão anaeróbia, biodigestor, dejetos de suínos, biogás, valorização, gestão ambiental, sustentabilidade.

ABSTRACT

This research is a part of a project with different components entitled “Technologies Validation to Handling, Treatment and Valorization of the Swine Wastes in Santa Catarina – Small and Average Productions” that associates technological propositions, public health and environmental education for an equilibrated environment. The Santa Catarina piggery is the most active in Brazil. It has great social, economic, environmental and cultural importance. The State has a herd with approximately 5.4 millions of swines. That herd is lodged in nearly 12 thousand rural properties. The activity in Santa Catarina responds for 24% of the national production and represents 54% of the brazilian exportations. The crescent evolution of the indexes of discharge and improve of the sanitary standard, obtained on the last years, puts the State production’s of swines on the berm of international competitiveness. The piggery production sector demands yearly $25 \times 10^6 \text{ m}^3$ of water and is generated $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ of effluents. However, is a sector with poor environmental quality, therefore pollutes the waters, the soil, emits bad odors and provides a not controled proliferation of insects. This causes in the regions producers of swines environmental discomfort. Besides, put the sustainability and the own expansion of piggery in risk how economic activity. The general objective of this research was to study the run initial phase of two systems of handling that integrate the treatment and the storage of the swine wastes in real scale, implanted in a small property that create swines, situated on Brazil, in Santa Catarina’s State, in Braço do Norte’s county, in the Pinheiral’s District, on catchment basin of the river Coruja/Bonito. The first system was a storage tank’s with 240 m^3 and storage time of 120 days and the second was compounded of a biodigester tank with 90 m^3 and hydraulic retention time of 45 days, following of a storage tank’s with 360 m^3 and storage time of 180 days. Besides, was stimulated the environmental management, through from the implantation of ecological drinking fountains, from the handling and treatment of the swine wastes, aiming to reduce the environmental impacts. Through physic chemistry analyses of the input and output samples’s of the systems were monitored parameters of performance of the anaerobic digestion how the temperature, the pH, the redox potential, the total acidity, the BOD_5 , the COD, total solids (TS), fixed solids (FS), volatile solids (VS), settling solids and the nutrients nitrogen and phosphorus. The crude swine waste that fed the biodigester tank had average concentrations of 43.4 Kg/m^3 to COD and 36.1 Kg/m^3 to TS. The average efficiencies of removal was very satisfactory: the biodigester tank removed 92% of BOD_5 , 92% of COD, 88% of TS and 92% of VS, in sequence the storage tank 2’s removed 75% of ammonia nitrogen, 75% of TKN and 77% of P. Besides the storage tank 1’s removed 82% of COD and 74% of P. The technology implanted in the property answered for high removal of the pollutional loads. The accomplished studies showed good results, influence of the positive course of this research, front a serious problem of local existent pollution.

Key words: handling, anaerobic digestion, biodigester tank, swine wastes, natural gas, valorization, environmental management, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efetivo de suínos em 2002, segundo os 10 principais municípios produtores do Brasil.	34
Figura 2: Principais rios e bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina.....	37
Figura 3: Produção de suínos atual, segundo as 10 regiões hidrográficas do Estado de Santa Catarina.	39
Figura 4: Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica.....	52
Figura 5: Esquema de uma bioesterqueira, em planta e corte, com fluxo dos dejetos.....	71
Figura 6: Modelos de biodigestores.....	74
Figura 7: Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia.....	75
Figura 8: Desenho esquemático de um reator UASB.....	76
Figura 9: Mapa com a localização do sistema de tratamento, implantado na propriedade escolhida, sobre a bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito, e esta, segundo as unidades Federal, Estadual e Municipal.....	80
Figura 10: Esquema do sistema de tratamento implantado na pequena propriedade.....	84
Figura 11: Vista aérea da propriedade do Sr. Valdir Wiggers em Braço do Norte – SC (Fotografia aérea tirada em 25/07/1998), com a área de locação do sistema de tratamento e armazenamento demarcada em vermelho.....	85
Figura 12: Vista da unidade de homogeneização depois de reformada.....	86
Figura 13: Fluxograma da linha de tratamento 1.....	88
Figura 14: Vista da esterqueira 1, parte do sistema de tratamento de dejetos suínos, em Braço do Norte – SC.....	88
Figura 15: Fluxograma da linha de tratamento 2.....	89
Figura 16: Vista do biodigestor (ao fundo) e da esterqueira 2, unidades da linha de tratamento 2, em pleno funcionamento em Braço do Norte – SC.....	90
Figura 17: Esquema do biodigestor implantado na pequena propriedade.....	91
Figura 18: Vista do biodigestor, do selo hídrico e do gasômetro instalados na propriedade.....	91
Figura 19: Esquema do selo hídrico instalado ao lado do biodigestor.....	92
Figura 20: Comportamento da temperatura (T) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	112
Figura 21: Comportamento do pH ao longo do período de monitoramento do sistema.....	115
Figura 22: Comportamento da acidez total (A_T) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	116
Figura 23: Comportamento do potencial redox (Eh) ao longo do período de monitoramento do sistema.	117
Figura 24: Comportamento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	119
Figura 25: Comportamento da demanda química de oxigênio (DQO) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	121
Figura 26: Comportamento dos sólidos totais (ST) ao longo do período de monitoramento do sistema.	123
Figura 27: Comportamento dos sólidos totais fixos (SF) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	124
Figura 28: Comportamento dos sólidos totais voláteis (SV) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	126
Figura 29: Comportamento dos sólidos sedimentáveis ao longo do período de monitoramento do sistema.....	127
Figura 30: Comportamento do nitrogênio total kjeldahl (NTK) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	128
Figura 31: Comportamento do nitrogênio amoniacal ao longo do período de monitoramento do sistema.....	131
Figura 32: Comportamento do fósforo total (P) ao longo do período de monitoramento do sistema.....	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Produção mundial de carne suína (mil toneladas).....	23
Tabela 2: Exportação mundial de carne suína (mil toneladas).....	24
Tabela 3: Produção e consumo mundial de carnes, 2002.....	24
Tabela 4: Consumo mundial de carne suína (mil toneladas).....	25
Tabela 5: Efetivo do rebanho brasileiro em 2002.....	30
Tabela 6: Efetivo de suínos no Brasil e no Estado de Santa Catarina, percentagem do Estado em relação à Federação e o crescimento catarinense ao longo dos últimos 15 anos levantados.....	31
Tabela 7: Efetivo de suínos segundo as grandes regiões e algumas Unidades da Federação Brasileira, ao longo dos últimos cinco anos levantados.....	32
Tabela 8: Efetivo de suínos, segundo as mesorregiões, as microrregiões e alguns municípios do Estado de Santa Catarina, ao longo dos últimos cinco anos levantados.....	33
Tabela 9: Valores de densidade com relação ao número de suínos, à população e a área dos municípios mais representativos para suinocultura catarinense em 2002.....	35
Tabela 10: Fontes poluidoras mais comuns e tipos de poluição por região hidrográfica.....	41
Tabela 11: Dados referentes às regiões hidrográficas mais representativas da suinocultura catarinense.....	42
Tabela 12: Produção média diária de dejetos nas diferentes categorias dos suínos.....	44
Tabela 13: Composição média de dejetos de suínos estudada por diferentes autores.....	45
Tabela 14: Características físico-químicas dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação, observadas na região oeste de Santa Catarina.....	45
Tabela 15: Resumo do desenvolvimento histórico da tecnologia de biodigestão anaeróbia.....	50
Tabela 16: Composição química das bactérias metanogênicas.....	56
Tabela 17: Principais tipos de indústrias cujos efluentes podem ser tratados pela via anaeróbia.....	68
Tabela 18: Caracterização físico-química dos lodos utilizados na inoculação do biodigestor.....	94
Tabela 19: Cronograma operacional do sistema de tratamento implantado.....	99
Tabela 20: Descrição resumida do sistema avaliado.....	101
Tabela 21: Fatores máximos de diluição das amostras para os parâmetros analisados.....	105
Tabela 22: Parâmetros físico-químicos analisados e os respectivos equipamentos utilizados.....	106
Tabela 23: Cronograma das etapas da pesquisa.....	106
Tabela 24: Características físico-químicas dos dejetos brutos.....	109
Tabela 25: Valores e concentrações médias dos parâmetros físico-químicos analisados em cada unidade do sistema de tratamento e armazenamento implantado.....	134
Tabela 26: Eficiências médias de remoção (%) nas unidades do sistema de tratamento e armazenamento implantado.....	135

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPECS	Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína
ACCS	Associação Catarinense de Criadores de Suínos
Af.	Afluente
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
AME	Atividade Metanogênica Específica
A _T	Acidez Total
BH	Bacias Hidrográficas
Biod.	Biodigestor
BIRD	Banco Internacional para a Reconstrução e o Desenvolvimento
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CC	Ciclo Completo
CLIMERH	Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina
CNPSA	Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves
CO	Carga Orgânica
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Cavalo Vapor
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Eh	Potencial de Oxiredução
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ENS	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
EPAGRI	Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.
Est. 1	Esterqueira 1
Est. 2	Esterqueira 2
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FATMA	Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FUNCITEC	Fundação de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
FUNDAGRO	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural Sustentável do Estado de Santa Catarina
GPS	<i>Global Position System</i> – Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICEPA/SC	Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina

IN	Instrução Normativa
In. S.	Inóculo Suíno
In. S. B.	Inóculo Suíno e Bovino
LIMA	Laboratório Integrado de Meio Ambiente
LTE	Laboratório de Tratamento de Efluentes
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPSC	Ministério Público de Santa Catarina
MS	Matéria Seca
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNMA II	Programa Nacional do Meio Ambiente II
PP	Pequena Propriedade
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
RH	Regiões Hidrográficas
SDM	Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente
SF	Sólidos Totais Fixos
SH	Selo Hídrico
Sindicarne	Sindicato das Indústrias de Carnes e Derivados de Santa Catarina
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Totais Voláteis
T	Temperatura
TA	Tempo de Armazenamento
TAC	Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta
TJLP	Taxa de Juros de Longo Prazo
TRH	Tempo de Retenção Hidráulico
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
Un. H.	Unidade de Homogeneização
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVA	18
3 OBJETIVOS	20
3.1 Objetivo geral	20
3.2 Objetivos específicos	20
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
4.1 Cenário da suinocultura brasileira e mundial.....	21
4.2 Números da suinocultura nacional e de Santa Catarina	28
4.3 Condição da suinocultura catarinense e dos recursos hídricos.....	36
4.4 Caracterização dos dejetos de suínos.....	42
4.4.1 Quantificação e composição do efluente.....	42
4.4.2 Poluição causada pelos dejetos suínos	46
4.5 Digestão anaeróbia	49
4.5.1 Histórico.....	49
4.5.2 Fundamentação do processo	50
4.5.3 Microbiologia e fases da digestão anaeróbia.....	52
4.5.4 Condições ambientais.....	55
4.5.5 Parâmetros controláveis na digestão anaeróbia.....	62
4.5.6 Formação de biogás.....	65
4.5.7 Inibidores da digestão anaeróbia.....	66
4.5.8 Aplicações do processo	68
4.5.9 Tecnologias de tratamento anaeróbio e armazenamento para dejetos de suínos.....	69

5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	78
5.1 Propriedade escolhida.....	78
5.1.1 Processo de escolha.....	78
5.1.2 Informações ambientais e geográficas.....	79
5.1.3 Áreas do terreno, construída, livre e total.....	81
5.1.4 Processo de criação dos suínos.....	81
5.1.5 Informações sobre o efluente produzido.....	82
5.1.6 Informações sobre a água utilizada na propriedade.....	83
5.2 Justificativa para o sistema de tratamento proposto.....	83
5.2.1 Linha de tratamento 1: Esterqueira seguida de aplicação no solo.....	83
5.2.2 Linha de tratamento 2: Biodigestor anaeróbio, esterqueira e aplicação no solo.....	83
5.3 Descrição do sistema de tratamento implantado.....	83
5.4 Tecnologia avaliada.....	87
5.4.1 Linha de tratamento 1: Esterqueira.....	87
5.4.2 Linha de tratamento 2: Biodigestor seguido de armazenamento (Esterqueira).....	89
5.5 Cronograma de operação do sistema implantado.....	93
5.5.1 Inoculação.....	93
5.5.2 Teste de atividade metanogênica específica (AME).....	95
5.5.3 Partida e operação do sistema de tratamento e armazenamento.....	97
5.5.4 Cronograma operacional.....	98
5.5.5 Carga orgânica aplicada.....	99
5.5.6 Pendências e melhorias no sistema implantado.....	99
5.5.7 Descrição resumida do sistema avaliado.....	101
5.6 Coleta de amostras.....	101
5.6.1 Período de coletas.....	101
5.6.2 Rotina das coletas.....	102
5.7 Análises laboratoriais.....	103
5.7.1 Rotina analítica.....	103
5.7.2 Materiais e equipamentos utilizados nas análises laboratoriais.....	105
5.8 Resumo das etapas da pesquisa.....	106
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	107
6.1 Alterações nas características dos dejetos de suínos.....	107
6.2 Desempenho de partida do biodigestor.....	110
6.3 Comportamento e avaliação dos parâmetros físico-químicos analisados.....	112
6.3.1 Temperatura (T).....	112
6.3.2 Potencial hidrogeniônico (pH) e acidez total (A _T).....	114
6.3.3 Potencial redox (Eh).....	117
6.3.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO ₅).....	118
6.3.5 Demanda química de oxigênio (DQO).....	120
6.3.6 Sólidos totais (ST).....	122
6.3.7 Sólidos totais fixos (SF).....	124
6.3.8 Sólidos totais voláteis (SV).....	125
6.3.9 Sólidos sedimentáveis.....	127

6.3.10 Nitrogênio total kjeldahl (NTK).....	128
6.3.11 Nitrogênio amoniacal	129
6.3.12 Fósforo total (P)	133
6.4 Impactos ambientais positivos.....	135
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136
8 RECOMENDAÇÕES.....	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141
APÊNDICES	146
APÊNDICE A: Relação de materiais e equipamentos utilizados para realização das análises laboratoriais.....	147
APÊNDICE B: Quadros de resultados com as leituras de campo e as análises laboratoriais	149

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa faz parte de um projeto com diversos sub-componentes intitulados “Validação de Tecnologias para o Manejo, Tratamento e Valorização dos Dejetos de Suínos em Santa Catarina – Pequenas e Médias Produções” sob a sigla “Suínos – SC”, que associa proposições tecnológicas, educação sanitária e ambiental com um meio ambientalmente equilibrado.

A suinocultura brasileira vem apresentando nos últimos anos um nível altamente tecnificado, tanto pela genética utilizada, como pelo manejo e pela nutrição. Em virtude disso, ela deu um salto muito grande em pouco tempo, vindo a se equiparar com as melhores do mundo. Segundo o Instituto CEPA/SC (2002), entre as carnes produzidas e exportadas pelo Brasil, a de suínos foi a que apresentou melhor taxa de crescimento. O País produziu 2,89 milhões de toneladas e saltou da décima para a quarta posição no ranking dos maiores exportadores mundiais. A desvalorização cambial ajudou no aumento das vendas externas, que totalizaram 476 mil toneladas, um crescimento de 79,5% sobre 2001. Em receita, os embarques para o exterior somaram US\$ 481,4 milhões.

Ainda segundo o Instituto CEPA/SC (2002), a produção catarinense atingiu 688 mil toneladas de carne, representando 24% da produção nacional. O bom desempenho nas exportações representou 54% das vendas do Brasil. A suinocultura catarinense é considerada a mais dinâmica do país, possuindo relevante importância social, econômica, ambiental e cultural. Em 2002, Santa Catarina possuía um plantel de aproximadamente 5,4 milhões de cabeças. Segundo dados de Agosto de 2003, os mais recentes do Instituto CEPA/SC, existiam 418 mil matrizes alojadas em cerca de 12 mil propriedades suinícolas. Destas, 2.300 eram propriedades independentes e 9.700 integradas as agroindústrias.

A crescente evolução dos índices de desempenho e melhoria do padrão sanitário obtido nos últimos anos coloca a produção catarinense de suínos no patamar de competitividade internacional. O setor de produção da suinocultura demanda anualmente 25 milhões de metros cúbicos de água e são gerados 16 milhões de metros cúbicos de efluentes. Porém, é um setor com baixa qualidade ambiental, pois polui as águas, os solos, emite maus

odores e proporciona uma proliferação descontrolada de insetos, o que ocasiona nas regiões suínícolas grande desconforto ambiental.

Com uma área de 95.900 Km² e uma população de 4.859.718 habitantes, o estado apresenta densidade populacional de 50,67 habitantes/Km² e densidade de 47,29 suínos/Km² (IBGE, 1996).

Considerando que o potencial poluidor dos dejetos de suínos equivale a aproximadamente 3,5 vezes o potencial do esgoto sanitário, o estado apresenta um equivalente populacional de suínos de 15,8 milhões de habitantes, ou seja, 3,27 vezes a população do Estado.

Este setor possui muitas perspectivas de crescimento em suas exportações, porém para os países que exigem a ISO 14.000 ele, atualmente, está longe de enquadrar-se as suas regras. As recomendações internacionais, provenientes da série de normas ISO 14.000, impõem regras importantes aos setores produtivos que atuam na exportação de seus produtos, condicionando a liberação de barreiras ao fornecimento destes com qualidade ambiental para os consumidores. Estas normas apresentam orientações ao longo do ciclo de vida do produto consumido, avaliando desde a produção animal até a industrialização da carne suína colocada nas prateleiras dos supermercados.

Os avanços na qualidade técnica e produtividade de suínos no Brasil, estimula cada vez mais esta atividade, destacando-se nas regiões Sul e Sudeste do país. Em Santa Catarina, a suinocultura é praticada principalmente no oeste do Estado, tornando-se a principal fonte de renda da região. Contudo, no sul do Estado, ocupando o quarto lugar em Santa Catarina e a nona posição no Brasil, em produção suínícola, está o município de Braço do Norte, local deste estudo. Segundo IBGE (2002), Braço do Norte apresenta uma densidade de suínos, doze vezes maior que a do Estado e aproximadamente, seis vezes maior que o número de habitantes distribuídos por quilômetro quadrado do município.

O processo de modernização do setor e a aplicação do sistema de confinamento intensivo, que por sua vez, utiliza pequenas áreas e adota sistemas de higienização das instalações, implica na necessidade de manejo de grandes volumes de dejetos por unidade de criação. Além disso, as características químicas e bacteriológicas conferem aos dejetos elevado potencial poluidor. Com isso, o volume de dejetos produzidos neste sistema de criação ultrapassa os limites possíveis de utilização como fertilizante ou na piscicultura, surgem

conseqüências danosas ao meio ambiente, resultando principalmente, em problemas sociais e de saúde pública.

Segundo dados da Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SDM (1990), a Região Oeste do Estado de Santa Catarina apresenta um quadro ambiental crítico em relação à poluição, proveniente principalmente, do manejo inadequado dos dejetos de suínos. As reservas de água superficiais e subterrâneas estão comprometidas pela contaminação gerada pelas atividades de criação dos suínos e lançamento dos dejetos no solo ou nos cursos d'água sem tratamento. Oliveira *et al.* (1993), citam dados do Serviço Estadual de Extensão Rural, que apontam cerca de 85% das fontes de água das regiões produtoras contaminadas pelo lançamento desses dejetos nos mananciais.

A descontaminação da água descartada pelas criações de animais torna-se, portanto, o fator de maior importância para a prevenção da poluição nos ecossistemas aquáticos da região. O processo de tratamento mais utilizado para remover grande parte da matéria orgânica dos dejetos são as lagoas de estabilização ligadas em série. Entretanto, esse tipo de tratamento requer grande área para implementação e a eficiência para a remoção de nutrientes está diretamente relacionada com o aumento no tempo de detenção das lagoas (MEDRI, 1997). É de fundamental importância o desenvolvimento de tecnologias de tratamento para esses resíduos, viáveis às condições topográficas e econômicas da região, reduzindo custos de investimento e manutenção desses sistemas.

Com a política de integração das agroindústrias que atuam no mercado internacional, somente as médias e as grandes produções terão lastro financeiro para adequarem-se as suas exigências, haja vista que deverão investir para reduzir a poluição aos níveis exigidos pela legislação ambiental. Enquanto isso, os pequenos produtores e as produções familiares, responsáveis pela maior quantidade de suínos, possuem dificuldades para implementarem estas melhorias, correndo o risco de saírem do setor se não existirem mecanismos que garantam a sua existência, caso contrário irão fazer parte da população brasileira que enfrenta os problemas de desemprego.

Desta forma, a implementação de um programa para este setor poderá organizar a competitividade em todos os níveis de produção. Outro aspecto é o lado tecnológico e metodológico empregado para o manejo dos dejetos de suínos, constatando-se limitações de soluções para o tratamento, resultado da falta de investimento em pesquisas que definam as melhores proposições.

No entanto, existe experiência tecnológica positiva, para tratar dejetos de suínos, obtida com muito esforço de instituições comprometidas com este setor, destacando-se no sul do país desde 1994 o Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (ENS/UFSC), em parceria com o Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CNPSA/EMBRAPA). Esta parceria tem intensificado e desenvolve pesquisas buscando alternativas para a construção da sustentabilidade da suinocultura no sul do país. O programa envolve ações de desenvolvimento tecnológico, avaliação ambiental, treinamento e formação de pessoal qualificado.

Várias pesquisas, compreendendo todas as etapas do tratamento e/ou aproveitamento dos dejetos de suínos, vêm sendo desenvolvidas pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (ENS/UFSC) em parceria com o Centro Nacional de Pesquisas em Suínos e Aves (CNPSA/EMBRAPA), na busca de alternativas para o manejo ambiental desses dejetos.

Com o intuito de responder a estas questões, o Projeto “Suínos – SC”, através de sua proposição tecnológica, foi apresentado à Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural Sustentável do Estado de Santa Catarina (FUNDAGRO), à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e à Fundação de Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (FUNCITEC) tendo sido aprovado e atualmente, já implantado, está em andamento em uma pequena e numa média propriedade de suínos na cidade de Braço do Norte – SC. Com sua sede própria em Braço do Norte, a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. (EPAGRI) é mais uma parceira neste projeto e colaboradora nas etapas de pesquisa.

Esta dissertação apresenta e discute os resultados obtidos com relação ao processo de partida e operação de um sistema de tratamento e armazenamento de dejetos de suínos, composto por uma esterqueira e um biodigestor seguido de outra esterqueira (armazenamento). Este sistema está situado numa pequena propriedade rural no município de Braço do Norte – SC, no distrito de Pinheiral, na sub-bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito. Implantado e construído em escala real, o sistema recebeu altas concentrações de dejetos de suínos e experimentou-se um tempo de armazenamento maior que o de projeto. O sistema estudado tinha como finalidade a redução da matéria orgânica poluente e a valorização do efluente como biofertilizante e gerador de biogás.

2 JUSTIFICATIVA

A problemática, objeto deste estudo, representa uma das principais atividades econômicas do Estado de Santa Catarina, nesta perspectiva e dado a ausência sistemática de tratamento da questão, os dejetos de suínos respondem por elevados níveis de poluição da água, do solo e do ar, além dos desconfortos ambientais resultantes desta atividade.

Na grande maioria das propriedades suinícolas existentes em Santa Catarina, os dejetos suínos não são manejados de acordo com a Legislação Ambiental em vigor e coloca em risco a sustentabilidade e a própria expansão da suinocultura como atividade econômica.

A Associação Catarinense de Criadores de Suínos (ACCS) coloca que o Brasil é o 4º País em exportação de carne suína no mundo e Santa Catarina possui a melhor suinocultura do Brasil, participando com 80% da exportação brasileira. A ACCS se posiciona contra o rompimento da cadeia produtiva em detrimento às questões ambientais, por produzir alimento, entretanto, apóia integralmente as pesquisas que minimizem os impactos ambientais.

Os dejetos suínos constituem um dos mais sérios problemas ambientais da agricultura. Na Agenda 21 Brasileira em “Bases para Discussão”, este efluente é considerado uma das mais importantes fontes de poluição da água pela agricultura. No ‘Documento Preliminar’ da Agenda 21 Catarinense (2002), na “Seção C – Sustentabilidade Geo-Ambiental”, entre os desafios para sustentabilidade do meio ambiente, em nosso Estado, está o de engendrar soluções à forte contaminação dos recursos hídricos pelos dejetos da suinocultura. Em razão disso, os desafios da sustentabilidade dos recursos hídricos apresentam-se regionalizados e envolvem as atividades econômicas de cada local. Essas atividades do desenvolvimento resultam em fortes impactos aos recursos hídricos do Estado, colocando em cheque tanto a questão ambiental das fontes quanto a própria capacidade de sobrevivência destas atividades, que estão diretamente conectadas a quantidade de água captada, distribuída e consumida.

O presente projeto torna-se importante na busca da sustentabilidade da suinocultura, onde as proposições tecnológicas desta atividade estão apoiadas em pesquisas realizadas anteriormente. Os estudos preliminares indicaram esta tecnologia como modelo, por ser uma solução mais simples e adequada, que visa reduzir os impactos ambientais advindos da

atividade suinícola, valorizando corretamente os dejetos de suínos, através de tratamento seguido de armazenamento e posterior lançamento do efluente no solo. Para isso, primeiro os dejetos de suínos passam por um processo de digestão anaeróbia visando a geração de biogás e a redução da matéria orgânica poluente, em seguida, o efluente líquido é armazenado buscando integrar o tempo de armazenamento de acordo com a necessidade e a capacidade suporte do solo.

Porém, tem-se claro que é necessário integrar as tecnologias com a implementação de programas de formação de pessoal em diversos níveis e meios sociais, associadas à educação ambiental, a validação de rotas tecnológicas e ao desenvolvimento sustentável. O sucesso estará também apoiado na implementação de sistemas de gestão da qualidade ambiental nas propriedades, através de definição de indicadores ambientais a serem atingidos. As tecnologias isoladas não terão êxito e a experiência mostra a necessidade da participação dos diversos atores envolvidos para apoiar na sustentabilidade desejada.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi estudar a fase de início de funcionamento de dois sistemas de manejo que integram o tratamento e o armazenamento de dejetos em escala real, implantados em uma pequena propriedade produtora de suínos.

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Monitorar e operar a partida e o funcionamento do sistema de tratamento implantado;
- ✓ Avaliar a performance da digestão anaeróbia e a eficiência de remoção da matéria orgânica poluente através de parâmetros físico-químicos;
- ✓ Oferecer uma alternativa na redução da poluição e na melhoria do meio ambiente sem prejuízos para atividade suinícola;
- ✓ Estimar a produção média de biogás com o sistema em operação; e
- ✓ Estimular a gestão ambiental da pequena propriedade escolhida, através da implantação de bebedouros ecológicos nas baias dos suínos, do manejo e do tratamento dos dejetos de suínos de forma sustentável, visando minimizar seus impactos ambientais.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Cenário da suinocultura brasileira e mundial

Analisando os dados atuais da suinocultura brasileira, é nítido que o pior já passou. A crise que assolou o setor já dá ares de dispersão. O momento é melhor, porém, é preciso cautela. É preciso se informar sobre o mercado, sobre os dados de produção e acima de tudo, projetar a produção, para que esta se ‘encaixe’ de forma perfeita no mercado. De nada adianta produzir, sem ter a certeza de ‘quem consumirá’ seu produto.

A suinocultura no Brasil há muito tempo discute a distorção na cadeia produtiva. Os produtores afirmam que ‘pagam para trabalhar’. Os supermercados se eximem da culpa, dizendo simplesmente ‘trabalhar conforme as leis de mercado’. A crise vivida pela suinocultura brasileira em 2002 e início de 2003 têm como causas fundamentais o custo de produção elevado pelo milho e farelo de soja. O suíno é a transformação destes grãos em carne e o excedente de produção não tem mercado externo definido e constante. Quanto à citada distorção da cadeia produtiva devemos observar que cerca de 68% da produção de suínos no Brasil pertence às agroindústrias que detêm toda a cadeia produtiva até a chegada ao varejo (PORKWORLD, 2003a).

A Rússia, maior importadora de carne suína brasileira (84%), tomou duas medidas que afetaram a suinocultura, suspendeu as importações do estado de Santa Catarina e suspendeu momentaneamente, em março de 2003, todas as importações para adotar um novo sistema de cotas de importação. Diante destas medidas, os produtores e as agroindústrias viram seu principal mercado externo desabar e provocar queda nos preços por excesso de oferta, tanto no mercado interno quanto no escasso mercado externo. Agroindústria e governo devem trilhar juntos os caminhos para exportação. Esta será a opção mais acertada e eficaz para a solução das crises cíclicas da suinocultura brasileira, o restante dos problemas da cadeia produtiva se ajustarão por consequência.

Segundo a Porkworld (2003a), algumas questões devem ser consideradas para que se tenha uma suinocultura economicamente equilibrada:

- ✓ Controle da produção, para obtenção de um equilíbrio entre oferta/procura, para que o suinocultor, tenha o preço pago pelo seu suíno acima do custo de produção, viabilizando a atividade com resultado positivo.
- ✓ Saúde animal, com vigilância sanitária permanente e efetiva, dos nossos rebanhos.
- ✓ Financiamento para custeio, que seja oferecido no momento certo, com facilidade de acesso e com juros adequados.
- ✓ Insumos, que se tenha estoques reguladores por parte do governo, fazendo com que se obtenha produto de qualidade e preço adequado, principalmente, no período de entre safra.
- ✓ Meio ambiente, com condições econômicas para adequação das infra-estruturas atuais dos estabelecimentos às novas legislações ambientais.

Conforme o Relatório da Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína – ABIPECS (2002), com o embarque de 476 mil toneladas de carne suína, o país ampliou sua participação no mercado internacional para 12,2% assumindo a quarta posição, entre os principais exportadores, e superando em cerca de 20% as estimativas do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA) para o período. Gerando 481,4 milhões de dólares em receita cambial o setor exportou 34% a mais em valores para um volume de embarques 79,5% superior aos números de 2001. Recorde-se que as vendas naquele ano foram 109% superiores as de 2000 (PORKWORLD, 2003a).

Com um crescimento médio de 60% nos últimos três anos o setor saltou do faturamento de US\$ 172 milhões de dólares em 2000 para US\$ 481 milhões em 2002, representando um crescimento da ordem de 180% no triênio considerado.

Os principais parceiros para os nossos produtos foram: Rússia, Hong Kong, Argentina, Uruguai entre outros mercados. Portanto, o cenário das negociações comerciais com estes parceiros deverá considerar como interesse prioritário as vendas de carne suína para estes mercados.

A produção mundial de carne suína em 2002 apresentou taxa de crescimento próxima de 3% em relação aos números do ano anterior e as previsões para o ano de 2003 apontam para uma redução de 50% nesta taxa de crescimento. Em 2002 foram produzidas 86 milhões de toneladas, sendo que a China, maior produtor individual do mundo, foi responsável por cerca de 50% deste total, ou seja, 43 milhões de toneladas (Tabela 1).

PAÍSES	2000	2001	2002*	2003**
China	40.314	41.845	43.000	44.100
União Européia	17.585	17.419	17.800	17.820
Estados Unidos	8.597	8.691	8.973	8.819
Brasil	2.556	2.730	2.892	2.968
Canadá	1.638	1.729	1.830	1.865
Rússia	1.500	1.560	1.600	1.700
Polônia	1.620	1.547	1.585	1.640
Coréia	1.004	1.007	1.161	1.200
Japão	1.269	1.245	1.200	1.190
Filipinas	1.008	1.064	1.095	1.120
México	1.035	1.065	1.085	1.100
Outros	3.806	3.683	3.780	3.790
Total	81.932	83.655	86.001	87.312

Tabela 1: Produção mundial de carne suína (mil toneladas).

Fonte: USDA / ABIPECS (*Preliminar / **Previsão) adaptado por Porkworld (2003a).

Com taxa de crescimento próxima de 12% sobre o ano anterior, as exportações mundiais de carne suína continuam mantendo seu desempenho crescente, desde 1998. O grande destaque entre os exportadores tem sido o Brasil, que saltou suas vendas externas de 82 mil em 1998 para 476 mil toneladas em 2002, índice de crescimento relativo de 480%, consolidando em pouco tempo a conquista do quarto lugar entre os maiores exportadores mundiais. Segundo a Porkworld (2003a), citando dados da ABIPECS (2002), das 475.863 toneladas de carne suína exportada pelo Brasil em 2002, os Estados da Região Sul produziram 81,9% deste total, sendo Santa Catarina responsável por 264.681 toneladas (55,6%), Rio Grande do Sul (15,4%) e o Paraná (10,9%).

O principal exportador mundial é a União Européia que responde por 33% das exportações mundiais, seguida do Canadá, Estados Unidos, Brasil, China que, juntos respondem por 57% do comércio mundial (Tabela 2).

O desempenho das exportações brasileiras foi prejudicado principalmente pelo bloqueio ao sistema de importação russo causado pela difícil implementação do sistema de cotas. A principal intenção da implementação das cotas russas é o incentivo à produção doméstica, para a obtenção da independência de importações de carne suína. Os principais afetados deverão ser os maiores exportadores de carne suína à Rússia, entre eles estão: Brasil, União Européia e China. Mesmo com a aplicação de uma série de barreiras, a Rússia continua sendo o nosso principal mercado, responsável por 79% das exportações brasileiras.

PAÍSES	2000	2001	2002*	2003**
União Européia	1.470	1.235	1.300	1.325
Canadá	658	727	800	815
Estados Unidos	584	708	709	726
Brasil	127	265	476	550
China	73	139	225	200
Hungria	143	118	120	110
Polónia	160	100	80	85
Austrália	49	66	79	83
México	59	61	60	60
Coréia	30	42	20	55
República Tcheca	8	14	27	25
Outros	14	5	5	7
Total	3.375	3.348	3.901	4.041

Tabela 2: Exportação mundial de carne suína (mil toneladas).

Fonte: USDA / ABIPECS (*Preliminar / **Previsão) adaptado por Porkworld (2003a).

Os principais compradores de nossos produtos em 2002, em ordem crescente, foram: Rússia (79,2%), Hong Kong (10,5%), Argentina (2,8%), Cingapura (1,4%), Uruguai (1,4%) e outros 21 países (4,7%).

No comércio global de carnes existe uma onda protecionista que se vale de barreiras sanitárias para coibir o comércio. Este cenário torna os mercados imprevisíveis, exigindo dos setores envolvidos um gerenciamento eficaz e permanente dos temas relacionados com o acesso a mercados.

Segundo a Porkworld (2003b), se a produção mundial de carne suína (93,623 milhões de toneladas) for dividida pela população mundial, estimada em 6,256 bilhões de pessoas no ano de 2002, se concluirá que o consumo médio mundial foi de aproximadamente 14,96 Kg por habitante (Tabela 3). Este número faz a carne suína ocupar com destaque o primeiro lugar na preferência da população, dando-lhe o título de “a carne mais consumida no mundo”.

CARNES	Produção (Milhões de Tons.)	Consumo (Kg/pessoa)
Suíno	93,623	14,96
Frango	72,237	11,50
Bovino	60,801	9,70
Total	225,661	36,16

Tabela 3: Produção e consumo mundial de carnes, 2002.

Fonte: Luciano Roppa, Porkworld (2003b).

Conforme a Porkworld (2003a), 85% do consumo mundial está concentrado em cinco países, desde que se leve em conta a União Européia como uma única unidade. O Brasil aparece em 6º lugar na lista dos maiores consumidores de carne suína, avançando ano a ano para uma posição de maior destaque (Tabela 4).

O aumento do consumo de carne suína no Brasil é um dos desafios mais importantes para o setor nos próximos anos. Em média, cada brasileiro consome menos de 14 Kg/habitante/ano de carne suína, índice próximo da média mundial, mas muito distante daqueles apresentados nos países tradicionalmente consumidores, como a União Européia, que consome cerca de 43 Kg/habitante/ano de carne suína.

Segundo a Porkworld (2003a), o primeiro trimestre de 2003 foi marcado por preços baixos na suinocultura mundial. O início de 2003 foi desanimador também para os criadores brasileiros de suínos. Após amargar sérias perdas em 2002, o Natal trouxe uma péssima notícia para encerrar o ano: a suspensão das exportações de Santa Catarina para a Rússia. Felizmente, esta proibição terminou em Abril, mas afetou seriamente a rentabilidade do primeiro trimestre. Os preços pagos ao criador não se recuperaram durante todo o período e a única boa notícia foi a ligeira diminuição nos custos de produção a partir de Março, em virtude da diminuição nos preços do milho e da soja.

PAÍSES	2000	2001	2002*	2003**
China	40.291	41.764	42.835	43.970
União Européia	16.169	16.239	16.560	16.555
Estados Unidos	8.457	8.388	8.725	8.572
Rússia	2.019	2.119	2.299	2.409
Japão	2.228	2.269	2.335	2.368
Brasil	2.430	2.466	2.417	2.419
Polônia	1.544	1.476	1.550	1.607
México	1.252	1.298	1.325	1.350
Coréia	1.059	1.158	1.286	1.325
Canadá	1.047	1.087	1.129	1.155
Filipinas	1.032	1.073	1.105	1.130
Outros	4.093	3.988	4.077	4.129
Total	81.621	83.325	85.643	86.989

Tabela 4: Consumo mundial de carne suína (mil toneladas).

Fonte: USDA / ABIPECS (*Preliminar / **Previsão) adaptado por Porkworld (2003a).

Segundo a Porkworld (2003a), através dos dados coletados no Seminário Internacional Topigs, realizado em março de 2003 no Rio de Janeiro, constatou-se que o Brasil tem o menor custo de produção, mas também é o pior país no mundo em relação ao que paga, ao seu produtor, em US\$, por Kg/suíno vivo.

A informação faz a diferença para realizar bons negócios em qualquer ramo de atividade, e na suinocultura acontece da mesma forma. As informações de mercado, com análises e dados, são altamente úteis nas tomadas de decisões. Os produtores estão trabalhando com custos mais adequados à atividade. Além disso, a suinocultura brasileira tem de trabalhar com metas, objetivos e programação para refletir seu nível altamente tecnificado. O suinocultor brasileiro ‘aprendeu a lição’ com o excesso de produção que desestabilizou o setor há 17 meses. Essa crise aguda tirou do mercado muitos suinocultores independentes. Contudo, a suinocultura brasileira garantirá estabilidade para 2004, caso mantenha índices de produção (PORKWORLD¹, 2003b).

Se o Brasil adequar o seu modo de produção, com as devidas certificações, será difícil barrar a suinocultura brasileira. A Europa acredita muito no mercado brasileiro e quanto à suinocultura, ela é um exemplo de eficiência, pois é altamente tecnificada tanto pela genética utilizada, como pelo manejo e pela nutrição. Além disso, a Europa reconhece o esforço do Brasil em relação ao aprimoramento dos sistemas de rastreabilidade. O setor precisa prevenir e adequar os problemas sanitários, para manter os baixos custos de produção e continuar competitivo internacionalmente.

De acordo com a Porkworld (2003b), dentro das agroindústrias, as maiores preocupações para o setor são as questões ambientais. Tem-se a consciência de que, apenas se adequando aos cuidados ambientais propostos pela legislação é que a suinocultura se torna competitiva e socialmente eficiente. Opinião compartilhada pelo Instituto CEPA, de Santa Catarina. *“A grande variável da indústria suinícola será a eliminação de forma adequada dos dejetos. As granjas cada vez mais, buscarão as normativas para o ISO 14.000 e 14.001 (Não Agressão ao Meio Ambiente)”*.

Com a globalização, a troca de informações e os conhecimentos adquiridos, a suinocultura brasileira deu um salto muito grande em pouco tempo, vindo a se equiparar com as melhores do mundo. Sendo assim, a carne brasileira ganhará novos mercados, inclusive e

¹ Endereço eletrônico: <<http://www.porkworld.com.br>>.

principalmente o europeu, com um detalhe, a um preço altamente atrativo e com altíssima qualidade.

Segundo a Porkworld (2003b), a suinocultura européia luta para manter o nível de qualidade. O maior embate é em relação às questões sanitárias e ambientais. No momento não há como ocorrer uma expansão do setor na Europa. As instalações são extremamente controladas e devem ser aprovadas por órgãos públicos. O destino dos resíduos da suinocultura européia é muito fiscalizado e cada empresa ou criador, tem que comprovar a capacidade de aproveitamento dos dejetos na lavoura.

Esse fator, somado aos altos custos da alimentação, encarece o sistema da produção de suínos na Europa. Os custos de produção são extremamente altos. Desta forma, o mercado europeu deposita toda sua confiança na suinocultura brasileira, ressaltando que o Brasil será o grande fornecedor de carne para o mundo.

Conforme a Porkworld (2003b), quando analisamos o passado, e vemos como alguns países se sobressaíram em relação aos demais, e olhamos para o futuro, em relação às principais exigências do consumidor, podemos ver claramente que há algumas condições essenciais para um país se candidatar a ser um importante produtor de suínos no futuro. Entre estas condições, destacam-se:

- ✓ Disponibilidade de água doce e extensões de terra;
- ✓ Terra e instalações de baixo custo;
- ✓ Mão-de-obra qualificada e disponível a menor custo;
- ✓ Clima e disponibilidade de terras para a produção de grãos;
- ✓ Disponibilidade de tecnologias modernas de produção;
- ✓ Respeito ao meio ambiente e ao bem estar dos animais; e
- ✓ Custos de produção competitivos.

Os custos de produção são um dos fatores mais importantes, não só para se avaliar se um país será competitivo no futuro, mas também por ser uma questão essencial da sobrevivência do criador na atividade. A suinocultura continuará sendo praticada em várias partes do mundo, apesar de seu menor poder competitivo. E o que determinará se um criador

continuará nesta atividade em qualquer parte do mundo, será sua eficiência, sua competitividade e sua criatividade.

Por tudo que foi exposto, fica clara a grande competitividade do Brasil em relação ao restante do mundo. Seu clima, suas extensões de terra, sua disponibilidade de água, sua produção de grãos e seus baixos custos de produção, são fatores determinantes de sua competitividade. Temos a grande possibilidade de crescer a produção, tanto para satisfazer o aumento do consumo interno, como também, para almejar maior participação nas exportações mundiais. Temos, portanto, a condição essencial para aceitar o desafio da crescente demanda por alimentos, e do inevitável crescimento da população mundial.

4.2 Números da suinocultura nacional e de Santa Catarina

Não obstante às preocupações ambientais, a suinocultura passa por um momento delicado no cenário nacional, com dificuldades econômicas enquanto modelo produtivo, principalmente em um estado como Santa Catarina, com predominância de pequenas propriedades, que têm acumulado enormes prejuízos nos últimos anos. É necessário estabelecer uma política de Estado voltada para esta atividade, que dê continuidade através dos governos que se alternam, conforme o processo eleitoral democrático.

Afora as questões econômicas, as preocupações ambientais já se faziam presentes desde a década de 70, quando da construção de lagoas para depósito e decantação dos dejetos suínos ante o despejamento direto nos mananciais. Construídas com recursos vindos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) diretamente para o agricultor, levou-os a um prejuízo, em face da conjuntura econômica da época (1995) dos juros de 24% da Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) e uma queda na taxa de inflação de 30% para menos de 10%. Este cuidado ambiental não integra o processo produtivo, portanto, sem retorno financeiro, ao contrário, sobrou para o agricultor retirar de seus lucros esta dívida. De lá para cá, houve grandes avanços tecnológicos, mas ainda enfrentamos graves problemas ambientais e, devido a isto, restrições internacionais de nossos produtos.

A quebra da safra nacional de milho, a elevação dos preços internacionais do farelo de soja e a crise cambial explicam a forte elevação dos custos na criação dos animais. Dessa forma, a crise econômica por que passou a atividade teve como origem a queda nos preços de venda, que, mesmo depois de iniciado o processo de recuperação, ainda foi insuficiente para reverter completamente as perdas para um grande número de produtores. Esta situação

determinou um forte descarte de matrizes e uma forte concentração da produção nas integrações. O descarte de matrizes e o despovoamento de granjas se deram com maior velocidade entre os produtores independentes e os pequenos suinocultores familiares (Instituto CEPA/SC, 2002).

O Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina, criado em 1975 como Comissão Estadual de Planejamento Agrícola (CEPA), foi transformado em Instituto CEPA/SC² em 1982. É uma associação civil, de utilidade pública e caráter técnico-científico, sem fins lucrativos, vinculada à Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural. Neste contexto, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto CEPA/SC apresentam dados importantes, que mostram a evolução do número de propriedades rurais que praticaram e praticam a suinocultura, ao longo dos últimos anos, como atividade economicamente explorada em Santa Catarina, são eles:

- ✓ 1980 – IBGE = 67 mil propriedades
- ✓ 1985 – Censo Agropecuário IBGE = 61.186 propriedades
- ✓ 1995/1996 – Censo Agropecuário IBGE = 27.886 propriedades
- ✓ 1996 – Instituto CEPA/SC = 28 mil propriedades
 - Integradas as Agroindústrias = 18 mil propriedades
 - Independentes = 10 mil propriedades
- ✓ 1999 – Sindicarne e estimativa ICEPA/SC = 20 mil propriedades
 - Integradas as Agroindústrias = 12.296 propriedades em Dezembro de 1999 (Sindicarne)
 - Independentes = 7.704 propriedades em Dezembro de 1999 (estimativa ICEPA/SC)
- ✓ 2003 – Instituto CEPA/SC = 12 mil propriedades
 - Integradas as Agroindústrias = 9.700 propriedades em Agosto de 2003
 - Independentes = 2.300 propriedades em Agosto de 2003

² Endereço eletrônico: <<http://www.icepa.com.br>>.

O Sindicato das Indústrias de Carnes e Derivados de Santa Catarina (Sindicarne) coloca muito bem, que Santa Catarina diminuiu a quantidade de propriedades suinícolas nos últimos anos, entretanto, a quantidade de matrizes aumentou significativamente, cerca de três vezes mais o seu rebanho, passando para cerca de 8,5 milhões de abates anuais.

Segundo os dados mais recentes do ICEPA/SC, em Agosto de 2003 existiam 418 mil matrizes alojadas em cerca de 12 mil propriedades suinícolas de Santa Catarina. Destas, 2.300 eram propriedades independentes e 9.700 integradas as agroindústrias. Dos suinocultores integrados, 7.000 detinham 310 mil matrizes e o restante dos criadores eram responsáveis apenas pela terminação dos animais, ou seja, adquiriam o leitão e engordavam para o peso de abate. É importante frisar que deste total, 42 propriedades detinham 65% das matrizes e respondiam por 20% da produção suinícola. Atualmente, a quantidade de matrizes que o suinocultor possui é considerada um importante diferencial na atividade.

Em 1996 existiam cerca de 28 mil suinocultores no Estado de Santa Catarina, hoje a estimativa é de apenas 12 mil suinocultores. Esta diminuição razoável de criadores se deve principalmente ao aumento de médias e grandes propriedades e a extinção de pequenas propriedades (produção familiar). Como consequência desta realidade tem-se um aumento de produção de suínos, em uma mesma área, portanto, com maior densidade de animais e maior geração de dejetos de suínos.

Efetivo	Número de Cabeças
Galos, frangas, frangos e pintos	727.725.761
Bovinos	185.347.198
Galinhas	180.296.601
Suínos	32.013.227
Ovinos	14.287.157
Caprinos	9.428.622
Eqüinos	5.790.008
Codornas	5.572.068
Muare	1.338.921
Asininos	1.217.045
Bubalinos	1.114.720
Coelhos	337.135

Tabela 5: Efetivo do rebanho brasileiro em 2002.

Fonte: IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal (2002).

Do ponto de vista econômico, a pecuária brasileira é das mais expressivas do mundo. Suas características são, no entanto, bastante heterogêneas no que concerne à produtividade

das diferentes atividades criatórias (Tabela 5). Exemplo disso é o rebanho bovino, cujo efetivo se posiciona como o segundo tanto no plano mundial, como no plano nacional, mas que apresenta uma taxa de abate reconhecidamente muito baixa.

De acordo com o IBGE, os efetivos animais são distribuídos em três grandes grupos, segundo o porte das espécies, a saber:

- ✓ grande porte: bovinos, eqüinos, bubalinos, asininos e muares;
- ✓ médio porte: caprinos, ovinos e suínos;
- ✓ pequeno porte: coelhos, codornas, galinhas e outros galináceos (galos, frangas, frangos e pintos).

De acordo com os dados da Tabela 5, o quarto lugar em 2002, em efetivo de rebanho, ocorre na categoria dos suínos. Justificando esta posição, as principais regiões produtoras são a Sul (42,64%), a Nordeste (22,17%), a Sudeste (18,01%) e a Centro-Oeste (10,35%), segundo a Tabela 7. Os estados do Sul, Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul, são os maiores produtores seguidos de Minas Gerais, Bahia e São Paulo. Tal produção ocorre em praticamente todo o País, mas existem pólos regionalizados especializados na produção comercial. Convivem neste mercado, lado a lado, a produção comercial e a produção tradicional.

ANOS	EFETIVO DE SUÍNOS (Nº)		SC/BR (%)	Crescimento em SC (%)
	Brasil (BR)	Santa Catarina (SC)		
1988	32.120.895	3.099.838	9,65	-2,85
1989	33.015.038	3.262.507	9,88	5,25
1990	33.623.186	3.330.516	9,91	2,08
1991	34.290.275	3.275.024	9,55	-1,67
1992	34.532.168	3.417.586	9,90	4,35
1993	34.184.187	3.727.711	10,90	9,07
1994	35.141.839	4.088.621	11,63	9,68
1995	36.062.103	4.404.480	12,21	7,73
1996	29.202.182	4.532.654	15,52	2,91
1997	29.637.109	4.558.963	15,38	0,58
1998	30.006.946	4.704.545	15,68	3,19
1999	30.838.616	4.814.297	15,61	2,33
2000	31.562.111	5.093.888	16,14	5,81
2001	32.605.112	5.516.818	16,92	8,30
2002	32.013.227	5.354.113	16,73	-2,95

Tabela 6: Efetivo de suínos no Brasil e no Estado de Santa Catarina, percentagem do Estado em relação à Federação e o crescimento catarinense ao longo dos últimos 15 anos levantados.

Fonte: IBGE, Produção da Pecuária Municipal (1988-2002).

Em 2001, Santa Catarina obteve um crescimento de 8,30% em seu plantel, um dos maiores dos últimos quinze anos. No entanto, em 2002, o Estado sofreu um decréscimo de 2,95% em seu plantel, ocasionado pela crise da suinocultura brasileira que teve reflexos fortes em nosso Estado, principalmente pela falta de insumos, como o milho, para criação dos animais. No cenário nacional, o estado não perdeu muita representatividade, permanecendo com 5.354.113 suínos, responsáveis por 16,73% do efetivo nacional (Tabela 6).

De acordo com os dados da Tabela 7, os plantéis das mesorregiões brasileiras tiveram queda no número de animais em 2002 comparados com o ano anterior. Com exceção da região Centro-Oeste (10,35%) que foi destaque em crescimento de animais, as demais regiões apresentaram somente perdas em seus plantéis, mesmo assim, a região Sul (42,64%) permaneceu como maior produtora de suínos do país.

Na mensuração do rebanho, a variável analisada é o efetivo de suínos em 31/12/2002. No esforço de entendimento dos dados, dois enfoques serão dados: um em nível regional e outro em nível dos principais municípios produtores brasileiros.

Para conhecer o cenário da suinocultura nacional é necessário apresentarmos um enfoque regional do Brasil. Em termos gerais, ao se verificar o efetivo de animais, observa-se que o elenco pode ser assim apresentado, conforme os dados da Tabela 7.

REGIÕES (R)	EFETIVO DE SUÍNOS (Nº)					R/BR 2002 (%)
	1998	1999	2000	2001	2002	
Brasil (BR)	30.006.946	30.838.616	31.562.111	32.605.112	32.013.227	100
Norte	2.573.414	2.581.828	2.619.791	2.630.606	2.187.589	6,83
Nordeste	6.920.565	7.058.703	7.140.280	7.198.274	7.096.002	22,17
Sudeste	5.055.128	5.396.811	5.548.313	5.765.119	5.765.755	18,01
Sul	12.946.682	13.171.828	13.452.029	13.978.979	13.649.140	42,64
• Paraná	4.187.113	4.217.063	4.224.838	4.385.914	4.258.075	13,30
• Santa Catarina	4.704.545	4.814.297	5.093.888	5.516.818	5.354.113	16,73
• Rio Grande do Sul	4.055.024	4.140.468	4.133.303	4.076.247	4.036.952	12,61
Centro Oeste	2.511.157	2.629.446	2.801.698	3.032.134	3.314.741	10,35

Tabela 7: Efetivo de suínos segundo as grandes regiões e algumas Unidades da Federação Brasileira, ao longo dos últimos cinco anos levantados.

Fonte: IBGE – Produção da Pecuária Municipal, Brasil (1998-2002).

Verificando os dados da Tabela 7, através do enfoque regional dado ao Brasil, percebemos que o efetivo de animais mais representativo, ao longo dos últimos cinco anos, sempre foi o do Estado de Santa Catarina. Com isso, apresenta-se na Tabela 8, um enfoque

mais regional do Estado em termos de seus rebanhos distribuídos segundo as mesorregiões, as microrregiões e municípios com maior destaque na criação suinícola.

REGIÕES (R)	EFETIVO DE SUÍNOS (Nº)					R/SC
	1998	1999	2000	2001	2002	2002 (%)
Santa Catarina (SC)	4.704.545	4.814.297	5.093.888	5.516.818	5.354.113	100
Oeste Catarinense	3.524.854	3.618.279	3.788.836	4.184.431	4.110.065	76,76
São Miguel d'Oeste	488.230	474.631	507.390	632.872	504.387	9,42
São José do Cedro	62.900	64.090	72.090	92.000	69.000	1,29
Chapecó	713.078	710.581	716.237	732.169	738.083	13,78
Chapecó	77.122	82.611	84.690	85.735	81.850	1,53
Xanxerê	463.036	442.276	451.214	496.907	528.868	9,88
Faxinal dos Guedes	99.238	99.593	101.901	102.420	108.000	2,02
Joaçaba	792.875	839.455	903.920	1.005.305	1.031.775	19,27
Videira	129.200	134.150	135.450	141.600	147.000	2,75
Concórdia	1.067.635	1.151.336	1.210.075	1.317.178	1.306.952	24,41
Concórdia	264.460	276.678	287.744	300.851	280.290	5,24
Seara	212.019	247.104	259.458	279.670	263.731	4,93
Xavantina	169.063	177.132	185.097	199.204	200.635	3,75
Norte Catarinense	183.143	186.789	190.516	210.140	231.590	4,33
Canoinhas	125.210	126.200	129.000	146.150	172.905	3,23
Canoinhas	21.500	21.000	22.000	29.500	23.900	0,45
Papanduva	9.350	9.350	9.350	12.150	45.650	0,85
São Bento do Sul	14.825	17.172	17.460	18.840	13.063	0,24
Campo Alegre	6.350	8.500	8.610	8.670	3.968	0,07
São Bento do Sul	5.345	5.500	5.610	5.670	5.645	0,11
Joinville	43.108	43.417	44.056	45.150	45.622	0,85
Jaraguá do Sul	26.700	26.830	26.950	27.070	26.970	0,50
Serrana	147.654	150.698	160.729	175.313	164.615	3,07
Curitibanos	63.805	67.220	77.556	91.970	96.309	1,80
Campos Novos	33.300	38.500	48.600	61.600	65.500	1,22
Campos de Lages	83.849	83.478	83.173	83.343	68.306	1,28
Lages	11.300	11.700	11.700	12.000	6.890	0,13
São José do Cerrito	9.900	9.700	9.500	10.250	8.400	0,16
Vale do Itajaí	264.034	260.134	262.850	265.450	262.814	4,91
Rio do Sul	126.890	124.000	127.940	130.525	129.060	2,41
Taió	20.950	21.500	25.000	25.900	25.750	0,48
Blumenau	60.197	60.834	58.095	56.122	56.281	1,05
Rio dos Cedros	9.210	9.749	8.166	8.965	7.913	0,15
Itajaí	13.427	14.020	14.745	16.633	15.623	0,29
Itajaí	8.840	9.116	9.603	9.986	10.216	0,19
Ituporanga	63.520	61.280	62.070	62.170	61.850	1,16
Agrolândia	22.800	20.500	20.500	20.500	20.500	0,38
Grande Florianópolis	40.023	40.373	39.275	39.166	38.251	0,71
Tijucas	12.527	12.538	11.720	11.580	10.556	0,20
Angelina	4.492	4.378	3.850	3.690	2.666	0,05
Leoberto Leal	3.800	3.800	4.000	3.900	4.000	0,07
Florianópolis	6.492	7.160	7.035	7.254	7.926	0,15
São Pedro de Alcântara	1.570	1.772	1.800	1.836	1.878	0,04
Tabuleiro	21.004	20.675	20.520	20.332	19.769	0,37
Alfredo Wagner	7.800	7.600	7.300	7.400	7.400	0,14
Sul Catarinense	544.837	558.024	651.682	642.318	546.778	10,21
Tubarão	400.240	437.795	530.324	543.164	446.181	8,33
Braço do Norte	141.216	153.625	188.110	186.119	151.886	2,84
Criciúma	71.062	51.684	54.023	50.099	51.440	0,96
Lauro Muller	8.142	9.479	13.148	15.029	14.160	0,26
Urussanga	15.700	9.650	9.300	9.260	7.290	0,14
Araranguá	73.535	68.545	67.335	49.055	49.157	0,92
Jacinto Machado	15.180	15.180	14.000	5.700	5.460	0,10
Timbé do Sul	12.900	12.900	12.900	12.600	12.570	0,23

Tabela 8: Efetivo de suínos, segundo as mesorregiões, as microrregiões e alguns municípios do Estado de Santa Catarina, ao longo dos últimos cinco anos levantados.

Fonte: IBGE – Produção da Pecuária Municipal, Santa Catarina (1998-2002).

Muitos municípios catarinenses localizam-se onde esta atividade é bastante incipiente, no entanto, mesmo não aparecendo na Tabela 8, somados seus plantéis, são uma parcela bastante representativa para o Estado, consolidando-o assim, com o título de maior produtor de suínos brasileiro.

O destaque dos municípios da região Sul na produção de suínos não é recente, sendo resultado de um processo histórico de desenvolvimento da suinocultura, em conciliação com um sistema de integração do produtor com a indústria de processamento.

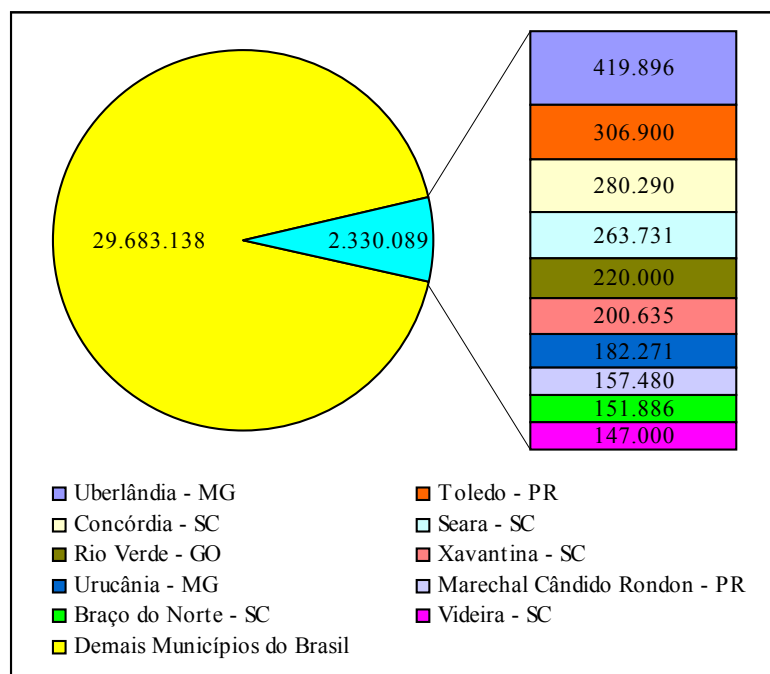


Figura 1: Efetivo de suínos em 2002, segundo os 10 principais municípios produtores do Brasil.

Fonte: IBGE, Pesquisa da Pecuária Municipal (2002).

No gráfico da Fig. 1, podem-se verificar os dez principais municípios produtores de suínos, no Brasil, que concentram cerca de 7,13% do rebanho nacional. Neste ano nota-se alguma variação na posição ocupada pelos principais municípios. Destaque para o crescimento da suinocultura no município de Rio Verde, em Goiás, que passa da 15ª posição, em 2001, para a 5ª, em 2002. Tal crescimento coincide com o desenvolvimento das culturas do milho e da soja em Rio Verde, num movimento que vem ocorrendo desde o início da

década de 1990. Tem relação também com a implantação de projetos para produção de aves, suínos e bovinos no município (IBGE, 2002).

De um modo geral, observa-se redução na produção de suínos entre os dez principais municípios produtores brasileiros, o que já era esperado, tendo em vista a crise enfrentada pela produção em 2002. Tal crise foi agravada pelo problema de abastecimento do milho no mercado e pelas desvalorizações cambiais ocorridas naquele ano.

A Fig. 1 é importante na análise dos dados da suinocultura sul brasileira, especialmente quando cinco dos principais municípios criadores de suínos no Brasil são, também, catarinenses. Destes cinco municípios, Concórdia, Seara, Xavantina e Videira fazem parte da região Oeste Catarinense. Esta região é muito representativa para o Estado, pois é responsável pela produção de aproximadamente 77% dos suínos, distribuídos irregularmente sobre uma área de 30 mil Km². Braço do Norte é o quinto município deste grupo seletivo e faz parte da região Sul Catarinense que responde por 10%, ou seja, segunda maior produção catarinense.

A Tabela 9 apresenta os sete maiores produtores de suínos do Estado de Santa Catarina, dentre eles está Concórdia, representante com maior plantel do Estado e 3º maior do país. Em segundo está Seara, destaque na produção de suínos e com densidade suinícola inferior, apenas à de Xavantina, terceiro município da lista em número de suínos, com cerca de mil animais em cada quilômetro quadrado, perfazendo cerca de 47 suínos por habitante no município de Xavantina.

Municípios	Nº de Suínos	População (hab.)	Área (Km ²)	Densidades (suínos/Km ²)	Densidades (hab./Km ²)
SC	5.354.113	5.527.707	95.346,181	56,15	57,98
Concórdia	280.290	64.163	797,260	351,57	80,48
Seara	263.731	16.786	312,540	843,83	53,71
Xavantina	200.635	4.287	215,069	932,89	19,93
Braço do Norte	151.886	26.540	221,311	686,30	119,92
Videira	147.000	43.275	377,852	389,04	114,53
Faxinal dos Guedes	108.000	11.083	339,637	317,99	32,63
Chapecó	81.850	154.453	624,308	131,10	247,40

Tabela 9: Valores de densidade com relação ao número de suínos, à população e a área dos municípios mais representativos para suinocultura catarinense em 2002.

Fonte: IBGE – Produção da Pecuária Municipal, Santa Catarina (2002); Resoluções Nº 4 e Nº 5 (2002).

Ocupando o quarto lugar em Santa Catarina e a nona posição no Brasil, em produção suinícola, está o município de Braço do Norte, local deste estudo. Em 2002, este município apresentou uma densidade de suínos, aproximadamente, seis vezes maior que o número de habitantes distribuídos por quilômetro quadrado. Em outras palavras, Braço do Norte possuía seis animais para cada habitante do município, bem diferentes dos valores de densidade para o Estado de Santa Catarina, que demonstram menos de um suíno por habitante (Tabela 9).

Apesar de Braço do Norte ter sofrido quedas consideráveis em seu plantel suinícola, desde o ano de 2001, mas principalmente em 2002, fato este ocorrido devido à crise na suinocultura brasileira, o município tem reagido bem depois disso, mantendo uma posição de destaque na produção catarinense e conseqüentemente brasileira.

Esta reação positiva pode ser explicada pela instalação de novas agroindústrias e unidades frigoríficas na região. Este fato provocou melhor alocação estratégica da produção, o que é esperado numa situação destas. Isto acontece porque a proximidade das unidades fornecedoras, com relação às unidades processadoras, diminui os custos de organização da produção, tornando-a mais otimizada.

4.3 Condição da suinocultura catarinense e dos recursos hídricos

De acordo com a Política Estadual de Recursos Hídricos, as Bacias Hidrográficas (BH) constituem unidades básicas de planejamento do uso, conservação e recuperação dos recursos hídricos. De acordo com a Fig. 2, o Estado de Santa Catarina possui três grandes Bacias Hidrográficas, são elas: Bacias Hidrográficas do rio Iguaçu, do Sudeste e do rio Uruguai.

Segundo SDM (1997), através do Diagnóstico Geral das Bacias Hidrográficas, citado na Agenda 21 Catarinense em 2002, e de acordo com o Atlas de Santa Catarina, a rede hidrográfica do Estado é constituída por dois sistemas independentes de drenagem: Sistema Integrado da Vertente do Interior, comandado pela bacia Paraná-Uruguai, que representa as bacias hidrográficas do rio Iguaçu e do rio Uruguai e o Sistema da Vertente Atlântica, formado por um conjunto de bacias isoladas que representa a bacia hidrográfica do Sudeste. O grande divisor de águas dos dois sistemas é representado pela Serra Geral e, mais ao norte, pela Serra do Mar. As águas das bacias do rio Uruguai e do rio Iguaçu são, dessa forma, drenadas para o interior do continente, tendo como destino final o grande complexo

hidrológico da bacia do Prata. No sentido oposto, ou seja, para o leste, são drenadas as águas da vertente atlântica, desaguando diretamente no Oceano Atlântico (Fig. 2).

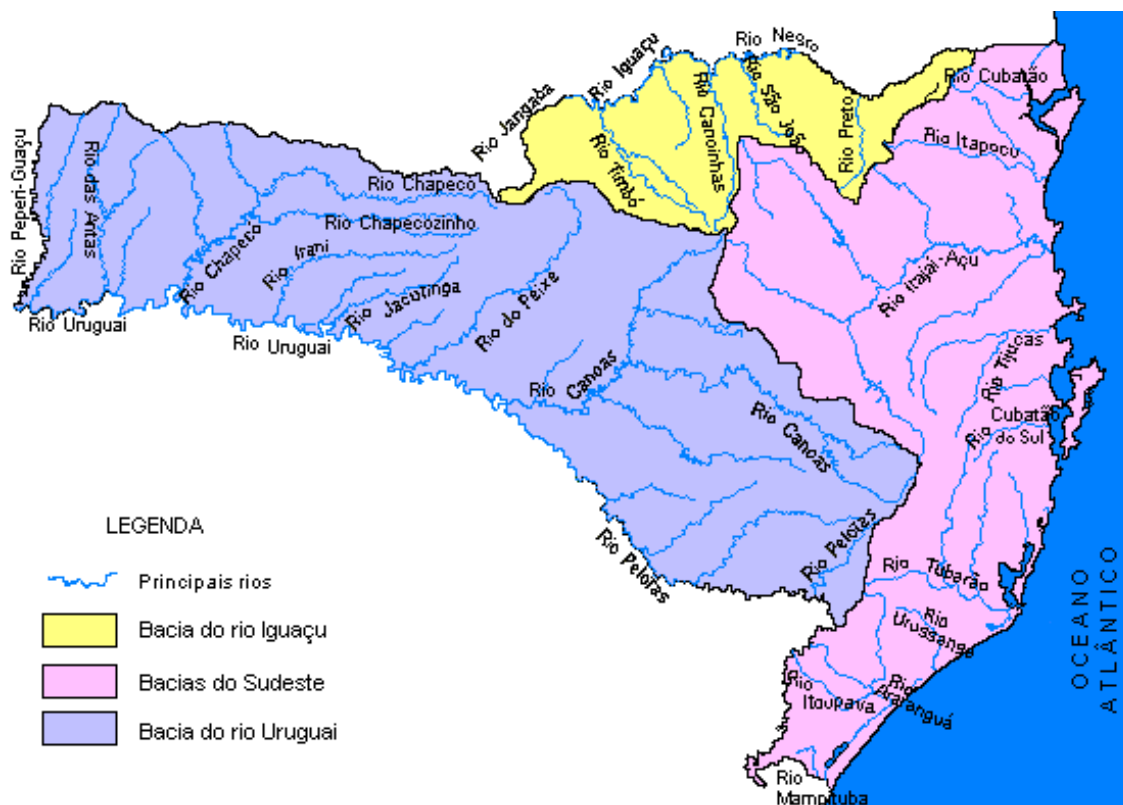


Figura 2: Principais rios e bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de SDM (1997).

Estas grandes Bacias Hidrográficas possuem subdivisões, chamadas de Regiões Hidrográficas (RH). A Lei Estadual N° 10.949 de 09/11/1998 instituiu 10 (dez) Regiões Hidrográficas no território catarinense, sendo que as Regiões Hidrográficas 1, 2, 3 e 4 formam a grande Bacia Hidrográfica do rio Uruguai, maior Bacia Hidrográfica de Santa Catarina (Fig. 3). No que tange a suinocultura, as três primeiras regiões são as que apresentam os maiores efetivos de suínos do Estado. Já a RH 4 – Planalto de Lages, formada pelas bacias dos rios Canoas e Pelotas, apresenta baixa produção suinícola.

O rio Peperi-Guaçu e o rio das Antas são os principais rios que drenam a RH 1 – Extremo Oeste (Fig. 2 e 3). As águas desta região, tanto superficiais quanto subterrâneas, apresentam-se deterioradas pelo uso intenso de agrotóxicos, pelo processo de erosão dos solos e principalmente pela concentração e manejo inadequado dos dejetos de suínos.

As bacias hidrográficas dos rios Chapecó e Irani drenam a RH 2 – Meio Oeste (Fig. 2 e 3). Nesta região a situação da qualidade da água segue a tendência predominante no oeste como um todo. Sendo esta uma região grandemente produtora de grãos, bem como de aves e suínos, estabeleceu-se no oeste um crescente processo de degradação ambiental. Como decorrência deste processo, a água da região, principalmente das fontes que abastecem o meio rural e dos pequenos cursos d'água, encontra-se deteriorada, sendo a maior parte da poluição causada pelos dejetos de suínos.

Fazem parte da RH 3 – Vale do Rio do Peixe, as bacias hidrográficas dos rios Jacutinga e do Peixe (Fig. 2 e 3). Destas, a do Peixe é a que apresenta maior expressão física e socioeconômica. Dentre os principais responsáveis pela deposição de poluentes no rio do Peixe, devem-se destacar as indústrias de papel e celulose, cervejarias, curtumes, matadouros, frigoríficos, pocilgas e os esgotos domésticos. Graças a um programa de despoluição da Bacia Hidrográfica do rio do Peixe e monitoramento pela Fundação do Meio Ambiente (FATMA), os resultados favoráveis obtidos atestam a importância de se continuar investindo neste tipo de iniciativa, estendendo-a para outras bacias do Estado.

Estas três regiões fazem parte do Oeste Catarinense, este, por sua vez, apresenta a maior concentração de suínos por Km² do país. Este fato, aliado ao alto grau de confinamento, traz como consequência um grande aumento do volume e uma grave concentração de dejetos de suínos. Estes, mal manejados, vêm comprometendo contínua e crescentemente as águas da região, notadamente dos pequenos mananciais. Os resultados dos exames bacteriológicos efetuados pela EPAGRI, nos últimos anos, em milhares de amostras da água consumida pela população rural, indicam um índice de 84% de poluição por coliformes fecais. O Projeto “Recuperação, Conservação e Manejo dos Recursos Naturais em Microbacias Hidrográficas”, executado pela EPAGRI desde 1991, representa uma iniciativa técnica efetiva no controle deste tipo de poluição, cujos resultados são positivos.

Já a grande Bacia Hidrográfica do rio Iguaçu possui apenas a RH 5 – Planalto de Canoinhas, formada pelas bacias hidrográficas dos rios Iguaçu, Negro e Canoinhas, que apresenta baixos efetivos de suínos e pouca representatividade no setor (Fig. 3).

A grande Bacia Hidrográfica do Sudeste engloba as Regiões Hidrográficas 6, 7, 8, 9 e 10, dentre elas, a RH 7 e a RH 9 são as mais representativas em termos de suínos. As demais regiões hidrográficas caracterizam-se por baixa produção suinícola (Fig. 2 e 3).

Neste sentido, a RH 7 – Vale do Itajaí composta apenas pela bacia hidrográfica do rio Itajaí-Açu, além dos sérios problemas de poluição urbano-industrial, há que se destacar a expressiva área ocupada com lavouras e com a produção de suínos no Vale (cerca de 153 mil hectares cultivados com milho, fumo, cebola, mandioca, feijão e arroz, entre outras culturas, e mais de 325 mil suínos distribuídos nos 46 municípios). Com isso, apresenta três aspectos de degradação ambiental que decorrem da atividade agropecuária sobre a bacia do Itajaí, quais sejam, a poluição causada pelo uso excessivo e inadequado de agrotóxicos, carreados para os mananciais, à poluição por dejetos de suínos, bem como o processo de erosão, pelo mau uso do solo, resultando em assoreamento dos rios da bacia e o empobrecimento do solo.

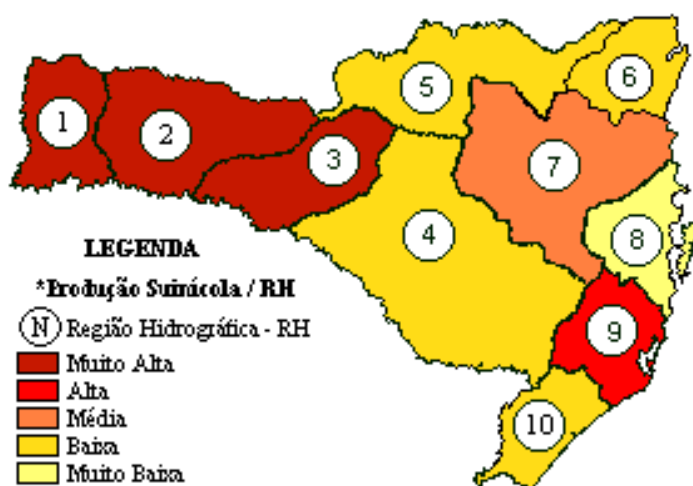


Figura 3: Produção de suínos atual, segundo as 10 regiões hidrográficas do Estado de Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de SDM (1997).

Na Fig. 3 pode-se observar a RH 9, onde está localizada a Bacia Hidrográfica do rio Tubarão, região esta, responsável por alta produção suínica no Estado. Com isso, os rios desta bacia têm sofrido uma degradação ambiental crescente nos últimos anos, principalmente, em virtude do lançamento in natura dos dejetos suínos em corpos hídricos. Um dos mais representativos desta realidade é o rio Coruja/Bonito.

Segundo o Diagnóstico Geral das Bacias Hidrográficas (1997), a RH 9 – Sul Catarinense apresenta como principais cursos de água as bacias hidrográficas dos rios Tubarão e D'Una, cabendo destaque ao complexo lagunar aí existente (lagoas Santo Antônio dos Anjos, Imaruí e Mirim) pela importância socioeconômica que apresenta. A bacia

hidrográfica do rio Tubarão é a mais expressiva da região, nasce na encosta da Serra Geral, percorre uma distância de 120 Km e desemboca na Lagoa de Santo Antônio dos Anjos, no município de Laguna. Ao longo de seu percurso, o rio Tubarão recebe pela margem esquerda, a 56 Km de sua foz, a contribuição da bacia hidrográfica do rio Braço do Norte. Com uma extensão de 124 Km, o rio Braço do Norte recebe pela margem esquerda, a 23 Km de sua foz com o rio Tubarão, a contribuição da sub-bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito. O rio Coruja/Bonito possui um percurso de 23 Km até sua foz no rio Braço do Norte, de onde percorre mais 79 Km até suas águas chegarem na Lagoa de Santo Antônio dos Anjos. O referido percurso apresenta altos índices de poluição por dejetos de suínos.

O relevo regional é montanhoso e forte-ondulado em 67% da área, onde a erosão do solo apresenta alguma gravidade. Junto à planície costeira, no entanto, se apresenta plano e suave-ondulado, sem problema evidente de erosão. A cobertura vegetal é relativamente baixa, com 31%, em média, de vegetação primária e secundária e apenas 1% de área reflorestada. Várias atividades econômicas são desenvolvidas na região, destacando-se a extração de carvão mineral, a produção agrícola (principalmente arroz, batata, fumo, mandioca, suínos e leite) e a atividade industrial, principalmente de pequenas e médias indústrias.

A situação, no que diz respeito à água disponível, pode ser considerada normal, de acordo com o estudo indicativo efetuado. Com efeito, mesmo em época de estiagem, o consumo total de água não ultrapassa 30% das vazões nas sub-bacias potencialmente críticas (rios Tubarão, Braço do Norte e D'Una). O mesmo não se pode dizer da qualidade dos recursos hídricos, pois a região apresenta sérios focos de degradação ambiental. Deve-se destacar, no município de Braço do Norte, o problema da poluição causada pelo lançamento dos dejetos de suínos nos corpos hídricos (Tabela 10). Dentre eles, podemos destacar as sub-bacias hidrográficas do rio Coruja/Bonito e do rio Cachoeirinha que recebem grandes quantidades de dejetos de suínos e desembocam suas águas, já comprometidas, no rio Braço do Norte.

De acordo com a Tabela 10 existem cinco Regiões Hidrográficas de Santa Catarina que apresentam problemas de poluição devido à atividade da suinocultura. As Regiões Hidrográficas 1, 2, 3, 7 e 9, já comentadas anteriormente, são destaque na criação de suínos e respondem por grandes efetivos de suínos, neste sentido, são responsáveis pelos maiores índices de poluição nos corpos hídricos destas regiões. Na Tabela 11, a seguir, são apresentados dados da suinocultura catarinense de acordo com estas Regiões Hidrográficas que são destaques.

A Tabela 10 apresenta as principais causas de poluição das águas das Regiões Hidrográficas do Estado de Santa Catarina.

Região Hidrográfica	Fontes Poluidoras	Tipos de Poluição
RH 1 – Extremo Oeste Bacias: Peperi-Guaçu e das Antas	Atividade pecuária Atividade de lavoura Frigoríficos / Abatedouros	Coliformes fecais por dejetos suínos Agrotóxicos e assoreamento de rios Efluentes orgânicos
RH 2 – Meio Oeste Bacias: Chapecó e Irani	Atividade pecuária Atividade de lavoura Frigoríficos / Abatedouros Urbano-industrial	Coliformes fecais por dejetos suínos Agrotóxicos e assoreamento de rios Efluentes orgânicos Efluentes orgânicos e tóxicos
RH 3 – Vale do Rio do Peixe Bacias: Peixe e Jacutinga	Atividade pecuária Atividade de lavoura Frigoríficos / Abatedouros Urbano-industrial	Coliformes fecais por dejetos suínos Agrotóxicos e assoreamento de rios Efluentes orgânicos Efluentes orgânicos e tóxicos
RH 4 – Planalto de Lages Bacias: Canoas e Pelotas	Indústrias papelarias Lavoura e fruticultura Urbano-industrial	Efluentes tóxicos Agrotóxicos Efluentes orgânicos e tóxicos
RH 5 – Planalto de Canoinhas Bacias: Iguaçu, Negro e Canoinhas	Indústrias papelarias Atividade de lavoura Urbano-industrial	Efluentes tóxicos Agrotóxicos e assoreamento de rios Efluentes orgânicos e tóxicos
RH 6 – Baixada Norte Bacias: Cubatão e Itapocu	Urbano-industrial Atividade de lavoura	Efluentes orgânicos e tóxicos Agrotóxicos
RH 7 – Vale do Itajaí Bacias: Itajaí-Açu	Urbano-industrial Atividade de lavoura Atividade pecuária	Efluentes orgânicos e tóxicos Agrotóxicos e assoreamento de rios Coliformes fecais por dejetos suínos
RH 8 – Litoral Centro Bacias: Tijucas, Biguaçu, Cubatão do Sul e Madre	Urbano-industrial Atividade de lavoura	Efluentes orgânicos e tóxicos Agrotóxicos
RH 9 – Sul Catarinense Bacias: Tubarão e D’Una	Mineração Urbano-industrial Engenhos de mandioca Atividade de lavoura Atividade pecuária	Resíduos de extração de carvão Efluentes orgânicos e tóxicos Efluentes tóxicos Agrotóxicos e assoreamento de rios Coliformes fecais por dejetos suínos
RH 10 – Extremo Sul Catarinense Bacias: Araranguá, Urussanga e Mampituba	Mineração Atividade de lavoura Urbano-industrial Engenhos de mandioca	Resíduos de extração de carvão Agrotóxicos e assoreamento de rios Efluentes orgânicos e tóxicos Efluentes tóxicos

Tabela 10: Fontes poluidoras mais comuns e tipos de poluição por região hidrográfica.

Fonte: Adaptado de SDM (1997).

Segundo o estudo realizado pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SDM), conforme os dados da Tabela 11, a atividade da suinocultura já era

destaque nas regiões Oeste e Sul do Estado em 1997. Complementando o citado, a Fig. 3 apresenta a produção de suínos nas diferentes Regiões Hidrográficas de Santa Catarina, segundo os dados mais atuais obtidos junto ao IBGE. Com isso, constata-se que a poluição dos corpos hídricos por coliformes fecais continua nas regiões produtoras de suínos, não de forma tão intensa, devido às iniciativas de Órgãos Ambientais, mas ainda capaz de trazer sérios prejuízos para atividade suinícola.

DADOS	RH1	RH2	RH3	RH7	RH9
Área (Km ²)	5.962	11.064	8.189	15.111	5.991
População (IBGE, 1991)	278.862	386.414	372.301	920.023	308.651
Densidade Populacional (hab./Km ²)	46,77	34,93	45,46	60,88	51,52
Efetivo de suínos	589.741	877.962	1.282.836	342.658	351.737
Densidade de suínos (suínos/Km ²)	98,92	79,35	156,65	22,68	58,71
Equivalente Populacional	2.064.094	3.072.867	4.489.926	1.199.303	1.231.080

Tabela 11: Dados referentes às regiões hidrográficas mais representativas da suinocultura catarinense.

Fonte: Adaptado de SDM (1997).

4.4 Caracterização dos dejetos de suínos

4.4.1 Quantificação e composição do efluente

Os resíduos de suinocultura em geral diferem dos esgotos industrial e sanitário, apresentam a maior parte da matéria orgânica na forma sólida contendo pouca água no meio, e os outros apresentam a maior parte da matéria orgânica na forma solúvel e contendo alguns sólidos em suspensão (ANDREADAKIS, 1992).

De forma geral, pode-se caracterizar os dejetos suínos como sendo um resíduo escuro, com cores variando em tons de cinza, marrom ou preto. Apresenta características físico-químicas e biológicas bastante variáveis, no entanto, sempre com elevadas concentrações orgânicas. Possui odor desagradável e sua consistência varia do líquido ao pastoso, composto por sólidos em suspensão, sedimentáveis e dissolvidos. Além dos sólidos, a urina, a água de beberagem dos animais e a água utilizada para limpeza das instalações de criação, quando em confinamento, integram os dejetos, tornando-os mais ou menos diluídos. Por isso, são considerados altamente poluentes, podendo contaminar o ar, o solo e os corpos d'água receptores.

O volume produzido depende do tipo da criação, construções, alimentação, distribuição de água, manejo adotado e estado psicológico dos animais (BELLIF, 1995).

Considerando condições distintas de situação e nas criações de suínos, pode-se dizer que a quantidade e a composição dos dejetos varia a cada propriedade (GOSMANN, 1997).

Segundo Andreadakis (1992), a produção diária de dejetos de suínos é função do tipo e tamanho do animal, da alimentação, da temperatura e da umidade na construção, e da quantidade de água na lavagem e vazamentos de água.

Conforme Oliveira *et al.* (1993), citando Jelinek (1977), a quantidade total de dejetos produzidos varia de acordo com o peso corporal dos animais, apresentando valores decrescentes de 8,5% a 4,9% de seu peso vivo/dia, considerando a faixa dos 15 aos 100 Kg de peso vivo.

Os vazamentos de água nas pocilgas aumentam o volume dos efluentes. O principal incremento no conteúdo líquido decorre da urina e fezes, e do desperdício de água por mau funcionamento dos bebedouros e sistema de higiene adotado nas criações, enquanto o consumo de água é influenciado pela dieta e pela temperatura ambiente (PERDOMO, 1995).

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

A composição dos dejetos animais está associada ao sistema de manejo adotado. Os dejetos podem apresentar grandes variações na concentração de seus componentes, dependendo da diluição e da modalidade como são manuseados e armazenados (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Conforme Sorlini & Bonfanti (1989), as características químicas podem ser condicionadas pela fase da criação (animais de reprodução ou de engorda), tipo de alimentação, técnicas de criação, sistemas de remoção e estocagem dos dejetos e condições climáticas. Cada um destes fatores tem influência sobre as características finais dos resíduos e, até certo ponto, é difícil de distinguir entre os vários efeitos.

Oliveira *et al.* (1993), mostra uma produção média de dejetos líquidos por unidade de suíno de 8,6 litros/dia. A Tabela 12 mostra os dados da produção média diária de dejetos de acordo com as diferentes categorias dos suínos.

Categorias dos Suínos	Esterco (Kg/dia)	Esterco + Urina (Kg/dia)	Dejetos Líquidos (l/dia)	Estrutura para Estocagem (m ³ /animal/mês)	
				Esterco + Urina	Dejetos Líquidos
Suínos de 25 a 100 Kg	2,30	4,90	7,00	0,16	0,25
Reposição / Cobrição / Gestação	3,60	11,00	16,00	0,34	0,48
Porcas em lactação com leitões	6,40	18,00	27,00	0,52	0,81
Machos (cachaços)	3,00	6,00	9,00	0,18	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,04	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,17	0,27

Tabela 12: Produção média diária de dejetos nas diferentes categorias dos suínos.

Fonte: OLIVEIRA *et al.* (1993), organização de informações de diversos autores.

Segundo Andreadakis (1992 apud CARMO JR., 1998), uma significativa porção de matéria orgânica total, aproximadamente 40% não é biodegradável. Esse material consiste de fibra de celulose e outros não biodegradáveis que são incorporados na ração da alimentação animal e aparecem nas fezes.

A criação de animais, no mundo todo, produz grandes quantidades de dejetos com elevadas concentrações de matéria orgânica (DBO ou DQO), sólidos suspensos, óleos e graxas, compostos nitrogenados e fósforo (KELLER *et al.*, 1997). Porém, o tratamento de dejetos de suínos é dificultado por apresentar uma composição extremamente variada, dificultando sua comparação. As características dos dejetos dependem das condições de produção, armazenamento, alimentação, fase de crescimento, manejo da água de bebida e diluição devido às águas de lavagens ou de chuvas.

As características físico-químicas dos dejetos de suínos são evidenciadas através de uma série de trabalhos já realizados, assim como na Tabela 13. No entanto, estes se mostram extremamente variáveis e de difícil comparação, pois nem sempre são relatadas as condições locais do experimento onde foram realizados, tais como o clima, tipo de alimentação associado ao desperdício, método de amostragem e principalmente a quantificação do montante de água utilizada, responsável pelas diferentes diluições do resíduo final.

Parâmetro	Medri (1997)	Duarte <i>et al.</i> (1992)	Konzen (1983)	Sevin-Reyssac <i>et al.</i> (1995)
pH	6,9	7,46	6,94	-
DQO total (mg/L)	21.647	21.670	98.640	80.000
DBO ₅ total (mg/L)	11.979	7.280	52.270	40.000
NTK (mg/L)	2.205	2.150	6.000	8.100
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	-	1.420	-	3.400
P total (mg/L)	633	-	2.500	7.100
Sólidos Totais (mg/L)	17.240	-	90.000	82.000
Sólidos Voláteis (mg/L)	10.266	-	75.050	66.000

Tabela 13: Composição média de dejetos de suínos estudada por diferentes autores.

Fonte: PIRES (1999), citando COSTA (1997).

A variação de alguns parâmetros na composição dos dejetos de suínos, obtida por diferentes autores, é mostrada na Tabela 13. As características físico-químicas dos dejetos de suínos analisados nas pesquisas de Medri (1997) e Duarte *et al.* (1992), diferem muito das características obtidas por Konzen (1983) e Sevin-Reyssac *et al.* (1995), que obtiveram concentrações bastante elevadas, principalmente, em termos de matéria orgânica (DQO e DBO₅) e de nitrogênio e fósforo. No entanto, as maiores diferenças encontradas pelos referidos autores foram em relação à quantidade de sólidos totais e voláteis presentes nas amostras analisadas. Estas diferenças podem ser provenientes, da maior ou menor diluição dos dejetos, pela água desperdiçada na beberagem dos suínos, pois, quanto maior o volume de água desperdiçada, maior é a diluição dos dejetos e, conseqüentemente, menores são as concentrações físico-químicas dos parâmetros analisados.

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Média
DQO total (mg/L)	11.530	38.448	25.543
Sólidos Totais (mg/L)	12.697	49.432	22.399
Sólidos Voláteis (mg/L)	8.429	39.024	16.389
Sólidos Fixos (mg/L)	4.268	10.408	6.010
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	220	850	429
NTK (mg/L)	1.660	3.710	2.374
P total (mg/L)	320	1.180	578
K total (mg/L)	260	1.140	536

Tabela 14: Características físico-químicas dos dejetos de suínos na fase de crescimento e terminação, observadas na região oeste de Santa Catarina.

Fonte: SILVA (1996).

A Tabela 14 apresenta as características físico-químicas dos dejetos brutos de suínos na fase de crescimento e terminação, obtidas a partir de uma pesquisa realizada em Santa Catarina pelo CNPSA/EMBRAPA. Analisando a Tabela 14, podemos observar a variação da composição do dejetos de suíno nas diferentes fases do desenvolvimento do animal, na região oeste de Santa Catarina.

Através das Tabelas 13 e 14, pode-se perceber que os dejetos de suínos são bastante mutáveis do ponto de vista físico químico, já que muitos autores trabalhando com este efluente obtiveram concentrações muito diferentes. Além disso, por se tratar de um efluente com elevadas cargas orgânicas, é que muitos pesquisadores procuram trabalhar com sistemas anaeróbios, degradando a matéria orgânica através da digestão anaeróbia, que reduz o potencial poluidor e valoriza o efluente do ponto de vista energético.

4.4.2 Poluição causada pelos dejetos suínos

Sob o ponto de vista sanitário, toda e qualquer alteração verificada na comunidade biótica de um curso d'água, deveria ser interpretada como denunciadora de poluição e, toda espécie animal ou vegetal surgida no meio, após uma dessas modificações, seriam os indicadores de poluição (BRANCO, 1978).

O aspecto básico, fundamental, ao defrontarmos um problema de poluição é o da escolha do ângulo sob o qual esse problema deve ser encarado. Permanece, porém, a necessidade de o poder público preservar, o mais possível, a qualidade estética das águas de abastecimento, a fim de que as mesmas mereçam a preferência popular, em favor da sua segurança sanitária (BRANCO, 1978).

A descontaminação da água descartada pelas criações de animais é o fator de maior importância para a prevenção da poluição nos ecossistemas aquáticos da região, visto que, dados obtidos pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), mostram que 82% dos sistemas de abastecimento de água do Estado são feitos a partir de mananciais superficiais. Segundo a Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), 80% dos recursos hídricos de Santa Catarina estão comprometidos pelo lançamento de efluentes de esgotos urbanos, industriais, criação de animais e agricultura (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

É neste contexto que se apresentam os dejetos de suínos, pois, normalmente são produzidos em larga escala, durante o processo de criação dos animais, e são responsáveis por altos índices de poluição quando lançados sem tratamento nos corpos hídricos.

Além do volume produzido, é preocupante também, a composição físico-química e microbiológica dos dejetos de suínos. As altas concentrações de nutrientes como nitrogênio e fósforo, e a elevada concentração de sólidos voláteis (SV) em relação aos sólidos fixos (SF), conferem a esses dejetos um elevado potencial poluidor. Segundo a World Health Organization (1987), esses resíduos apresentam potencial poluidor em torno de 4,2 vezes maior que o esgoto doméstico. Esses componentes orgânicos na água estimulam o crescimento de microrganismos, os quais diminuem a concentração de oxigênio dissolvido (OD), ocorre a eutrofização dos corpos receptores e promovem o desenvolvimento de moscas, borrachudos e maus odores.

Conforme Picot *et al.* (1992 apud SILVA, 1996), os impactos provocados pelos dejetos suínos oriundos da fração nitrogenada, possivelmente sejam os que determinem maiores danos, pois além de ser elemento essencial no processo de síntese causando floração das águas superficiais, o nitrogênio em contato com águas subterrâneas induz a formação de nitratos e em meio anaeróbio é reduzido a nitrito, elemento conhecidamente cancerígeno.

O nitrogênio alterna-se entre várias formas e estados de oxidação em seu ciclo na biosfera. No meio aquático, pode apresentar-se nas seguintes formas: nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). A percolação de nitrogênio contamina o lençol freático por nitratos, que em concentrações elevadas (> 10 mg/l) podem causar câncer e metahemoglobinemia em crianças (Síndrome do bebê azul), sendo também responsável pela eutrofização dos corpos d'água. Os processos bioquímicos de conversão de amônia a nitrito e deste a nitrato, implicam no consumo de OD do meio. O nitrogênio na forma de amônia é diretamente tóxico aos peixes; além disso, importantes agentes patogênicos como: *E.coli*, *Salmonella sp*, *Myc. Tuberculosis*, *Brucella suis*, *Streptococcus sp*, vírus da peste suína clássica, da febre aftosa, entre outros, podem ser veiculados pelos dejetos de suínos (ISBIZUKA, 1998).

O fósforo, principal responsável pela eutrofização dos corpos d'água, está presente na forma de ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico. Os ortofosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , $H_2PO_4^-$ e H_3PO_4), são diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões a formas mais simples (CONVERTI *et al.*, 1993).

Segundo Maekawa *et al.* (1995), especificamente no caso dos dejetos de suínos, padrões têm sido requeridos para prevenir a eutrofização de rios, lagos e mares. A criação de suínos, por confinamento, sem as devidas precauções quanto ao tratamento dos dejetos produzidos, resulta em sérios impactos aos mananciais, tanto superficiais como subterrâneos,

sendo necessário o desenvolvimento de processos que viabilizem sistemas capazes de reduzir o poder poluente desta atividade.

O manejo ineficiente dos dejetos, além disto, tem trazido conseqüências indesejáveis, tais como o mau cheiro (odores), a concentração de amônia no ar, o nitrato na água subterrânea, o elevado potencial de eutrofização dos corpos de água superficiais, a exasperação de aspectos sanitários (BAUFÖRDERUNG LANDWIRTSCHAFT HANNOVER, 1993, apud GOSMANN, 1997) e a proliferação de insetos, especialmente moscas (PEDROSO, 1993).

Segundo Costa (1997), a maioria das instalações de suinocultura da região oeste do Estado de Santa Catarina, onde há tratamento dos dejetos, ocorre boa redução da carga orgânica (DBO), não sendo, porém eficiente a remoção de nutrientes (N, P) e de microrganismos patogênicos. Além disso, a contaminação dos mananciais não fica restrita ao município onde são lançados os dejetos, pois esses mananciais muitas vezes atravessam vários municípios, no seu trajeto da nascente até a foz. É comum que um município capte água já poluída, advinda de outro a montante, para utilizá-la no abastecimento público.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), no uso de suas atribuições e através de sua Resolução Nº 20, de 18 de junho de 1986, estabelece, segundo seus usos preponderantes, limites e/ou condições específicas para as diferentes classes de águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Em seu Art. 21, estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, diretos ou indiretamente, nos corpos de água desde que obedeçam a valores máximos admissíveis, ou seja, limita as concentrações de determinadas substâncias nos efluentes de qualquer natureza. E, no Art. 35, compete aos órgãos de controle ambiental a aplicação desta Resolução, cabendo-lhes a fiscalização para o cumprimento da legislação, bem como a aplicação das penalidades previstas, inclusive a interdição de atividades industriais poluidoras.

A Constituição Federal de 1988 em seu Art. 23, nos incisos VI e XI, estabelece como sendo competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas, bem como registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios (SIQUEIRA *et al.*, 1997).

Segundo SDM (1998), o Decreto Estadual Nº 14.250, de 05 de junho de 1981, regulamenta dispositivos da Lei Nº 5.793, de 15 de outubro de 1980, referente à proteção e a

melhoria da qualidade ambiental em Santa Catarina. Estabelece ainda, da classificação e utilização dos corpos de água, das proibições e exigências, dos padrões de qualidade de água e dos padrões de emissão de efluentes líquidos, referentes à proteção das águas.

Para se controlar as formas de poluição hídrica, é necessário que sejam respeitados os padrões de emissão existentes, com base nos padrões de qualidade do corpo d'água receptor e das limitações impostas pelos Órgãos Ambientais e pela Legislação pertinente. Desta forma, pode-se preservar os corpos de água ainda intocados e mitigar os impactos ambientais e a poluição causada por dejetos de suínos ou por outra fonte poluidora qualquer.

Sendo assim, os processos anaeróbios de tratamento e armazenamento se apresentam como uma solução adequada nas regiões suinícolas, no sentido de minimizar a poluição e os impactos ambientais provenientes dos dejetos de suínos, pois valorizam este efluente do ponto de vista energético e como biofertilizante para agricultura.

4.5 Digestão anaeróbia

4.5.1 Histórico

A biodigestão anaeróbia, processo pelo qual o metano é produzido, é uma das formas naturais de se obter esse hidrocarboneto, além das jazidas subterrâneas, onde se encontra, às vezes, associado ao petróleo. Conforme Nogueira (1986), o desenrolar da descoberta deste processo pode ser mais bem entendido na Tabela 15.

Além da Índia e China, diversos países têm procurado aplicar a tecnologia da biodigestão anaeróbia, sobretudo no chamado Terceiro Mundo. No nosso país o interesse nesse processo foi despertado pela crise energética, depois de 1973, motivando diversas escolas e institutos de pesquisas a desenvolverem o assunto (NOGUEIRA, 1986).

Segundo Chernicharo (1997), constata-se que o nível de conhecimento no campo do tratamento anaeróbio em nosso país é bastante elevado, embora se reconheça que ainda seja bastante localizado. Nos últimos anos, diversas instituições têm se dedicado a trabalhos de pesquisa fundamental e aplicada nessa área, tendo contribuído significativamente para a evolução e uma maior disseminação da tecnologia de tratamento anaeróbio no Brasil. Da mesma forma, algumas concessionárias de saneamento investiram maciçamente nessa área, nos últimos anos, dispondo atualmente de amplo conhecimento acerca de projeto, construção e operação de reatores anaeróbios.

DATAS	DESCOBERTAS A RESPEITO DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA
1776	Alessandro Volta, na Itália, descobre metano no gás dos pântanos, como resultado da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados.
1806	Humphrey Davy, na Inglaterra, identifica um gás rico em carbono e dióxido de carbono, resultante da decomposição de dejetos animais em lugares úmidos.
1857	Em Bombaim, na Índia, é construída a primeira instalação operacional destinada a produzir gás combustível, para um hospital de hansenianos.
1890	Donald Cameron, na Inglaterra, projeta uma fossa séptica para a cidade de Exeter, sendo o gás produzido utilizado para iluminação pública.
1920	Karl Imhoff, na Alemanha, desenvolve um tanque biodigestor, o tanque Imhoff, uma importante contribuição para o tratamento anaeróbio de esgotos residenciais.
1950	Ram Bux Singh, em Ajitmal, no norte da Índia, coordena as pesquisas que conduziram a uma enorme difusão do biodigestor, construindo meio milhão de unidades do chamado modelo indiano, como forma de tratar o esterco e obter combustível sem perder o efeito fertilizante.
1972	Ao sul do rio Amarelo, na China, surge uma nova concepção, o modelo chinês, com a instalação de 7,2 milhões de biodigestores para produção de biogás.

Tabela 15: Resumo do desenvolvimento histórico da tecnologia de biodigestão anaeróbia.

Fonte: Adaptado de NOGUEIRA (1986).

As soluções para os problemas de desenvolvimento devem ser apropriadas às necessidades, às capacidades e recursos humanos, aos recursos financeiros e à cultura. Sem dúvida que os biodigestores anaeróbios são alternativas a serem consideradas.

4.5.2 Fundamentação do processo

Pode-se, resumidamente, dizer que a biodigestão anaeróbia dos resíduos orgânicos é um processo bioquímico que utiliza ação bacteriana para fracionar compostos complexos e produzir um gás combustível, denominado biogás, composto em maior proporção de metano e dióxido de carbono. O local onde se desenvolvem essas reações de decomposição é o digestor ou biodigestor, podendo operar de modo contínuo, isto é, sendo alimentado de matéria orgânica durante o funcionamento, simultaneamente à retirada de produto de composto, ou em batelada, que é carregado apenas uma vez, no início do período de funcionamento, sendo descarregado quando a produção de gás acabar ou atingir níveis muito baixos (NOGUEIRA, 1986).

No processo de conversão da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos como NO_3^- (redução de nitrato), SO_4^{2-} (redução de sulfato), ou CO_2 (formação de metano). A formação de metano não ocorre em ambientes onde oxigênio, nitrato ou sulfato encontram-se prontamente disponíveis como

aceptores de elétrons. A produção de metano ocorre em diferentes ambientes naturais tais como pântanos, solo, sedimentos de rios, lagos e mares, assim como nos órgãos digestivos de animais ruminantes. Estima-se que a digestão anaeróbia com formação de metano seja responsável pela completa mineralização de 5 a 10% de toda a matéria orgânica disponível na terra (CHERNICHARO, 1997).

O processo anaeróbio é normalmente empregado como tratamento primário para a estabilização de efluentes com alta carga orgânica. Sua função principal é a degradação da matéria orgânica (DBO, DQO e SST), por ação de bactérias, fungos e protozoários, envolvendo principalmente a participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias. De acordo com Belli F^o (1995), a utilização da digestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos é importante, pois preserva seu poder fertilizante. Na digestão anaeróbia a matéria orgânica é transformada em solução ou a um estado semilíquido e, em gás (ROUGER, 1987).

A digestão anaeróbia representa um sistema ecológico delicadamente balanceado, onde cada microorganismo tem uma função essencial (CHERNICHARO, 1997).

Segundo Andreadakis (1992), a degradação anaeróbia sequencial dos dejetos de suínos, favorece a adoção de curto tempo de retenção para máxima produção de gás, ao mesmo tempo satisfatória estabilização pode ser obtida.

As cinéticas em que se processa a digestão anaeróbia, são essencialmente aquelas de crescimento e de metabolismo das culturas não puras. Os conhecimentos sobre cinética de crescimento bacteriano são fundamentados na cinética de Monod (ROUGER, 1987).

A estabilização dos dejetos suínos pela fermentação anaeróbia permite o uso racional dos dejetos. A Fundação do Meio Ambiente (FATMA), através da Instrução Normativa (IN-11)³, estabelece que a quantidade máxima de dejetos para a utilização em lavouras é de 50 m³/ha/ano, e de acordo com recomendações de adubação indicadas por laudo com base em análise do solo.

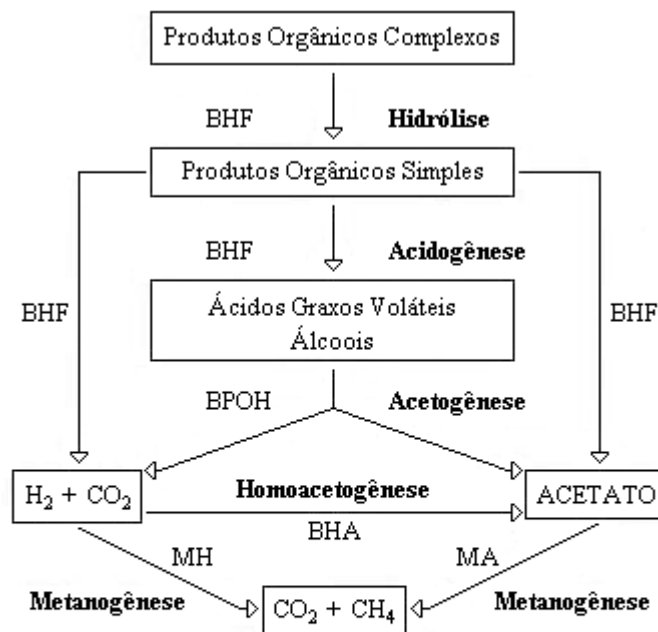
Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), a transformação das macromoléculas orgânicas complexas, presentes no esgoto em biogás requer a mediação de vários grupos diferentes de microorganismos. Para digestão anaeróbia de proteínas, carboidratos e lipídios, a maior parte do material orgânico pertencente a esses grupos, pode-se distinguir quatro partes diferentes no processo global da conversão: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese.

³ Endereço eletrônico: <<http://www.fatma.sc.gov.br>>.

4.5.3 Microbiologia e fases da digestão anaeróbia

Segundo Chernicharo (1997), os microorganismos que participam do processo de decomposição anaeróbia podem ser divididos em três importantes grupos de bactérias, com comportamentos fisiológicos distintos:

- ✓ O primeiro grupo é composto de bactérias fermentativas, que transformam, por hidrólise, os polímeros em monômeros, e estes em acetato, hidrogênio, dióxido de carbono, ácidos orgânicos de cadeia curta, aminoácidos e outros produtos como glicose;



Onde:

BHF - Bactérias Hidrolíticas Fermentativas

EPOH - Bactérias Produtoras Obrigatórias de Hidrogênio

BHA - Bactérias Homoacetogênicas

MH - Metanogêneas Hidrogenotróficas

MA - Metanogêneas Acetotróficas

Figura 4: Esquema da digestão anaeróbia da matéria orgânica.

Fonte: MAUNOIR (1991), citado por BELLI F° (1995).

- ✓ O segundo grupo é formado pelas bactérias acetogênicas produtoras de hidrogênio, o qual converte os produtos gerados pelo primeiro grupo (aminoácidos, açúcares, ácidos orgânicos e álcoois) em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;

- ✓ Os produtos finais do segundo grupo são os substratos essenciais para o terceiro grupo, que por sua vez constitui dois diferentes grupos de bactérias metanogênicas. Um grupo usa o acetato, transformando-o em metano e dióxido de carbono, enquanto o outro produz metano, através da redução do dióxido de carbono. Uma representação esquemática dos grupos bacterianos e fases da digestão anaeróbia é mostrada na Fig. 4.

Maunoir (1991) propõe o esquema mostrado na Fig. 4, para a degradação anaeróbia da matéria orgânica. No processo global de conversão da matéria orgânica, através da digestão anaeróbia, podem-se distinguir quatro fases distintas para formação do metano, como a seguir:

Hidrólise

Nesta fase, ocorre a liquefação do meio. O material orgânico particulado ou complexo é convertido em compostos dissolvidos ou materiais orgânicos simples, ou seja, os polímeros orgânicos são convertidos em compostos simples e solúveis de menor peso molecular (monômeros). O processo requer a interferência das chamadas exo-enzimas que são excretadas pelas bactérias fermentativas (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). As matérias complexas (celulose, hemicelulose, amido, pectinas, proteínas, lipídios) são convertidas pelas bactérias hidrolíticas em compostos solúveis, tais como aminoácidos, peptídeos de cadeia curta, mono e dissacarídeos (MARTIN, 1985, apud BELLI F°, 1995).

Acidogênese

Os compostos dissolvidos ou liquefeitos, gerados no processo de hidrólise, são absorvidos nas células das bactérias fermentativas e, após a acidogênese, excretados como substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis (AGV), álcoois, ácido lático, e compostos minerais como CO₂, H₂, NH₃, H₂S, etc. (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Na acidogênese os produtos da hidrólise são metabolizados pelas bactérias fermentativas em compostos orgânicos simples como álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos graxos de cadeia curta, CO₂ e H₂ (BELLI F°, 1995). A maior parte dos produtos finais da acidogênese e da acetogênese são o ácido fórmico e ácido acético, o hidrogênio e dióxido de carbono (FOX & POHLAND, 1994, apud BELLI F°, 1995).

Conforme Van Haandel & Lettinga (1994), apesar de minoria, algumas bactérias da acidogênese são facultativas e podem metabolizar o material orgânico pela via oxidativa, removendo o oxigênio dissolvido (O₂), porque a presença desta substância, eventualmente, poderia ser tóxica se não fosse removida.

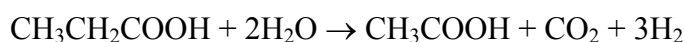
Acetogênese

A acetogênese é uma etapa reguladora do processo: permite a transformação dos produtos da acidogênese em ácido acético, precursor do metano, impedindo a acumulação de ácidos graxos voláteis, além do ácido acético. Esses, em concentrações relativamente altas, inibem a etapa final da digestão anaeróbia. A transformação dos ácidos graxos e dos álcoois em ácido acético é feita pelas bactérias produtoras de hidrogênio (VERSTRAETE *et al.*, 1981, apud BELLI F°, 1995).

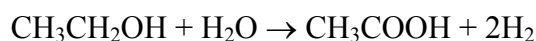
Durante a acetogênese, os ácidos graxos voláteis, bem como os álcoois, são transformados em ácido acético pelas bactérias produtoras de hidrogênio conforme Philippi (1992 apud BELLI F°, 1995). Segundo Gosmann (1997), citando Harper & Pohland (1986), na acetogênese, os produtos finais de decomposição sempre são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o ácido acético.

Dependendo do estado de oxidação do material orgânico a ser digerido, a formação de ácido acético pode ser acompanhada pelo surgimento de dióxido de carbono ou hidrogênio (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). De acordo com Belli F° (1995), citando Fox & Pohland (1994), as reações da acidogênese, em pH 7,0 e a 1 atm, que conduzem à formação de ácido acético, são explicadas da seguinte forma:

✓ Propionato → Acetato



✓ Etanol → Acetato

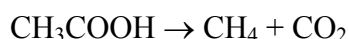


Metanogênese

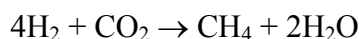
O ácido acético, CO₂ e H₂ produzidos pela acetogênese são convertidos em gás metano (CH₄) e em CO₂. Nesse estágio bactérias anaeróbias metanogênicas convertem ácidos orgânicos simples em metano e CO₂, com período de duração de dez dias a 20 °C.

A metanogênese em geral é o passo que limita a velocidade do processo de digestão como um todo, embora a temperatura abaixo dos 20 °C, a hidrólise, possa se tornar limitante (GUJER & ZEHNDER, 1983, apud VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Metano é produzido pelas bactérias acetotróficas a partir da redução ou descarboxilação do ácido acético ou pelas bactérias hidrogenotróficas a partir da redução do dióxido de carbono (CO₂). Têm-se, portanto, as seguintes reações catabólicas:

- ✓ Metanogênese acetotrófica:



- ✓ Metanogênese hidrogenotrófica:



Teoricamente, 33% do metano pode ser proveniente da redução de CO₂. O ácido acético pode produzir pelo menos 67% do metano (MAH *et al.*, 1977, apud BELLIF°, 1995).

Dos compostos intermediários, somente H₂ e HCOOH e acetato podem ser usados diretamente pelas bactérias metanogênicas, enquanto os outros precisam, para serem convertidos em produtos finais, passar pelas bactérias produtoras obrigatórias de hidrogênio (VERSTRAETE *et al.*, 1981).

A produção de metano (60 a 70% do biogás), depende diretamente da degradação dos ácidos graxos voláteis (AGV), não estando ligada à concentração de ácido acético (BELLIF°, 1995). Cerca de 70% do metano provém do ácido acético, que é seu maior precursor (PHILIPPI, 1992).

4.5.4 Condições ambientais

Tanto as características físicas do ambiente, quanto as químicas, influenciam o crescimento microbiano. Fatores físicos em geral atuam como agentes seletivos, enquanto que os fatores químicos podem ou não ser seletivos. Alguns elementos, como carbono e nitrogênio que são usualmente requeridos em quantidades relativamente grandes, podem ser muito importantes na seleção das espécies predominantes. Micronutrientes, os quais são requeridos em quantidades muito pequenas, geralmente exercem pouca ou nenhuma influência seletiva.

A digestão anaeróbia é particularmente suscetível a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação das bactérias

fermentativas e metanogênicas. Dessa forma, o sucesso do processo depende de um balanço delicado do sistema ecológico. Atenção especial deve ser dispensada às bactérias metanogênicas, consideradas as mais vulneráveis às mudanças das condições ambientais (CHERNICHARO, 1997).

Nutrientes

As necessidades nutricionais das populações microbianas envolvidas nos processos biológicos de tratamento de esgotos são usualmente estabelecidas a partir da composição química das células microbianas. Como a composição exata é raramente conhecida, os requisitos de nutrientes são determinados com base na composição empírica das células microbianas. Tal consideração se baseia no fato de que quase todas as células vivas são formadas por tipos similares de compostos e que estas apresentam composições químicas similares, requerendo, portanto, os mesmos elementos nas mesmas proporções relativas (CHERNICHARO, 1997). Na Tabela 16 a seguir é apresentada a composição química das bactérias metanogênicas.

Macronutrientes		Micronutrientes	
Elemento	Concentração (g/Kg SST)	Elemento	Concentração (mg/Kg SST)
Nitrogênio	65	Ferro	1.800
Fósforo	15	Níquel	100
Potássio	10	Cobalto	75
Enxofre	10	Molibdênio	60
Cálcio	4	Zinco	60
Magnésio	3	Manganês	20
		Cobre	10

Tabela 16: Composição química das bactérias metanogênicas.

Fonte: LETTINGA *et al.* (1996), citado por CHERNICHARO (1997).

Parte da matéria orgânica é usada na produção da biomassa. Os dois elementos essenciais são o fósforo e o nitrogênio. Estima-se uma necessidade de nitrogênio de 12 a 15% da biomassa sintetizada e em fósforo 2 a 3% da biomassa sintetizada. São igualmente importantes: C, H, O, S, K, Ca, Mg (HOHLFELD & SASSE, 1986) e notadamente os metais pesados em estado de traços (Fe, Co, Mn, Zn, Mo), sendo os últimos essenciais para certas reações enzimáticas dentro do meio, dependendo, entretanto, do funcionamento do digestor (ROUGER, 1987).

Tanto os macronutrientes (N & P) como os micronutrientes estão abundantemente presentes, na verdade, em muitos casos será necessário aplicar um pós-tratamento para reduzir a concentração dos macronutrientes (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Dejetos agrícolas têm normalmente, estes nutrientes em quantidades adequadas para digestão anaeróbia (HOHLFELD & SASSE, 1986).

Além do carbono, a quantidade de nitrogênio na matéria orgânica é muito importante. Todos os organismos vivos necessitam de nitrogênio para sintetizar proteínas, devendo existir uma correta proporção entre o carbono e o nitrogênio, senão as bactérias não serão capazes de consumir todo o carbono presente, e a performance do processo será baixa. Se houver nitrogênio demais, ele não será consumido e se acumulará, usualmente como amônia, cujos altos teores podem matar ou inibir o crescimento das bactérias, especialmente as metanogênicas (NOGUEIRA, 1986).

Lettinga (1980 apud CARMO JR., 1998), indica uma relação de DQO:N:P de 1000:5:1 no tratamento de despejos constituídos principalmente de ácidos graxos voláteis e 350:5:1 no caso de despejos mais complexos. Adicionalmente, o despejo deverá conter pequena quantidade de enxofre e traços de alguns outros elementos.

Conforme Nogueira (1986), o fosfato é necessário à bactéria e ainda que as conseqüências de um alto teor não sejam drásticas, a sua ausência inibe o processo. A relação ideal carbono/fosfato é em torno de 150. Enxofre é outro nutriente básico para a bactéria, mas em teores menores que o fosfato, e a maioria dos resíduos orgânicos não apresentam carência deste elemento. Entretanto, se o teor de enxofre for muito alto, haverá um grande crescimento da população bacteriana redutora de sulfatos, convertendo os sais de enxofre em sulfeto de hidrogênio, um gás venenoso e criador de dificuldades na queima do metano.

De acordo com Chernicharo (1997), são os seguintes nutrientes, em ordem decrescente de importância, necessários à estimulação nutricional de bactérias metanogênicas: nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, níquel, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B₁₂.

Temperatura

Dos fatores físicos que afetam o crescimento microbiano, a temperatura é um dos mais importantes na seleção das espécies. Os microrganismos não possuem meios de controlar sua

temperatura interna e, dessa forma, a temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura ambiente externa.

Três faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano na maioria dos processos biológicos (LETTINGA *et al.*, 1996, apud CHERNICHARO, 1997):

- ✓ Faixa psicrófila: entre 0 e aproximadamente 20 °C;
- ✓ Faixa mesófila: entre 20 e aproximadamente 45 °C;
- ✓ Faixa termófila: entre 45 e 70 °C, e acima.

De acordo com Van Haandel & Lettinga (1994), como outros processos biológicos, a digestão anaeróbia depende fortemente da temperatura. Quanto à taxa de digestão anaeróbia, há um máximo relativo a 35 °C e um máximo absoluto a 55 °C aproximadamente. Por esta razão, distingue-se uma região de digestão mesofílica abaixo dos 45 °C e uma região de digestão termofílica acima desta temperatura. A digestão anaeróbia é possível à temperatura baixa (10 °C), mas a eficiência e taxa de digestão diminuem muito com a diminuição da temperatura.

Conforme Rouger (1987) a metanização pode ocorrer na faixa psicrófila (de 10 a 20 °C), na faixa mesofílica (de 35 a 40 °C) e na faixa termofílica (de 50 a 55 °C). Belli F^o (1995), operou um biodigestor tratando dejetos de suínos em temperaturas variáveis na faixa de 20 a 35 °C, confirmando que a atividade metanogênica é mais intensa a 35 °C.

A temperatura deve ser superior a 10 °C, já que para cada bactéria existe uma faixa de temperatura na qual ocorre o seu crescimento, e dentro desta faixa existe uma temperatura ótima que permite a ocorrência do crescimento máximo. Para as bactérias psicrófilas de 12 a 18 °C, para as mesofílicas de 25 a 40 °C e, para as termofílicas de 55 a 65 °C (METCALF & EDDY, 1991).

A taxa de atividade metabólica dobra a cada 10 a 15 °C de aumento da temperatura, dentro do campo de 5 a 35 °C (HAMMER, 1979, apud PIRES, 1999).

Segundo Chernicharo (1997), embora elevadas temperaturas sejam desejadas, talvez seja mais importante a manutenção de uma temperatura uniforme dentro do reator, uma vez que o processo anaeróbio é considerado muito sensível a mudanças bruscas de temperatura, podendo provocar um desbalanceamento entre as duas maiores populações microbianas e a conseqüente falha do processo (o limite usual é de cerca de 2 °C por dia).

A temperatura é um dos fatores mais importantes na digestão anaeróbia. Segundo os autores pesquisados por Stevens & Schulte (1979) antes de 1927, mostraram que havia uma relação entre a temperatura e a produção de gás. Alterações bruscas de temperatura prejudicam a digestão anaeróbia porque as bactérias metanogênicas são sensíveis a mudanças de temperatura. Desse modo, o processo é mais atrativo para aplicação em regiões tropicais e subtropicais, onde a temperatura normalmente não fica abaixo dos 18 °C (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

pH, alcalinidade e acidez

O equilíbrio ácido-base que determina o pH do meio depende das reações biológicas e químicas, intervindo na metanização que produz e consome espécies de ácidos e bases, conforme Rouger (1987):

- ✓ Produção e consumo de CO₂;
- ✓ Produção e consumo de ácidos orgânicos;
- ✓ Produção e consumo de amoníaco;
- ✓ Liberação de cátions metálicos por eliminação metabólica de ânions orgânicos.

Na digestão anaeróbia, a faixa de pH ótimo é o resultado das diversas reações que ocorrem. A maioria dos autores considera que um pH entre 6,6 e 7,4 corresponde a uma condição ótima, embora possa-se conseguir estabilidade na formação de metano numa faixa mais ampla de pH, entre 6,0 e 8,0 (BARBOSA, 1988, apud CARMO JR., 1998).

Segundo Maunoir (1991), citando Pfeffer (1979), bactérias metanogênicas toleram pH entre 6,6 e 7,6, com valor ótimo de 7,0.

O valor e a estabilidade do pH no reator anaeróbio são extremamente importantes: uma taxa elevada de metanogênese só pode se desenvolver quando o pH se mantém numa faixa estreita, perto do valor neutro: se o pH tiver um valor menor que 6,3 ou superior a 7,8 a taxa de metanogênese diminui rapidamente. O valor do pH no reator se estabelece após o equilíbrio iônico dos diferentes sistemas ácido/base presentes no sistema de tratamento (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

O valor do pH é importante porque interfere na atividade microbiana. Desequilíbrio no sistema provoca declínio do pH e altos valores de pH, mesmo em baixas concentrações de nitrogênio inibem a fermentação. Abaixo de 6,2 parece ocorrer toxicidade para as bactérias metanogênicas (HOHLFELD & SASSE, 1986).

Conforme Chernicharo (1997), a operação de um reator anaeróbio com o pH constantemente abaixo de 6,5 ou acima de 8,0 pode ocasionar uma diminuição significativa da taxa de produção de metano.

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), a taxa de digestão anaeróbia é máxima, quando o pH está na faixa neutra, perto de pH 7,0. 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.

As bactérias formadoras de ácidos fracionam a matéria orgânica e produzem os ácidos voláteis. Daí resulta um aumento da acidez do meio e uma redução do pH. Depois de algum tempo, as bactérias metanogênicas começarão a agir transformando os ácidos em metano, neutralizando o meio e elevando o pH. Outro fator que tende a elevar o pH neste estágio é o teor de amônia, que aumenta quando as proteínas começam a serem digeridas. A amônia dissolvida em água é bastante alcalina (NOGUEIRA, 1986).

As variações de alcalinidade no reator se originam basicamente de dois processos: amonificação e remoção de AGV (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

A alcalinidade de um digestor anaeróbio é uma medida da capacidade de tamponamento das bactérias ácidas presentes no meio (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Conforme Belli F^o (1995), aumentando a concentração em ácidos graxos voláteis, o sistema tampão $\text{HCO}_3^-/\text{CO}_3^{2-}$ diminui.

Quando a quantidade de ácidos voláteis presentes é pequena, a alcalinidade total é praticamente igual à alcalinidade em bicarbonato. Quando os ácidos voláteis aumentam, eles são neutralizados pela alcalinidade em bicarbonato (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Conforme Nogueira (1986), o andamento de um processo de biodigestão pode ser acompanhado pelas variações de acidez do meio. Obviamente, no início de funcionamento, a população bacteriana irá ter bactérias formadoras de ácidos em grande proporção e um alto teor orgânico, o que tende a reduzir o pH.

No reator gera-se alcalinidade devido a reações como amonificação (mineralização de nitrogênio orgânico) e perde-se acidez devido a dessorção de CO₂ (produção de biogás). Por outro lado, a metanogênese ocorrerá e removerá parte do ácido acético, aumentando assim a alcalinidade e reduzindo a acidez (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Potencial de oxiredução (Eh)

Indica a capacidade de redução do meio, sendo influenciado pela presença ou ausência de oxigênio molecular (ATLAS & BARTHA, 1987). O valor é expresso em mV de oxigênio.

Valor positivo de potencial redox indica ambiente de oxidação, enquanto que valor negativo indica ambiente de redução. No caso de digestão anaeróbia é necessário um ambiente de redução, ou seja, valor negativo de Eh. As bactérias anaeróbias não se multiplicam senão na ausência de oxigênio, com taxa de oxi-redução compreendida entre -40 mV e -400 mV (NEUT E RAMOND apud MARTIN, 1955, citado por BELLI F^o, 1995).

As populações de bactérias da acetogênese e metanogênese são anaeróbias restritas, exigindo potencial redox (Eh) inferior a -300 mV. A presença de oxigênio ou substância oxidante como nitritos ou nitratos podem paralisar o metabolismo ou alterar a performance do sistema (ROUGER, 1987).

Potencial redox de -500 mV, indica elevado grau de anaerobiose e capacidade redutora do meio, enquanto que -300 mV indica anaerobiose, mas também substâncias não completamente reduzidas (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Ácidos graxos voláteis (AGV)

A acumulação de ácidos graxos provoca uma diminuição da concentração de bicarbonato e um desprendimento de CO₂, provocando inibição da atividade das bactérias metanogênicas, sendo que no acúmulo de AGV ocorre um deslocamento de carbono mineral para a fase gasosa e um aumento da pressão parcial de CO₂ (ROUGER, 1987).

Quando as condições ótimas de digestão anaeróbias são prejudicadas, ocorre um aumento da concentração dos ácidos voláteis que mais tarde, com a neutralização de toda alcalinidade, provoca uma queda no pH (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Com relação ao índice de tamponamento em uma unidade de tratamento anaeróbio, na estreita faixa de pH relevante para digestão anaeróbia, os ácidos graxos voláteis (ácido acético) se comportam como ácidos fortes (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Como os AGV se comportam como ácidos fortes, a redução da sua concentração resultará em idêntico aumento da alcalinidade.

Se o conteúdo de um digestor em operação se tornar muito ácido, o método mais comum de restaurar o pH ideal é interromper sua alimentação por alguns dias. Isto dá tempo para as bactérias metanogênicas reduzirem a concentração dos ácidos voláteis (NOGUEIRA, 1986).

De acordo com Gosmann (1997), citando Cooper & Cornforth (1978), condições ótimas para acúmulo dos ácidos graxos voláteis (AGV) podem ser baixas temperaturas, pH inadequado ou excessiva concentração de matéria orgânica.

4.5.5 Parâmetros controláveis na digestão anaeróbia

Durante o processo da digestão anaeróbia em um reator ocorrem reações de degradação da matéria orgânica que são essenciais para conversão e assimilação de nutrientes por parte dos microorganismos, responsáveis pela formação do biogás. Para que o processo ocorra de forma otimizada, certos cuidados e parâmetros devem ser controlados ou ajustados a fim de obter um efluente digerido ou estabilizado.

Inoculação

A inoculação é necessária em sistemas de tratamento cujo efluente necessita de um meio biológico responsável por digerir a matéria orgânica e parte da fração de sólidos. O inóculo, neste caso, é um lodo rico em microorganismos anaeróbios, de consistência líquido-pastosa, com grânulos pequenos e medianos. Pode ser proveniente de sistemas de tratamento ou armazenamento de vários tipos de esterco (suínos, bovinos, aves, eqüinos, ovinos, etc.), além do lodo ativo de sistemas de tratamento de esgoto.

O estômago de animais ruminantes é um grande gerador de metano (60 a 200 litros gás/vaca.dia), sendo seus excrementos ricos em bactérias metanogênicas, podendo ser utilizadas como inóculo na digestão anaeróbia (LAGRANGE, 1979).

A taxa muito lenta de decaimento de lodo anaeróbio se constitui numa vantagem importante no caso de tratamento de águas residuárias sazonais, como aquelas associadas a atividades agrícolas. O lodo anaeróbio pode ser guardado vários meses sem problemas e usado novamente quando houver geração de efluente. No caso de um reator ou digestor anaeróbio de lodo, o lodo de excesso e notadamente a massa bacteriana viva, servem como substrato para populações anaeróbias (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Para encurtar o tempo de início do processo de digestão anaeróbia plena, pode ser feita a inoculação com efluente ativo, tanto nos sistemas de alimentação contínua, quanto nos de batelada (HOHLFELD & SASSE, 1986).

Agitação

Segundo Hohlfeld & Sasse (1986), alguns substratos e vários modos de fermentação requerem certo tipo de agitação ou mistura para manter a estabilidade do processo dentro do digestor, com objetivos tais como:

- ✓ Remover metabólitos produzidos (gás);
- ✓ Misturar o substrato fresco com a população bacteriana;
- ✓ Prevenir contra a formação de crosta e sedimento;
- ✓ Evitar gradientes pronunciados de temperatura dentro do digestor;
- ✓ Prevenir contra a formação de espaços inativos que reduzem o volume de fermentação efetiva.

Tempo de retenção hidráulico (TRH)

O tempo de retenção ou de residência é o período em que o material orgânico permanece no digestor, isto é, o tempo entre a entrada e saída do digestor. Geralmente quando se fala em tempo de retenção do digestor, refere-se ao tempo de retenção hidráulico ou simplesmente TR, já que os outros são iguais ou muito próximos. O tempo de retenção é o principal fator de avaliação do desempenho e eficiência de um biodigestor (NOGUEIRA, 1986).

Para fermentação de dejetos de suínos, o tempo de retenção em temperatura mesofílica, varia de 15-25 dias (HOHLFELD & SASSE, 1986).

O tempo de retenção hidráulico é o período, geralmente em dias, que o líquido permanece no biodigestor. O máximo tempo de retenção é aquele requerido para degradar toda a matéria orgânica, o que pode ser tão longo quanto 6 meses. Para digestor contínuo, recomenda-se adotar, tempos de retenção de 20 a 30 dias (NOGUEIRA, 1986).

Segundo Andreadakis (1992), com tempo de retenção (TR) de 5 dias ocorre uma remoção de ST em 70% e DQO em 90% e para estabilizar com a redução de sólidos, se faz necessário um TR maior.

Quando o objetivo for reduzir o teor de matéria seca (MS) e de mineralizar a matéria orgânica dos dejetos de suínos, é necessário utilizar um adequado tempo de retenção hidráulico (TRH). Por outro lado, quando o objetivo for reduzir a DQO solúvel e maximizar a produção de metano, o TRH poderá ser reduzido (5 a 40 dias), conforme Andreadakis (1992).

Conforme Gosmann (1997), citando Bonazzi (1987), quanto mais alta a temperatura e maior o tempo de retenção em digestão anaeróbia, maior é a redução de *Salmonella*.

Tempo de armazenamento (TA)

O tempo de armazenamento ou estocagem é o período em dias, que o líquido 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 período é função da capacidade suporte do solo ou da plantação que receberá o biofertilizante. Durante este período, aproximadamente de 120 dias, a degradação da matéria orgânica varia conforme o processo de enchimento e esvaziamento da unidade de armazenamento.

Ao longo do tempo de armazenamento a diferente solubilidade dos elementos fertilizantes provoca uma divisão heterogênea em função da estratificação dos dejetos de suínos. O P e o N orgânico se concentram (82% e 62%) na região sedimentar, enquanto o N amoniacal (90%) e o potássio ficam solúveis na parte líquida (BELLI F°, 1995).

Conforme Lo *et al.* (1994 apud GOSMANN, 1997), com 110 dias de estocagem, em temperatura de 22 a 25 °C, a diminuição de ácidos graxos e de fenóis é muito expressiva. A diminuição destes compostos determinou a redução do nível de odores dos dejetos.

A anaerobiose dos dejetos de suínos conduz à formação de compostos com mau cheiro, devendo o potencial de odor ser modificado com o tempo de estocagem (BELLI F°, 1995).

Carga orgânica (CO)

Define-se a carga orgânica sobre um sistema de tratamento como a massa de material orgânico aplicado por unidade de tempo. A carga orgânica volumétrica é a massa de material orgânico afluyente por unidade de tempo e por unidade de volume do reator (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

No caso de dejetos de animais é requerida uma carga orgânica volumétrica na base de 1,6 a 3,2 Kg de SV/m³/dia. Para a digestão anaeróbia de dejetos de suínos, recomenda-se uma carga entre 3,8 e 8,0 Kg de SV/m³/dia (EPAGRI, 1995, apud GOSMANN, 1997).

Dejetos de suínos aplicados com cargas orgânicas volumétricas de 0,61 g a 1,80 g de SV/L/dia, em baixa temperatura (< 25 °C), apresentam eficiência satisfatória sem indicativo de colapso (STEVENS & SCHULTE, 1979 apud GOSMANN, 1997). Conforme os mesmos autores, digestão à baixa temperatura, requer o dobro de tempo de retenção para a mesma degradação em temperatura normal de digestão mesofílica.

Os dejetos de suínos são conhecidos como “fertilizantes da propriedade”, conforme Masson (1994 apud BELLI F°, 1995). Dependendo da cultura, da composição dos dejetos e do solo, podem ser aplicados até 100 m³ por hectare (relação C/N = 10:1 e pH = 7,0). Desta maneira, nas propriedades rurais em que são utilizados como adubo, os dejetos de suínos devem ser manejados de forma adequada para preservar o valor fertilizante, evitando perdas de nutrientes essenciais às plantas.

4.5.6 Formação de biogás

A produção de gases é um resultado da ação dos microorganismos (ROUGER, 1987). O biogás produzido em sistema anaeróbio possui 60 a 70% de metano (CH₄), 30 a 40% de CO₂ e 2 g de H₂S/m³. O rendimento do biogás é uma função da relação C/N, bem como das condições ambientais e operacionais (temperatura, disponibilidade de nutrientes, carga volumétrica, tempo de retenção) (HOHLFELD & SASSE, 1986).

A produção de metano (60 a 70% do biogás), depende diretamente da degradação dos ácidos graxos voláteis (AGV), não estando ligada à concentração de ácido acético (BELLI F°, 1995). A eliminação de 1 grama de DQO gera a eliminação de 0,36 litro de metano (ROUGER, 1987).

A formação dos principais compostos voláteis responsáveis pelos odores dos dejetos, intervém durante a etapa da acidogênese. O mau cheiro é devido aos dejetos não digeridos, sendo o tempo de estocagem importante na sua redução (BELLI F°, 1995).

Segundo Gosmann (1997), citando Strauch (1989), os gases de mau cheiro (odores) são produzidos pela amônia, gás sulfídrico e por inúmeros compostos orgânicos intermediários resultantes da decomposição biológica da matéria orgânica do esterco.

Dejetos mantidos em anaerobiose, em condições ótimas de temperatura e pH, produzem metano em proporções variadas. O produto fermentado apresenta uma desodorização de 80 a 90%, apresentando uma redução da carga poluente de 60 a 70% e uma concentração de elementos fertilizantes similar aos dejetos brutos (L'INSTITUT TECHNIQUE DU PORC ET GIDA, 1984 apud GOSMANN, 1997). Segundo Morgia (1983 apud OLIVEIRA *et al.*, 1993), a produção de metano varia de 0,25 a 0,65 m³ de CH₄ / m³ digestor / dia.

Para o caso de dejetos de suínos, a produção de gás, por volume de digestor, foi estudada em função da temperatura por Ke-Xin & Nian Gual (1980), conforme Cullimore (1985 apud BELLI F°, 1995), apresentando os seguintes resultados:

- ✓ De 8 a 10 °C: 0,03 a 0,05 m³ / m³ digestor / dia
- ✓ De 12 a 13 °C: 0,07 a 0,08 m³ / m³ digestor / dia
- ✓ De 22 a 26 °C: 0,2 a 0,3 m³ / m³ digestor / dia

4.5.7 Inibidores da digestão anaeróbia

Existem diversas substâncias que provocam um efeito tóxico no processo de tratamento anaeróbio. A magnitude desse efeito depende da concentração do material em digestão, podendo ter, em alguns casos, um efeito benéfico quando há baixa concentração. Os principais agentes tóxicos da digestão anaeróbia são: amônia, sulfatos/sulfetos, metais pesados, metais alcalinos e alcalino-terrosos e oxigênio (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Grupos de substâncias químicas como metais pesados e substâncias organo-cloradas têm uma influência tóxica, mesmo a concentrações muito baixas (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). Os metais pesados, também indispensáveis ao metabolismo das bactérias, em concentrações acima de 1 mg/l de cobre, de níquel, de cromo, de zinco e de chumbo, geralmente são tóxicos ao metabolismo das bactérias (LAGRANGE, 1979 apud BELLI F°, 1995).

Segundo Nogueira (1986), sais de metais pesados, como cobre e zinco, podem significar problemas, mas sob condições alcalinas e, especialmente se o íon sulfeto estiver presente, estes metais se precipitarão, pouco afetando o sistema. Na verdade, embora sua toxicidade possa se apresentar com poucos miligramas por litro, sob certas condições, biodigestores têm sido operados com esterco de pocilga com teor de cobre da ordem de 80 mg/l, ocorrendo uma inibição significativa apenas com teores de 200 mg/l.

Conforme Rouger (1987), além do Cu, Ni, Cr, Zn e Pb, também são tóxicos em concentrações a partir de certos limites, os metais pesados Mo, Fe, Mn e Mg.

São conhecidos também os efeitos prejudiciais de antibióticos, desinfetantes e pesticidas. Estes compostos podem, freqüentemente, ser encontrados em larga escala nas propriedades rurais. O antibiótico monensina, às vezes, usado na alimentação de animais, inibe a metanogênese em concentrações tão baixas quanto 1 µg/mol (NOGUEIRA, 1986).

Conforme Lagrange (1979), os íons de minerais são indispensáveis ao metabolismo das bactérias. Em baixas concentrações são benéficas, enquanto em altas concentrações inibem o metabolismo bacteriano. De acordo com Rouger (1987), os mais importantes são os cátions Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Na digestão anaeróbia a amônia está na forma iônica NH_4^+ , porque o pH está ao redor de 7, sendo a forma gasosa inibidora a uma concentração menor que na forma iônica (OLIVEIRA *et al.*, 1993). Em concentrações acima de 150 mg de NH_3 /l ocorre inibição da digestão, igualmente, em concentrações de nitrogênio amoniacal acima de 1.500 mg/l e pH maior que 7,5, a amônia pode se tornar inibidora. Em tempo suficiente, as bactérias metanogênicas são capazes de se adaptar a concentrações de NH_4^+ -N de 5.000 a 7.000 mg/l de substrato, com pré-requisito de não ter mais de 200-300 mg de NH_3 -N por litro de substrato.

De acordo com Nogueira (1986), até um pH de 7,4 o limite não tóxico e o teor máximo de NH_4^+ é de 3.000 mg N/l, já para níveis de pH acima de 7,4 os teores de nitrogênio na forma amoniacal, abaixo deste limite máximo, são considerados tóxicos para as bactérias

metanogênicas. A toxidez da amônia pode ser corrigida através do controle da relação C/N ou pela diluição com água (MERKEL, 1981 apud GOSMANN, 1997).

Outro problema de inibição do sistema anaeróbio pode resultar do desenvolvimento de bactérias sulfato redutoras (Desulfavibrio). Elas utilizam o sulfato (SO_4^{2-}), produzindo H_2S (tóxico e corrosivo) e CO_2 (ROUGER, 1987). Van Haandel & Lettinga (1994), citando Rinzema (1989), mostrou que a concentração de sulfeto para uma toxicidade significativa é de 50 a 200 mg/l. O sulfeto pode ser formado dentro do reator pela redução de sulfato.

A ótima concentração de enxofre é ao redor de 3-30 mg/l de enxofre solúvel e é inibidora entre 200 e 300 mg/l (SPEECE, 1985 apud GOSMANN, 1997).

Speece (1983 apud CARMO JR., 1998), destaca um aspecto de grande importância neste contexto, associado à capacidade de aclimação da flora bacteriana a compostos tóxicos, o que viabiliza em muitos casos a aplicação da digestão anaeróbia para muitos despejos inicialmente considerados impróprios para o processo.

4.5.8 Aplicações do processo

Conforme Chernicharo (1997), os digestores anaeróbios têm sido largamente aplicados para o tratamento de resíduos sólidos, incluindo culturas agrícolas, dejetos de animais, lodos de ETEs e lixo urbano, estimando-se que milhões de digestores anaeróbios tenham sido construídos em todo o mundo com esse propósito. A digestão anaeróbia também tem sido muito aplicada para o tratamento de efluentes de indústrias agrícolas, alimentícias e de bebidas, tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento, conforme identificado na Tabela 17.

Abatedouros e frigoríficos	Produção de álcool	Processamento de batatas
Cervejarias	Produção de amido	Processamento de café
Curtumes	Produção de fermento	Processamento de frutas
Laticínios	Produção de refrigerantes	Processamento de peixes
Produção de açúcar	Produção de vinho	Processamento de vegetais

Tabela 17: Principais tipos de indústrias cujos efluentes podem ser tratados pela via anaeróbia.

Fonte: GTZ/TBW (1997), citado por CHERNICHARO (1997).

Outros efluentes são passíveis de serem tratados através da tecnologia anaeróbia. Podem-se citar os efluentes das indústrias de papel e celulose, de conservas alimentícias, das agroindústrias, das destilarias (whisky), entre outros, como ácidos orgânicos (cresol) e mais recentemente hidrocarbonetos. Também se tem utilizado a via anaeróbia no tratamento dos esgotos domésticos ou sanitários, principalmente no Brasil e nos países que apresentam clima tropical e subtropical. Outro efluente que vem sendo tratado por digestores anaeróbios é o chorume, proveniente da percolação de líquidos drenados em aterros sanitários.

Em princípio, todos os compostos orgânicos podem ser degradados pela via anaeróbia, sendo que o processo se mostra mais eficiente e mais econômico quando os dejetos são facilmente biodegradáveis (CHERNICHARO, 1997).

4.5.9 Tecnologias de tratamento anaeróbio e armazenamento para dejetos de suínos

O processo anaeróbio é normalmente empregado como tratamento primário para a estabilização de efluentes com alta carga orgânica. Sua função principal é a degradação da matéria orgânica (DBO, DQO e SST), envolvendo principalmente a participação de bactérias facultativas e estritamente anaeróbias. De acordo com Belli F^o (1995), a utilização da digestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos é importante, pois preserva seu poder fertilizante.

São muitos os sistemas de tratamento existentes que utilizam a digestão anaeróbia como mecanismo para degradar compostos orgânicos, no entanto, para efeito desta pesquisa, serão apresentados algumas tecnologias de tratamento anaeróbio e sistemas de armazenamento mais largamente utilizados em regiões que possuem problemas advindos da geração de dejetos de suínos.

Esterqueiras

O sistema de esterqueira, consta de apenas uma câmara, preferencialmente revestida, a qual serve como unidade de estocagem, com tempo de armazenamento previsto para 90 a 120 dias. Os dejetos frescos são conduzidos, em fluxo descendente, diretamente ao tanque. Acredita-se que as fases da digestão anaeróbia são simultâneas, mas dispersas em todo o ambiente, com eficiência menor que a da bioesterqueira. O esvaziamento periódico pode causar um mau funcionamento do sistema e afetar a qualidade do efluente. Quando usado

somente com dejetos de suínos, quase sempre, ocorre putrefação do material (EPAGRI, 1995 apud GOSMANN, 1997).

Bernard & Heduit (1979), citam algumas características das esterqueiras:

- ✓ O pH estabiliza em 7,0;
- ✓ A microflora mesofílica estabiliza aos 90 dias;
- ✓ Cerca de 90% da matéria seca do sedimento é constituída de matéria em suspensão;
- ✓ Ocorre formação de crosta superficial por efeito de fermentação anaeróbia, de substâncias flotantes e de fenômenos físicos (vento, calor);
- ✓ A quantidade de coliformes fecais (*Escherichia coli*) em esterqueira é nula no sedimento após 40-50 dias, já as enterobactérias têm redução menos lenta sendo nula nos sedimentos. A quantidade de *Streptococcus* diminui após o 2º mês e meio;
- ✓ Aumento da DQO e DBO, durante a estocagem, sob a hipótese de hidrólise bioquímica que permite a liberação de compostos fortemente redutores (DQO) e facilmente biodegradáveis (DBO);
- ✓ O fósforo de dejetos suínos está em grande parte sob forma de sais insolúveis por isso, quase sua totalidade está nos sedimentos;
- ✓ O potássio está presente sob a forma solúvel, proveniente, essencialmente, da urina.

A esterqueira e a bioesterqueira são os sistemas de armazenamento dos dejetos de suínos mais empregados em Santa Catarina. Esses sistemas possuem a função principal de armazenar os dejetos antes de aplicá-los ao solo, porém esses reatores biológicos proporcionam redução da fração orgânica associada a sua liquefação, preservando o potencial de fertilização deste produto. É comum no oeste catarinense após o armazenamento dos dejetos nestes sistemas, que estes sejam utilizados como fertilizantes principalmente em culturas de milho e pastagens na própria propriedade (GOSMANN, 1997).

Esses sistemas devem ser construídos para armazenar os dejetos durante o período de 120 a 180 dias, em função das características do solo e do tipo de cultura a ser desenvolvida. Desta forma, fica integrada a prática agrícola, aproveitando-se o potencial fertilizante dos dejetos com a capacidade suporte do ecossistema solo. No entanto, a esterqueira possui custo

de implantação e de operação inferior a bioesterqueira (GOSMANN, 1997 apud BELLI F° *et al.*, 2001).

Bioesterqueiras

A bioesterqueira utilizada em Santa Catarina foi adaptada pelo Engenheiro Agrônomo Aírto Christmann do Serviço de Extensão Rural, baseando-se no biodigestor tipo indiano. A diferença está no não uso de campânula para coleta do biogás produzido (GOSMANN, 1997).

Em caso de tratamento de dejetos de suínos, a bioesterqueira pode ser utilizada na etapa de pré-tratamento (COSTA *et al.*, 1995 apud GOSMANN, 1997).

Conforme Riviere *et al.* (1974) e Bernard & Heduit (1979), citados por Belli F° (1995), a estocagem de dejetos promove a diminuição de *Enterobactérias*, *Escherichia coli* e de *Streptococcus*.

De acordo com Gosmann (1997), citando Epagri (1995), o sistema compreende uma câmara de fermentação anaeróbia, com capacidade para um tempo de retenção de 45 dias e de um depósito de dejetos na seqüência da câmara de fermentação, para mais 90-120 dias de armazenamento, perfazendo um tempo de retenção hidráulico de 135-165 dias. A câmara de fermentação, por recomendação técnica, deve ter no mínimo 2,5 m de profundidade e dimensionamento na proporção de 1/3 em largura/comprimento, devendo ser dividida em dois compartimentos iguais, por parede de 70% da altura das paredes externas. Os dejetos frescos chegam pelo fundo do 1º compartimento, passando ao depósito da bioesterqueira, a partir do fundo do 2º compartimento (Fig. 5).

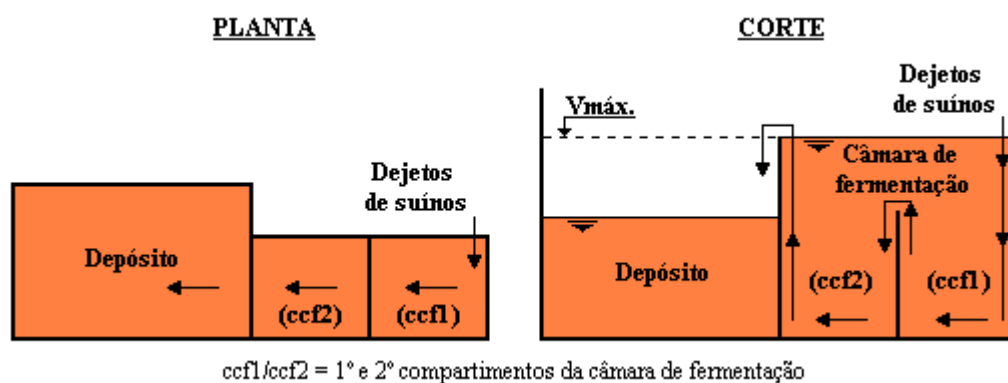


Figura 5: Esquema de uma bioesterqueira, em planta e corte, com fluxo dos dejetos.

Fonte: GOSMANN (1997).

Devido ao fluxo dos dejetos e seu sistema de manejo, pode ocorrer degradação seqüencial. A degradação anaeróbia seqüencial favorece a adoção de curto tempo de detenção com alta produção de gás e com estabilização satisfatória (ANDREADAKIS, 1992). Por estas razões e devido ao fluxo do sistema, admite-se a concentração mais localizada das fases e sua interação, ocorrendo a hidrólise no primeiro compartimento e as demais, de forma progressiva, no segundo compartimento, proporcionando ao sistema um bom funcionamento, principalmente, quando comparado a esterqueira. A bioesterqueira é recomendada, especialmente para agricultores que valorizam os dejetos na lavoura como fertilizantes.

Vantagens atribuídas aos dejetos digeridos na bioesterqueira:

- ✓ pH entre 6,5 e 7,5;
- ✓ Possui baixa relação C:N – 10:1;
- ✓ Mantém o valor fertilizante;
- ✓ O nitrogênio é prontamente assimilável e segundo Sutton *et al.* (1975 apud GOSMANN, 1997), as perdas de N por volatilização são 50% inferiores a fermentação aeróbia. Segundo Scherer *et al.* (1995 apud GOSMANN, 1997), a disponibilidade de N-NH₄⁺ é maior no tanque de depósito da bioesterqueira do que na esterqueira (70% e 60%, respectivamente);
- ✓ Melhora as propriedades físicas do solo;
- ✓ Minimiza a disseminação de plantas invasoras, devido à destruição do poder de germinação das sementes;
- ✓ A aplicação de biofertilizantes tem mostrado um efeito benéfico na redução da acidez do solo, isto é, no aumento do pH;
- ✓ Aumenta o teor de fósforo disponível no solo;
- ✓ Possibilita a aplicação diretamente sobre as pastagens, pois com a fermentação ocorre a eliminação do ácido oxálico, responsável pela ‘queima’ das plantas (EPAGRI, 1995 apud GOSMANN, 1997);
- ✓ Proporciona menor proliferação de moscas;
- ✓ Cheiro menos desagradável; e
- ✓ Ter a possibilidade de utilizar o biogás.

Biodigestores

Não existe um tipo ideal de biodigestor anaeróbio para cada situação. Há realmente uma grande variedade de tipos construtivos e aspectos operacionais que devem ser conhecidos e analisados visando, em uma aplicação específica, atender ao conjunto de condições e necessidades (NOGUEIRA, 1986).

Caracterizam-se essencialmente pela simplicidade na construção e operação, proporcionando boa eficiência a baixo custo. A alimentação e a retirada de material orgânico, estrume animal na maioria dos casos, é feita de forma contínua, com o uso da gravidade, sem a necessidade de bombas. O termo ‘contínua’ não impõe uma alimentação constante, mas em intervalos regulares. O modelo mais popular é possivelmente o modelo indiano. São construídos usualmente com tijolos e o gasômetro em aço (NOGUEIRA, 1986).

Existem diversos modelos bastante parecidos com o indiano, podendo ser considerados como seus variantes (Fig. 6). É o caso do modelo paquistanês, em que não há o tubo de saída do biofertilizante, que sai por um ladrão na borda superior do biodigestor. O modelo tailandês difere do paquistanês apenas no gasômetro, que não fica totalmente livre. Já o modelo coreano busca aumentar a eficiência da biodigestão isolando as perdas de calor com uma estufa sobre o gasômetro. Outra adaptação do modelo indiano é o modelo filipino cuja concepção visou também simplificar ainda mais a construção de biodigestores. Já a idéia do modelo chinês é evitar o uso de gasômetro, pressurizando o biogás produzido dentro do próprio biodigestor (NOGUEIRA, 1986).

Independente do modelo utilizado, a principal finalidade de um biodigestor é a estabilização da matéria orgânica que se dá predominantemente através dos processos de fermentação ou digestão anaeróbia, que acontecem logo abaixo da superfície, principalmente no fundo do biodigestor, na ausência de oxigênio dissolvido devido a uma forte carga de DBO, de DQO e de sólidos em suspensão.

Quanto aos dejetos de suínos, os biodigestores são sistemas de tratamento empregados na conversão da matéria orgânica deste efluente em biogás, através dos mecanismos da digestão anaeróbia, na eliminação de microorganismos patogênicos e na valorização deste efluente como biofertilizante para as lavouras. Os biodigestores podem ser descontínuos ou de batelada, e contínuos. Os mais comuns são os biodigestores do tipo indiano (Fig. 6a), filipino

(Fig. 6b) e chinês (Fig. 6c). Em Santa Catarina o mais utilizado, para dejetos de suínos, é o do tipo indiano de fluxo contínuo, recomendando-se tempo de retenção de 30 – 50 dias.

A produção de biogás é de 50 a 70 m³/ton. matéria seca (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

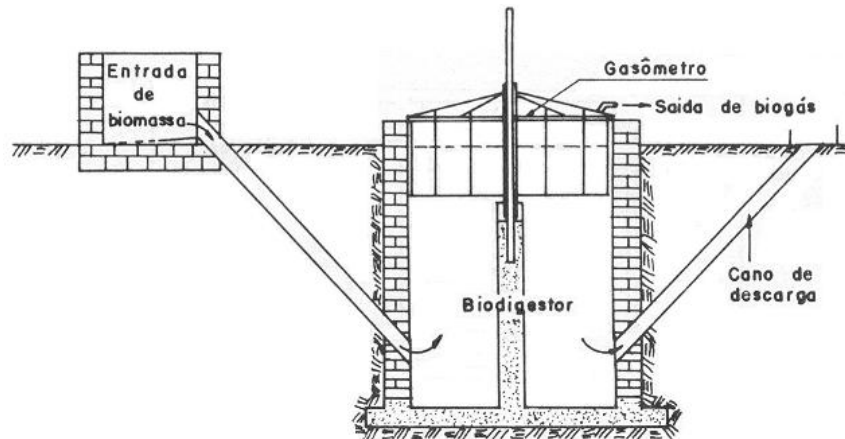


Figura 6a: Biodigestor indiano

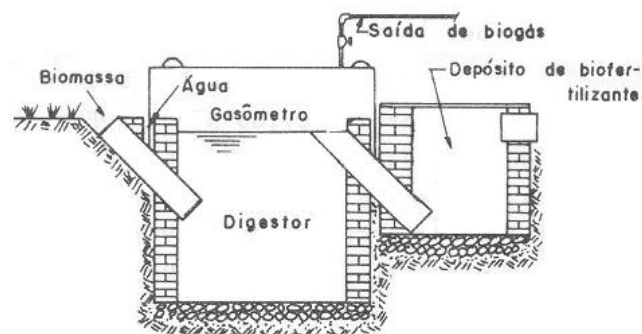


Figura 6b: Biodigestor filipino

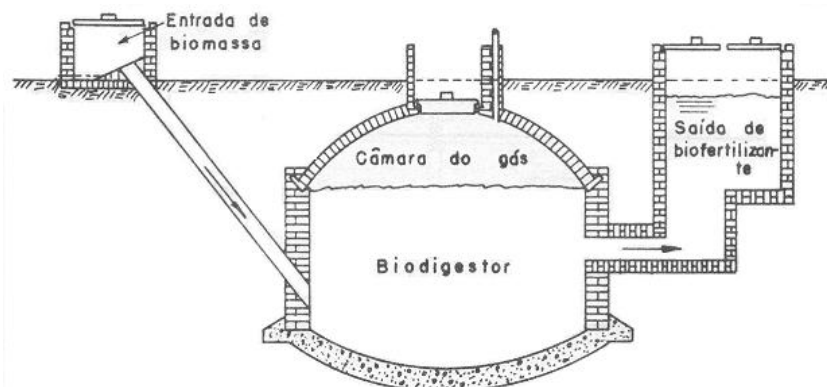


Figura 6c: Biodigestor chinês

Figura 6: Modelos de biodigestores.

Fonte: NOGUEIRA (1986).

Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Este tipo de sistema é utilizado para o tratamento de efluentes com altos teores de DBO. As lagoas são usualmente profundas, da ordem de 4 a 5 m, no sentido de reduzir a possibilidade da penetração do oxigênio produzido na superfície para as demais camadas (Fig. 7). A eficiência de remoção de DBO nas lagoas anaeróbias é da ordem de 50 a 60% (VON SPERLING, 1996).



Figura 7: Representação esquemática de uma lagoa anaeróbia.

Fonte: CHERNICHARO (1997).

O estudo conduzido por Medri (1997), mostrou que as lagoas anaeróbias para tratar dejetos de suínos possuem muitas vantagens, porém necessitam de elevado tempo de armazenamento. Apesar da elevada eficiência do sistema, este necessita de um pós-tratamento, para atender aos padrões de emissões de efluentes líquidos. O estudo indicou que as lagoas funcionam como reatores de mistura completa e que a degradação da matéria orgânica segue reações com cinética de primeira ordem. Indicou ainda, a potencialidade de aplicação desta tecnologia para o tratamento dos dejetos de suínos para o Sul do Brasil e, ao mesmo tempo, apontou para a necessidade de otimização dos parâmetros de projeto, de forma a reduzir as dimensões das lagoas e garantir o desempenho hidrodinâmico nas unidades.

Reatores UASB

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), conhecido como “Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo”, é um sistema de alta carga, muito utilizado no tratamento anaeróbio de efluentes líquidos, pois apresenta alta eficiência quando

comparado a outros sistemas de tratamento (Fig. 8). Trata-se de um reator, onde as bactérias responsáveis pela conversão da matéria orgânica em biogás são retidas em seu interior (LETTINGA, 1980).

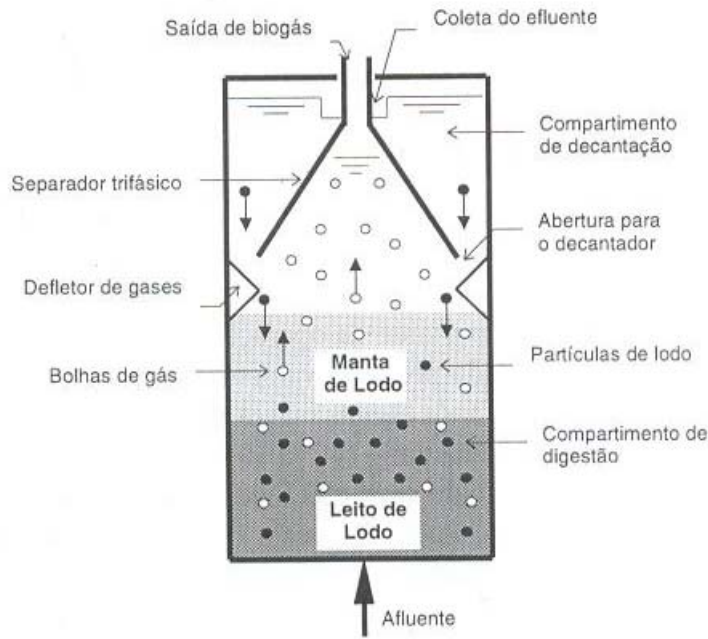


Figura 8: Desenho esquemático de um reator UASB.

Fonte: CHERNICHARO (1997).

De acordo com os estudos de Carmo Jr. (1998), o reator UASB, sendo alimentado com dejetos de suínos, com temperatura controlada de 25 a 30 °C, propiciou boa estabilidade e desempenho satisfatório, obtendo uma considerável transformação da carga orgânica por biodegradação, no entanto, a pesquisadora coloca que esta tecnologia não apresentou eficiência de remoção satisfatória para nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e fósforo. Conforme Carmo Jr. *et al.* (1999), reatores UASB com volumes diferentes, tratando dejetos de suínos com baixas ou altas concentrações, alcançam eficiências semelhantes de remoção da matéria orgânica.

Sistemas alternativos

Um sistema experimental de tanque coberto para tratamento de dejetos de suínos foi estudado por Belli F^o & Martin (1996), consistindo em tanque fechado para estocagem, equipado com sistema de recirculação de biogás (rico em metano) e sistema de tratamento de

gases malcheirosos, com a finalidade de reduzir os odores por ocasião da distribuição dos dejetos no terreno. Este procedimento reduz a carga orgânica, elimina o gás sulfídrico (grande responsável pelo mau cheiro), conservando o teor do nitrogênio e o fósforo, portanto, preservando o valor fertilizante.

A fossa coberta reduz a emissão de mau cheiro (odor) e impede a volatilização de NH_3 , preservando o poder fertilizante. A formação de crosta na superfície livre das fossas reduz a emissão de NH_3 em 60-70%, enquanto em fossas cobertas esta redução pode chegar de 75-93% (DE BODE, 1990 apud BELLI F°, 1995).

Considerações gerais sobre armazenamento

Os parâmetros de dimensionamento da câmara de fermentação devem estar estritamente ligados àqueles que afetam o processo biológico da digestão anaeróbia: temperatura, pH, velocidade de decomposição da matéria orgânica e concentração de sólidos (OLIVEIRA *et al.*, 1993).

Em regiões com ampla variação sazonal da temperatura, recomenda-se uma profundidade mínima de 2,5 metros na câmara de fermentação, visto que a temperatura afeta a velocidade de decomposição. A faixa de temperatura ideal é de 30 a 37 °C. Em temperaturas inferiores ocorre uma diminuição na velocidade de decomposição. Quanto mais profunda for a câmara de fermentação, menores serão as variações de temperatura, bem como teremos uma menor relação área/volume (PERDOMO, 1999). O tempo de retenção dos dejetos suínos para redução dos sólidos voláteis, no sul do Brasil em função da temperatura, situa-se na faixa de 40 a 50 dias.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades que estão sendo realizadas, conforme o projeto “Suínos – SC”, para o desenvolvimento das validações de tecnologias, compreendem ações direcionadas para as pequenas e as médias propriedades. No âmbito da pequena propriedade, objeto desta pesquisa, são utilizadas unidades de pequena produção de suínos com disponibilidade de área para a valorização dos dejetos no solo, integrado com o sistema de armazenamento.

Buscando viabilizar a proposta de validação de metodologias e de tecnologias para o tratamento e valorização dos dejetos de suínos, foram projetadas e construídas unidades de tratamento e armazenamento, que desde o processo de partida, estão sendo monitoradas, adequadas, corrigidas e avaliadas com a finalidade de melhorias ao longo do período de estudo, com a valorização dos dejetos de suínos, integrados ao uso no solo e para utilização energética. Esta última, através dos processos anaeróbios para resíduos orgânicos.

Esta pesquisa visa validar algumas tecnologias já estudadas, através da implantação desses arranjos produtivos, para confirmar a eficiência desses sistemas no tratamento de efluentes gerados pela Suinocultura. O Sistema de Tratamento foi concebido pelos Professores e Alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

5.1 Propriedade escolhida

5.1.1 Processo de escolha

O processo de escolha da propriedade, que poderia receber o sistema de tratamento de dejetos suínos, levou em conta a quantidade de matrizes e suínos produzidos, a sua localização geográfica, o relevo, a relação entre suínos e a área fértil, mas principalmente, a aceitação por parte do criador de suínos em receber e dar os devidos cuidados ao sistema de tratamento proposto pelo projeto “Suínos – SC”. O período de validade do projeto é de 10 anos, nele estão incluídos as fases de projeto, construção, funcionamento e monitoramento do sistema de tratamento proposto.

A propriedade escolhida tem produção independente, pertence ao Sr. Valdir Wiggers, a esposa Sra. Vanilda e seus dois filhos, Valdecir e o caçula Wolf Wiggers. Atualmente são eles que cuidam de todas as atividades geradas na fazenda, que além da criação de suínos, tem produção de leite, cultivo de plantações e criação de peixes.

5.1.2 Informações ambientais e geográficas

As instalações que estão sendo avaliadas consistem do sistema de tratamento implantado na pequena propriedade escolhida, localizada geograficamente na região sul do Estado de Santa Catarina, no município de Braço do Norte, ficando a propriedade situada sobre a Bacia Hidrográfica do rio Coruja/Bonito, no distrito de Pinheiral, à estrada geral do Baixo Pinheiral, s/Nº. A propriedade está distante cerca de 9 Km do centro da cidade e na referida estrada está próxima ao posto de combustíveis de bandeira Polipetro. De forma complementar, pode-se afirmar que a propriedade está distante cerca de 44 Km do centro da cidade de Tubarão e 182 Km do centro de Florianópolis. A Fig. 9 mostra a localização do sistema de tratamento, implantado na propriedade escolhida, sobre a Bacia Hidrográfica do rio Coruja/Bonito.

O sistema de tratamento está mais precisamente localizado a 28° 13' 50,1" de latitude Sul, 49° 06' 29,2" de longitude Oeste e a 336 metros de altitude. De forma semelhante, possui coordenadas UTM(n) 22J0685990, UTM(e) 6875616 e elevação UTM de 395 metros. Todas estas coordenadas geográficas foram adquiridas ao lado do biodigestor por meio de um aparelho GPS.

A Bacia Hidrográfica do rio Coruja/Bonito, localizada dentro dos limites territoriais do município de Braço do Norte – SC, possui a segunda maior concentração de suínos/Km² do mundo, perdendo apenas para a região da Bretanha na França.

Parte das áreas urbanas periféricas da cidade de Braço do Norte encontra-se dentro dos limites da referida Bacia, principalmente próximo à foz do rio Bonito.

A classificação climática da região do Coruja/Bonito, segundo a metodologia proposta por Köeppen, é do tipo Cfa (clima subtropical úmido). A temperatura média anual da região é de 18,7 °C, sendo que, janeiro e fevereiro são os meses mais quentes e, junho e julho os mais frios.

A precipitação anual média da região de 1.471 mm, considerada insuficiente pela má distribuição, causa prejuízos na produção agrícola. Os meses mais chuvosos são janeiro, fevereiro e março.

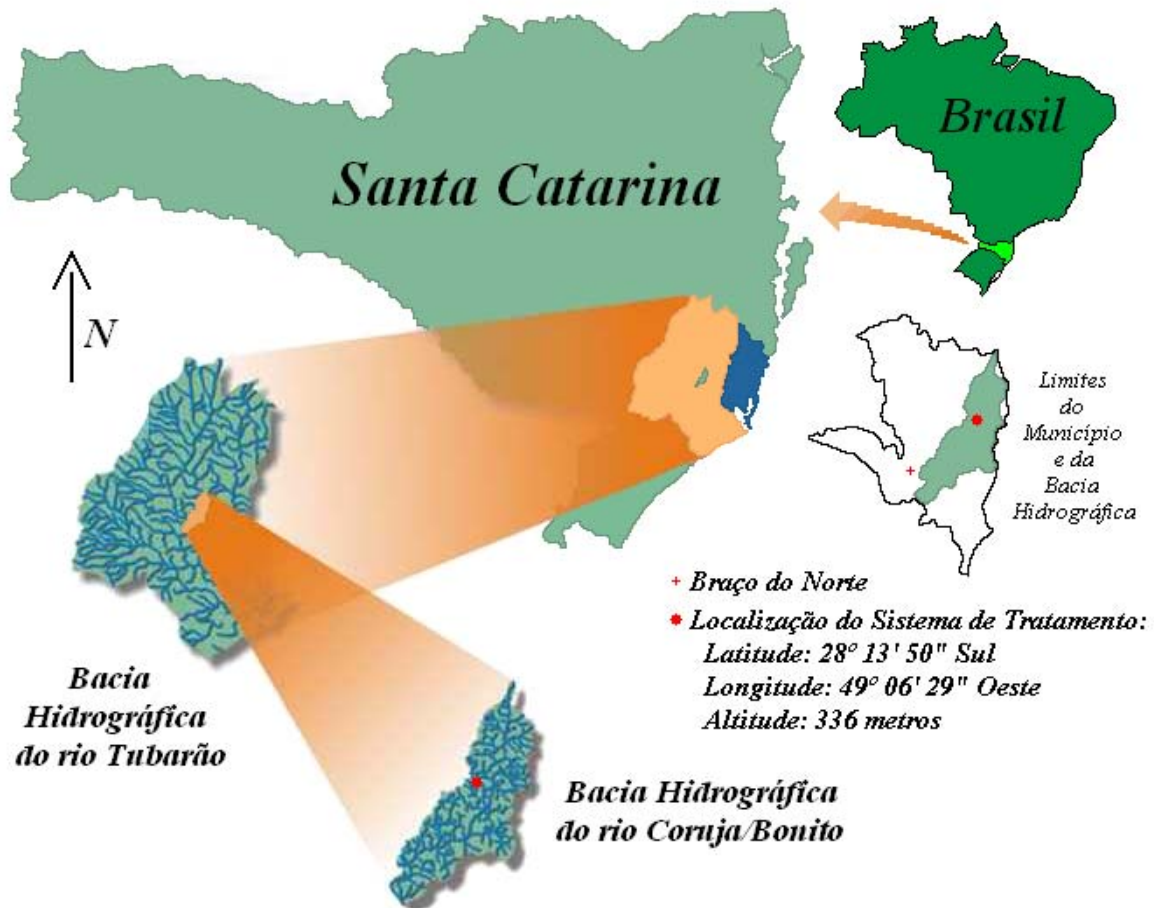


Figura 9: Mapa com a localização do sistema de tratamento, implantado na propriedade escolhida, sobre a bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito, e esta, segundo as unidades Federal, Estadual e Municipal.

A Bacia do rio Coruja/Bonito abrange uma extensão aproximada de 52 Km². É constituída por uma rede de drenagem composta pelo rio Coruja/Bonito e seus tributários e pertence à Bacia Hidrográfica do rio Tubarão, tendo sua foz no rio Braço do Norte.

A ordem (4ª) e a densidade de drenagem (2,61 Km/Km²) indicam que a área apresenta sistema de drenagem bastante desenvolvido.

Na área em questão, outrora florestal, existem apenas remanescentes da vegetação original, que, não raro, devido ao porte, são confundidos com a vegetação secundária.

A grande paisagem é definida pelo relevo geral e pela ação dominante que caracterizam a geomorfologia local. No caso em questão, apenas uma unidade compõe a geomorfologia da área compreendida pela Bacia do rio Coruja/Bonito: Unidade Geomorfológica Serras do Tabuleiro/Itajaí.

Na Bacia do rio Coruja/Bonito existem 96 propriedades rurais, das quais 20 são suinocultores que possuem um efetivo de 69 mil cabeças de suínos. Também existem 11 frigoríficos/abatedouros de suínos com sérios problemas de tratamento de efluentes.

5.1.3 Áreas do terreno, construída, livre e total

O espaço físico da propriedade, onde foram feitos os estudos, está distribuída aproximadamente da seguinte forma:

- ✓ Área do terreno: 4,0 hectares ou 40.000 m²
- ✓ Área construída: 1.000 m²
- ✓ Área destinada ao tratamento: 800 m²

Sua área construída está constituída de uma residência, um galpão de gado, um galpão agrícola, um depósito, uma unidade de maternidade e creche de suínos, uma unidade de crescimento e terminação de suínos e uma esterqueira, bem como quatro açudes para criação de peixes.

A propriedade possui uma área total de 24 hectares, dos quais aproximadamente 15 hectares recebem dejetos frescos, em virtude da atividade agrícola. Destes, 6 hectares estão em frente ao sistema de tratamento e neles é feito rotação de culturas, sendo cultivados, principalmente, milho e aveia durante o ano.

5.1.4 Processo de criação dos suínos

O processo utilizado na propriedade para a criação de suínos, resumidamente, inicia na unidade de maternidade, onde estão confinadas cerca de 50 matrizes. Este número de matrizes classifica a propriedade escolhida como pequena (acima deste número seria considerada média propriedade). Cada matriz tem, em média, 2 (duas) gestações/ano, logo, com 2 ciclos

de engorda, cada um de 5 meses e 10 dias. Em princípio, cada matriz fornece 10 suínos para terminação para cada cria ou gestação. Geram-se, portanto, cerca de 1.000 animais/ano.

Um dos principais problemas na criação de suínos é a cobertura dos animais. Nem sempre é possível executar a monta natural ou inseminação natural, com isso, muitas vezes é necessário realizar a inseminação artificial das matrizes, com o intuito de manter o plantel. Além disso, cerca de 3% dos suínos são perdidos na maternidade e 3% morrem de 'pneumonia' na creche.

Após a desmama os suínos são isolados da geradora e permanecem na creche em torno de 4 semanas, até completarem de 18 a 25 Kg. Em seguida, estão prontos para serem transferidos para a unidade de crescimento e terminação.

O sistema adotado na propriedade é caracterizado como Ciclo Completo (CC), ou seja, cada suíno passa pelas seguintes fases: Gestação (3 meses, 3 semanas, 3 dias e 3 horas – 114 dias), maternidade (28 dias), creche (30 dias) e crescimento ou terminação (3 meses).

Na unidade de crescimento e terminação os suínos têm uma alimentação balanceada, à base de milho, trigo (farelo) e soja (ração ou composto). Os animais são alimentados 3 vezes ao dia. Com um período entre 12 a 14 semanas estão prontos para a comercialização. Cada suíno atinge um peso final de aproximadamente 100 Kg.

5.1.5 Informações sobre o efluente produzido

A atividade suinícola da propriedade escolhida, com cerca de 50 matrizes, gera um volume diário teórico de 5 m³ de dejetos brutos. Esse valor foi estimado conforme dados da literatura específica, considerando que cada matriz gera cerca de 10 suínos por gestação e que um suíno produz em média 10 litros por dia de dejetos frescos. É importante salientar que diversos fatores como o tamanho, a raça, o sexo dos animais, também a temperatura e a umidade do ambiente, bem como os tipos de alimentação podem alterar a quantidade de fezes e urina dos suínos. Além disso, devem ser levados em conta o tipo dos bebedouros, os desperdícios de água nas baias dos suínos e o sistema de limpeza dos chiqueiros.

O sistema de tratamento construído minimizará os impactos ambientais dos efluentes gerados pela produção de suínos, que na propriedade ocorrem pela unidade de maternidade e creche e pela unidade de crescimento e terminação. Os efluentes a serem tratados na propriedade são exclusivamente destas duas unidades.

A produção de dejetos não para, é praticamente constante durante o ano inteiro. Como a propriedade mantém seu plantel de suínos, somente quando se trocam as fêmeas, é que ocorre uma pequena diminuição na quantidade de dejetos produzidos. Os dejetos são utilizados na irrigação das terras agrícolas, e para tal, com um canhão de irrigação ou diretamente com um mangueirão os dejetos são lançados nas lavouras.

5.1.6 Informações sobre a água utilizada na propriedade

Atualmente, a água utilizada na propriedade é fornecida por um poço raso construído ao lado da residência do Sr. Valdir, que abastece a residência e a atividade de ordenha das vacas. As demais atividades consomem a água bombeada, por um pequeno conjunto moto-bomba, de um açude próximo à unidade de crescimento e terminação dos suínos.

5.2 Justificativa para o sistema de tratamento proposto

5.2.1 Linha de tratamento 1: Esterqueira seguida de aplicação no solo

O baixo custo de implantação desse sistema de tratamento, que na verdade se trata de um reator biológico, aliada a sua facilidade de operação obviamente tornam o sistema uma alternativa viável de tratamento. Basicamente é um processo que possibilita a redução da fração orgânica mantendo o potencial de fertilização que está presente nos dejetos de suínos.

5.2.2 Linha de tratamento 2: Biodigestor anaeróbio, esterqueira e aplicação no solo

A principal importância do uso do biodigestor, que por sua vez gera o biogás através da fermentação anaeróbia dos dejetos de suínos (biomassa), se faz presente pelo fato deste processo agregar valor ao resíduo, tornando gases indesejáveis em combustíveis alternativos para o uso pelo produtor.

5.3 Descrição do sistema de tratamento implantado

Para a viabilização de soluções na pequena propriedade ou pequena vazão, foram avaliadas duas linhas de tratamento, onde o princípio básico é armazenar os dejetos com tempo suficiente para integração no solo, em função da capacidade suporte deste meio, e do tipo de cultura principal a ser utilizada.

O diferencial desta pesquisa consiste do sistema estudado não ter sua concepção em escala piloto. O biodigestor assim como as esterqueiras ou tanques de armazenamento foram projetados em escala real, dimensionados com base em cálculos de engenharia, logo, passando por todas as fases que um projeto executivo necessita, até sua fase de conclusão e início de operação.

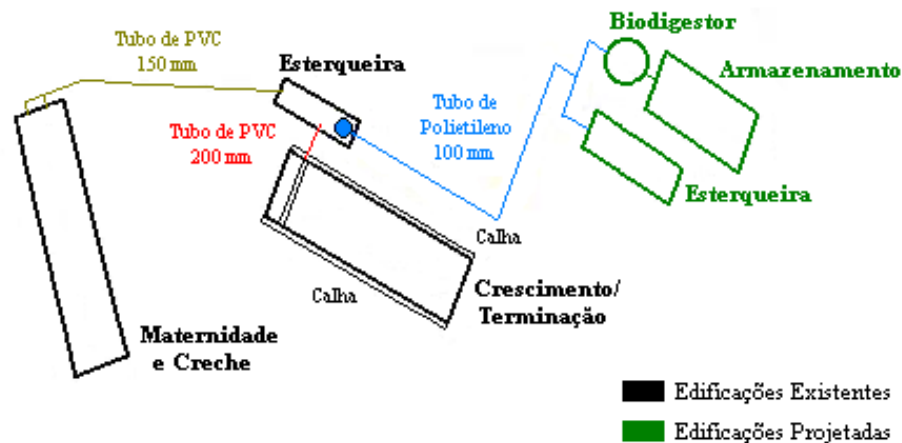


Figura 10: Esquema do sistema de tratamento implantado na pequena propriedade.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, o sistema de tratamento de efluentes foi dividido em duas linhas independentes, podendo eventualmente ter uma ligação entre si. A primeira linha é constituída por uma esterqueira, cujo dejetado estabilizado é utilizado para aplicação no solo. A segunda linha é composta por um biodigestor seguido de um tanque de armazenamento (esterqueira) que também utiliza o resíduo para aplicação no solo. Nesta, foi construída uma unidade de digestão anaeróbia dos dejetos integrada à produção de biogás, para uso energético, seguida de uma unidade de armazenamento e posterior lançamento do efluente no solo, com a possibilidade de compostagem da massa sólida e reuso da água. Quanto ao excedente dos dejetos, podem ser destinados para centrais de manejo ou manejados em propriedades parceiras. O sistema de tratamento e armazenamento implantado, na pequena propriedade, está representado pelo esquema da Fig. 10 e sua localização está demarcada na fotografia da Fig. 11.

Foi construído, também, uma cerca de mourões de madeira com cinco fios de arame farpado, ao redor das linhas de tratamento 1 e 2, evitando desta forma o acesso de pessoas não autorizadas e animais. Para o acesso as linhas de tratamento 1 e 2, foram construídos dois portões de madeira, com 1,50 m de altura, sendo um de 0,90 m e outro de 3,00 m de largura,

respectivamente. Além disso, para a efetivação deste sistema foi necessário movimentar, aproximadamente, 1.194 m³ de terra, sendo que toda a terra retirada para realização dos tanques foi utilizada para realizar o reaterro, fazendo-se os taludes.



Figura 11: Vista aérea da propriedade do Sr. Valdir Wiggers em Braço do Norte – SC (Fotografia aérea tirada em 25/07/1998), com a área de locação do sistema de tratamento e armazenamento demarcada em vermelho.

O processo de transição do sistema que existia para o sistema que foi projetado, ou seja, a construção das unidades do sistema de tratamento, assim como algumas reformas necessárias, não interferiram na continuidade das atividades de criação dos suínos na pequena propriedade.

As unidades do sistema de tratamento foram as primeiras a serem construídas. Em seguida, ocorreu a reforma da antiga esterqueira da propriedade, que passou então a se chamar, “unidade de homogeneização”. Esta sofreu uma redução de 50% em seu volume, com isso suas dimensões mudaram para 6,60 m de comprimento, 3,20 m de largura e 1,90 m de altura útil máxima, perfazendo um volume máximo de 40 m³. Esta unidade fica ao lado da unidade de crescimento e terminação dos suínos e é nela que o efluente fica armazenado, antes de ser encaminhado para o sistema de tratamento. Na Fig. 12, a seta indica a unidade de homogeneização depois da reforma.

Durante a reforma da esterqueira, as condições das calhas de coleta de dejetos suínos na unidade de crescimento e terminação foram melhoradas. Elevou-se a parede da calha, em alvenaria, até aproximadamente 40 cm de altura. No interior da mesma, houve

impermeabilização. Antes, parte do efluente da unidade de terminação entrava direto na esterqueira e parte passava por um tanque de mistura de aproximadamente 1,5 m³, depois seguia para esterqueira. Com a reforma da calha, ocorre a confluência dos efluentes para apenas um ponto, e deste a um tubo de PVC coletor de esgotos de 200 mm, para recolher o efluente e encaminhá-lo a atual unidade de homogeneização. Quanto aos efluentes produzidos na unidade de maternidade e creche, estes são encaminhados à parte, através de um tubo de PVC coletor de esgotos de 150 mm para mesma unidade de homogeneização.



Figura 12: Vista da unidade de homogeneização depois de reformada.

No processo todos os efluentes produzidos na unidade de maternidade e creche e na unidade de crescimento e terminação são encaminhados por gravidade para a unidade de homogeneização. Como o tratamento funciona por bateladas, esta unidade opera para equalização do bombeamento e mistura do efluente, porém, sem um sistema mecânico de agitação. A cota do nível mínimo de efluente, nesta unidade, está em 36,30 metros.

Como o efluente produzido pelos suínos é denso, constituído de muitos sólidos, é necessário utilizar um sistema de bombeamento específico para encaminhar o efluente para o tratamento. Sendo assim, da unidade de homogeneização até as duas linhas de tratamento, o efluente é recalado por um conjunto moto bomba, já existente, de 15,2 CV (modelo FAL 40-160). Para o transporte do efluente é utilizada uma tubulação de PEAD PN 8 (polietileno) com diâmetro de 100 mm. Este tipo de tubulação evita a utilização de peças como curvas que geralmente causam perdas de carga. A tubulação de recalque possui aproximadamente 152

metros de extensão e segue enterrada ao longo da estrada até o sistema de tratamento. Há um ponto de travessia onde foi feita uma caixa de proteção. Ambas as linhas de tratamento possuem registros individuais para facilitar os ajustes por parte do operador.

Em face da diferença de cotas, cerca de 14,0 metros de altura entre a unidade de homogeneização e as linhas de tratamento, foi necessário instalar junto ao conjunto moto-bomba uma válvula de retenção. Esta válvula tem como finalidade evitar o golpe de aríete. O golpe de aríete é um impacto que ocorre sobre todo o sistema hidráulico do conjunto moto-bomba e é causado pelo retorno da pressão fornecida pela bomba, quando da parada da mesma. Na prática, como neste sistema, o golpe de aríete é resultante do retorno do dejetos bruto de uma cota mais alta para uma mais baixa sobre o conjunto moto-bomba instalado. Este impacto, quando não evitado por válvulas de retenção, danifica tubos, conexões e os componentes do conjunto moto-bomba.

Com a finalidade de controlar a vazão do conjunto moto-bomba, criou-se uma régua para medir o volume de dejetos brutos utilizado para a alimentação diária das duas linhas de tratamento. Esta régua foi feita com um sarrafo de madeira, dividido uniformemente em medidas de 10 cm, com pregos colocados nestas medidas de uma extremidade até o comprimento de 1,90 m. A régua foi instalada na posição vertical dentro da unidade de homogeneização, perto do conjunto moto-bomba, facilitando assim o controle de vazão por parte do operador. Cada 10 cm verticais na régua equivalem a um volume de 2,0 m³ de dejetos dentro da unidade de homogeneização. Portanto, se a vazão for de 2,0 m³/dia, basta que o operador alimente a linha de tratamento, diariamente, recalçando um volume de dejetos equivalente a 10 cm medidos na régua instalada.

Após o tratamento e o armazenamento dos dejetos, tanto na linha de tratamento 1 como na 2, o efluente estabilizado é encaminhado para as plantações da propriedade, que são principalmente de milho.

5.4 Tecnologia avaliada

5.4.1 Linha de tratamento 1: Esterqueira

A primeira linha de tratamento é composta somente por uma esterqueira com vazão de 2,0 m³/dia e necessidade de armazenamento de 120 dias, e o volume necessário do tanque é de 240 m³. Desta forma, suas dimensões médias são de 5,6 m de largura, 17,0 m de comprimento e altura útil de 2,5 m, borda livre de 0,5 m, totalizando uma altura de 3,0 m,

sendo o talude de 1:1. Esta linha de tratamento pode ser vista no fluxograma da Fig. 13 e em funcionamento na fotografia da Fig. 14.

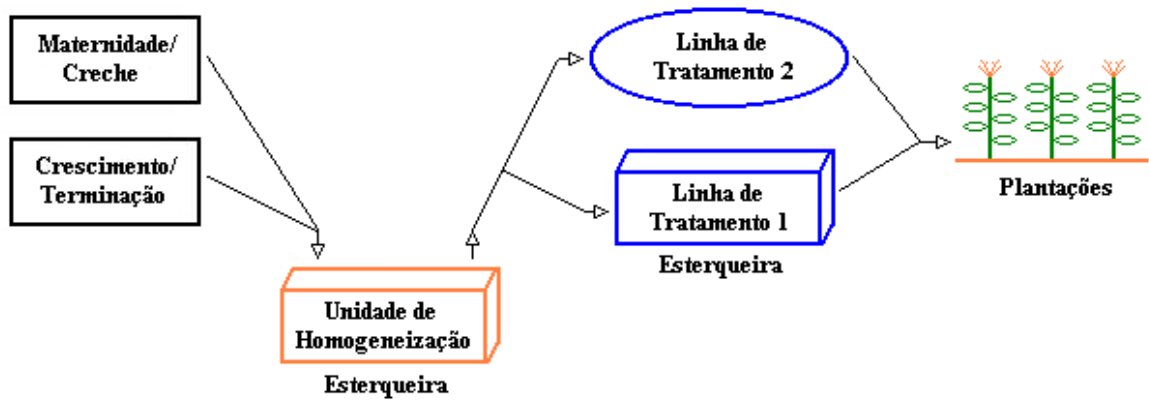


Figura 13: Fluxograma da linha de tratamento 1.

Nesta etapa o processo contempla o armazenamento em esterqueiras (reatores com câmaras únicas), que foram dimensionadas com base em critérios técnicos de engenharia.



Figura 14: Vista da esterqueira 1, parte do sistema de tratamento de dejetos suínos, em Braço do Norte – SC.

Esta unidade foi dimensionada para tratar $2,0 \text{ m}^3/\text{dia}$, sendo que o efluente proveniente da unidade de homogeneização chega na esterqueira por recalque, através de um tubo de

polietileno de 100 mm. O processo de tratamento adotado funcionou em regime de bateladas, ou seja, o fluxo hidráulico dentro da esterqueira obedeceu a ciclos definidos. A esterqueira 1 fica abaixo do biodigestor, cerca de 4 metros, com cota do nível máximo em 49,291 m e do nível mínimo em 46,791 m. Para construção da esterqueira, após a escavação do tanque, foi colocada uma vinimanta de 0,8 mm de espessura, da marca “Sansuy”, para evitar infiltrações, ou seja, as paredes e o fundo do tanque foram feitos sobre o solo.

O efluente permanece armazenado neste tanque por um período aproximado de 120 dias, depois é recalcado para as plantações, sendo utilizado como biofertilizante. No fluxograma da Fig. 13 podemos ver um esquema do processo. O novo conjunto moto-bomba utilizado neste recalque é de 15,2 CV (modelo FAL 40-160) e está situado ao lado da esterqueira 1, como pode ser visto na Fig. 14. O mesmo serve para o recalque das duas linhas de tratamentos. Para isso, são necessários duas tubulações de sucção, uma para a unidade de armazenamento (esterqueira) da linha de tratamento 2 e outra para esta esterqueira. Para se realizar o recalque está sendo usada a mesma tubulação que se utilizava antes do sistema ser construído, sendo em polietileno de 75 mm, com comprimento variável podendo chegar a 300 metros. Esta variação do comprimento é devido à localização das plantações.

5.4.2 Linha de tratamento 2: Biodigestor seguido de armazenamento (Esterqueira)

A segunda linha é composta por um biodigestor seguido de armazenamento (esterqueira) e foi dimensionado para tratar 3,0 m³/dia de efluente.

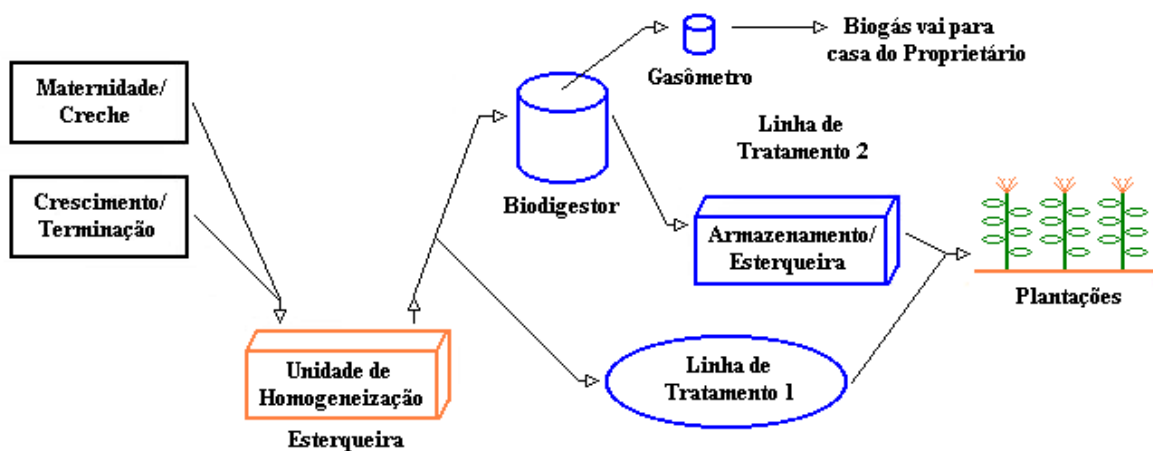


Figura 15: Fluxograma da linha de tratamento 2.

O biodigestor tem um volume de aproximadamente 90 m³ e tempo de retenção hidráulico (TRH) de 30 dias e a esterqueira possui um tempo de armazenamento de 120 dias com um volume de aproximadamente 360 m³. A segunda linha de tratamento pode ser mais bem entendida no fluxograma da Fig. 15 e na fotografia da Fig. 16.



Figura 16: Vista do biodigestor (ao fundo) e da esterqueira 2, unidades da linha de tratamento 2, em pleno funcionamento em Braço do Norte – SC.

Biodigestor

No que tange a produção de energia (biogás), em nível das pequenas propriedades, o sistema a ser avaliado e validado é um biodigestor, tipo indiano, considerando suas características e custos de instalação do projeto.

Esta unidade foi dimensionada para tratar 3,0 m³/dia, sendo que o efluente proveniente da unidade de homogeneização chega por recalque num tubo de polietileno de 100 mm. O biodigestor, construído em alvenaria de pedra, possui formato cilíndrico com diâmetro útil de 6,2 m, altura útil de 3,0 m e altura livre de 0,8 m. A concepção adotada possui um volume de aproximadamente 90 m³, para manter o efluente durante 30 dias nesta unidade. O tubo que acessa o efluente, entra 10 cm acima do nível máximo, que está na cota 53,635 m, e mergulha 1,0 metro para dentro do efluente, desta forma é evitado o retorno do biogás produzido nesta unidade para a unidade de homogeneização. O funcionamento do biodigestor pode ser compreendido através do esquema apresentado na Fig. 17 e sua imagem fotográfica pode ser vista na Fig. 18.

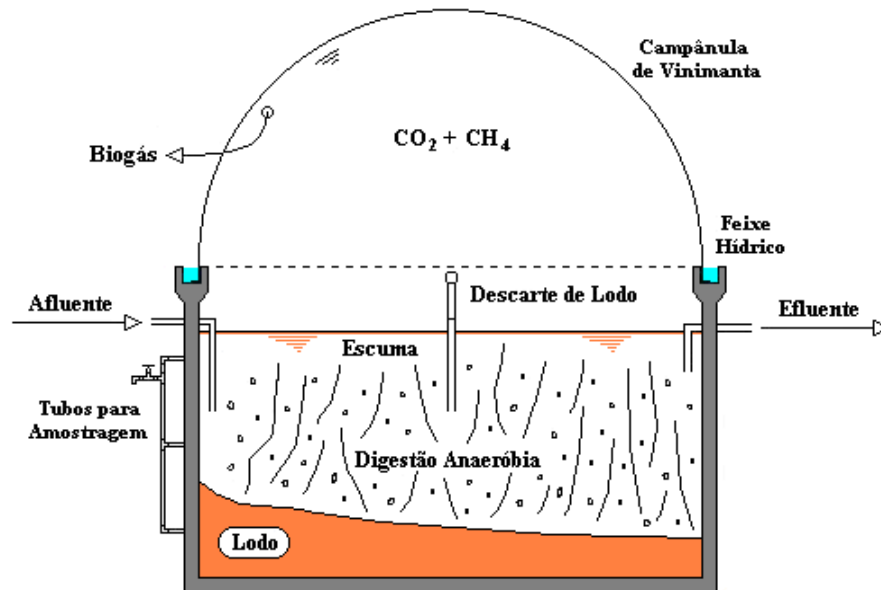


Figura 17: Esquema do biodigestor implantado na pequena propriedade.

A cota do nível mínimo é de 50,635 m e a saída do efluente é por cima, onde a geratriz inferior do tubo de PVC coletor de esgoto de 150 mm coincide com o nível máximo, e encaminha o efluente para o armazenamento (esterqueira). A retirada de lodo do fundo do biodigestor pode ser feita através de recalque e precisa ser periódica.



Figura 18: Vista do biodigestor, do selo hídrico e do gasômetro instalados na propriedade.

Para impermeabilização das paredes internas desta unidade foi feito um reboco, composto de argamassa impermeabilizante. Na parede do biodigestor existem três tubos de PVC, de 100 mm, em níveis diferentes, utilizados para coletar amostras em um único ponto.

A cobertura do biodigestor, por meio de uma campânula, foi feita com uma vinimanta de 1,0 mm de espessura, da marca “Sansuy”, e ocupou uma área em torno de 156 m² para bloquear a passagem de biogás.

Ao longo de toda a parede superior do biodigestor foi construída uma calha em concreto, com dimensões úteis de 0,2 m x 0,2 m. Esta calha permanece cheia de água para bloquear a passagem de gás, isto é chamado de feixe hídrico. A fixação da manta foi através de uma placa de madeira com 8,0 cm de largura, fixada dentro da calha com parafusos espaçados de 20 em 20 cm.

O biogás produzido é canalizado através de um tubo com diâmetro de 2” ou 50 mm de polietileno, conectado a campânula do biodigestor, que o leva para o selo hídrico (SH) colocado ao lado do biodigestor.

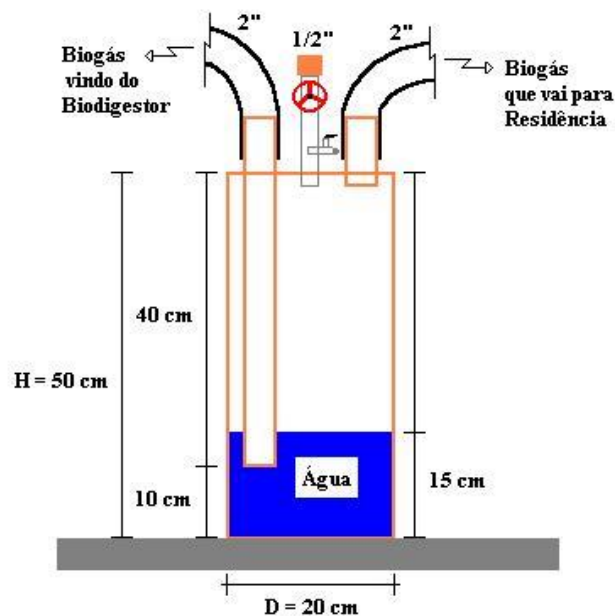


Figura 19: Esquema do selo hídrico instalado ao lado do biodigestor.

O SH é metálico e possui formato cilíndrico, com diâmetro de 0,20 m e altura de 0,50 m. A tubulação de 50 mm é encaixada num tubo, encima, que vai até 10 cm do fundo do SH. Como existe um volume de água no interior do SH, o biogás fica impedido de sair desta

unidade. No entanto, sofre pressão da campânula que o pressiona contra a água, desta forma, quando há pressão suficiente o gás sai por uma tubulação de 50 mm conectada em cima do SH sendo encaminhado para residência do Sr. Valdir.

A tubulação que conduz o gás para a residência tem aproximadamente 170 metros, seu trajeto é o mesmo da tubulação de recalque e é de polietileno, com diâmetro de 50 mm. Junto ao SH existe um gasômetro, um medidor de gás modelo LAO G-1, de fabricação brasileira, instalado com a finalidade de medir a produção de biogás do biodigestor. Um esquema do selo hídrico pode ser visto na Fig. 19.

Após passar pelo biodigestor, o efluente, como já foi citado, é conduzido para o tanque de armazenamento (esterqueira).

Armazenamento (Esterqueira)

Com um tempo de armazenamento de 120 dias, o volume desta unidade é de aproximadamente 360 m³, desta forma as dimensões médias são de 8,5 m de largura, 17,0 m de comprimento e altura útil de 2,5 m, borda livre de 0,5 m, totalizando uma altura de 3,0 m, sendo o talude de 1:1. A disposição desta unidade está no fluxograma da Fig. 15 e sua imagem pode ser vista na Fig. 16.

Em termos construtivos, esta unidade foi concebida de forma idêntica a esterqueira 1, ou seja, as paredes e o fundo são no solo, apenas foi colocada uma vinimanta de 0,8 mm para evitar infiltrações. A cota do nível máximo é de 52,835 m e a cota do nível mínimo é de 50,335 m. O efluente armazenado neste tanque é recalcado para as plantações, assim como caracterizado na linha de tratamento 1, sendo utilizado como biofertilizante.

5.5 Cronograma de operação do sistema implantado

5.5.1 Inoculação

A finalidade do inóculo foi ativar o processo de digestão anaeróbia durante o processo de partida do sistema de tratamento com características anaeróbias. A inoculação do biodigestor, ocorrida no dia 02/09/2003, foi de grande importância para que o sistema respondesse positivamente com relação ao processo metanogênico para formação de biogás.

O volume de inóculo necessário para dar partida no biodigestor foi estimado em 50%, ou seja, 45 m³ que correspondem à metade do volume útil do biodigestor, que possui 90 m³ de volume útil total. A caracterização físico-química de ambos os lodos colocados dentro do biodigestor, durante o processo de inoculação do mesmo, está na Tabela 18.

Parâmetros Analisados	Lodo Suíno	Lodo Suíno e Bovino	Unidades
Volume (V)	39,0	6,0	m ³
Temperatura (T)	20,1	19,2	°C
pH	7,44	7,17	-
Potencial Redox (Eh)	+6,0	+16,0	mV
Sólidos Sedimentáveis	1.000	1.000	ml/L
Densidade (d)	1.046	1.050	Kg/m ³
Sólidos Totais (ST)	69.471	118.449	mg/L
Sólidos Totais Fixos (SF)	31.302	33.750	mg/L
Sólidos Totais Voláteis (SV)	38.169	84.699	mg/L
Acidez Total (A _T)	566,0	980,0	mg CaCO ₃ /L
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	8.700	30.700	mg O ₂ /L
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	63.233	74.970	mg O ₂ /L
Nitrogênio Amoniacal	2.564,8	3.024,0	mg NH ₃ -N/L
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	5.432,0	6.104,0	mg N/L
Fósforo Total (P)	3.569,0	1.362,0	mg/L

Tabela 18: Caracterização físico-química dos lodos utilizados na inoculação do biodigestor.

Os 45 m³ de inóculo foram conseguidos junto a duas propriedades criadoras de suínos que possuíam esterqueiras e volumes suficientes de dejetos, são elas:

- ✓ Na propriedade do Sr. Jailson Daufenback, criador de suínos, localizada no município de Braço do Norte – SC, na sub-bacia hidrográfica do rio Cachoeirinhas, na estrada geral Rio Cachoeirinhas, as unidades de armazenamento (esterqueiras) se encontravam sem alimentação e descartes em um período de aproximadamente 2 meses. Desta propriedade foram adquiridos 39,0 m³ de lodo de dejetos suínos, retirados do fundo das esterqueiras. Foram necessárias três viagens de caminhão para transportar este volume de dejetos; e
- ✓ Na propriedade do Sr. Ilson Loch, criador de suínos e bovinos, localizada no município de Braço do Norte – SC, na sub-bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito, na Comunidade Avistoso, foram adquiridos aproximadamente 6,0 m³ de lodo de dejetos suínos e bovinos misturados, retirados do fundo da esterqueira. Foi necessária apenas uma viagem de caminhão para transportar este volume de dejetos. Este volume de lodo, composto por dejetos bovinos, foi adquirido com a finalidade de aumentar a quantidade de

microorganismos, visto que dejetos de outra origem animal, sem ser dos suínos, possuem diferentes espécies de microorganismos anaeróbios.

Para transportar os inóculos das propriedades onde foram adquiridos, até o biodigestor, foi utilizado um caminhão tanque, tipo limpa fossa. O caminhão tanque, capaz de transportar um volume de 13 m³, maior da região, foi emprestado junto ao Sindicato Rural de Braço do Norte, proprietário do veículo. O serviço foi realizado em parceria com a EPAGRI de Braço do Norte – SC.

5.5.2 Teste de atividade metanogênica específica (AME)

Além da caracterização físico-química, foi realizado um teste de atividade metanogênica específica (AME) com os lodos utilizados no processo de inoculação do biodigestor.

De acordo com Chernicharo (1997), a avaliação da AME de lodos anaeróbios mostra-se útil para classificar o potencial da biomassa na conversão de substratos solúveis em metano e gás carbônico. O teste de AME pode também ser utilizado para:

- ✓ Avaliar o comportamento de biomassas sob o efeito de compostos potencialmente inibidores;
- ✓ Determinar a toxicidade relativa de compostos químicos presentes em efluentes líquidos e resíduos sólidos;
- ✓ Estabelecer o grau de degradabilidade de diversos substratos, notadamente de rejeitos industriais;
- ✓ Monitorar as mudanças de atividade do lodo, devido a uma possível acumulação de materiais inertes, após longos períodos de operação de reatores;
- ✓ Determinar a carga orgânica máxima que pode ser aplicada a um determinado tipo de lodo, proporcionando uma aceleração do processo de partida de sistemas de tratamento;
- ✓ Avaliar parâmetros cinéticos.

Na prática, o teste de AME consiste em se avaliar a capacidade das bactérias metanogênicas em converter substrato orgânico em metano e gás carbônico. Dessa forma, a partir de quantidades conhecidas de biomassa (g SV) e de substrato (g DQO), e sob condições

estabelecidas, pode-se avaliar a produção de metano ao longo do período de teste. A AME é calculada a partir das taxas de produtividade máxima de metano. Os resultados de AME podem ser fornecidos tanto em mLCH₄/gSV.h como em gDQO_{CH₄}/gSV.dia. A conversão de mLCH₄ em gDQO_{CH₄} é feita considerando que 1 g de DQO degradada produz 0,35 L de CH₄.

Para o desenvolvimento do teste, são necessários:

- ✓ Lodo anaeróbio no qual se avalia a AME;
- ✓ Substrato orgânico (usualmente acetato de sódio ou uma mistura de ácidos voláteis);
- ✓ Solução tampão e de nutrientes;
- ✓ Frascos de reação;
- ✓ Dispositivo controlador de temperatura (banho-maria, estufa, sala aclimatizada, etc.);
- ✓ Dispositivo de mistura (agitação) da amostra de lodo;
- ✓ Dispositivo de medição da produção de gases, ao longo de um período de tempo determinado.

O teste de AME foi realizado no Laboratório de Tratamento de Efluentes (LTE), localizado no Departamento de Engenharia Química e de Alimentos, e seguiu a metodologia descrita por Soares & Hirata (1997), com adaptações. Trabalhou-se com uma relação de inóculo/substrato de 5,0 g SV/L de concentração celular para 5,0 g DQO/L em ácidos orgânicos, ou seja, uma relação 1:1 em regime de agitação. Foram utilizados frascos de soro de 500 mL, sendo 400 mL de volume útil (80% do volume do frasco) para a mistura inóculo+nutrientes+substrato.

Os ensaios são realizados em triplicata e há um branco sem os ácidos voláteis, mas contendo inóculo, nutrientes e água destilada. As leituras de volume de gás são feitas após 10 minutos do início do experimento. Nas primeiras 12 horas de ensaio, as medidas são realizadas em intervalos de duas horas e nos 3 dias subseqüentes as leituras ocorrem de duas a três vezes ao dia. Após este período, as medidas são realizadas uma vez por dia, até que a produção do biogás se estabilize.

Este teste é realizado sob condições ambientais controladas e o resultado é calculado a partir da medição direta da taxa de produção de metano ou consumo de um substrato, por unidade de biomassa (SSV ou SV) e unidade de tempo.

Contudo, uma análise preliminar dos trabalhos já desenvolvidos na área indica que alguns métodos utilizados para a avaliação da AME são grosseiros ou imprecisos, enquanto outros são caros ou sofisticados em demasia. Desta forma, embora o teste se constitua em um instrumento bastante útil, seus resultados devem ser utilizados ainda com reservas, uma vez que inexistente uma padronização internacionalmente aceita para o mesmo. Assim, as diferentes metodologias e condições de experimentação podem conduzir a resultados de AME também diferentes, difíceis de serem comparados entre si. No entanto, os resultados de AME ainda são muito importantes no acompanhamento e na avaliação de reatores anaeróbios.

5.5.3 Partida e operação do sistema de tratamento e armazenamento

Para a partida (“start”) do sistema de tratamento, inicialmente foi feita a inoculação do biodigestor, ou seja, colocação dos lodos (inóculos) dentro do biodigestor. Uma vez inoculado, a unidade permaneceu sem alimentação por dois dias. No dia 04/09/2003 recebeu a primeira carga orgânica de dejetos de suínos. O objetivo foi alimentar e estimular os microrganismos para o processo de digestão anaeróbia e buscar a estabilidade do sistema em termos de funcionamento. Com isso, pôde-se iniciar a parte analítica, com o intuito de avaliar o desempenho do sistema de tratamento implantado, até o dia 29/01/2004, quando se encerrou o período de coleta de amostras.

Os dejetos suínos que alimentaram as duas linhas de tratamento eram provenientes da unidade de homogeneização, com capacidade para 40 m³. Diante disto, e sendo necessário alimentar as três unidades do sistema de tratamento, que totalizam juntas um volume de 690 m³, foi necessário organizar um cronograma operacional de distribuição do efluente para ambas as linhas de tratamento. Este cronograma operacional pode ser visto na Tabela 19.

A esterqueira da linha de tratamento 1 foi alimentada como definido em projeto, com uma vazão de 2,0 m³/dia para um tempo de armazenamento de 120 dias. Esta unidade não teve uma alimentação constante. Como colocado no cronograma da Tabela 19, o processo de alimentação da esterqueira 1 deveria ser diário para melhor eficácia do armazenamento. No entanto, como o conjunto moto-bomba não estava totalmente instalado na primeira linha de tratamento, o efluente ainda era recalado direto da antiga esterqueira, hoje unidade de homogeneização, para as lavouras. Com isso, esta unidade foi alimentada esporadicamente, principalmente no primeiro mês de funcionamento. No mês seguinte, após solucionar algumas

pendências, esta linha de tratamento passou, então, a ser alimentada como definido em projeto e com o suinocultor.

O início de funcionamento da linha de tratamento 2 não foi muito diferente, pois também apresentou alguns problemas de ordem técnica. O biodigestor, após ser inoculado, passou a ser alimentado segundo o cronograma da Tabela 19. Adotou-se uma vazão de 2,0 m³/dia para o início de funcionamento da linha de tratamento 2, ocasionando um TRH de 45 dias para o biodigestor e um tempo de armazenamento de 180 dias para a unidade de armazenamento (esterqueira), sendo que esta última só recebeu efluente após encher o biodigestor. A unidade de armazenamento só começou a receber efluente do biodigestor no dia 30/09/2003.

Apesar da segunda linha de tratamento ter sido dimensionada para tratar e armazenar 3,0 m³/dia, preferiu-se trabalhar com uma vazão menor que a de projeto, visando experimentar o sistema, devido às altas concentrações dos dejetos de suínos. O processo de partida do sistema foi outro motivo para se adotar uma vazão menor que a de projeto.

No decorrer desta pesquisa, ao longo de cinco meses, a vazão de operação foi igual para as duas linhas de tratamento, ou seja, a esterqueira 1 assim como o biodigestor receberam 2,0 m³/dia de dejetos de suínos (Tabela 20).

Após o armazenamento do efluente nas duas esterqueiras, o mesmo era recalcado direto para as lavouras, ou seja, não era respeitado o tempo de armazenamento adotado, tempo este necessário à valorização do efluente como biofertilizante para posterior aplicação no solo.

5.5.4 Cronograma operacional

Um cronograma operacional foi apresentado e explicitado ao proprietário, com a finalidade de padronizar o processo de operação e alimentação do sistema de tratamento e armazenamento de efluentes suínos, implantado em sua propriedade. Para isso, foi sugerido ao operador seguir o cronograma operacional descrito na Tabela 19.

O presente cronograma estabelecia uma alimentação diária, visando um controle mais efetivo no processo de funcionamento das unidades de tratamento implantadas.

Na impossibilidade de seguir o cronograma proposto que visava alimentar o sistema diariamente, o operador podia alimentar as unidades do sistema, de acordo com o volume necessário em relação ao número de dias que se passaram. Por exemplo, caso uma unidade do

sistema de tratamento ficasse dois dias sem alimentação, esta deveria ser alimentada no terceiro dia com uma quantidade relativa a três dias de alimentação. Desta forma, o operador não ficaria obrigado a alimentar o sistema diariamente.

Na realidade, foi o que aconteceu. O cotidiano do proprietário nem sempre possibilitava que a esterqueira 1 e o biodigestor pudessem ser alimentados diariamente. Sendo assim, recomendou-se ao operador fazer a alimentação destas unidades de forma proporcional aos dias anteriores.

Dias	Alimentação “Linha 1” (Esterqueira 1)		Alimentação “Linha 2” (Biodigestor + Esterqueira 2)	
	Volume (m ³)	Régua (cm)	Volume (m ³)	Régua (cm)
<i>04/09/2003</i>	<i>24,0</i>	<i>120,0</i>	<i>2,0</i>	<i>10,0</i>
05/09/2003	2,0	10,0	2,0	10,0
06/09/2003	2,0	10,0	2,0	10,0
<i>Diariamente</i>	<i>2,0</i>	<i>10,0</i>	<i>2,0</i>	<i>10,0</i>

Tabela 19: Cronograma operacional do sistema de tratamento implantado.

5.5.5 Carga orgânica aplicada

A carga orgânica aplicada, para as duas linhas de tratamento, foi baseada principalmente em termos de DQO (Kg DQO/dia) e de sólidos (Kg ST/dia). Entretanto, esta podia ser medida em função dos diversos parâmetros analisados nos dejetos brutos. A vazão de funcionamento do sistema, de 2,0 m³/dia, foi outro parâmetro utilizado no cálculo. A fórmula apresentada abaixo expressa como se obtém os valores de carga orgânica.

$$\text{Carga Orgânica (Kg/dia)} = [\text{Concentração (g/m}^3\text{)} \times \text{Vazão (m}^3\text{/dia)}] / 1.000 \text{ (g/Kg)}$$

Obs.: g/m³ = mg/L

5.5.6 Pendências e melhorias no sistema implantado

Durante a fase inicial de funcionamento existiam pendências, algumas construtivas e de nível técnico, que prejudicaram o bom funcionamento e a estabilidade do sistema de tratamento e armazenamento implantado.

Entretanto, as pendências, citadas abaixo, foram sanadas o mais breve possível visando a continuidade do processo operacional das unidades de tratamento e armazenamento.

- ✓ Adaptação do conjunto moto-bomba existente para unidade de homogeneização e encaixe do tubo de polietileno de 100 mm para o recalque do efluente ao sistema de tratamento implantado;
- ✓ Colocação de uma válvula de retenção para evitar o golpe de aríete no conjunto moto-bomba da unidade de homogeneização;
- ✓ Contenção do vazamento na unidade de homogeneização;
- ✓ Instalação de uma tubulação de ligação da esterqueira 2 até a esterqueira 1 para o recalque do efluente da esterqueira 2 para as plantações;
- ✓ Instalação elétrica e teste de funcionamento do conjunto moto-bomba novo de 15,2 CV (modelo FAL 40-160), situado ao lado da esterqueira 1;
- ✓ Instalação do gasômetro (modelo LAO G-1) junto ao selo hídrico; e
- ✓ Teste de vazamento no biodigestor.

Em obras de engenharia, como neste projeto, é normal surgirem problemas, principalmente na fase inicial. Contudo, também surgiram melhorias, que beneficiaram não apenas o processo de criação dos suínos, mas também o sistema de tratamento e armazenamento implantado na pequena propriedade.

Neste sentido, no dia 11/11/2003, foram instalados bebedouros ecológicos em todas as baias dos suínos, tanto na unidade de maternidade e creche, como na unidade de crescimento e terminação da propriedade escolhida. Estes bebedouros têm por objetivo reduzir os desperdícios da água consumida pelos suínos.

A iniciativa de instalar estes equipamentos partiu do Programa Nacional do Meio Ambiente II (PNMA II)⁴, programa do Governo Brasileiro conduzido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e financiado através de um Acordo de Empréstimo com o Banco Mundial (BIRD).

Em Santa Catarina o PNMA II financia, através do componente “Gestão Integrada de Ativos Ambientais”, o projeto “Controle da Degradação Ambiental Decorrente da

⁴ Endereço eletrônico: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma>>.

Suinocultura em Santa Catarina”, que vem sendo executado nas Bacias Hidrográficas do Lajeado dos Fragosos, no município de Concórdia (Oeste do Estado), e do Coruja/Bonito, no município de Braço do Norte (Sul do Estado). Em Braço do Norte, este projeto está ocorrendo em parceria com alguns criadores de suínos e a EPAGRI local. A propriedade do Sr. Valdir Wiggers foi uma das beneficiadas com o PNMA II, que tem por objetivo reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura.

5.5.7 Descrição resumida do sistema avaliado

Características Técnicas	Descrição do Sistema Avaliado		
	Linha de Tratamento 1	Linha de Tratamento 2	
	Esterqueira 1	Biodigestor	Esterqueira 2
Volume (m ³)	240,0	90,0	360,0
Vazão de Projeto (m ³ /dia)	2,0	3,0	3,0
TA e TRH de Projeto (dias)	120	30	120
Vazão Adotada (m ³ /dia)	2,0	2,0	2,0
TA e TRH Adotado (dias)	120	45	180

Tabela 20: Descrição resumida do sistema avaliado.

5.6 Coleta de amostras

5.6.1 Período de coletas

As coletas de amostras foram realizadas ao longo do período de funcionamento do sistema, desde a fase de partida até a fase final da pesquisa. As coletas eram realizadas para fins de análise em laboratório visando acompanhar a eficiência do sistema.

A primeira coleta de amostra foi feita no dia 04/09/2003 e a última no dia 29/01/2004, totalizando 12 coletas ao longo de 5 meses de acompanhamento.

No primeiro mês de acompanhamento foram coletadas amostras apenas da unidade de homogeneização. A partir do dia 30/09/2003 iniciaram-se as coletas de efluente do biodigestor, perfazendo 4 meses de acompanhamento desta unidade. Um mês depois, no dia 29/10/2003 foram coletadas as primeiras amostras das esterqueiras 1 e 2, sendo assim, estas unidades tiveram 3 meses de acompanhamento.

Para o monitoramento das duas linhas de tratamento e armazenamento foram coletadas amostras com periodicidade quinzenal para uma avaliação precisa do sistema, no entanto, algumas vezes foram feitas coletas semanais.

Considerando todas unidades do sistema em pleno funcionamento, ou seja, a unidade de homogeneização, a esterqueira 1, o biodigestor e a esterqueira 2, existiam um total de 4 pontos de coleta de amostras para realização de análises físico-químicas, logo, são eles:

- ✓ Ponto e amostra 1: dejetos brutos do interior da unidade de homogeneização (afluente do biodigestor e da esterqueira 1);
- ✓ Ponto e amostra 2: efluente do interior do biodigestor (afluente da esterqueira 2);
- ✓ Ponto e amostra 3: efluente do interior da esterqueira 2; e
- ✓ Ponto e amostra 4: efluente do interior da esterqueira 1.

5.6.2 Rotina das coletas

Em virtude do sistema de tratamento e armazenamento estar localizado em Braço do Norte, a cerca de duas horas e meia de viagem, a rotina das coletas começava um dia antes em Florianópolis.

No Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) na UFSC eram preparados e separados os materiais necessários para coleta das amostras. Entre os materiais levados, estavam:

- ✓ 1 caixa de isopor de 36 litros;
- ✓ 4 recipientes plásticos de 1,0 litro cada para o armazenamento das amostras;
- ✓ 2 pisetes com água destilada para limpezas em geral;
- ✓ 1 béquer plástico com graduação de um litro;
- ✓ 2 suportes para cones Inhoff e 4 cones Inhoff para leitura de sólidos sedimentáveis;
- ✓ 4 baldes plásticos de 10 litros cada, sendo um reforçado, para coleta das amostras;
- ✓ 1 corda de nylon com 10 metros de comprimento; e
- ✓ 1 par de luvas de borracha.

Além disso, eram levados um medidor digital de pH, potencial redox (mV) e temperatura (°C), para leituras em campo e bancada, e um termômetro digital para medir as temperaturas de cada amostra. Os equipamentos citados são, respectivamente, os números 21 e 28 descritos no APÊNDICE A. O equipamento 21 era, previamente, calibrado e testado no laboratório, utilizando-se soluções tampões de pH, específicas para este tipo de calibração. Este procedimento visava à acuidade nas leituras das amostras.

A coleta de amostras começava pela unidade de homogeneização. Após uma breve agitação dos dejetos brutos armazenados nesta unidade, era lançado um balde, amarrado a uma corda, para dentro da unidade e retirado cheio. Desta quantia de dejetos era retirado o volume necessário para análise em campo e laboratório.

O procedimento de coleta das amostras das esterqueiras 1 e 2 era semelhante. Lançava-se o balde, amarrado a corda, dentro da esterqueira, em seguida, mantendo-o imerso no efluente, puxava-se o mesmo de um lado para o outro, para revolver o particulado estacionário no fundo e ao longo da extensão de cada unidade de armazenamento. Com isso, podia-se considerar o efluente “homogeneizado” e retirar o volume necessário.

Com o biodigestor era diferente. Existia uma tubulação com um registro, ao lado da unidade, que facilitava a coleta das amostras. Bastava abrir o registro e coletar o volume necessário de efluente.

Após a coleta, cada amostra era homogeneizada, num balde em separado, e retirava-se um litro para leitura de sólidos sedimentáveis e mais um litro para realizar as análises físico-químicas em laboratório. Neste segundo litro, de cada amostra, eram feitas as leituras do pH, do potencial redox e da temperatura, através dos equipamentos levados a campo.

Depois de averiguar o sistema, coletar as amostras e realizar as leituras de campo, o material utilizado era lavado e guardado. Além disso, as amostras eram acondicionadas e conservadas sob refrigeração, com gelo, em uma caixa de isopor, até o retorno ao laboratório.

5.7 Análises laboratoriais

5.7.1 Rotina analítica

A parte analítica foi feita através de análises físico-químicas com as amostras de entrada e saída do sistema, ou seja, afluentes e efluentes das unidades de tratamento e armazenamento. As análises físico-químicas foram realizadas em duas etapas.

Na primeira etapa, durante a coleta das amostras, como já comentado, eram realizadas as medidas de temperatura, pH, potencial redox e sólidos sedimentáveis. Estas medidas eram realizadas através de medidores de campo.

Na segunda etapa, após a coleta das amostras, estas eram trazidas ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) na UFSC e realizadas as seguintes análises físico-químicas:

- ✓ Acidez Total (A_T);
- ✓ Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5);
- ✓ Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- ✓ Sólidos Totais (ST);
- ✓ Sólidos Totais Fixos (SF);
- ✓ Sólidos Totais Voláteis (SV);
- ✓ Nitrogênio Amoniacal;
- ✓ Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK); e
- ✓ Fósforo Total (P).

Estes parâmetros foram escolhidos como base para o monitoramento e a avaliação da eficiência de partida e funcionamento do sistema de tratamento proposto na região de Braço do Norte – SC. As análises físico-químicas foram realizadas com base no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, AWWA, WEF, 1998).

Para realização de determinadas análises físico-químicas era necessário fazer diluições das amostras. Sendo assim, no início do monitoramento do sistema, as amostras foram analisadas por meio da média das concentrações sobre triplicatas, para evitar ou minimizar erros sistemáticos ou analíticos.

No decorrer das análises, em face da segurança nos processos analíticos utilizados e nas leituras obtidas, foram realizadas apenas duplicatas. A APHA recomenda, em análises físico-químicas, que se faça ao menos amostras em duplicatas. As diluições máximas utilizadas, para cada parâmetro analisado, estão apresentadas na Tabela 21.

Algumas vezes, por falta de reagentes químicos ou de equipamentos em perfeito funcionamento, as análises físico-químicas eram realizadas em um outro momento, no entanto, as amostras eram mantidas acondicionadas em recipientes plásticos fechados e conservadas sob refrigeração ou congelamento, a fim de manter suas características originais.

Parâmetros Analisados	Fator Máximo de Diluição
Temperatura, pH e Potencial Redox	---
Sólidos Sedimentáveis	---
Série Sólidos (ST, SF, SV)	---
Acidez Total (A_T)	20 x
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5)	50 x
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	10 x
Nitrogênio Amoniacal	40 x
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	40 x
Fósforo Total (P)	200 x

Tabela 21: Fatores máximos de diluição das amostras para os parâmetros analisados.

Os resultados obtidos, através das análises físico-químicas, foram compilados na forma de gráficos e tabelas, para estudo analítico e comparativo, para uma avaliação da eficiência de partida e funcionamento do sistema de tratamento e armazenamento implantado na região de Braço do Norte – SC.

5.7.2 Materiais e equipamentos utilizados nas análises laboratoriais

Para realização das análises físico-químicas, das amostras de dejetos de suínos coletadas, eram utilizados diversos aparelhos ou equipamentos. Entretanto, alguns deles, como o refrigerador, serviam somente para o acondicionamento e a conservação de amostras, e outros para confecção de reagentes químicos, que eram utilizados na realização das análises.

A lista completa de equipamentos, utilizados no desenvolvimento desta pesquisa, está mostrada e relacionada no APÊNDICE A.

A Tabela 22 apresenta os parâmetros físico-químicos analisados e os números dos respectivos aparelhos ou equipamentos do APÊNDICE A, utilizados para sua análise.

Parâmetros Analisados	Equipamentos Utilizados (Nº)
Temperatura (T)	21, 28
pH	21, 23, 24
Potencial Redox (Eh)	21
Sólidos Sedimentáveis	11
Série Sólidos (ST, SF, SV)	4, 5, 6, 7, 9, 12, 19, 22
Acidez Total (A _T)	1, 2, 8, 13, 21, 23, 24, 25
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	3, 13, 20
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	10, 13, 16, 17
Nitrogênio Amoniacal	4, 5, 13, 14, 21, 23, 24
Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK)	4, 5, 7, 13, 14, 15, 27
Fósforo Total (P)	4, 5, 7, 9, 13, 16, 17, 18

Tabela 22: Parâmetros físico-químicos analisados e os respectivos equipamentos utilizados.

5.8 Resumo das etapas da pesquisa

A Tabela 23 apresenta um cronograma das etapas da pesquisa, pertinente ao processo de partida e operação do sistema de tratamento e armazenamento implantado, desde a escolha da pequena propriedade a ser beneficiada até o fim do monitoramento do sistema de tratamento e armazenamento por parte desta pesquisa.

Etapas da Pesquisa	Início	Término
Seleção das Propriedades	04/2002	09/2002
Elaboração do Projeto Executivo – Carta Convite	09/2002	10/2002
Elaboração do Projeto PP – Contrato	11/2002	02/2003
Execução da Obra PP – Carta Convite	03/2003	04/2003
Execução da Obra PP – Ajustes	05/2003	09/2003
Partida / Operação / Monitoramento do Sistema PP	09/2003	02/2004
Inoculação do Biodigestor	02/09/2003	-
Partida do Biodigestor – Primeira Alimentação	04/09/2003	-
Período de Coleta de Amostras	02/09/2003	29/01/2004
Primeira Amostragem de Efluente do Biodigestor	30/09/2003	-
Primeira Amostragem de Efluentes das Esterqueiras	29/10/2003	-
Instalação dos Bebedouros Ecológicos	11/11/2003	-
Análises Laboratoriais	05/09/2003	09/02/2004
Continuidade do Monitoramento – Nova Pesquisa	02/2004	-

Tabela 23: Cronograma das etapas da pesquisa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o monitoramento do sistema de tratamento e armazenamento implantado, na pequena propriedade, foram realizadas coletas de amostras de dejetos de suínos desde o dia da partida do biodigestor em 02/09/2003, até 29/01/2004, perfazendo 150 dias (05 meses) de acompanhamento. O decorrer deste período foi de fundamental importância para manter o sistema implantado em boas condições de operação e funcionamento.

Os resultados, das amostras coletadas, eram normalmente obtidos através de leituras e medidas *in loco*, e por meio de análises físico-químicas em laboratório (APÊNDICE B). Estes resultados foram compilados na forma de gráficos e tabelas possibilitando desta forma um estudo analítico e comparativo. Todas informações adquiridas serviram de base para avaliar o desempenho de partida e a eficiência de aclimatação e funcionamento do sistema de tratamento e armazenamento implantado na região de Braço do Norte – SC.

6.1 Alterações nas características dos dejetos de suínos

Os dejetos brutos, resultantes do processo de criação dos suínos, sofreram alterações bastante representativas ao longo do período de pesquisa. Estas alterações sucederam como consequência da implantação dos bebedouros ecológicos em todas as baias dos suínos, tanto na unidade de maternidade e creche, como na unidade de crescimento e terminação da propriedade escolhida.

Depois do sistema de tratamento e armazenamento implantado, a instalação dos bebedouros ecológicos foi a modificação mais representativa ocorrida na propriedade estudada. Os bebedouros ecológicos, também chamados de ‘chupetas’, foram instalados no dia 11/11/2003, aos 71 dias de funcionamento do referido sistema. Estes bebedouros são responsáveis por uma expressiva redução no desperdício da água consumida pelos suínos. Com a redução das perdas ou desperdícios de água, o dejetos bruto produzido ficou menos diluído, ou seja, aumentou em volume e concentração de sólidos e, conseqüentemente, sofreu alterações em suas características físico-químicas.

Antes da implantação destes novos bebedouros, estimava-se que a atividade suinícola, na propriedade escolhida, gerasse um volume diário teórico de 5,0 m³ de dejetos brutos. Após

a implantação dos bebedouros, a produção de dejetos brutos foi monitorada, a fim de obter o volume real produzido. Através da régua, anteriormente instalada dentro da unidade de homogeneização, foi medido o volume de dejetos produzido de hora em hora, obtendo-se um volume diário real de 3,0 m³ de dejetos brutos. Convém salientar que este volume diário real produzido é aproximado, pois, como mencionado anteriormente, muitos são os fatores que podem interferir na quantidade de fezes e urina produzida diariamente pelos suínos.

Os bebedouros ecológicos não alteraram apenas a quantidade de dejetos brutos produzidos, mas também a qualidade dos mesmos, ou seja, suas características físico-químicas. Estas alterações foram sensivelmente percebidas na unidade de homogeneização, onde os dejetos brutos ficam armazenados e através de análises laboratoriais.

A Tabela 24 apresenta as características físico-químicas dos dejetos brutos, em épocas distintas, visando caracterizar os dejetos antes e depois da implantação dos bebedouros ecológicos. Estas características foram obtidas através de análises laboratoriais, realizadas periodicamente ao longo do período de monitoramento do sistema implantado. As análises foram realizadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS/UFSC), visando caracterizar e comparar com os valores médios encontrados na literatura específica. Os resultados obtidos representam a média das concentrações de amostras em triplicatas.

No dia 03/08/2002, bem antes do sistema proposto ser construído, foi realizada, de forma pontual, uma coleta de amostra no sistema de armazenamento de dejetos de suínos (esterqueira), existente na pequena propriedade. A amostra coletada foi acondicionada em recipientes plásticos e conservada sob refrigeração. As análises laboratoriais foram realizadas de 23 a 28/08/2002 e os resultados obtidos estão na Tabela 24. Com exceção do valor da DBO que varia conforme o grau de diluição, o qual refere-se para um percentual de matéria seca de 3% e o valor do pH que representa o valor encontrado em um dejetos bruto proveniente, exclusivamente, de um armazenamento de dejetos de uma unidade de crescimento e terminação, todos os demais parâmetros representam os resultados obtidos com as análises mencionadas.

Convém salientar que os resultados obtidos nesta data foram relevantes com relação aos critérios de dimensionamento, pois o sistema de tratamento proposto foi projetado, não somente, com base em parâmetros de engenharia, tais quais, como o volume e a vazão de dejetos suínos produzidos diariamente, mas, também, com base nas concentrações médias para estimar-se uma carga orgânica a ser tratada pelo sistema.

No dia 04/09/2003 foi realizada outra coleta de amostra, desta vez referente ao primeiro dia de alimentação do sistema de tratamento e armazenamento implantado. Neste dia, a carga orgânica aplicada no biodigestor foi de 51,3 Kg DQO/dia, relativa a uma concentração de DQO de 25,7 Kg/m³ e 28,3 Kg ST/dia, relativa a uma concentração de ST de 14,1 Kg/m³. Conforme a Tabela 24, estas concentrações eram baixas se comparadas aos resultados médios da pesquisa, pois os bebedouros ecológicos ainda não estavam instalados.

Parâmetros Analisados	Resultados			
	03/08/2002	04/09/2003	29/01/2004	Médios
pH	6,90	6,69	6,81	6,60
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO ₅ (mg O ₂ /L)	24.000	12.500	43.500	21.300
Demanda Química de Oxigênio – DQO (mg O ₂ /L)	45.000	25.660	105.810	43.368
Sólidos Totais – ST (mg/L)	44.660	14.153	93.153	36.110
Sólidos Totais Fixos – SF (mg/L)	10.459	4.599	26.197	10.880
Sólidos Totais Voláteis – SV (mg/L)	34.201	9.554	66.956	25.230
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	340	290	1.000	466
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	745	627	952	625
Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK (mg N/L)	2.959	1.344	3.248	1.990
Fósforo Total – P (mg/L)	2.945	424	1.331	712

Tabela 24: Características físico-químicas dos dejetos brutos.

Já na fase de funcionamento do sistema, a carga orgânica média dos dejetos brutos foi de aproximadamente 86,7 Kg DQO/dia e 72,2 Kg ST/dia para a vazão adotada de 2,0 m³/dia. Segundo os resultados médios da Tabela 24, as concentrações de DQO e de ST foram de 43,4 Kg/m³ e de 36,1 Kg/m³, respectivamente. Sendo assim, a carga orgânica para DQO sofreu variações de 21,5 a 211,6 Kg DQO/dia e para ST de 13,7 a 205,6 Kg ST/dia. Estas variações ocorreram devido às melhorias no processo de criação e manejo dos suínos, resultantes da instalação dos bebedouros ecológicos, que ocasionaram modificações nas características físico-químicas dos dejetos suínos ao longo do período de acompanhamento do sistema.

Os resultados obtidos com os dejetos brutos coletados no dia 29/01/2004 demonstram bem as modificações ocasionadas. Pode-se perceber através da Tabela 24 que houve um grande incremento nas concentrações físico-químicas dos parâmetros analisados. Comparando-se os resultados do dia 29/01/2004, com os resultados médios e anteriores, percebe-se que o incremento nas concentrações resultou, principalmente, da diminuição nos desperdícios de água, tornando os dejetos brutos mais densos.

Diante dos resultados obtidos, pode-se dizer que o comportamento dos parâmetros físico-químicos analisados (DBO_5 , DQO, sólidos, nitrogênio e fósforo) foi semelhante e sofreu influência direta da diluição dos dejetos brutos. Portanto, é possível afirmar que quanto menor a diluição dos dejetos brutos, maiores serão as concentrações dos parâmetros físico-químicos analisados.

6.2 Desempenho de partida do biodigestor

A partida (“start”) do sistema de tratamento, em particular do biodigestor, unidade mais complexa em termos de monitoramento e aclimação, foi realizada com sucesso.

No dia da inoculação (02/09/2003), a carga orgânica aplicada no biodigestor, para o volume de $39,0 \text{ m}^3$ de inóculo suíno, foi de 2.466,1 Kg DQO/dia e de 2.709,4 Kg ST/dia. Já para o volume de $6,0 \text{ m}^3$ de inóculo suíno e bovino, foi de 449,8 Kg DQO/dia e de 710,7 Kg ST/dia. Portanto, somando as cargas, pode-se dizer que a carga orgânica total aplicada neste dia foi de 2.915,9 Kg DQO/dia e 3.420,1 Kg ST/dia.

Depois de inoculado e iniciada a alimentação, o biodigestor levou cerca de 30 dias para mostrar os primeiros sinais de atividade metanogênica positiva. Isto foi percebido pela formação de bolhas de biogás sob a campânula instalada.

Nos 60 dias seguintes o reator demonstrou inflar a campânula, mas não de forma permanente. Em seguida, devido à ocorrência de alguns vazamentos, já comentados, o reator recebeu ajustes e melhorias, visando evitar problemas futuros. Desta forma, praticamente no período final da pesquisa, o biodigestor demonstrou que o processo de digestão anaeróbia estava ocorrendo com eficácia em seu interior, conforme demonstram os resultados analíticos obtidos, salvo algumas alterações físico químicas, normais em um processo de aclimação.

Paralelamente à partida do biodigestor foi desenvolvido em laboratório um teste de atividade metanogênica específica (AME) dos lodos “inóculos”, colocados dentro do biodigestor, visando dar uma idéia geral da dinâmica de produção metanogênica presente na degradação biológica dos dejetos de suínos.

Após a realização do teste de AME, obteve-se como resultado para o inóculo suíno um valor em torno de $0,0490 \text{ gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSV}.\text{dia}$ e para o inóculo suíno mais bovino obteve-se um valor ainda menor, em torno de $0,0288 \text{ gDQO}_{\text{CH}_4}/\text{gSV}.\text{dia}$. Convertendo os valores, em

termos de volume, obteve-se 0,0172 LCH₄/gSV.dia para o inóculo suíno e 0,0101 LCH₄/gSV.dia para o inóculo suíno mais bovino.

Observou-se que a AME máxima foi baixa para as amostras estudadas. Na prática, isto significou que os inóculos utilizados, para dar partida no biodigestor, não apresentavam uma biomassa com potencial adequado para conversão de substratos orgânicos em biogás. No entanto, acreditava-se que após o biodigestor receber as primeiras cargas orgânicas de dejetos de suínos, ocorreria um aumento da atividade microbológica dentro do sistema, reativando os inóculos utilizados e resultando na produção mensurável de biogás.

Para medir a produção de biogás, monitorá-la e determinar qual a vazão média de biogás, foi instalado um gasômetro junto ao selo hídrico do biodigestor. Apesar da campânula do biodigestor estar constantemente inflada, indicando a presença de biogás dentro desta unidade, a medição de biogás através do gasômetro indicou baixa produção.

Diante disso, levantaram-se duas hipóteses, a primeira seria a falta de pressão para empurrar a coluna de água dentro do selo hídrico, por isso não estaria ocorrendo uma eficaz produção de biogás e a segunda seria a existência de escapes ou vazamentos de biogás em algum ponto do biodigestor.

Após um teste para descobrir vazamentos, constatou-se que o efluente vazava em diversos pontos na parede externa ao biodigestor, que fica acima do nível do solo. Em virtude desses vazamentos, a parede externa foi totalmente impermeabilizada com emulsão asfáltica. Mesmo assim, o gasômetro não indicava produção de biogás. Constatou-se que ainda havia vazamentos. Sendo assim, foi colocado, sobre as paredes internas do biodigestor, uma faixa de vinimanta de 0,80 mm, do feixe hídrico até um metro abaixo do nível máximo do efluente. Com isso, o vazamento foi resolvido e, desde então, a produção de biogás pelo biodigestor é monitorada.

Em face dos vazamentos ocorridos no biodigestor, o monitoramento com relação à produção mensurável de biogás foi prejudicado. No entanto, durante a fase final do acompanhamento do sistema, algumas leituras puderam ser feitas no gasômetro, constatando-se uma produção média de biogás da ordem de 22,4 l/min. Convertendo este valor, obteve-se uma produção de 32,3 m³/dia. Logo, apesar dos baixos resultados no teste de AME e com base nesta produção diária de biogás, é possível afirmar que os inóculos utilizados não eram inertes e, além disso, ao longo do estudo, a biomassa existente alcançou um potencial mais eficiente para conversão da matéria orgânica em biogás.

Portanto, de acordo com as condições ambientais e de operação existentes ao longo desta pesquisa e comparando-se os resultados obtidos com os da literatura consultada, pode-se afirmar que o biodigestor atingiu uma produção diária e mensurável de biogás, mas não atingiu a estabilidade de sistema.

6.3 Comportamento e avaliação dos parâmetros físico-químicos analisados

6.3.1 Temperatura (T)

A digestão anaeróbia é um processo de estabilização da matéria orgânica na qual a temperatura é fator determinante na produção de biogás e em sua eficiência.

O clima da região da bacia hidrográfica do rio Coruja/Bonito é classificado como subtropical úmido e segundo o monitoramento do Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina (CLIMERH), a temperatura média anual na região é de 18,7 °C, sendo a temperatura média anual máxima de 26,0 °C e a média anual mínima de 13,9 °C, já as temperaturas máxima e mínima absoluta registradas, foram de 42,2 °C e -6,0 °C, respectivamente. A temperatura média registrada pelo CLIMERH nos meses de Setembro a Janeiro, período desta pesquisa, foi de 20,6 °C. Esta média do período é exatamente a mesma temperatura média obtida para as amostras coletadas da unidade de homogeneização, no período de monitoramento desta pesquisa.

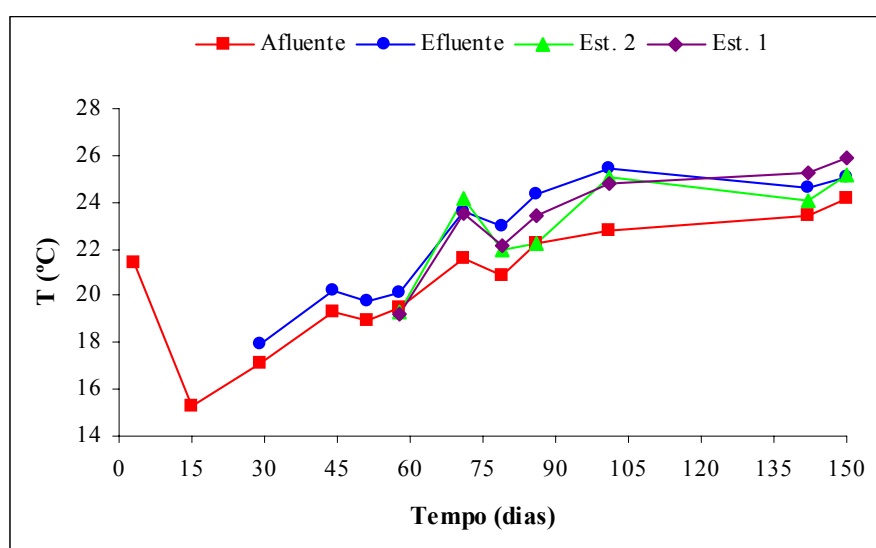


Figura 20: Comportamento da temperatura (T) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Diante da confiabilidade dos resultados obtidos, mostrados no gráfico da Fig. 20, e analisando o comportamento da temperatura, pode-se perceber que há uma tendência comum nas leituras obtidas, caracterizando um comportamento ascendente da temperatura em todas as unidades do sistema, reflexo das mudanças de estações do ano (Inverno-Primavera-Verão), em virtude da chegada do verão. Durante a noite a região é, normalmente, caracterizada por temperaturas mais baixas. Sendo assim, pode-se dizer que a temperatura, em todas as unidades do sistema, oscilou no período da pesquisa, aumentando durante o dia e diminuindo a noite, conforme a temperatura ambiente.

Com base na Tabela 25, a temperatura média dentro do biodigestor foi de 22,4 °C. Apesar de muitos autores terem uma opinião formada sobre qual é a temperatura ideal para ocorrer a digestão anaeróbia, a grande maioria deles concorda que acima de 10 °C o sistema funciona. Conforme Rouger (1987) a metanização pode ocorrer na faixa psicrófila (de 10 a 20 °C), na faixa mesófila (de 35 a 40 °C) e na faixa termófila (de 50 a 55 °C). Dentro de cada uma destas faixas existe uma temperatura ótima que permite a ocorrência do crescimento máximo de microorganismos e uma atividade metanogênica mais intensa.

Desta forma, mesmo a temperatura interna do biodigestor oscilando, sofrendo influência direta da temperatura ambiente e considerando que não havia um sistema de aquecimento interno, pode-se afirmar que o biodigestor esteve operando dentro de uma faixa aceitável de temperatura (Fig. 20). No entanto, esta temperatura pode ter sido um fator limitante para o processo de digestão anaeróbia, bem como, para uma melhor e mais rápida aclimação do efluente dentro do biodigestor após sua partida. Em virtude deste parâmetro não apresentar um comportamento uniforme dentro do biodigestor, é possível que possa ter influenciado algumas reações químicas internas e conseqüentemente o comportamento de outros parâmetros analíticos. Alterações bruscas de temperatura prejudicam a digestão anaeróbia porque as bactérias metanogênicas são sensíveis a mudanças de temperatura (STEVENS & SCHULTE, 1979).

Apesar da temperatura interna do biodigestor não ter alcançado 35 °C (faixa mesófila), que é quando a taxa de digestão anaeróbia é considerada máxima, o processo anaeróbio ocorreu regularmente, pois houve produção de biogás em face da campânula do biodigestor estar diariamente inflada.

No período final da pesquisa constataram-se temperaturas mais altas, acima dos 25,0 °C nas esterqueiras e 25,4 °C dentro do biodigestor, favorecendo melhores condições para o processo de digestão anaeróbia e aproximando-se da faixa de temperatura mesófila onde,

segundo Belli F^o (1995), a digestão anaeróbia promove a redução dos coliformes fecais em 98% e os enterovírus em 90%, enquanto em temperatura termófila a redução dos coliformes fecais é de 99,9999% e dos vírus é de 99 a 99,9%.

Com relação às temperaturas obtidas nas esterqueiras, o grande número de microorganismos patogênicos contidos nos dejetos de suínos é um problema pouco crítico, porque as evidências indicam que o ambiente do próprio resíduo e o ambiente do solo não são adequados à sua sobrevivência (LOEHR, 1977 apud MATOS & SEDIYAMA, 1995, citado por GOSMANN, 1997).

6.3.2 Potencial hidrogeniônico (pH) e acidez total (A_T)

A Fig. 21 e a Fig. 22 apresentam os comportamentos do pH e da acidez total, respectivamente, ao longo do período de estudo, para todas as unidades do sistema de tratamento implantado. A Tabela 25 apresenta valores médios destes parâmetros para cada uma das unidades monitoradas.

O pH dos dejetos brutos, armazenados na unidade de homogeneização, manteve-se sempre abaixo da neutralidade, já que o pH médio foi de 6,60. É possível que o pH desta unidade tenha sofrido influência da acidez total presente nos dejetos armazenados.

A acidez total, com base no sistema carbonato, apresentou valor médio de 573,4 mg CaCO_3/L para os dejetos armazenados na unidade de homogeneização. Os valores da acidez nesta unidade são considerados levemente altos e se devem provavelmente a presença de ácidos graxos voláteis (AGV). A composição dos dejetos animais está associada ao sistema de manejo adotado. Os dejetos podem apresentar grandes variações na concentração de seus componentes, dependendo da diluição e da modalidade como são manuseados e armazenados (OLIVEIRA *et al.*, 1993). Seus valores oscilaram bastante e no final da pesquisa, a acidez total apresentou valores acima de 800 mg CaCO_3/L , o que caracterizaria um meio mais acidificado, no entanto, houve um incremento do pH, levando-o próximo da neutralidade.

Os valores do pH dentro do biodigestor ficaram dentro da faixa ótima para que ocorresse a digestão anaeróbia, ou seja, próximos à neutralidade. O pH médio dentro do biodigestor, obtido por meio das leituras de campo, foi de 7,39. Bactérias metanogênicas toleram pH entre 6,6 e 7,6, com valor ótimo de 7,0 (MAUNOIR, 1991). Neste sentido, pode-se dizer que o pH foi bastante favorável aos microorganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia dentro do biodigestor.

Além disso, o valor do pH durante a digestão anaeróbia está ligada à produção de ácidos graxos voláteis e a degradação de seus compostos em metano (BELLI F°, 1995).

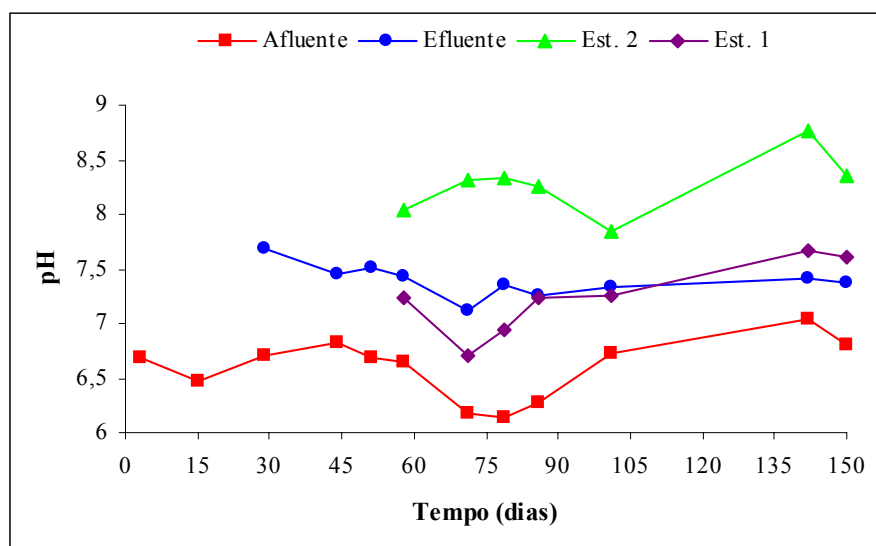


Figura 21: Comportamento do pH ao longo do período de monitoramento do sistema.

O valor médio da acidez total, dentro do biodigestor, foi de 255,6 mg CaCO₃/L. Seu comportamento foi levemente variável, apresentando valores decrescentes ao longo do acompanhamento, com um pequeno aumento no final da pesquisa. É possível que este aumento da acidez total seja devido a um excesso de AGV, produto este resultante da acidogênese, que em concentrações altas, inibem o processo da digestão anaeróbia.

O equilíbrio entre a acidez e a alcalinidade que determinam o pH de um sistema depende, entre várias reações biológicas e químicas, da produção e consumo de CO₂ e dos AGV. De acordo com Belli F° (1995), quando a concentração em AGV aumenta, o sistema tampão HCO₃⁻/CO₃²⁻ diminui. Na prática, foi o que ocorreu no biodigestor, um aumento da acidez e a conseqüente queda do pH, pois este parâmetro está ligado aos sistemas tampões HCO₃⁻/CO₃²⁻, NH₄⁺/NH₃ e a ionização global. Além disso, o equilíbrio do pH é assegurado pelos bicarbonatos e pela concentração de CO₂ dissolvido no meio. Em um biodigestor, é necessária alcalinidade em bicarbonato de 1.000 a 3.000 mg/L.

Contudo, isto demonstra que o biodigestor está se estabilizando gradativamente. Com a redução do pH, ocorre a acetogênese, que transforma os produtos da acidogênese em ácido acético, impedindo o acúmulo de ácidos, e logo, as bactérias metanogênicas começam a agir

transformando os ácidos em metano, neutralizando o meio e elevando o pH. É em virtude de todo este processo, que o pH do biodigestor se encontra próximo da neutralidade.

Na esterqueira 2, que recebe o efluente do biodigestor, foi constatado um pH médio de 8,27. Esta unidade de armazenamento permaneceu com o pH acima de 8,0 durante a maior parte da pesquisa, ou seja, em condições alcalinas. Esta alcalinidade ou perda de acidez deve ter sido gerada devido a dessorção de CO_2 dentro do biodigestor (produção de biogás). Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), quando a metanogênese ocorre, há remoção de parte do ácido acético, aumentando assim a alcalinidade e reduzindo a acidez, ou seja, ocorre um incremento no pH do sistema.

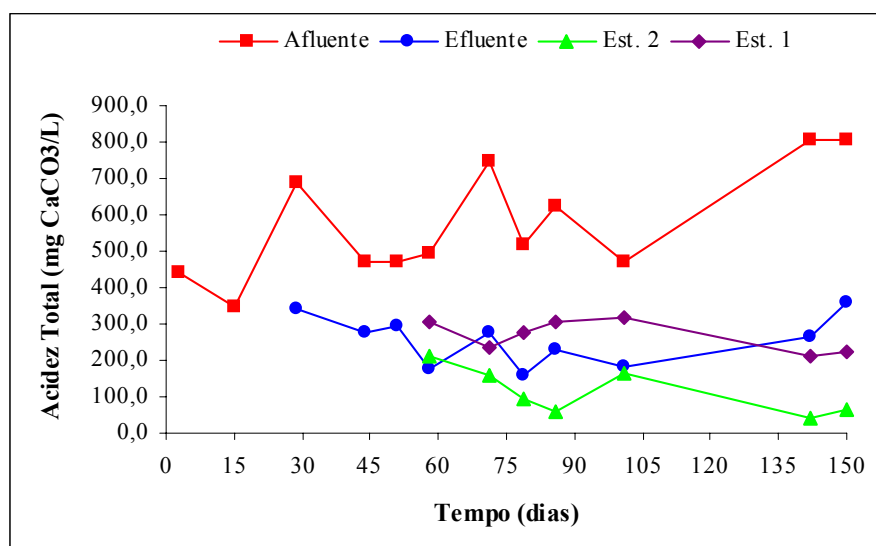


Figura 22: Comportamento da acidez total (A_T) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Quanto a acidez total das amostras da esterqueira 2, pode-se perceber no gráfico da Fig. 22 que este parâmetro esteve em queda durante a pesquisa. Os valores permaneceram baixos e o valor médio foi de 113,6 mg CaCO_3/L . Tanto a acidez quanto o pH do efluente desta unidade dependem muito das reações que ocorrem no biodigestor e das intempéries climáticas.

Na esterqueira 1 o pH médio foi de 7,24. Esta esterqueira apresentou um pH mínimo de 6,71 e um limite máximo de 7,67. Quanto a acidez total da esterqueira 1, seu valor médio foi de 268,6 mg CaCO_3/L . O efluente desta esterqueira não passa por um sistema digestor, é apenas recalcado da unidade de homogeneização. Sua acidez total permaneceu acima da

média no início e diminuiu no fim do monitoramento. Contudo, esta acidez é normal, já que os dejetos suínos possuem acidez natural. As variações destes parâmetros devem ser resultantes das constantes cargas orgânicas advindas da unidade de homogeneização, das variações de temperatura, das intempéries climáticas, além do processo de fermentação do efluente que ocorria naturalmente dentro da unidade.

6.3.3 Potencial redox (Eh)

De forma geral os resultados obtidos para o potencial redox estão apresentados na Tabela 25 e no gráfico da Fig. 23.

O potencial redox das amostras coletadas na unidade de homogeneização manteve-se sempre positivo, ou seja, foi influenciado pela presença ou ausência de oxigênio no meio. O valor médio para esta unidade foi de +32,1 mV. Os valores positivos constatados indicam ambiente de oxidação.

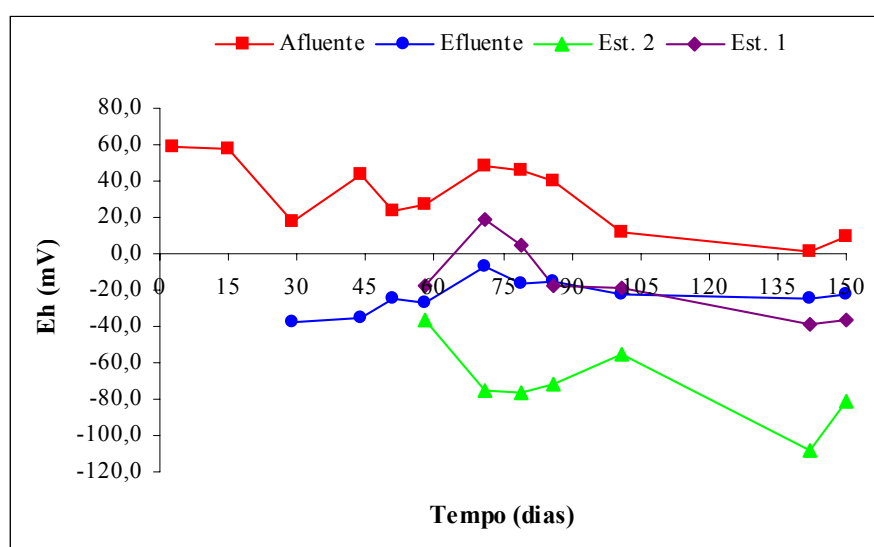


Figura 23: Comportamento do potencial redox (Eh) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Para o biodigestor, o potencial de oxiredução, como também pode ser chamado, apresentou valores negativos durante todo período da pesquisa, variando de -6,5 mV a -38,0 mV. O valor médio foi de -23,3 mV. Estes valores indicam baixo grau de anaerobiose e são pouco representativos se comparados aos da literatura consultada, que indica valores de potencial redox inferiores a -300 mV para uma ótima performance da digestão anaeróbia. No

entanto, os valores negativos obtidos para o Eh indicam ambiente de redução, portanto, favorável ao processo de digestão anaeróbia e à produção de biogás. Isto se confirma, já que o biodigestor apresentou produção mensurável de biogás.

A esterqueira 2, se comparada ao biodigestor, apresentou um Eh mais redutor. O potencial redox médio foi de -72,4 mV. Esteve numa faixa entre -37,0 mV e -108,8 mV, como pode ser visto no gráfico da Fig. 23. Acredita-se que estes valores são resultantes de camadas ou regiões internas ao biodigestor, com diferentes características, onde estariam ocorrendo reações com um potencial redutor mais adequado para digestão anaeróbia, embora não se tenha constatado através dos resultados obtidos. Neste sentido, a esterqueira 2 estaria recebendo influência deste meio redutor, pois é responsável por armazenar o efluente advindo do biodigestor.

Na esterqueira 1 o Eh variou de +18,6 mV a -39,2 mV. O Eh médio foi de -15,1 mV. Os resultados positivos do início demonstram que o meio sofreu influência do oxigênio, mas como os dejetos sofrem fermentação natural dentro desta unidade, no decorrer e até o fim da pesquisa os resultados indicaram o meio como redutor.

O despreendimento de odor ligado a presença de H₂S é verificado em potencial de oxidação ao redor de +150 mV/H₂, conforme La Planche (1992 apud BELLI F^o, 1995). Dentre os resultados obtidos, os da unidade de homogeneização se mostraram mais oxidantes, no entanto, não foi constatado odor expressivo nas unidades de tratamento e armazenamento implantadas.

6.3.4 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio foi monitorada desde o primeiro dia de alimentação do sistema. O gráfico da Fig. 24 mostra os resultados obtidos ao longo da pesquisa. As concentrações médias, assim como as eficiências médias de remoção deste parâmetro, para as unidades do sistema, estão, respectivamente, nas Tabelas 25 e 26.

Para os dejetos brutos, armazenados na unidade de homogeneização, a DBO₅ média foi de 21.300 mg O₂/L. No decorrer da pesquisa este parâmetro apresentou três patamares distintos, com valores crescentes, e aos 101 dias de funcionamento do sistema apresentou um patamar máximo, chegando a uma concentração de 45.200 mg O₂/L. Este incremento nas concentrações de DBO₅ se deu após a implantação dos bebedouros ecológicos (Fig. 24).

A degradabilidade de um resíduo orgânico pode ser definida por sua relação DBO_5/DQO (ROUSSEAU, 1993, apud GOSMANN, 1997). Com base nesta literatura e considerando os resultados médios obtidos, mostrados na Tabela 25, pode-se afirmar que os dejetos brutos são classificados como um resíduo fermentável, no entanto, necessitam da ajuda de fontes selecionadas de microorganismos, em virtude de sua relação média DBO_5/DQO ser da ordem de 0,49/1, ou seja, $DBO_5/DQO \geq 0,2$ e $\leq 0,6$. Apesar disso, o resíduo mostrou-se altamente biodegradável dos 40 aos 60 dias de monitoramento, pois apresentou uma relação $DBO_5/DQO \geq 0,6$.

É importante salientar que o manejo adotado na propriedade, bem como as características dos dejetos influenciam em sua biodegradabilidade. A grande presença de fibras, entre outros compostos, que não são digeridos ou absorvidos pelo sistema digestivo dos suínos, acabam por classificar o efluente como de difícil degradabilidade. No entanto, acredita-se que este resíduo, mesmo em condições climáticas adversas, possui uma ótima biodegradabilidade, pois a eficiência média de remoção de DBO_5 , por parte do biodigestor, foi de 92,2%, com uma DBO_5 média efluente de 1.663 $mg\ O_2/L$.

Em face das altas cargas orgânicas e do TRH adotado, e considerando o curto prazo de funcionamento do biodigestor, o processo de digestão anaeróbia foi bastante eficiente na remoção da fração orgânica ao longo do período de estudo.

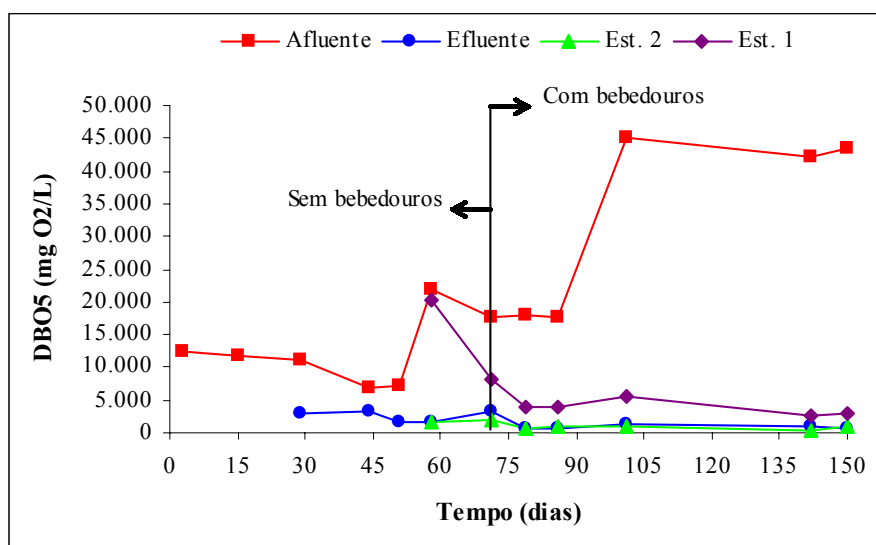


Figura 24: Comportamento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) ao longo do período de monitoramento do sistema.

A DBO₅ média do efluente da esterqueira 2 foi de 1.011 mg O₂/L. A eficiência média de remoção da matéria orgânica biodegradável por esta unidade, em relação ao biodigestor, foi de 39,2%, no entanto, se considerarmos a linha de tratamento 2 (Biod. + Est. 2) como um todo, a remoção foi bem mais expressiva, atingindo os 95,3% de eficiência.

Já a esterqueira 1, que recebe os dejetos da unidade de homogeneização, apresentou DBO₅ média de 6.750 mg O₂/L, com uma eficiência média de remoção de 68,3%, menos significativa que as demais, mas não menos importante. Os resultados mostrados no gráfico da Fig. 24 e as altas eficiências médias de remoção demonstram que as unidades de tratamento e armazenamento estavam cumprindo com seu papel, que é o de remover biologicamente a matéria orgânica.

6.3.5 Demanda química de oxigênio (DQO)

Em diferentes proporções, a DQO apresentou um comportamento semelhante ao da DBO₅. Os resultados obtidos podem ser vistos no gráfico da Fig. 25.

A unidade de homogeneização, responsável por armazenar os dejetos brutos que são utilizados no processo de alimentação do sistema de tratamento e armazenamento, apresentou uma concentração média de DQO de 43.368 mg/L. Segundo os dados obtidos ao longo da pesquisa, a concentração mínima foi de 10.745 mg/L e a máxima de 105.810 mg/L. A carga orgânica média dos dejetos brutos, durante a fase de funcionamento, foi de aproximadamente 86,7 Kg DQO/dia para a vazão constante de 2,0 m³/dia. Além disso, a carga orgânica aplicada, em termos de DQO, sofreu variações de 21,5 a 211,6 Kg DQO/dia. Estas variações são o reflexo das melhorias no processo de manejo dos suínos na propriedade, resultantes da implantação dos bebedouros ecológicos (Fig. 25).

Analisando os resultados médios obtidos na Tabela 25, bem como as eficiências médias de remoção apresentadas na Tabela 26, pode-se afirmar que a degradação dos dejetos, em termos de DQO foi bastante satisfatória. A DQO média efluente, com 3.411 mg O₂/L demonstra bem isso, pois a remoção média por parte do biodigestor foi de 92,1% com um TRH de 45 dias. A DQO efluente apresentou um patamar máximo de 8.243 mg/L, na primeira coleta aos 29 dias da partida do biodigestor, e um patamar mínimo de 1.243 mg/L aos 150 dias de acompanhamento do sistema. Esta variação descendente dos resultados indica uma evolução gradativa no processo de estabilização do sistema. Portanto, diante dos resultados

obtidos, acredita-se que a digestão anaeróbia, por meio de oxidação bioquímica, tenha sido a responsável pela remoção de grande parte da matéria orgânica que adentrou o biodigestor.

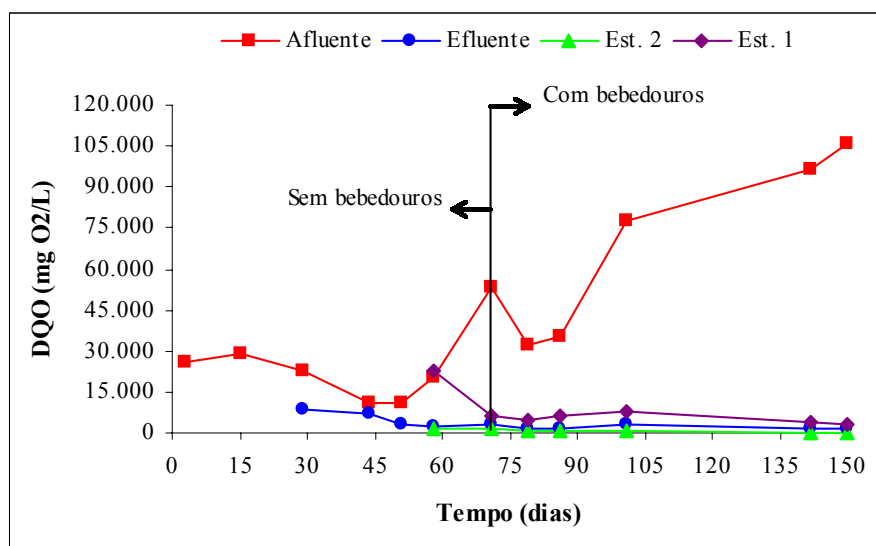


Figura 25: Comportamento da demanda química de oxigênio (DQO) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Através do gráfico da Fig. 25, percebemos que a esterqueira 2 contribuiu ainda mais na oxidação da matéria orgânica restante do biodigestor. De acordo com os dados da Tabela 25, durante o período de estudo, a DQO média nesta unidade foi de 953 mg/L, inferior a DBO₅ média de 1.011 mg/L. Geralmente, as concentrações de DQO são superiores as de DBO₅. No entanto, neste caso, a DBO₅ média foi superior a DQO média da esterqueira 2. Esta pequena diferença de concentrações ocorreu, provavelmente, porque a eficiência média de remoção de 72,1% de DQO foi superior a de 39,2% de DBO₅, segundo os dados da Tabela 26.

Se considerarmos a linha de tratamento 2 (Biod. + Est. 2) como uma única unidade, esta obteve uma remoção média de 97,8%. O objetivo desta linha de tratamento é dirimir o poder poluente do efluente, logo, diante da última DQO da esterqueira 2, de 102 mg O₂/L, referente a uma eficiência de remoção da ordem de 99,9% em relação aos dejetos brutos, pode-se afirmar que o efluente alcançou condições adequadas para ser lançado no solo.

A esterqueira 1 apresentou DQO média de 7.947 mg O₂/L. Em diferentes proporções, a curva da DQO para este efluente é semelhante a curva de DQO do efluente da esterqueira 2. As variações da DQO na esterqueira 1 não foram tão expressivas quanto à dos dejetos brutos,

mas diminuíram de 22.870 mg/L para 3.299 mg/L. Sua eficiência média se mostrou muito eficiente, com 81,7% de remoção.

O sistema de tratamento proposto, além de impactos positivos na esfera ambiental, tem apresentado boas eficiências médias de remoção em face da tecnologia implantada. Além do biodigestor, as esterqueiras também demonstraram processos gradativos de remoção da matéria orgânica carbonácea, apresentando altas concentrações de DQO no início do funcionamento e mais baixas no fim da pesquisa.

A literatura consultada recomenda que os dejetos de suínos permaneçam armazenados em esterqueiras por 120 dias, período previsto para a degradação e estabilização da matéria orgânica e para a preservação de seu poder fertilizante, ou seja, somente depois deste período, os dejetos poderiam ser utilizados como biofertilizante para o solo. Conforme o sistema operacional proposto nesta pesquisa, as esterqueiras 1 e 2 requeriam tempos de armazenamento maiores que 4 meses, ou seja, 120 dias para a esterqueira 1 e 180 dias para a esterqueira 2. Na prática, os dejetos deveriam permanecer armazenados nas respectivas unidades, até o fim desta pesquisa no caso da esterqueira 1 e 60 dias mais, além do período de pesquisa, para esterqueira 2. No entanto, os tempos de armazenamento propostos não foram respeitados, pois, em virtude da necessidade, o produtor frequentemente utilizava os dejetos armazenados, como biofertilizante, para adubação das lavouras. Isto ocorreu várias vezes durante o período de monitoramento das unidades.

Apesar disso, o processo de armazenamento por parte das esterqueiras apresentou eficiências de remoção muito relevantes. Sendo assim, é possível que o sistema implantado tenha alcançado os objetivos traçados, ou seja, dirimir os impactos ambientais causados e valorizar os dejetos de suínos como biofertilizante.

6.3.6 Sólidos totais (ST)

Analisando as Tabelas 25 e 26, relativas às concentrações médias e eficiências médias de remoção de sólidos totais (fixos + voláteis) do sistema, juntamente com os perfis do gráfico da Fig. 26, relativos aos resultados obtidos e ao comportamento dos sólidos analisados no decorrer da pesquisa, observa-se que o sistema de tratamento e armazenamento implantado respondeu por altas remoções das cargas orgânicas aplicadas.

A carga orgânica média dos dejetos brutos, durante a fase de funcionamento, foi de aproximadamente 72,2 Kg ST/dia para a vazão adotada de 2,0 m³/dia. Segundo os dados

obtidos ao longo da pesquisa, a concentração média de ST foi de 36.110 mg/L e as concentrações mínima e máxima foram de 6.860 mg/L e 102.792 mg/L, respectivamente. A carga orgânica aplicada sofreu variações de 13,7 a 205,6 Kg ST/dia. Estas variações ocorreram devido às melhorias no processo de criação e manejo dos suínos, com a implantação dos bebedouros ecológicos, acarretando em modificações nas características dos dejetos suínos, armazenados na unidade de homogeneização, ao longo do período de acompanhamento do sistema.

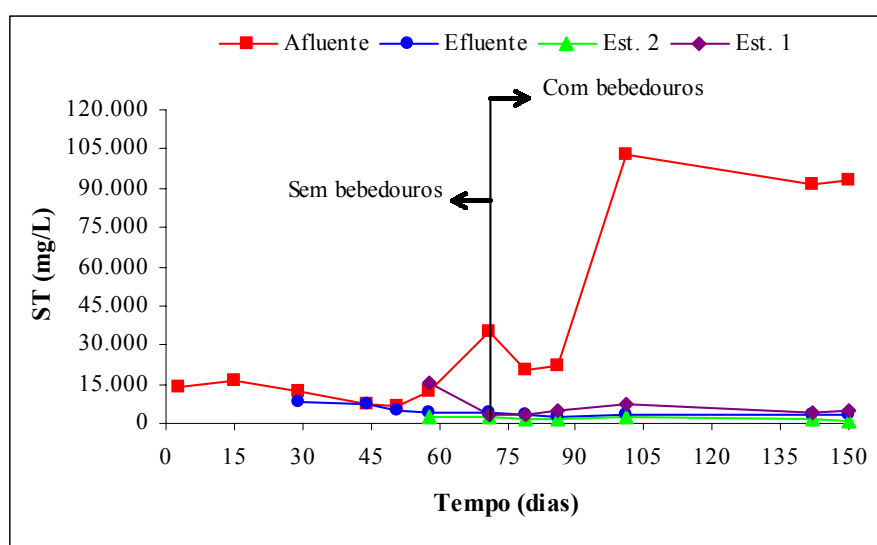


Figura 26: Comportamento dos sólidos totais (ST) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Andreadakis (1992), em seus estudos, observou uma redução de aproximadamente 40% em termos de ST para dejetos de suínos utilizando digestores anaeróbios. Já, nesta pesquisa, o biodigestor apresentou eficiência média de remoção dos ST de 88,1%. A concentração média de ST do efluente desta unidade foi de 4.305 mg/L. De acordo com os perfis afluente e efluente da Fig. 26, podemos perceber que no início a remoção de ST era baixa, entretanto, no decorrer do monitoramento esta remoção de sólidos aumentou, expressivamente, em relação aos dejetos brutos. Esta remoção dos ST é atribuída, principalmente, a biodegradação anaeróbia dos sólidos totais voláteis dentro do reator.

O efluente da esterqueira 2 apresentou uma concentração média de ST de 1.919 mg/L. A eficiência média de remoção destes sólidos, em relação ao biodigestor, foi de 55,4%. No entanto, se considerarmos a eficiência média de remoção da esterqueira 2 em relação a unidade de homogeneização, foi mais representativa, atingindo 94,7% de eficiência.

As eficiências médias de remoção do biodigestor e da esterqueira 2 se devem, parcialmente, ao processo físico de sedimentação dos sólidos que estão presentes no meio líquido. Na esterqueira 1 não foi diferente. Apresentou uma concentração média de ST de 6.200 mg/L e sua eficiência média de remoção em relação aos dejetos brutos, foi um pouco menor, alcançou 82,8% de eficiência.

Levando em consideração os valores de ST dos dejetos brutos, superiores aos da literatura consultada, pode-se afirmar que as eficiências médias de remoção, obtidas neste período de estudo, foram bastante satisfatórias.

6.3.7 Sólidos totais fixos (SF)

Durante o período de monitoramento do sistema implantado e de acordo com os resultados obtidos, a evolução dos sólidos totais fixos foi semelhante a dos ST, todavia, em diferentes concentrações. Os resultados médios, bem como as eficiências médias de remoção dos SF, podem ser vistos nas Tabelas 25 e 26, respectivamente. O gráfico da Fig. 27 apresenta a evolução deste parâmetro para as diferentes unidades que compõe o sistema implantado.

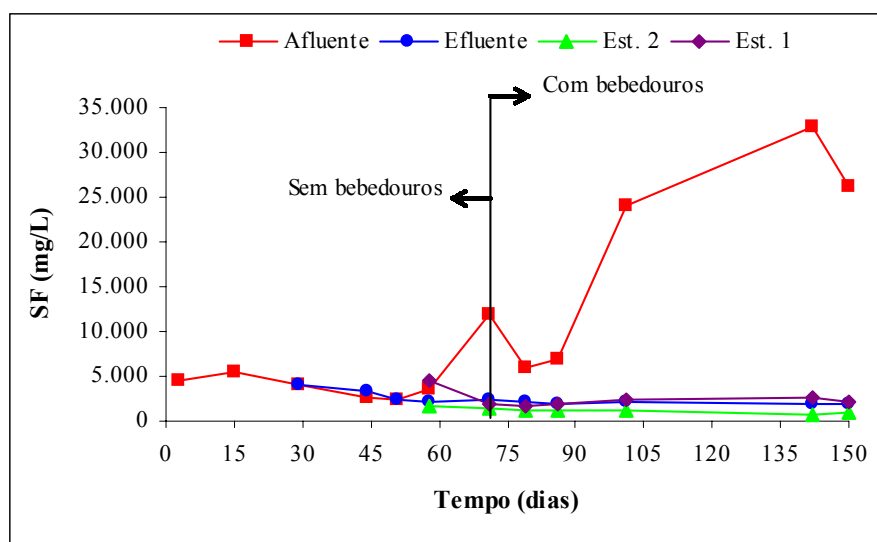


Figura 27: Comportamento dos sólidos totais fixos (SF) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Para os dejetos brutos, armazenados na unidade de homogeneização, a concentração média de SF foi de 10.880 mg/L. No decorrer desta pesquisa este parâmetro apresentou uma

concentração mínima de 2.398 mg/L e uma concentração máxima de 32.809 mg/L. Este incremento nos SF resultou da implantação dos bebedouros ecológicos.

Segundo a literatura consultada, os sólidos fixos representam 30% dos sólidos totais presentes nos dejetos brutos, sendo os 70% restantes sólidos voláteis. Após a digestão anaeróbia esta composição muda para 50% para ambos os sólidos.

Acredita-se que este resíduo, apesar de difícil degradação, é parcialmente degradado pelo processo de digestão anaeróbia, pois a eficiência média de remoção de SF, por parte do biodigestor, foi de 78%, com uma concentração média de SF efluente de 2.398 mg/L.

A concentração média de SF, para o efluente da esterqueira 2, foi de 1.202 mg/L. A eficiência média de remoção desta fração de sólidos, em relação ao efluente do biodigestor, foi de 49,9%. Já a eficiência de remoção, em relação aos dejetos brutos, foi um pouco maior, apresentou 89% de eficiência.

A esterqueira 1 apresentou uma concentração média de SF de 2.481 mg/L e a eficiência média de remoção desta unidade em relação aos dejetos advindos da unidade de homogeneização, foi semelhante a eficiência média do biodigestor, alcançando 77,2%.

Estas eficiências médias de remoção dos SF se devem, principalmente, ao processo físico de sedimentação dos sólidos, não degradados, que estão presentes no meio líquido.

6.3.8 Sólidos totais voláteis (SV)

Analisando os resultados obtidos nas Tabelas 25 e 26, relativos às concentrações médias dos sólidos voláteis e a eficiência na degradação dos dejetos, nas unidades estudadas, juntamente com os perfis do gráfico da Fig. 28, constata-se que o sistema apresentou bom desempenho ao longo dos dias de operação.

Na Fig. 28 estão plotados os resultados obtidos para SV no decorrer desta pesquisa. Os perfis apresentados, em diferentes proporções, são muito semelhantes aos perfis de ST. Pode-se observar que a concentração de SV afluente apresentou um patamar mínimo de 4.462 mg/L e um patamar máximo de 78.661 mg/L. A concentração média de SV para os dejetos brutos foi de 25.230 mg/L. O aumento da concentração de SV, nos dejetos brutos, foi consequência da implantação dos bebedouros ecológicos.

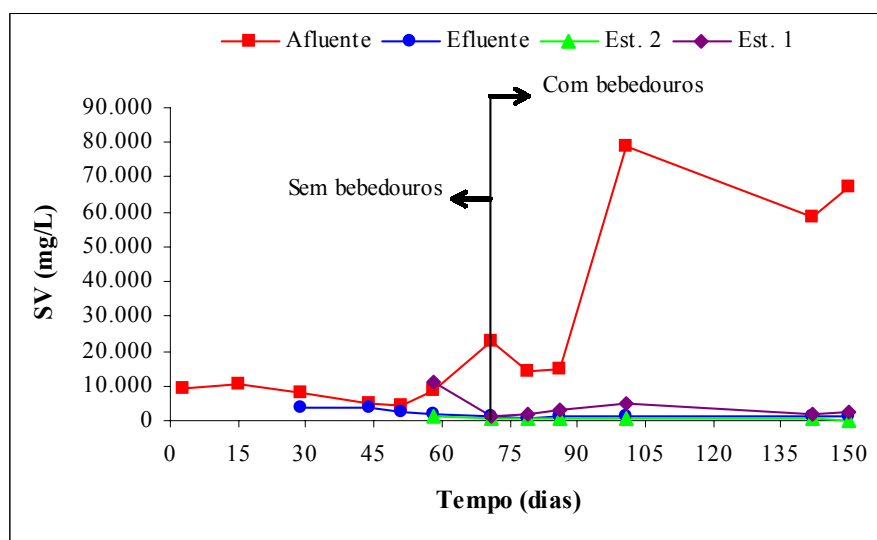


Figura 28: Comportamento dos sólidos totais voláteis (SV) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Através dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a degradação dos dejetos, em termos de SV, foi bastante satisfatória. A concentração média de SV efluente, com 1.907 mg/L, demonstra bem isso, pois a eficiência média de remoção por parte do biodigestor foi de 92,4% com um TRH adotado de 45 dias. Além do tempo de retenção, a remoção de SV efluente se deve ao processo de hidrólise e a liquefação do meio durante a digestão anaeróbia que ocorre dentro do biodigestor. Perdomo (1999), recomenda para fins de volume, um tempo de retenção de 45 dias. Segundo o mesmo autor, o tempo de retenção dos dejetos suínos para redução dos SV, no sul do Brasil, varia em função da temperatura.

A esterqueira 2 demonstra através dos resultados obtidos ter contribuído ainda mais na diminuição da fração orgânica de SV resultantes do biodigestor. A concentração média de SV nesta unidade foi de 717 mg/L e a remoção média foi de 62,4%. Se considerarmos a linha de tratamento 2 (Biod. + Est. 2) como uma única unidade, esta obteve uma remoção média de 97,2% em relação aos dejetos brutos que alimentaram o sistema.

Observando a remoção de SV por parte da esterqueira 1, constata-se que a unidade obteve resultados satisfatórios. Com uma concentração média de 3.719 mg/L, a eficiência média de remoção foi de 85,3%.

Os resultados obtidos demonstram que a maior parcela dos sólidos presentes no sistema são SV, ou seja, de mais fácil biodegradabilidade.

6.3.9 Sólidos sedimentáveis

A implantação dos bebedouros ecológicos foi uma das modificações mais representativas na propriedade estudada, pois, além de alterar a qualidade dos dejetos, resultou em um expressivo aumento de volume dos sólidos sedimentáveis (Fig. 29). Este aumento foi sensivelmente percebido na unidade de homogeneização, que serve como unidade de armazenamento dos dejetos brutos antes de ser recalcado para alimentar as unidades do sistema implantado.

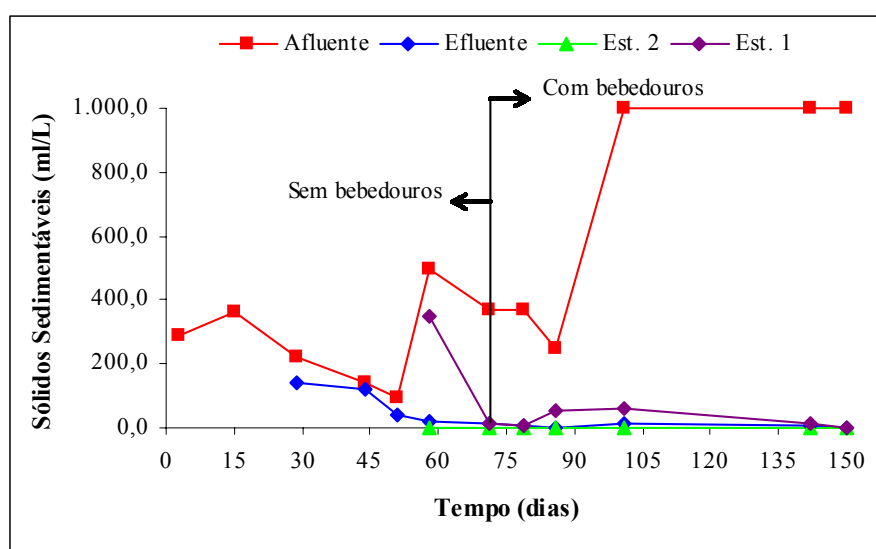


Figura 29: Comportamento dos sólidos sedimentáveis ao longo do período de monitoramento do sistema.

Os bebedouros ecológicos foram instalados aos 71 dias de acompanhamento do sistema e resultaram em uma enorme redução dos desperdícios de água nas unidades de criação dos suínos. Com isso, houve um aumento gradativo da concentração de sólidos no afluente que resultou num dejetos bruto menos diluído. Antes da modificação, este parâmetro chegou a apresentar um patamar mínimo de 94 ml/L, depois, de forma ascendente este valor chegou ao seu patamar máximo, com 1.000 ml/L. Ao longo do período de estudo o perfil afluente apresentou um valor médio de 466,2 ml/L (Tabela 25).

Para o biodigestor, bem como para as duas esterqueiras do sistema implantado, os sólidos sedimentáveis apresentaram baixos valores se comparados aos dejetos brutos, portanto, indicando ser um parâmetro pouco representativo.

6.3.10 Nitrogênio total kjeldahl (NTK)

A fração de nitrogênio total (NT) é formada pelas frações de NTK, nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-). Nesta pesquisa o estudo é voltado ao NTK que é formado pela amônia e pelo nitrogênio orgânico. Nos dejetos de suínos, as formas predominantes são o nitrogênio orgânico e a amônia. Estes dois, conjuntamente, são determinados em laboratório pelo método Kjeldahl, constituindo o assim denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK). As demais formas de nitrogênio são usualmente de maior importância em sistemas terciários de tratamento de dejetos de suínos.

Os resultados médios, bem como as eficiências médias de remoção do NTK, podem ser vistos nas Tabelas 25 e 26, respectivamente. O gráfico da Fig. 30 apresenta a evolução deste parâmetro para as diferentes unidades que compõe o sistema implantado.

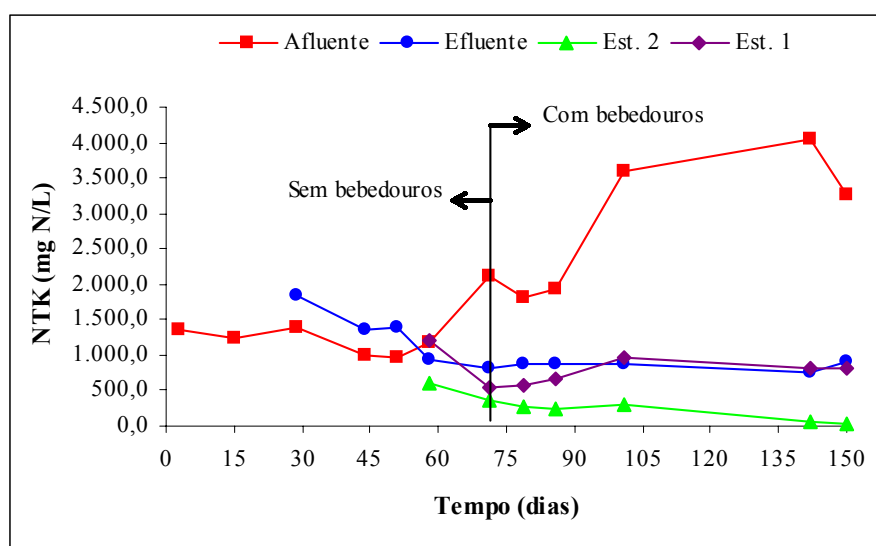


Figura 30: Comportamento do nitrogênio total kjeldahl (NTK) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Para os dejetos brutos, armazenados na unidade de homogeneização, a concentração média de NTK foi de 1.990,3 mg N/L. No decorrer da pesquisa este parâmetro apresentou um comportamento instável. Aos 51 dias do acompanhamento apresentou um patamar mínimo de 980 mg N/L e aos 142 dias de funcionamento do sistema apresentou seu patamar máximo, chegando a uma concentração de 4.032 mg N/L. Este incremento na concentração de NTK dos dejetos brutos foi resultante da implantação dos bebedouros ecológicos.

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994), no esgoto bruto, freqüentemente, uma fração de 25% do NTK afluyente é nitrogênio orgânico que, no tratamento biológico, é mineralizado quase que completamente. Isto ocorre devido a amonificação, uma reação de hidrólise, que gera aumento da concentração de amônia e, por conseguinte torna o efluente mais alcalino.

Durante a fase inicial de monitoramento do biodigestor, as concentrações de NTK efluente foram superiores as concentrações de NTK dos dejetos brutos (Fig. 30). Conforme o processo mencionado por Van Haandel & Lettinga (1994), acredita-se que estes resultados iniciais são o reflexo da amonificação do meio durante o processo de digestão anaeróbia. A concentração média de NTK efluente foi de 1.062,6 mg N/L. A eficiência média de remoção deste nutriente por parte do biodigestor foi baixa, da ordem de 46,6% com um TRH de 45 dias. No entanto, no período final da pesquisa, a remoção de NTK aumentou e constataram-se eficiências acima de 75%.

Os resultados obtidos com a esterqueira 2 denotam ter contribuído ainda mais na diminuição da fração nitrogenada resultante do biodigestor. A concentração média de NTK foi de 268 mg N/L e a eficiência média de remoção, por esta unidade, foi de 74,8%. Se considerarmos a linha de tratamento 2 (Biod. + Est. 2) como uma única unidade, esta obteve uma eficiência média de remoção de 86,5%, em relação a concentração de NTK dos dejetos brutos que alimentaram o sistema.

Na esterqueira 1, a eficiência média de remoção de NTK, da ordem de 59,8%, foi pouco relevante. Sua concentração média de NTK foi de 800 mg N/L. Estes resultados demonstram que as esterqueiras estão cumprindo com seu papel, ou seja, reduzindo boa parte do potencial poluidor advindo da fração nitrogenada e agregando valor aos dejetos de suínos, como biofertilizante, em virtude da presença deste nutriente tão essencial para o solo.

6.3.11 Nitrogênio amoniacal

A concentração de nitrogênio amoniacal em um efluente é muito importante para a avaliação de um sistema de tratamento. Este parâmetro foi monitorado em todas as unidades do sistema implantado. Os perfis do gráfico da Fig. 31 mostram os resultados obtidos ao longo da pesquisa. As concentrações médias, assim como as eficiências médias de remoção deste parâmetro, para as unidades do sistema, estão, respectivamente, nas Tabelas 25 e 26.

Os dejetos brutos, utilizados no processo de alimentação do sistema, apresentaram uma concentração média de nitrogênio amoniacal de 625,3 mg NH₃-N/L. Aos 71 dias de acompanhamento do sistema, no dia em que foram instalados os bebedouros ecológicos, a concentração de nitrogênio amoniacal foi mínima, apresentando 336 mg NH₃-N/L. A partir desta data, o nitrogênio amoniacal apresentou um comportamento ascendente chegando em uma concentração máxima de 1.232 mg NH₃-N/L, aos 142 dias, segundo os dados obtidos ao longo da pesquisa.

A grande variação dos teores de nitrogênio amoniacal, também ocorrida com o NTK, entre outros parâmetros, durante o decorrer desta pesquisa, foi resultante das características heterogêneas dos dejetos brutos acrescentados às unidades do sistema, o que era esperado em função das melhorias no processo de manejo dos suínos na propriedade.

O biodigestor, ao longo da pesquisa, apresentou eficiência média de remoção de nitrogênio amoniacal da ordem de -23,1%, ou seja, se avaliarmos globalmente o período da pesquisa, pode-se afirmar que estaria havendo acúmulo de nitrogênio dentro do reator. Se considerarmos ainda a concentração média de nitrogênio amoniacal no efluente desta unidade, 770 mg NH₃-N/L, a afirmação é mais verdadeira. Isto pode ter sido causado pelas altas concentrações de nitrogênio no inóculo utilizado para dar partida no biodigestor.

Acredita-se, no entanto, que parte deste aumento, no interior do reator, seja resultado da amonificação do sistema, pois, conforme Zhang & Day (1996 apud GOSMANN, 1997), durante a fermentação, a amônia é formada devido à liberação de nitrogênio dos compostos orgânicos, sendo grande parte formada no fundo, onde os sólidos estão depositados.

Na digestão anaeróbia a amônia está na forma iônica NH₄⁺, porque o pH está ao redor de 7,0, sendo a forma gasosa inibidora a uma concentração menor que na forma iônica. Para concentrações acima de 150 mg NH₃/L ocorre inibição da digestão, igualmente, em concentrações de nitrogênio amoniacal acima de 1.500 mg/L e pH maior que 7,5, a amônia pode se tornar inibidora (OLIVEIRA *et al*, 1993). Neste estudo, o nitrogênio amoniacal mostrou uma tendência cumulativa dentro do biodigestor. No entanto, como o pH efluente esteve abaixo de 7,5, a amônia não foi inibidora do processo de metanogênese, já que houve produção de biogás. Além disso, o nitrogênio que não foi removido ou acumulado no reator, pode ter se volatilizado na unidade de armazenamento da linha de tratamento 2.

No período final do estudo, o reator apresentou eficiências positivas de remoção de amônia, pois as concentrações do efluente reduziram. Possivelmente isto ocorreu em virtude de um processo temporário de relargagem de nitrogênio pelo biodigestor.

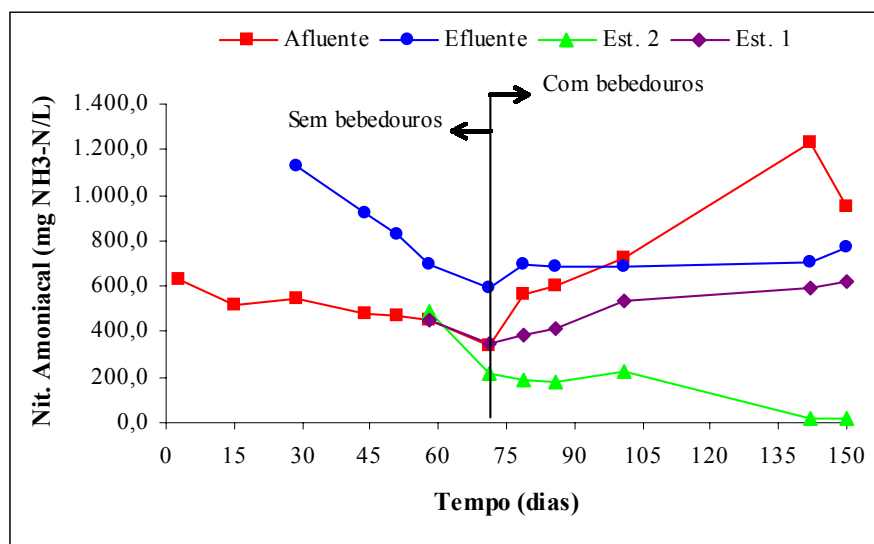


Figura 31: Comportamento do nitrogênio amoniacal ao longo do período de monitoramento do sistema.

O efluente da esterqueira 2 apresentou uma concentração média de nitrogênio amoniacal de 191,2 mg NH₃-N/L. A eficiência média de remoção desta amônia, em relação ao efluente advindo do biodigestor, foi de 75,2%. Em relação ao efluente do biodigestor esta remoção se manteve estável e eficiente. No entanto, se considerarmos a eficiência média de remoção da esterqueira 2 em relação a unidade de homogeneização, foi menos representativa, chegando aos 69,4% de eficiência.

De acordo com o perfil do efluente da esterqueira 2 (Fig. 31), podemos perceber no decorrer do monitoramento que a remoção de nitrogênio aumentou significativamente em relação aos dejetos brutos.

De acordo com a literatura consultada, a amônia existe em solução tanto na forma de íon amônio (NH₄⁺) como na forma livre, não ionizada (NH₃). O aumento do pH e o aumento da temperatura contribuem para a elevação da fração não ionizada (NH₃) e para a redução da fração ionizada (NH₄⁺). Na faixa usual de pH, próxima à neutralidade, a amônia apresenta-se praticamente na forma ionizada (NH₄⁺). No pH próximo a 9,5, aproximadamente 50% da amônia está na forma de NH₃ e 50% na forma de NH₄⁺. A amônia livre (NH₃) é passível de

volatilização, ao passo que a amônia ionizada não pode ser removida por volatilização. Isto tem importantes conseqüências ambientais, pois a amônia livre é tóxica aos peixes em baixas concentrações, no caso de lançamentos em corpos hídricos.

Sendo assim, o pH médio de 8,27 do efluente da esterqueira 2 confirma a maior presença de amônia livre (NH_3). Logo, a remoção de nitrogênio amoniacal desta unidade é atribuída principalmente à volatilização da amônia, ou seja, ao processo de desprendimento da amônia para a atmosfera.

Esta teoria também foi verificada no estudo de Sezerino (2002), onde dos 32% de remoção de NH_4^+ -N ocorridos entre as lagoas facultativa e aerada, grande parte desta remoção deu-se por meio da nitrificação e através da volatilização da amônia com pH superior a 8,0.

A esterqueira 1 apresentou concentração média de nitrogênio amoniacal de 476,8 mg NH_3 -N/L. Em diferentes proporções, a curva de nitrogênio para este efluente é semelhante a curva de nitrogênio amoniacal do efluente do biodigestor. A eficiência média de remoção por parte da esterqueira 1, da ordem de 23,8%, não foi muito relevante. As variações deste parâmetro estão relacionadas ao aumento da concentração de amônia no efluente desta unidade. Considerando que o pH da esterqueira 1 foi superior a 7,5 no final da pesquisa, pode-se afirmar que uma parcela muito pequena do nitrogênio orgânico foi mineralizada.

Com base na literatura consultada e sabendo que após o armazenamento os efluentes são lançados no solo, quando se utilizam técnicas de aplicação com aspersores de baixa pressão, é possível obterem-se reduções de nitrogênio entre 5 e 40%, dependendo da taxa de evaporação, pois as perdas por volatilização da amônia são muito variáveis (U.S. EPA, 1977). De acordo com Khalid *et al.* (1978), a volatilização da amônia durante o escoamento dos efluentes ao longo do terreno é inferior a 5%.

No final da pesquisa, analisando as concentrações de nitrogênio nas esterqueiras, no que tange a agricultura, acredita-se que os efluentes agregaram valor como biofertilizantes, pois, grande parte deste nutriente se encontra na forma de amônia, ou seja, forma esta capaz de ser absorvida pelas plantas, quando da aplicação dos efluentes nas lavouras.

Diante dos resultados alcançados e da literatura consultada, pode-se afirmar que as unidades de tratamento e armazenamento apresentaram um comportamento satisfatório diante das altas frações nitrogenadas acrescentadas ao sistema.

6.3.12 Fósforo total (P)

Analisando os resultados obtidos nas Tabelas 25 e 26, relativos às concentrações médias de fósforo total e as eficiências médias de remoção deste, nas unidades estudadas, juntamente com os perfis do gráfico da Fig. 32, constata-se que o sistema apresentou um desempenho satisfatório ao longo dos dias de monitoramento.

Na Fig. 32 estão plotados os resultados obtidos para fósforo total no decorrer desta pesquisa. Pode-se observar que a concentração de P afluyente apresentou variações de 240 mg/L até 1.757 mg/L. A concentração média de fósforo total para os dejetos brutos foi de 712,4 mg/L. A partir dos 71 dias de pesquisa, a concentração de fósforo total sofreu um sensível incremento, assim como ocorrido com outros parâmetros, devido à instalação dos bebedouros ecológicos nas unidades de criação dos suínos da propriedade.

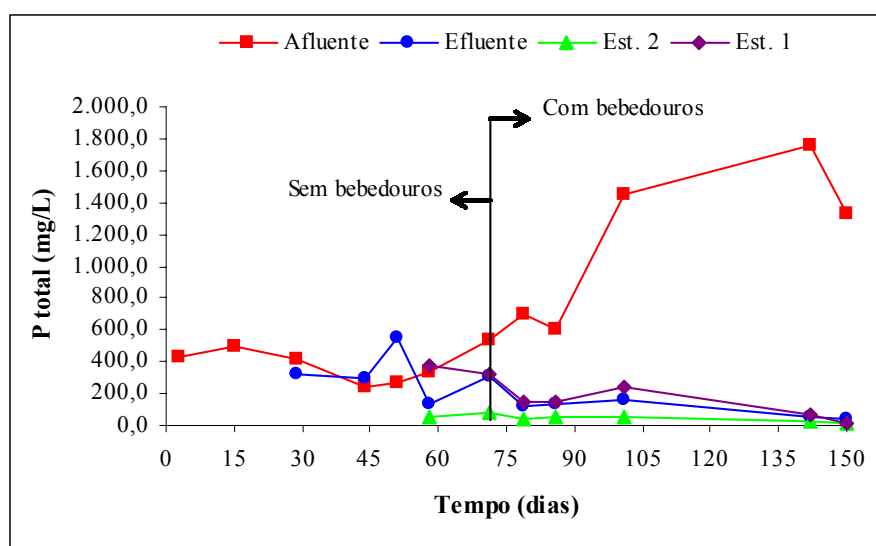


Figura 32: Comportamento do fósforo total (P) ao longo do período de monitoramento do sistema.

Segundo Converti *et al.* (1993), que trabalharam com reator de batelada aplicando efluente com elevados teores de fósforo, em condições anaeróbias ocorre a relargagem de fósforo pelas bactérias, sendo inibido no sistema com o aumento na concentração da DQO.

Diante destas constatações, acredita-se que este resíduo, apesar de difícil remoção, foi parcialmente degradado pelo processo de digestão anaeróbia. A concentração média de P efluente foi de 211,2 mg/L. Além disso, os resultados obtidos com o biodigestor também demonstram essa tendência, já que a eficiência média na remoção do fósforo total foi da

ordem de 70,4%. Esta sensível remoção se deve, principalmente, a sedimentação do fósforo junto com os sólidos que acabam no fundo do reator e, às vezes, devido a relargagem deste nutriente por algum desequilíbrio nas reações físico-químicas internas do sistema anaeróbio.

O efluente da esterqueira 2 apresentou uma concentração média de P de 47,9 mg/L. A eficiência média de remoção deste nutriente, em relação ao biodigestor, foi de 77,3%, no entanto, se considerarmos a eficiência média de remoção da esterqueira 2 em relação a unidade de homogeneização, foi mais representativa, chegando aos 93,3% de eficiência.

No caso da esterqueira 1, a eficiência média de remoção de P, da ordem de 73,5%, foi tão expressiva quanto a da unidade anterior. A concentração média de P, nesta unidade, foi de 188,9 mg/L. Não houve grandes oscilações na concentração deste nutriente na unidade.

Segundo a literatura consultada, o fósforo de dejetos suínos está em grande parte sob a forma de sais insolúveis, por isso, quase sua totalidade está nos sedimentos das esterqueiras.

No final da pesquisa, as performances obtidas demonstram que as esterqueiras reduziram boa parte da concentração de fósforo total presente nos dejetos de suínos. Além disso, as concentrações de fósforo foram semelhantes nas duas unidades de armazenamento. Isto significa que as duas unidades são análogas na preservação do poder biofertilizante em termos de fósforo total, nutriente essencial para o solo, sob o ponto de vista agrícola.

Parâmetros Analisados	Valores e Concentrações Médias*			
	Unidade de Homogeneização	Biodigestor	Esterqueira 2	Esterqueira 1
Temperatura – T (°C)	20,6	22,4	23,2	23,5
pH	6,60	7,39	8,27	7,24
Potencial Redox – Eh (mV)	+32,1	-23,3	-72,4	-15,1
Sólidos Sedimentáveis (ml/L)	466,2	36,0	1,1	71,3
Acidez Total – A _T (mg CaCO ₃ /L)	573,4	255,6	113,6	268,6
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	21.300	1.663	1.011	6.750
DQO (mg O ₂ /L)	43.368	3.411	953	7.947
Sólidos Totais – ST (mg/L)	36.110	4.305	1.919	6.200
Sólidos Totais Fixos – SF (mg/L)	10.880	2.398	1.202	2.481
Sólidos Totais Voláteis – SV (mg/L)	25.230	1.907	717	3.719
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	625,3	770,0	191,2	476,8
Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK (mg N/L)	1.990,3	1.062,6	268,0	800,0
Fósforo Total – P (mg/L)	712,4	211,2	47,9	188,9

Tabela 25: Valores e concentrações médias dos parâmetros físico-químicos analisados em cada unidade do sistema de tratamento e armazenamento implantado.

* Valores e concentrações médias para o período de monitoramento do sistema.

Parâmetros Analisados	Eficiências Médias de Remoção (%)			
	Un. H. → Biod.	Biod. → Est. 2	Un. H. → Est. 1	Un. H. → Est. 2
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	92,2	39,2	68,3	95,3
DQO (mg O ₂ /L)	92,1	72,1	81,7	97,8
Sólidos Totais – ST (mg/L)	88,1	55,4	82,8	94,7
Sólidos Totais Fixos – SF (mg/L)	78,0	49,9	77,2	89,0
Sólidos Totais Voláteis – SV (mg/L)	92,4	62,4	85,3	97,2
Nitrogênio Amoniacal (mg NH ₃ -N/L)	-23,1	75,2	23,8	69,4
Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK (mg N/L)	46,6	74,8	59,8	86,5
Fósforo Total – P (mg/L)	70,4	77,3	73,5	93,3

Tabela 26: Eficiências médias de remoção (%) nas unidades do sistema de tratamento e armazenamento implantado.

Obs.: O sinal (-) significa que está ocorrendo acúmulo de nutrientes dentro do biodigestor.

6.4 Impactos ambientais positivos

Os principais impactos ambientais registrados na propriedade escolhida pelo projeto são positivos, ou seja, demonstram resultados benéficos ao meio ambiente, entre eles podemos citar os seguintes:

- ✓ Após a implantação dos bebedouros ecológicos em 11/11/2003, nas diversas dependências de criação dos animais, houve uma grande redução do volume de água produzido e por consequência menor perda por parte do suinocultor;
- ✓ Com a redução das perdas ou desperdícios de água, o dejetos produzido ficou menos diluído, logo, o biofertilizante produzido tem melhor qualidade;

A grande geração de dejetos associados ao manejo adequado do efluente possibilita o suinocultor não mais lançar dejetos de suínos no corpo hídrico. No entanto, o mais importante, é que a propriedade, seguindo normas de gestão ambiental sob supervisão e apoio da UFSC, através desta pesquisa, adequou-se aos padrões ambientais de tratamento e armazenamento visando dirimir os impactos ambientais advindos da atividade suinícola.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados mostraram bons resultados, reflexo do andamento positivo da pesquisa, frente ao problema sério de poluição e falta de planejamento ambiental que se apresentava na pequena propriedade avaliada na região suinícola de Braço do Norte – SC.

Diante das condições de estudo durante o período de monitoramento das unidades de tratamento e armazenamento de dejetos de suínos, as análises e discussões dos resultados obtidos nesta pesquisa, permitem concluir que:

- ✓ A temperatura do sistema não alcançou a faixa mesofílica neste estudo, ideal para que a digestão anaeróbia dos dejetos de suínos ocorresse com maior eficiência.
- ✓ O pH foi favorável, pois esteve dentro da faixa ideal aos microrganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia dentro do biodigestor.
- ✓ O potencial redox não é um parâmetro controlador na digestão anaeróbia, mas, não atingiu o valor ideal, pois, foi influenciado pela presença ou ausência de oxigênio no meio.
- ✓ Não há boa remoção de nitrogênio no processo de digestão anaeróbia, como já era esperado. Quanto ao armazenamento, a eficiência de remoção se deve principalmente a mineralização e volatilização do nitrogênio, devido ao nitrogênio ser o elemento que mais sofre transformações em um sistema anaeróbio.
- ✓ O fósforo é outro nutriente pouco removido durante o tratamento anaeróbio, pois permanece acumulado no lodo, no fundo das unidades de armazenamento, e o aumento na concentração da DQO, inibe o processo de “relargagem” desse nutriente.
- ✓ Os tempos de armazenamento propostos, de 120 dias (Est. 1) e 180 dias (Est. 2), não foram respeitados, pois, em virtude da necessidade, o produtor freqüentemente utilizava os dejetos armazenados, como biofertilizante, para adubação das lavouras. Isto ocorreu várias vezes durante o período de monitoramento das unidades. Mesmo assim, acredita-se que o período de 100 dias de funcionamento foi suficiente para apresentar um comportamento satisfatório, sob o ponto de vista agrícola, pois estas unidades agregaram valor aos efluentes como biofertilizantes, para aplicação nas lavouras.

- ✓ Apesar da produção diária de biogás por parte do biodigestor, o sistema ainda não está estável. Não é possível afirmar que o biodigestor tenha adquirido estabilidade com relação ao processo de digestão anaeróbia, pois o sistema passou por alguns problemas operacionais e os altos e baixos constatados, durante o monitoramento, por meio dos parâmetros físico-químicos analisados, demonstram que ajustes são necessários.

Assim como as fossas sépticas são sistemas descentralizados do ambiente urbano e considerados nichos proporcionais de mercado, os biodigestores, face às vantagens que apresentam, da mesma forma podem ser considerados sistemas redundantes e obrigatórios no âmbito rural. No caso específico do Brasil, mais que uma opção, conclui-se que a biodigestão se configura como importante vetor energético, capaz de fornecer os benefícios da energia térmica e elétrica às nossas zonas rurais.

O assunto tratado nesta pesquisa não é inédito, todavia, a pesquisa ora proposta tem caráter inovador no seu sentido aplicativo, pois se trata de um sistema de tratamento e armazenamento implantado em escala real e aplicado em condições reais, ou seja, para suprir as necessidades de armazenamento e dirimir os impactos ambientais resultantes da geração de dejetos de suínos em uma pequena propriedade suinícola.

Em virtude dos estudos anteriormente realizados, além desta pesquisa, pode-se concluir que esta tecnologia, como forma de tratar e armazenar dejetos de suínos e utilizá-los como biofertilizantes para as lavouras, está consolidada, faltando apenas um estudo de viabilidade sócio-econômica para pequenos suinocultores, os maiores interessados.

Por fim, esta pesquisa pode servir de referência, não somente pelos dados de suinocultura apresentados, mas, principalmente, por se tratar de um estudo em escala real que valoriza um efluente altamente poluidor, em face da partida e da operação de um sistema de tratamento e armazenamento. Espera-se que o trabalho represente uma contribuição real ao processo de desenvolvimento sustentável para a atividade suinícola e para o avanço da Engenharia Sanitária e Ambiental.

8 RECOMENDAÇÕES

No decorrer desta pesquisa, muito foi observado a respeito do comportamento do sistema implantado. Neste sentido e em virtude dos altos e baixos da operação e do funcionamento do sistema, se fazem necessárias algumas recomendações.

Estas recomendações têm por objetivo o melhoramento do processo anaeróbio, bem como da operação das unidades de tratamento e armazenamento implantadas na pequena propriedade. Visam também, o monitoramento contínuo, seja em campo ou em laboratório, através das amostras coletadas e das análises realizadas.

Visando a melhoria do processo de digestão anaeróbia no biodigestor, recomenda-se:

- ✓ Investigar o efeito da temperatura na eficiência do tratamento, através de estudos com variações controladas desse parâmetro, já que são registradas temperaturas baixas durante boa parte do ano na região;
- ✓ Investigar quais são os microorganismos responsáveis pelo processo de digestão anaeróbia dentro do biodigestor e como eles podem ser classificados mediante a temperatura prevalecente na região e dentro do reator;
- ✓ Controlar o pH, já que sua concentração e estabilidade são de fundamental importância para o bom andamento do processo;
- ✓ Avaliar qual o melhor TRH e qual a carga orgânica máxima que deve ser aplicada;
- ✓ Estimar a produção de lodo dentro do biodigestor e verificar a sua influência no processo de digestão anaeróbia;
- ✓ Definir a frequência de descartes de lodo;
- ✓ Investigar o processo de relargagem do nitrogênio e do fósforo, relacionando-os com o pH e com a temperatura nas diferentes estações do ano;
- ✓ Quantificar e qualificar o biogás produzido;
- ✓ Realizar análises de espectrometria voltadas à análise de Ácidos Graxos Voláteis, metano (CH₄) e CO₂, advindas da produção mensurável de biogás;
- ✓ Investigar qual é a pressão de biogás sob a campânula.

Para um melhor funcionamento das unidades do sistema como um todo é recomendado:

- ✓ Adotar um sistema de coleta de amostras diferente, visando valorizar os perfis dos compartimentos de estocagem, ou seja, coletar uma amostra mais homogênea para ser analisada em laboratório. Como sugestão, pode-se citar um coletor de profundidade que possa ser adaptado à realidade das esterqueiras;
- ✓ Padronizar o processo de alimentação das unidades, mantendo uma frequência diária, visando a estabilidade operacional e de sistema;
- ✓ Avaliar se há remoção de coliformes fecais e microrganismos patogênicos na faixa de temperatura predominante na região;
- ✓ Verificar se os efluentes (biofertilizantes), das unidades de armazenamento, que estão sendo lançados nas lavouras, possuem nutrientes (N, P, K) em concentrações ideais;
- ✓ Realizar um estudo de viabilidade sócio-econômico e avaliar o custo-benefício de se construir e manter um sistema deste porte em funcionamento para pequenas propriedades suinícolas;
- ✓ Investigar qual o melhor período de armazenamento para os efluentes gerados e, se o período proposto pelo projeto é satisfatório;
- ✓ Buscar as orientações e as recomendações técnicas, bem como o suporte de pesquisadores da área de solos, no sentido de proceder corretamente com a aplicação dos efluentes gerados (biofertilizantes) nas lavouras.

Em benefício da atividade suinícola, recomenda-se ainda:

- ✓ Fomentar outras rotas de pesquisa, semelhantes a esta, apoiando pequenos e médios suinocultores, abrangendo outras regiões e municípios que praticam a atividade suinícola, no sentido de identificar novas tecnologias, que possam valorizar ainda mais os efluentes provenientes da suinocultura e, conseqüentemente, dirimir os impactos ambientais advindos desta atividade potencialmente poluidora. Desta forma, esta atividade teria maior estabilidade econômica para se manter como economia de mercado.

- ✓ Diante da capacitação ambiental e rota tecnológica proposta para a comunidade, recomenda-se aos suinocultores catarinenses firmarem acordo através do “Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta (TAC)” junto ao Ministério Público de Santa Catarina (MPSC)⁵, para melhorar a qualidade ambiental nas Bacias Hidrográficas do rio Coruja/Bonito no município de Braço do Norte e do rio Lajeado dos Fragosos no município de Concórdia. O documento estabelece a implementação, em parceria, de ações com a finalidade de adequar as propriedades rurais, destinadas à criação de suínos, à legislação ambiental e sanitária vigentes e amenizar o impacto ambiental causado pelos dejetos dos suínos nas regiões das duas bacias hidrográficas.

Tudo que foi colocado faz parte de um cenário que envolve Órgãos Públicos, já participantes, como a EPAGRI, EMBRAPA, ACCS, Sindicarne, ICEPA, FUNDAGRO, FUNCITEC e Universidades, além dos demais setores da sociedade, a empenharem-se na busca de pesquisas, que antecedem as tecnologias, que não só atendam as questões ambientais, mas, também solucionem problemas econômicos e sociais, com o estabelecimento de políticas que integrem a sustentabilidade do modelo às questões ambientais, no processo produtivo e na perspectiva de um desenvolvimento sustentável.

⁵ Em 09/12/2003 no Endereço eletrônico: <<http://www.mp.sc.gov.br>>.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREADAKIS, A. D. *Anaerobic Digestion of Piggery Wastes*. Wat. Sci. Tech., 1992, v.2, n.1, p.9-16.

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, 1998.

ATLAS, R. M. & BARTHA, R. *Microbial ecology fundamentals and applications*. 2nd ed., California, The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1987. 252p.

BARBOSA, R. A. *Tratamento anaeróbio de esgoto sanitário em reator de fluxo ascendente com leito de lodo*. Rio de Janeiro, 1988. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado. 242p.

BAUFÖRDERUNG LANDWIRTSCHAFT HANNOVER. *Baubriefe Landwirtschaft-Mastweinehaltung*. 1993. 34. 128p.

BELLI F^o, P. *Stockage e odeurs des dejections animales, cas du lisier de porc*. Thèse de Doctorat de L'Université de Rennes I. France, 1995.

BELLI F^o, P. & MARTIN, G. *Procédé de réduction de odeurs d'un lisier stocké en fosse couverte*. Journées Rech. Porcine en France. 1996. 28. p.225-230.

BELLI F^o, P.; CASTILHOS JR., A. B.; COSTA, R. H. R.; SOARES, S. R. & PERDOMO, C. C. *Tecnologias para o tratamento de dejetos de suínos*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Jan.-Abr., 2001, v.5, n.1, p.166-170. Campina Grande, PB, DEAg / UFPB.

BERNARD, C. R. & HEDUIT, M. *Evolution du lisier de porcs au cours du stockage*. 1979. Journée porcine en France.

BRANCO, S. M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. CETESB, 1978. São Paulo, 620p.

CARMO JR., G. N. R. *Aplicabilidade do reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) para o tratamento de resíduos líquidos da suinocultura*. Florianópolis/SC, 1998. UFSC. Dissertação de Mestrado. 69p.

CARMO JR., G. N. R.; BELLI F^o, P.; PERDOMO, C. C.; COSTA, R. H. R., HENN, A. *Aplicação de reatores UASB para tratar dejetos de suínos com baixas e altas concentrações de DQO e de sólidos*. 20^o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro – RJ, 1999.

CHERNICHARO, C. A. L. *Reatores anaeróbios*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG. Vol.5. Belo Horizonte – MG, 1997. 246p.

CONAMA. *Resolução N^o 20, de 18 de junho de 1986*. Publicada no D.O.U. de 30/07/1986.

CONVERTI, A., ZILLI, M., POLONIECKI, R. H., DEL BORGHI, M., FERRAILOLO, G. *Influence of Nutrient Concentration in new Operating Criteria for Biological Removal of Phosphorus from Wastewaters*. Wat. Res., 1993, v.27, n.5, pp.791-798.

COSTA, R. H. R. *Lagoas de alta taxa de degradação e de aguapés no tratamento terciário de dejetos de suínos*. Florianópolis – SC, 1997. UFSC. Trabalho apresentado como parte dos requisitos de concurso público para professor titular.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 16, Tomo 5, Brasil, 1988. Rio de Janeiro – RJ. p.1-12.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 17, Número 6, Brasil, 1989. Rio de Janeiro – RJ. p.1-11.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 17, Número 6, Brasil, 1990. Rio de Janeiro – RJ. p.1-11.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Tabulação, Brasil, 1991. Rio de Janeiro – RJ. p.1-11.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Tabulação, Brasil, 1992. Rio de Janeiro – RJ. p.1-11.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 21, Número 1, Brasil, 1993. Rio de Janeiro – RJ. p.1-10.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 22, Número 1, Brasil, 1994. Rio de Janeiro – RJ. p.1-10.

Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 23, Número 1, Brasil, 1995. Rio de Janeiro – RJ. p.1-10.

GOSMANN, H. A. *Estudos Comparativos com Bioesterqueira e Esterqueira para o Armazenamento e Valorização dos Dejetos de Suínos*. Florianópolis/SC, 1997. Dissertação de Mestrado. UFSC. 126p.

GTZ/TBW. *Promotion of anaerobic technology for the treatment of municipal and industrial sewage and wastes*. Supraregional sectoral project, 1997.

GUJER, W. & ZEHNDER, A. J. B. *Conversion processes in anaerobic digestion*. Wat. Sci. Tech., 1983, n.15, p.127.

HOHLFELD, J. & SASSE, L. *Production and utilization of biogas in rural areas of industrialized and developing countries*. Publi. by Dt. Ges. für Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Transl. by James und Gisela Lorenz. Federal Republic of Germany. 1986.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Censo Agropecuário 1995 – 1996*. Nº 21. Santa Catarina.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 24, Brasil, 1996. Rio de Janeiro – RJ. p.1-22.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 25, Brasil, 1997. Rio de Janeiro – RJ. p.1-22.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 26, Brasil, 1998. Rio de Janeiro – RJ. p.1-22.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 27, Brasil, 1999. Rio de Janeiro – RJ. p.1-22.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 28, Brasil, 2000. Rio de Janeiro – RJ. p.1-28.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 29, Brasil, 2001. Rio de Janeiro – RJ. p.1-31.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Volume 30, Brasil, 2002. Rio de Janeiro – RJ. p.1-33.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Santa Catarina, 1998. Rio de Janeiro – RJ. p.1-63.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Santa Catarina, 1999. Rio de Janeiro – RJ. p.1-65.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Santa Catarina, 2000. Rio de Janeiro – RJ. p.1-64.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Pesquisa da Pecuária Municipal*. Santa Catarina, 2001. Rio de Janeiro – RJ. p.1-63.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. *Produção da Pecuária Municipal*. Santa Catarina, 2002. Rio de Janeiro – RJ. p.1-64.

Instituto CEPA/SC. *Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2002-2003*. Florianópolis – SC, 2002, v.1, p.125-127.

ISBIZUKA, M. M. *A Biotecnologia no Tratamento de Dejetos de Suínos*. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento. 1998. p.16-17.

KELLER, J., SUBRAMANIAM, K., GOSSWEIN, J., GREENFIELD, P. F. *Nutrient Removal From Industrial Wastewater Using Single Tank Sequencing Batch Reactors*. Wat. Sci. Tech., 1997, v.35, n.6, pp.137-144.

KONZEN, E. A. *Avaliação quantitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejos em forma líquida*. Belo Horizonte – MG, 1980. UFMG. Dissertação de Mestrado.

LAGRANGE, B. *Biométhane*. Tome 2: Principes, Techniques, Utilizations. EDISUD/Energies alternatives, Aix en Provence. 1979.

LETTINGA, G. *et al. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment*. Biotechnology and bioengineering, 1980, v.22, p.699-734.

MAEKAWA, T., LIAO, C., FENG, X. *Nitrogen and phosphorous removal for swine wastewater using intermittent aeration batch reactor followed by ammonium crystallization process*. Wat. Res., 1995, v.29, n.12, pp.2643-2650.

MAUNOIR, S. *Influence d'additifs minéraux sur la digestion anaérobie-biodégradation de cellulose et acétate*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier II, France, 1991.

MEDRI, W. *Modelagem e otimização de sistemas de lagoas facultativas para o tratamento de dejetos de suínos*. Florianópolis – SC, 1997. UFSC. Tese de Doutorado. 206p.

METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 2ª Edição, 1991. Editora McGraw – Hill.

NOGUEIRA, L. A. H. *Biodigestão: a alternativa energética*. São Paulo, Ed. Nobel, 1986. 94p.

OLIVEIRA, P. A. V. de (coord.) et al. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. EMBRAPA – CNPSA. Concórdia – SC, 1993. (EMBRAPA – CNPSA. Documentos, 27). 188p.

PEDROSO, D.; FIALHO, F. B.; BARONI JR., W. *Manejo de dejetos e controle de moscas em criações de suínos, no sudoeste catarinense (características e recomendações)*. CNPSA/EMBRAPA. 1993. Mimeo.

PERDOMO, C. C. *Uso racional da água no manejo de dejetos de suínos*. Seminário Mineiro sobre manejo e utilização de dejetos de suínos. Anais... Ponte Nova, MG: 1995. p.8-23.

PERDOMO, C. C. *Sugestões para manejo, tratamento e utilização de dejetos de suínos*. Instrução Técnica para o Produtor. EMBRAPA – CNPSA. Concórdia – SC, 1999.

PHILIPPI, L. S. *Etude expérimentale des dispositifs d'assainissement autonome – Applications en conditions réelles*. Thèse de Doctorat de l'Université de Montpellier I. France. 1992.

PICOT, B.; BAHLAOUI, A.; MOERSIDIK, S.; BALEUX, B.; BONToux, J. *Comparison of the purifying efficiency of high rate algal pond with stabilization pond*. Wat. Sci. Tech., 1992, v.25, n.12, p.197-206.

PIRES, G. S. P. *Tratamento de dejetos de suínos em meio anaeróbio e meio com aeração intermitente*. Florianópolis – SC, 1999. UFSC. Dissertação de Mestrado. 73p.

Porkworld. *A Revista do Suinocultor Moderno*. Editora animal world. Ano 2, nº 13, Maio/Junho, 2003a. Campinas – SP.

Porkworld. *A Revista do Suinocultor Moderno*. Editora animal world. Ano 3, nº 15, Setembro/Outubro, 2003b. Campinas – SP.

Resolução Nº 4, de 21 de Agosto de 2002. Publicado no Diário Oficial da União – DOU – Seção 1 – Nº 168, 30/08/2002, p.135-136. *Estimativa da População Residente, em 1º de Julho de 2002 – Estados e Municípios*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

Resolução Nº 5, de 10 de Outubro de 2002. Publicado no Diário Oficial da União – DOU – Seção 1 – Nº 198, 11/10/2002, p.65-66. *Áreas Territoriais dos Estados e Municípios Brasileiros*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.

ROUGER, J. *Procède d'épuration par voie biologique anaerobie d'effluents liquides*. L'Institut National Polytechnique. Grenoble, 1987.

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SDM. *Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina: Diagnóstico Geral*. Florianópolis – SC, 1997. 163p.

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SDM. *Legislação sobre Recursos Hídricos*. Florianópolis – SC, 1998. 96p.

Secretaria de Estado do Desenvolvimento Social, Urbano e Meio Ambiente – SDS (Coordenação Geral). *O Desenvolvimento Sustentável em Santa Catarina – Documento Preliminar da Agenda 21 Catarinense*. Florianópolis – SC, 2002, 136p.

SEZERINO, P. H. *Utilização de biofiltros com macrófitas (Vertical Constructed Wetlands) como pós-tratamento de lagoas de estabilização aplicadas aos dejetos de suínos*. Florianópolis – SC, 2002. UFSC. Dissertação de Mestrado. 123p.

SILVA, F. C. M. *Tratamento dos dejetos suínos utilizando lagoa de alta taxa de degradação em batelada*. Florianópolis – SC, 1996. UFSC. Dissertação de Mestrado. 115p.

SIQUEIRA, V. A.; ROSA, A. P. L. L.; AZEVEDO, P. B. (Organizadores). *Constituição da República Federativa do Brasil*. Rio de Janeiro: Ed. Esplanada, 1997, 240p.

SOARES, H. M. & HIRATA, T. S. *Práticas de laboratório*. In: Curso de tratamento biológico de resíduos, 3., Florianópolis: CBAB, MCT/CNPq, CPGEQ/UFSC, CDB, 1997, 23p.

SORLINI, C.; BONFANTI, P. *Digestion of animal slurries: technological, chemical, microbiological and managerial aspects*. Advances Biotechnological Processes, 1989, v.12, p.203-234.

STEVENS, M. A. & SCHULTE, D. D. *Low temperature anaerobic digestion of swine manure*. Journal of the Environmental Engineering Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers. v.105, Nº EEI, Feb. 1979.

VAN HAANDEL, A. C. & LETTINGA, G. *Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente*. Campina Grande – PB, 1994. Ed. epgraf.

VERSTRAETE, W., DE BAERE, L., ROZZI, A. *Phase separation in anaerobic digestion: motives and methods*. Cebedoc Editeur, Liège, Belgique, 1981. p.367-375.

VON SPERLING, M. *Lagoas de estabilização*. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA/UFMG. Belo Horizonte – MG, 1996, v.3, 140p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Wastewater stabilization ponds. Principles of planning & practice*. Alexandria, 1987, 139p.

APÊNDICES

APÊNDICE A: Relação de materiais e equipamentos utilizados para realização das análises laboratoriais

1. Agitador Magnético modelo NT 101, da marca NOVA TÉCNICA, com velocidade ajustável de 0 a 100%, utilizado nas análises laboratoriais;
2. Agitador Magnético modelo 752, da marca Fisatom, com velocidade ajustável de 0 a 10, utilizado nas análises laboratoriais;
3. Aparelho modelo BODTrak, da marca HACH, composto por 6 canais (este aparelho permanece dentro da incubadora), utilizado na análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅);
4. Balança de precisão digital modelo LIBROR AEG – 120G, da marca SHIMADZU, com capacidade máxima para 120,0000 gramas (precisão de quatro casas decimais após a vírgula), utilizada nas pesagens em geral;
5. Balança de precisão digital modelo AY220, da marca SHIMADZU, com capacidade máxima para 220,0000 gramas (precisão de quatro casas decimais após a vírgula), utilizada nas pesagens em geral;
6. Banho-maria da marca QUIMIS[®] Aparelhos Científicos Ltda., utilizado para evaporação da fração líquida nas análises de Sólidos Totais (ST);
7. Capelas da marca QUIMIS[®] Aparelhos Científicos Ltda., utilizadas para exaurir os gases durante as análises laboratoriais;
8. Centrífuga modelo SIGMA 2-3, da marca ALEMMAR, com 2 canais de centrifugação, com velocidade ajustável de 0 a 4.200 rpm e tempo ajustável de 0 a 30 minutos, utilizado para centrifugar amostras;
9. Chapa de aquecimento modelo Cimarec 3, da marca SOVEREIGN Computer Systems, com regulador de aquecimento de 0 a 10, utilizado nas análises laboratoriais;
10. COD REACTOR da marca HACH, com timer de até 120 minutos e aquecimento a 150 °C, utilizado na digestão de amostras para determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO);
11. Cone IMHOFF com suporte, utilizado para medir os Sólidos Sedimentáveis;
12. Dessecador, utilizado para resfriamento de cadinhos;
13. Destilador da marca QUIMIS[®] Aparelhos Científicos Ltda., utilizado para produzir água destilada, usada nas atividades laboratoriais;
14. Destilador modelo UDK 130A, da marca VELD SCIENTIFICA, utilizado na destilação de amostras para determinação do Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) e do Nitrogênio Amoniacal;

15. Digestor modelo DK20 Heating Digester, da marca VELP SCIENTIFICA, utilizado para digerir amostras na análise de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK);
16. Espectrofotômetro CARY / 1E / UV – Visible, da marca VARIAN, utilizado nas análises colorimétricas de diferentes comprimentos de onda (nm);
17. Espectrofotômetro modelo DR/4000U Spectrophotometer, da marca HACH, utilizado nas análises colorimétricas de diferentes comprimentos de onda (nm);
18. Estufa da marca DeLeo (Equipamentos para Laboratórios), para temperaturas de 0 a 120 °C, utilizada para secagem de vidrarias e reagentes sólidos;
19. Estufa da marca Biomatic, para temperaturas de 0 a 120 °C, utilizada para desidratar os sólidos na análise de Sólidos Totais (ST);
20. Incubadora (Geladeira com termosensor que mede, controla e mantém a temperatura a 20 °C), da marca ELETROlAb, utilizada na análise da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅);
21. Medidor digital, modelo 250A, da marca ORION, utilizado em campo e bancada, para medir o pH, o Potencial Redox (mV) e a Temperatura (°C);
22. Mufla da marca QUIMIS[®] Aparelhos Científicos Ltda., para temperaturas de 0 a 1.200 °C, utilizada para muflar cadinhos;
23. pHmetro model 210A, da marca ORION, utilizado para medir o pH;
24. pHMETRO modelo DM-2, da marca Digimed, utilizado para medir o pH;
25. Polysulfone Aseptic System da marca MFS ADVANTEC, utilizado para filtrar amostras;
26. Refrigerador/Freezer modelo INTELLIGENT Frost Free 44, da marca BOSCH, com capacidade líquida do compartimento refrigerador de 303 litros e do freezer 105 litros, totalizando 408 litros, utilizado para o armazenamento e a conservação de amostras;
27. SCRUBBER da marca VELP SCIENTIFICA, utilizado para filtrar os gases tóxicos, resultantes da digestão de amostras na análise do Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), em uma solução alcalina concentrada e indicadora;
28. Termômetro digital da marca INCOTERM (Ref. 7427), utilizado para medir temperaturas (°C e °F) interna e externa (atual, máxima e mínima).

APÊNDICE B: Quadros de resultados com as leituras de campo e as análises laboratoriais

PARÂMETROS FÍSICOS													
DATA	Temperatura (°C)				pH				Potencial Redox (mV)				Obs.
	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	
2/9/2003	20,1	x	x	x	7,44	x	x	x	6,0	x	x	x	In. S.
2/9/2003	19,2	x	x	x	7,17	x	x	x	16,0	x	x	x	In. S. B.
4/9/2003	21,4	x	x	x	6,69	x	x	x	59,0	x	x	x	A1
16/9/2003	15,3	x	x	x	6,48	x	x	x	58,0	x	x	x	A2
30/9/2003	17,1	17,9	x	x	6,70	7,68	x	x	18,0	-38,0	x	x	T0
15/10/2003	19,3	20,2	x	x	6,82	7,45	x	x	43,0	-35,0	x	x	T1
22/10/2003	18,9	19,8	x	x	6,69	7,51	x	x	23,0	-25,0	x	x	T2
29/10/2003	19,5	20,1	19,3	19,2	6,64	7,44	8,03	7,24	27,0	-27,0	-37,0	-18,0	T3
11/11/2003	21,6	23,6	24,2	23,5	6,18	7,12	8,31	6,71	48,1	-6,5	-75,7	18,6	T4
19/11/2003	20,9	23,0	22,0	22,1	6,13	7,35	8,34	6,95	46,1	-16,5	-76,7	5,1	T5
26/11/2003	22,2	24,3	22,2	23,4	6,28	7,25	8,25	7,23	40,3	-15,2	-71,7	-17,3	T6
11/12/2003	22,8	25,4	25,1	24,8	6,72	7,33	7,84	7,26	12,2	-22,7	-55,4	-18,6	T7
21/1/2004	23,4	24,6	24,1	25,3	7,03	7,41	8,76	7,67	1,0	-24,7	-108,8	-39,2	T8
29/1/2004	24,2	25,1	25,2	25,9	6,81	7,37	8,35	7,60	9,9	-21,9	-81,2	-36,2	T9

ACIDEZ TOTAL (A _T)										
DATA	Titulação (mL NaOH)				Valor (mg CaCO ₃ /L)				Dil.	Obs.
	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1		
2/9/2003	3,04	-	-	-	608,0	-	-	-	10	In. S.
2/9/2003	2,62	-	-	-	524,0	-	-	-	10	In. S.
2/9/2003	2,43	-	-	-	972,0	-	-	-	20	In. S. B.
2/9/2003	2,47	-	-	-	988,0	-	-	-	20	In. S. B.
4/9/2003	2,33	-	-	-	466,0	-	-	-	10	A1
4/9/2003	2,07	-	-	-	414,0	-	-	-	10	A1
16/9/2003	1,95	-	-	-	390,0	-	-	-	10	A2
16/9/2003	1,50	-	-	-	300,0	-	-	-	10	A2
30/9/2003	3,58	1,85	-	-	716,0	370,0	-	-	10	T0
30/9/2003	3,33	1,58	-	-	666,0	316,0	-	-	10	T0
15/10/2003	2,39	1,32	-	-	478,0	264,0	-	-	10	T1
15/10/2003	2,34	1,45	-	-	468,0	290,0	-	-	10	T1
22/10/2003	2,52	1,24	-	-	504,0	248,0	-	-	10	T2
22/10/2003	2,20	1,68	-	-	440,0	336,0	-	-	10	T2
29/10/2003	2,30	0,91	1,00	1,56	460,0	182,0	200,0	312,0	10	T3
29/10/2003	2,66	0,87	1,10	1,51	532,0	174,0	220,0	302,0	10	T3
11/11/2003	3,80	1,37	0,81	1,30	760,0	274,0	162,0	260,0	10	T4
11/11/2003	3,66	1,40	0,77	1,05	732,0	280,0	154,0	210,0	10	T4
19/11/2003	2,57	0,81	0,47	1,35	514,0	162,0	94,0	270,0	10	T5
19/11/2003	2,58	0,77	0,48	1,42	516,0	154,0	96,0	284,0	10	T5
26/11/2003	3,03	1,08	0,36	1,60	606,0	216,0	72,0	320,0	10	T6
26/11/2003	3,18	1,22	0,25	1,46	636,0	244,0	50,0	292,0	10	T6
11/12/2003	1,18	0,88	0,90	1,62	472,0	176,0	180,0	324,0	20/3x10	T7
11/12/2003	1,18	0,94	0,74	1,54	472,0	188,0	148,0	308,0	20/3x10	T7
21/1/2004	2,01	1,28	0,21	1,13	804,0	256,0	42,0	226,0	20/3x10	T8
21/1/2004	2,01	1,34	0,20	1,01	804,0	268,0	40,0	202,0	20/3x10	T8
29/1/2004	1,97	1,7	0,32	1,20	788,0	340,0	64,0	240,0	20/3x10	T9
29/1/2004	2,06	1,87	0,34	1,05	824,0	374,0	68,0	210,0	20/3x10	T9

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO ₅) TOTAL											
DATA	Leitura (mg O ₂ /L)				Valor Final (mg O ₂ /L)				Escala	Dil.	Obs.
	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1			
2/9/2003	154	x	x	x	7.700	x	x	x	0-700	50	In. S.
2/9/2003	174	x	x	x	8.700	x	x	x	0-700	50	In. S.
2/9/2003	174	x	x	x	8.700	x	x	x	0-700	50	In. S.
2/9/2003	444	x	x	x	22.200	x	x	x	0-700	50	In. S. B.
2/9/2003	668	x	x	x	33.400	x	x	x	0-700	50	In. S. B.
2/9/2003	560	x	x	x	28.000	x	x	x	0-700	50	In. S. B.
4/9/2003	248	x	x	x	12.400	x	x	x	0-700	50	A1
4/9/2003	258	x	x	x	12.900	x	x	x	0-700	50	A1
4/9/2003	252	x	x	x	12.600	x	x	x	0-700	50	A1
16/9/2003	278	x	x	x	13.900	x	x	x	0-700	50	A2
16/9/2003	250	x	x	x	12.500	x	x	x	0-700	50	A2
16/9/2003	222	x	x	x	11.100	x	x	x	0-700	50	A2
30/9/2003	256	38	x	x	12.800	1.900	x	x	0-700	50	T0
30/9/2003	222	58	x	x	11.100	2.900	x	x	0-700	50	T0
30/9/2003	228	56	x	x	11.400	2.800	x	x	0-700	50	T0
15/10/2003	146	44	x	x	7.300	2.200	x	x	0-700	50	T1
15/10/2003	114	58	x	x	5.700	2.900	x	x	0-700	50	T1
15/10/2003	132	68	x	x	6.600	3.400	x	x	0-700	50	T1
22/10/2003	178	50	x	x	8.900	2.500	x	x	0-700	50	T2
22/10/2003	152	28	x	x	7.600	1.400	x	x	0-700	50	T2
22/10/2003	136	34	x	x	6.800	1.700	x	x	0-700	50	T2
29/10/2003	384	32	26	420	19.200	1.600	1.300	21.000	0-700	50	T3
29/10/2003	492	36	36	390	24.600	1.800	1.800	19.500	0-700	50	T3
11/11/2003	330	62	42	160	16.500	3.100	2.100	8.000	0-700	50	T4
11/11/2003	370	66	30	168	18.500	3.300	1.500	8.400	0-700	50	T4
19/11/2003	372	9	13	66	18.600	450	650	3.300	4/3/3/4	50	T5 *
19/11/2003	344	12	16	88	17.200	600	800	4.400	4/3/3/4	50	T5 *
26/11/2003	350	14	18	76	17.500	700	900	3.800	4/3/3/4	50	T6 *
26/11/2003	362	17	15	82	18.100	850	750	4.100	4/3/3/4	50	T6 *
11/12/2003	918	24	15	114	45.900	1.200	750	5.700	4/3/3/4	50	T7 *
11/12/2003	890	28	18	102	44.500	1.400	900	5.100	4/3/3/4	50	T7 *
21/1/2004	842	12	9	60	42.100	600	450	3.000	4/3/3/4	50	T8 *
21/1/2004	642	27	7	50	32.100	1.350	350	2.500	4/3/3/4	50	T8 *
29/1/2004	870	13	17	46	43.500	650	850	2.300	4/3/3/4	50	T9 *
29/1/2004	356	11	21	68	17.800	550	1.050	3.400	4/3/3/4	50	T9 *

Obs.:	Escala *
3	0-350
4	0-700

DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO) TOTAL						
DATA	Valor Final (mg O ₂ /L)				Diluição	Observação
	Afluente	Biod.	Est. 2	Est. 1		
2/9/2003	54.265	x	x	x	5	In. Suíno
2/9/2003	61.735	x	x	x	5	In. Suíno
2/9/2003	64.730	x	x	x	5	In. Suíno
2/9/2003	75.890	x	x	x	5	In. S. B.
2/9/2003	74.050	x	x	x	5	In. S. B.
2/9/2003	78.335	x	x	x	5	In. S. B.
4/9/2003	25.210	x	x	x	5	A1
4/9/2003	26.110	x	x	x	5	A1
4/9/2003	30.300	x	x	x	5	A1
16/9/2003	28.320	x	x	x	5	A2
16/9/2003	29.135	x	x	x	5	A2
16/9/2003	29.320	x	x	x	5	A2
30/9/2003	22.945	8.320	x	x	5	T0
30/9/2003	23.925	8.165	x	x	5	T0
30/9/2003	22.740	7.655	x	x	5	T0
15/10/2003	10.390	7.265	x	x	5	T1
15/10/2003	11.080	7.350	x	x	5	T1
15/10/2003	11.090	7.165	x	x	5	T1
22/10/2003	10.208	3.822	x	x	2	T2
22/10/2003	10.614	3.524	x	x	2	T2
22/10/2003	10.876	3.382	x	x	2	T2
29/10/2003	20.160	2.740	1.805	22.505	5	T3
29/10/2003	19.885	2.695	1.905	23.235	5	T3
29/10/2003	18.835	2.605	1.785	24.355	5	T3
11/11/2003	54.445	3.386	1.728	6.124	5/2/2/2	T4
11/11/2003	52.835	3.496	1.646	6.082	5/2/2/2	T4
11/11/2003	49.680	3.534	1.762	6.692	5/2/2/2	T4
19/11/2003	35.135	1.410	986	4.905	5/2/2/5	T5
19/11/2003	32.390	1.568	976	4.405	5/2/2/5	T5
19/11/2003	31.490	1.542	1.102	5.160	5/2/2/5	T5
26/11/2003	35.240	1.616	851	6.614	5/0/0/2	T6
26/11/2003	34.120	1.453	841	6.716	5/0/0/2	T6
26/11/2003	34.975	1.681	1.046	7.138	5/0/0/2	T6
11/12/2003	82.500	3.887	1.014	8.078	5/0/0/2	T7
11/12/2003	82.500	2.914	1.120	9.024	5/0/0/2	T7
11/12/2003	77.945	2.761	958	8.170	5/0/0/2	T7
21/1/2004	93.250	1.399	218	3.546	10/0/0/2	T8
21/1/2004	99.530	1.771	218	3.518	10/0/0/2	T8
29/1/2004	107.350	1.125	101	3.122	10/0/0/2	T9
29/1/2004	104.270	1.360	103	3.476	10/0/0/2	T9

SÓLIDOS													
DATA	Peso dos Cadinhos (g)						Concentrações (mg/L)						Observação
	Bruto / Afluente			Biodigestor			Bruto / Afluente			Biodigestor			
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	ST	SF	SV	ST	SF	SV	
2/9/2003	119,9295	123,1499	121,3252	x	x	x	64.408	27.914	36.494	x	x	x	In. Suíno
2/9/2003	122,2401	125,6402	123,6541	x	x	x	68.002	28.280	39.722	x	x	x	In. Suíno
2/9/2003	80,0328	83,5798	81,7490	x	x	x	70.940	34.324	36.616	x	x	x	In. Suíno
2/9/2003	87,9463	93,8633	89,6449	x	x	x	118.340	33.972	84.368	x	x	x	In. S. B.
2/9/2003	108,8174	114,7453	110,4938	x	x	x	118.558	33.528	85.030	x	x	x	In. S. B.
2/9/2003	80,0737	86,3293	81,5686	x	x	x	125.112	29.898	95.214	x	x	x	In. S. B.
4/9/2003	96,4610	97,2297	96,6871	x	x	x	15.374	4.522	10.852	x	x	x	A1
4/9/2003	100,4582	101,1572	100,6817	x	x	x	13.980	4.470	9.510	x	x	x	A1
4/9/2003	82,0862	82,8025	82,3226	x	x	x	14.326	4.728	9.598	x	x	x	A1
16/9/2003	80,3740	81,3162	80,5554	x	x	x	18.844	3.628	15.216	x	x	x	A2
16/9/2003	99,2397	100,0489	99,5450	x	x	x	16.184	6.106	10.078	x	x	x	A2
16/9/2003	96,4532	97,2601	96,6900	x	x	x	16.138	4.736	11.402	x	x	x	A2
30/9/2003	76,2208	76,9907	76,4317	122,8965	123,2914	123,0837	15.398	4.218	11.180	7.898	3.744	4.154	T0
30/9/2003	96,4558	97,0270	96,6278	99,2343	99,6121	99,4205	11.424	3.440	7.984	7.556	3.724	3.832	T0
30/9/2003	82,0694	82,6923	82,2920	80,0573	80,4556	80,2700	12.458	4.452	8.006	7.966	4.254	3.712	T0
15/10/2003	108,8320	109,1922	108,9618	87,9508	88,3103	88,1098	7.204	2.596	4.608	7.190	3.180	4.010	T1
15/10/2003	96,4606	96,8256	96,5923	69,4781	69,8481	69,6363	7.300	2.634	4.666	7.400	3.164	4.236	T1
15/10/2003	100,2504	100,6388	100,4347	122,2495	122,6044	122,4332	7.768	3.686	4.082	7.098	3.674	3.424	T1
22/10/2003	81,5556	81,9323	81,6883	86,7009	86,9459	86,8284	7.534	2.654	4.880	4.900	2.550	2.350	T2
22/10/2003	75,7975	76,1505	75,9197	79,6464	79,8843	79,7691	7.060	2.444	4.616	4.758	2.454	2.304	T2
22/10/2003	77,4464	77,7794	77,5640	85,9331	86,1730	86,0570	6.660	2.352	4.308	4.798	2.478	2.320	T2
29/10/2003	85,9478	86,5563	86,1181	79,6613	79,8599	79,7670	12.170	3.406	8.764	3.972	2.114	1.858	T3
29/10/2003	86,7243	87,3352	86,9000	77,4526	77,6545	77,5621	12.218	3.514	8.704	4.038	2.190	1.848	T3
29/10/2003	88,8220	89,4596	89,0074	75,8092	76,0025	75,9125	12.752	3.708	9.044	3.866	2.066	1.800	T3
11/11/2003	76,2384	78,0984	77,0795	75,8804	76,0651	75,9926	37.200	16.822	20.378	3.694	2.244	1.450	T4
11/11/2003	72,1673	73,7814	72,5212	69,4573	69,6507	69,5773	32.282	7.078	25.204	3.868	2.400	1.468	T4
19/11/2003	74,4563	75,5357	74,7440	77,0268	77,1734	77,1282	21.588	5.754	15.834	2.932	2.028	904	T5
19/11/2003	71,2360	72,2060	71,5509	80,1264	80,1791	80,1312	19.400	6.298	13.102	1.054	96	958	T5
26/11/2003	77,4699	78,6072	77,7695	96,4609	96,5996	96,5528	22.746	5.992	16.754	2.774	1.838	936	T6
26/11/2003	74,4696	75,5324	74,8707	75,8856	76,0300	75,9789	21.256	8.022	13.234	2.888	1.866	1.022	T6
11/12/2003	89,8885	95,0313	91,0743	71,2469	71,4303	71,3457	102.856	23.716	79.140	3.668	1.976	1.692	T7
11/12/2003	83,5722	88,7086	84,7995	77,7774	77,9532	77,8912	102.728	24.546	78.182	3.516	2.276	1.240	T7
21/1/2004	73,3510	77,9966	75,2477	77,3112	77,4648	77,4026	92.912	37.934	54.978	3.072	1.828	1.244	T8
21/1/2004	77,0443	81,5569	78,4285	75,8900	76,0413	75,9772	90.252	27.684	62.568	3.026	1.744	1.282	T8
29/1/2004	80,0463	84,4421	81,3782	77,4743	77,6250	77,5579	87.916	26.638	61.278	3.014	1.672	1.342	T9
29/1/2004	76,2281	81,1476	77,5159	81,7669	81,9172	81,8655	98.390	25.756	72.634	3.006	1.972	1.034	T9

SÓLIDOS													
DATA	Peso dos Cadinhos (g)						Concentrações (mg/L)						Observação
	Esterqueira 2			Esterqueira 1			Esterqueira 2			Esterqueira 1			
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	ST	SF	SV	ST	SF	SV	
29/10/2003	68,1350	68,2727	68,2175	69,4587	70,2444	69,6911	2.754	1.650	1.104	15.714	4.648	11.066	T3
29/10/2003	75,7241	75,8581	75,7992	96,4501	97,2309	96,6746	2.680	1.502	1.178	15.616	4.490	11.126	T3
29/10/2003	80,0306	80,1706	80,1118	73,5040	74,3076	73,7333	2.800	1.624	1.176	16.072	4.586	11.486	T3
11/11/2003	79,6585	79,7685	79,7313	75,8357	76,0154	75,9365	2.200	1.456	744	3.594	2.016	1.578	T4
11/11/2003	81,5596	81,6765	81,6334	88,8225	88,9897	88,9146	2.338	1.476	862	3.344	1.842	1.502	T4
19/11/2003	77,4613	77,5599	77,5281	82,6981	82,8703	82,7842	1.972	1.336	636	3.444	1.722	1.722	T5
19/11/2003	99,2355	99,3348	99,2984	96,4548	96,6110	96,5422	1.986	1.258	728	3.124	1.748	1.376	T5
26/11/2003	81,5759	81,6749	81,6324	75,8395	76,0875	75,9381	1.980	1.130	850	4.960	1.972	2.988	T6
26/11/2003	77,0397	77,1311	77,1006	72,1818	72,4360	72,2779	1.828	1.218	610	5.084	1.922	3.162	T6
11/12/2003	73,5166	73,6207	73,5761	86,7296	87,0872	86,8490	2.082	1.190	892	7.152	2.388	4.764	T7
11/12/2003	82,7090	82,8154	82,7678	78,2767	78,6289	78,3976	2.128	1.176	952	7.044	2.418	4.626	T7
21/1/2004	82,7286	82,7912	82,7767	77,7816	77,9912	77,9080	1.252	962	290	4.192	2.528	1.664	T8
21/1/2004	79,6757	79,7394	79,7057	75,7398	75,9646	75,8812	1.274	600	674	4.496	2.828	1.668	T8
29/1/2004	76,2254	76,2763	76,2680	71,3589	71,5820	71,4788	1.018	852	166	4.462	2.398	2.064	T9
29/1/2004	69,4715	69,5342	69,5163	73,8121	74,0405	73,9025	1.254	896	358	4.568	1.808	2.760	T9

SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS					
DATA	Leituras (ml/L)				Observação
	Afluente	Biod.	Est. 2	Est. 1	
2/9/2003	1.000	x	x	x	In. S.
2/9/2003	1.000	x	x	x	In. S. B.
4/9/2003	290,0	x	x	x	A1
16/9/2003	360,0	x	x	x	A2
30/9/2003	220,0	140,0	x	x	T0
15/10/2003	140,0	120,0	x	x	T1
22/10/2003	94,0	37,0	x	x	T2
29/10/2003	500,0	19,0	3,0	350,0	T3
11/11/2003	370,0	13,0	1,2	15,0	T4 - B. Eco.
19/11/2003	370,0	6,0	1,0	4,0	T5
26/11/2003	250,0	1,0	1,0	56,0	T6
11/12/2003	1.000	14,0	< 1,0 (0,1)	60,0	T7
21/1/2004	1.000	9,0	1,0	11,0	T8
29/1/2004	1.000	1,0	< 1,0 (0,5)	3,0	T9

NITROGÊNIO AMONÍACAL											
DATA	Titulação (mL)					Valor (mg NH ₃ -N/L)				Dil.	Obs.
	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Br.	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1		
2/9/2003	20,9	x	x	x	0,1	2.329,6	x	x	x	4	In. S.
2/9/2003	23,5	x	x	x	0,1	2.620,8	x	x	x	4	In. S.
2/9/2003	22,5	x	x	x	0,1	2.508,8	x	x	x	4	In. S.
2/9/2003	9,3	x	x	x	0,1	2.576,0	x	x	x	10	In. S. B.
2/9/2003	10,6	x	x	x	0,1	2.940,0	x	x	x	10	In. S. B.
2/9/2003	11,2	x	x	x	0,1	3.108,0	x	x	x	10	In. S. B.
4/9/2003	5,7	x	x	x	0,1	627,2	x	x	x	4	A1
4/9/2003	5,7	x	x	x	0,1	627,2	x	x	x	4	A1
4/9/2003	5,5	x	x	x	0,1	604,8	x	x	x	4	A1
16/9/2003	4,5	x	x	x	0,1	492,8	x	x	x	4	A2
16/9/2003	4,7	x	x	x	0,1	515,2	x	x	x	4	A2
16/9/2003	4,7	x	x	x	0,1	515,2	x	x	x	4	A2
30/9/2003	5,0	10,2	x	x	0,1	548,8	1.131,2	x	x	4	T0
30/9/2003	5,0	10,1	x	x	0,1	548,8	1.120,0	x	x	4	T0
30/9/2003	4,9	10,2	x	x	0,1	537,6	1.131,2	x	x	4	T0
15/10/2003	5,1	8,1	x	x	0,1	560,0	896,0	x	x	4	T1
15/10/2003	4,4	8,3	x	x	0,1	481,6	918,4	x	x	4	T1
15/10/2003	4,4	8,3	x	x	0,1	481,6	918,4	x	x	4	T1
22/10/2003	4,4	7,5	x	x	0,1	481,6	828,8	x	x	4	T2
22/10/2003	4,4	7,5	x	x	0,1	481,6	828,8	x	x	4	T2
22/10/2003	4,2	7,3	x	x	0,1	459,2	806,4	x	x	4	T2
29/10/2003	4,1	6,2	4,5	4,1	0,1	448,0	683,2	492,8	448,0	4	T3
29/10/2003	4,1	6,4	4,4	4,1	0,1	448,0	705,6	481,6	448,0	4	T3
11/11/2003	3,1	5,5	2,0	3,2	0,1	336,0	604,8	212,8	347,2	4	T4
11/11/2003	3,1	5,3	2,0	3,2	0,1	336,0	582,4	212,8	347,2	4	T4
19/11/2003	5,2	6,4	1,8	3,4	0,1	571,2	705,6	190,4	369,6	4	T5
19/11/2003	5,0	6,2	1,8	3,7	0,1	548,8	683,2	190,4	403,2	4	T5
26/11/2003	5,5	6,2	1,7	3,9	0,1	604,8	683,2	179,2	425,6	4	T6
26/11/2003	5,5	6,2	1,7	3,7	0,1	604,8	683,2	179,2	403,2	4	T6
11/12/2003	1,4	6,4	2,1	4,7	0,1	728,0	705,6	224,0	515,2	20/3x4	T7
11/12/2003	1,4	6,0	2,1	5,0	0,1	728,0	660,8	224,0	548,8	20/3x4	T7
21/1/2004	1,2	6,4	0,3	5,4	0,1	1232,0	705,6	22,4	593,6	40/3x4	T8
21/1/2004	1,2	6,4	0,3	5,4	0,1	1232,0	705,6	22,4	593,6	40/3x4	T8
29/1/2004	0,9	7,1	0,3	5,6	0,1	896,0	784,0	22,4	616,0	40/3x4	T9
29/1/2004	1,0	6,8	0,3	5,6	0,1	1008,0	750,4	22,4	616,0	40/3x4	T9

NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL (NTK)											
DATA	Titulação (mL)					Valor (mg N/L)				Dil.	Obs.
	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Br.	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1		
2/9/2003	4,9	x	x	x	0,1	5.376,0	x	x	x	20	In. S.
2/9/2003	5,2	x	x	x	0,1	5.712,0	x	x	x	20	In. S.
2/9/2003	5,0	x	x	x	0,1	5.488,0	x	x	x	20	In. S.
2/9/2003	5,2	x	x	x	0,1	5.712,0	x	x	x	20	In. S. B.
2/9/2003	5,6	x	x	x	0,1	6.160,0	x	x	x	20	In. S. B.
2/9/2003	5,5	x	x	x	0,1	6.048,0	x	x	x	20	In. S. B.
4/9/2003	0,9	x	x	x	0,1	896,0	x	x	x	20	A1
4/9/2003	1,3	x	x	x	0,1	1.344,0	x	x	x	20	A1
4/9/2003	1,3	x	x	x	0,1	1.344,0	x	x	x	20	A1
16/9/2003	1,3	x	x	x	0,1	1.344,0	x	x	x	20	A2
16/9/2003	1,1	x	x	x	0,1	1.120,0	x	x	x	20	A2
16/9/2003	1,3	x	x	x	0,1	1.344,0	x	x	x	20	A2
30/9/2003	2,6	3,4	x	x	0,1	1.400,0	1.848,0	x	x	10	T0
30/9/2003	2,6	3,4	x	x	0,1	1.400,0	1.848,0	x	x	10	T0
15/10/2003	1,9	2,6	x	x	0,1	1.008,0	1.400,0	x	x	10	T1
15/10/2003	1,9	2,5	x	x	0,1	1.008,0	1.344,0	x	x	10	T1
22/10/2003	1,8	2,6	x	x	0,1	952,0	1.400,0	x	x	10	T2
22/10/2003	1,9	2,6	x	x	0,1	1.008,0	1.400,0	x	x	10	T2
29/10/2003	2,2	1,7	5,4	2,2	0,1	1.176,0	896,0	593,6	1.176,0	2x10/2/10	T3
29/10/2003	2,2	1,8	5,5	2,3	0,1	1.176,0	952,0	604,8	1.232,0	2x10/2/10	T3
11/11/2003	3,9	3,0	3,2	1,0	0,1	2.128,0	812,0	347,2	504,0	10/5/2/10	T4
11/11/2003	3,9	3,0	3,3	1,1	0,1	2.128,0	812,0	358,4	560,0	10/5/2/10	T4
19/11/2003	3,3	3,2	2,7	1,2	0,1	1.792,0	868,0	291,2	616,0	10/5/2/10	T5
19/11/2003	3,4	3,2	2,4	1,1	0,1	1.848,0	868,0	257,6	560,0	10/5/2/10	T5
26/11/2003	3,5	3,2	2,3	1,4	0,1	1.904,0	868,0	246,4	728,0	10/5/2/10	T6
26/11/2003	3,6	3,2	2,3	1,2	0,1	1.960,0	868,0	246,4	616,0	10/5/2/10	T6
11/12/2003	1,7	3,2	2,8	1,9	0,1	3.584,0	868,0	302,4	1.008,0	40/5/2/10	T7
11/12/2003	1,7	3,3	2,9	1,8	0,1	3.584,0	896,0	313,6	952,0	40/5/2/10	T7
21/1/2004	1,9	2,5	0,6	1,6	0,1	4.032,0	672,0	56,0	840,0	40/5/2/10	T8
21/1/2004	1,9	3,1	0,6	1,5	0,1	4.032,0	840,0	56,0	784,0	40/5/2/10	T8
29/1/2004	1,7	3,3	0,4	1,5	0,1	3.584,0	896,0	33,6	784,0	40/5/2/10	T9
29/1/2004	1,4	3,3	0,5	1,6	0,1	2.912,0	896,0	44,8	840,0	40/5/2/10	T9

FÓSFORO TOTAL (P)										
DATA	Leitura (mg/L)				Valor (mg/L)				Dil.	Obs.
	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1	Af.	Biod.	Est. 2	Est. 1		
2/9/2003	18,72	x	x	x	3.744,00	x	x	x	200	In. S.
2/9/2003	17,88	x	x	x	3.576,00	x	x	x	200	In. S.
2/9/2003	17,81	x	x	x	3.562,00	x	x	x	200	In. S.
2/9/2003	16,51	x	x	x	1.651,00	x	x	x	100	In. S. B.
2/9/2003	14,30	x	x	x	1.430,00	x	x	x	100	In. S. B.
2/9/2003	12,94	x	x	x	1.294,00	x	x	x	100	In. S. B.
4/9/2003	3,87	x	x	x	387,00	x	x	x	100	A1
4/9/2003	4,31	x	x	x	431,00	x	x	x	100	A1
4/9/2003	4,17	x	x	x	417,00	x	x	x	100	A1
16/9/2003	3,87	x	x	x	387,00	x	x	x	100	A2
16/9/2003	5,02	x	x	x	502,00	x	x	x	100	A2
16/9/2003	4,95	x	x	x	495,00	x	x	x	100	A2
30/9/2003	4,65	3,18	x	x	465,00	318,00	x	x	100	T0
30/9/2003	4,16	3,56	x	x	416,00	356,00	x	x	100	T0
30/9/2003	4,20	3,14	x	x	420,00	314,00	x	x	100	T0
15/10/2003	2,47	2,91	x	x	247,00	291,00	x	x	100	T1
15/10/2003	2,33	2,96	x	x	233,00	296,00	x	x	100	T1
15/10/2003	2,83	3,15	x	x	283,00	315,00	x	x	100	T1
22/10/2003	2,67	5,20	x	x	267,00	520,00	x	x	100	T2
22/10/2003	2,45	1,88	x	x	245,00	188,00	x	x	100	T2
22/10/2003	2,69	5,94	x	x	269,00	594,00	x	x	100	T2
29/10/2003	3,16	1,34	0,56	3,75	316,00	134,00	56,00	375,00	100	T3
29/10/2003	3,34	1,53	0,50	3,78	334,00	153,00	50,00	378,00	100	T3
29/10/2003	3,26	1,30	0,55	3,56	326,00	130,00	55,00	356,00	100	T3
11/11/2003	20,00	0,35	0,87	20,00	2.000,00	35,00	87,00	2.000,00	100	T4
11/11/2003	5,33	3,11	0,81	3,17	533,00	311,00	81,00	317,00	100	T4
19/11/2003	7,20	2,25	0,75	1,55	720,00	112,50	37,50	155,00	1/2/2/1	T5 *
19/11/2003	6,68	2,56	1,01	1,40	668,00	128,00	50,50	140,00	1/2/2/1	T5 *
26/11/2003	6,04	2,67	0,98	1,55	604,00	133,50	49,00	155,00	1/2/2/1	T6 *
26/11/2003	5,99	2,65	0,90	1,49	599,00	132,50	45,00	149,00	1/2/2/1	T6 *
11/12/2003	15,33	3,21	0,97	2,13	1.533,00	160,50	48,50	213,00	1/2/2/1	T7 *
11/12/2003	13,73	3,25	1,39	2,82	1.373,00	162,50	69,50	282,00	1/2/2/1	T7 *
21/1/2004	18,72	0,93	0,47	0,63	1.872,00	46,50	23,25	63,10	1/2/2/1	T8 *
21/1/2004	8,21	0,97	0,65	0,58	1.642,00	48,70	32,45	58,40	3/2/2/1	T8 *
29/1/2004	14,41	0,87	0,40	0,20	1.441,00	43,35	20,05	20,30	1/2/2/1	T9 *
29/1/2004	6,10	0,69	0,26	0,17	1.220,00	34,60	13,00	16,70	3/2/2/1	T9 *

Obs.:	Dil. *
1	100
2	50
3	200