



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA: USO DE  
REATORES ANAERÓBIOS SEQUENCIAIS SEGUIDO DE LEITOS  
CULTIVADOS**

**ANTONIO CARLOS TURCATI TOBIAS**

CAMPINAS  
JUNHO DE 2002



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

## **TRATAMENTO DE RESÍDUOS DA SUINOCULTURA: USO DE REATORES ANAERÓBIOS SEQUENCIAIS SEGUIDO DE LEITOS CULTIVADOS**

Tese submetida à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como requisito parcial para obtenção do Título de Doutor em Engenharia Agrícola na área de concentração em Água e Solos.

**ANTONIO CARLOS TURCATI TOBIAS**

**Orientador: Prof. Dr. Denis Miguel Roston**

CAMPINAS  
JUNHO DE 2002

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

T443t Tobias, Antonio Carlos Turcati  
Tratamento de resíduos da suinocultura: uso de  
reatores anaeróbios seqüenciais seguido de leitos  
cultivados / Antonio Carlos Turcati Tobias. --  
Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Denis Miguel Roston.  
Tese (doutorado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Suíno - Criação. 2. Resíduos de animais. 3.  
Resíduos orgânicos. 4. Resíduos. 5. Águas residuais.  
I. Roston, Denis Miguel. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.  
Título.

**DEDICO:**

Ao meu pai Antonio e minha mãe  
Orlanda que fizeram de suas vidas  
um modelo de trabalho e oração.

**OFEREÇO:**

À minha esposa Maria José e meus filhos Cesar e Mateus que sempre me incentivaram e acreditaram que conseguiria superar este desafio em minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS, sempre presente em todos momentos da minha vida.

Ao Prof. Dr. Denis Miguel Roston, pela amizade e orientação,

À comissão de orientação, Profs. Dr Paterniani e Dr Durval pelas valiosas sugestões.

Às Professoras do CREUPI, Nirlei Maria Oliveira e Marianna Stella Zibordi pela valiosa ajuda na parte de referências bibliográficas.

À Prof. Ione Aparecida Collozza Gonçalves pela valiosa ajuda na correção da tese

Ao Eng. Agrícola MSc Marcelus Alexander Acorinte Valentim pela colaboração na parte experimental.

Aos Professores do CREUPI, Dra Nilva Terezinha Teixeira, MSc. Carlos Antonio Centurion Maciel e Dra Rogéria Maria Alves de Almeida pela colaboração na parte experimental .

À Maria Angélica Peralva, Técnica do Laboratório de Saneamento da FEAGRI-UNICAMP pela condução das análises durante todo período experimental.

Ao técnico do laboratório de Solos do Curso e Engenharia Agronomica do CREUPI Luciano Risetto pela realização das análises de laboratório de macro e micronutrientes.

À Aninha e Marta secretárias da CPG, FEAGRI-UNICAMP sempre prestativas e dispostas a auxiliar.

Ao Eng. Agr. Rogério Antonio Sellito Coordenador do Campus I do CREUPI, devido a construção dos reatores e leitões e manutenção dos animais durante toda fase experimental

Ao vice presidente da Fundação Pinhalense de Ensino Marcelo Miranda devido a ajuda nos materiais utilizados

À todos que de uma maneira ou outra ajudaram na elaboração deste trabalho.

## ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xii
RESUMO	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo Geral	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Importância da Suinocultura na Pecuária Brasileira	5
3.1.1. Produção Quantitativa do Dejeto	7
3.1.2. Característica Poluente do Dejeto	9
3.1.3. Microrganismos Presentes no Dejeto	12
3.1.4. Doenças de Veiculação Hídrica	14
3.1.5. Contaminação do solo	15
3.1.6. Gases Nocivos	15
3.2. Inativação de Organismos Patogênicos	15
3.3. Principais Indicadores de Poluição e Contaminação	17
3.4. Sistemas de Tratamento do Dejeto	19
3.4.1. Aplicação em Áreas de Pastagem	19
3.4.2. Processo de Compostagem	20
3.4.3. Lagoas de Estabilização	21
3.4.4. Biodigestor	21
3.4.5. Processos de Digestão	22
3.4.6. Quanto a Temperatura	26
3.4.7. Quanto ao pH	27
3.5. Reator Anaeróbio Compartimentado	27
3.6. Leitões Cultivados	37
3.7. Plantas Aquáticas	40

4. MATERIAL E MÉTODOS	44
4.1. Local do Experimento	44
4.2. Animais Utilizados no Experimento	44
4.3. Medição da Vazão	45
4.4. Construção do Sistema	45
4.4.1. Tanque de Equalização	47
4.4.2. Construção do Reator Compartmentado	47
4.5. Leitos Cultivados	49
4.6. Entrada dos Animais na Granja	53
4.7. Tempo de Detenção Hidraulico (TDH)	54
4.8. Fases do Experimento	54
4.8.1. Primeira Fase	54
4.8.2. Segunda Fase	55
4.8.3. Terceira Fase	56
4.8.4. Quarta Fase	57
4.9. Resíduos	59
4.9.1. Parte Sólida do Dejeito Obtido Após a Limpeza Seca	59
4.9.2. Resíduos do Tanque de Equalização	60
4.9.3. Destino do Efluente do Leito 2	60
4.9.4. Cultivo Hidropônico	61
4.9.5. Lodo Produzido na Câmara 1	62
4.9.5.1. Utilização do Lodo Produzido na Câmara 1 em Cultivo de Alface em Vasos	62
4.9.5.2. Utilização do Lodo Produzido na Câmara 1 em Cultivo de Alface em Vasos e Adubação Química	63
4.9.5.3. Utilização do Lodo Produzido na Câmara 1 no Solo e Produção de Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> ), CV. CARIOCA	65
4.9.5.4. Efeitos de Biossólidos de Suínos no Solo e Produção de Rabanete ( <i>Raphanus sativus</i> L.)	66
4.10. Coleta de Amostras do Tanque de Equalização, Reator Comparatimentado e dos Leitos Cultivados para Análise	66
4.10.1. Sólidos Sedimentáveis	66

4.10.2. pH	67
4.10.3. DQO	67
4.10.4. Sólidos Suspensos, N, P e K	67
4.11. Programação dos Ensaios	67
4.12. Métodos de Análise Laboratorial	68
4.13. Coleta de Amostras para Análise Microbiológicas	69
4.14. Análises Microbiológicas das Amostras	70
4.14.1. Águas Residuárias	70
4.14.2. Amostra de Fezes	70
4.14.3. Isolamento e Identificação de Enterobactérias	71
4.14.4. Isolamento de Bactérias do Gênero <i>Staphylococcus</i>	71
4.14.5. Isolamento e Identificação de Bolores e Leveduras	71
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
5.1. Fases do Experimento	72
5.1.1. PRIMEIRA FASE	72
5.1.1.1. Concentração e Redução da DQO dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leito Cultivados com TDH de 10,76 dias, período compreendido entre 26/10/00 a 21/12/00	72
5.1.1.2. Desempenho do Sistema (Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas) com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/10/00 a 21/12/00	74
5.1.1.3. Valores de pH do Sistema (Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas) com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/10/00 a 21/12/00	75
5.2. SEGUNDA FASE	76
5.2.1. Resultados da Redução da DQO do Tanque de Equalização até o Efluente do Leito 2 com um TDH de 21,52 dias, período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01	76
5.2.2. Redução de Sólidos Suspensos (mg/L) do Tanque de Equalização até o Efluente do Leito 2 com TDH de 21,52 dias, vazão considerada de 12 L/h no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01	78
5.2.3. Concentração de Fósforo (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator	

Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com TDH de 21,52 dias (8,98 dias para o Reator e 12,54 dias para os Leitos) no período compreendido entre 22/12/00 à 02/02/01	79
5.2.4 Concentração de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no Sistema com TDH de 21,52 dias, no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01	80
5.2.5. Valores de pH dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e leitos Cultivados com Macrófitas com TDH de 21,52 dias no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01	82
5.3. TERCEIRA FASE	83
5.3.1. Desempenho do Sistema (Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas) com TDH de 10,76 dias na Redução de DQO, no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	83
5.3.2. Desempenho do Sistema com um TDH de 10,76 dias na Redução de Sólidos Suspensos, no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	84
5.3.3. Redução do Nitrogênio	86
5.3.3.1. Concentração e Redução do Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com um TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	86
5.3.3.2. Concentração e Redução do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	87
5.3.3.3. Concentração e Redução do Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com um TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	88
5.3.4. Concentração de Fósforo (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com um TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	89
5.3.5. Valores de pH dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado	

e Leitões Cultivados com Macrófitas, com um TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01	90
5.3.6. Concentração e Remoção de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitões Cultivados com TDH de 10,76 dias no período entre 26/03/01 a 15/05/01	90
5.4. QUARTA FASE	91
5.4.1. Peso do Dejetos durante a Fase de Recria e Engorda	91
5.4.2. Análise Bromatológica do Dejetos de Suíno, dados expressos na Matéria Seca	92
5.4.3. Desempenho do Reator Compartimentado e Leitões Cultivados com Macrófitas com TDH de 10,76 dias na Redução de DQO, no período compreendido entre 23/05/01 a 01/08/01	92
5.4.4. Desempenho do Sistema com TDH de 10,76 dias na Redução de Sólidos Suspensos (mg/L), no período compreendido entre 23/05/01 a 01/08/01	94
5.4.5. Valores do pH do Sistema com TDH de 10,76 dias, no período compreendido entre 30/05/01 a 01/08/01	95
5.4.6. Desempenho do Sistema com TDH de 10,76 dias na Redução de Macronutrientes, dos efluentes do tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitões Cultivados no período compreendido entre 30/05/01 a 01/08/01	95
5.4.7. Desempenho do Sistema com TDH de 10,76 dias na Redução de Micronutrientes, no período compreendido entre 23/05/01 a 01/08/01	97
5.5. Concentração e Redução da DQO no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e diferentes quantidades de animais	98
5.6. Eficiência da Remoção dos Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais	99
5.7. Valores de pH no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais	100
5.8. Eficiência da Redução Média dos Sólidos Suspensos (mg/L) no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais	100
5.9. Concentração e Redução Média do Fósforo (g/kg) no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais	101
5.10. Eficiência da Redução Média do Nitrogênio	102

5.10.1. Eficiência da Redução Média de Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg) no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais	102
5.10.2. Redução Média do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais	103
5.10.3. Eficiência da Redução Média do Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) no Sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	103
5.11. Análise das Plantas e da Água do Leito 1	104
5.12. Hidroponia	106
5.13. Utilização do Lodo Produzido no Reator 1	107
5.13.1 Utilização do Lodo Produzido no Reator 1, no Cultivo de Feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> )	107
5.13.2. Efeitos de Biossólido de Suínos no Solo e Produção de Rabanete ( <i>Raphanus sativus L.</i> )	109
5.13.3. Utilização do Lodo Produzido no Reator 1 Cultivo de Alface em Vasos	110
5.13.4. Utilização do Lodo Produzido no Reator 1 Cultivo de Alface em Vasos e Adubação Química	111
5.14. Microbiologia	111
5.15. Excedente Resultante da Limpeza do Tanque de Equalização	114
6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES	115
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Principais países produtores de carne suína e consumo per capita/ano	5
<b>Tabela 2.</b> Rebanho suíno por região do Brasil	6
<b>Tabela 3.</b> Exigência de água dos suínos, de acordo com a fase do ciclo de produção.	8
<b>Tabela 4.</b> Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos	9
<b>Tabela 5.</b> Composição química dos dejetos de suínos em função do sistema de manejo utilizado	10
<b>Tabela 6.</b> Algumas características dos dejetos de suínos em unidade de crescimento e terminação manejados em fossas de retenção	10
<b>Tabela 7.</b> Características químicas dos resíduos de suínos	11
<b>Tabela 8.</b> Composição química média (%) de resíduos líquidos não decompostos e submetidos a fermentação anaeróbia produzidos por diferentes espécies.	11
<b>Tabela 9.</b> Tempo de retenção em biodigestor para eliminação de microrganismos	21
<b>Tabela 10.</b> Desempenho do RAC sob diferentes TCO, no estado de regime estacionário	32
<b>Tabela 11.</b> Parâmetros de avaliação e sua periodicidade	36
<b>Tabela 12.</b> Produção de algumas hortaliças cultivadas em estufa em sistema hidropônico e em campo	42
<b>Tabela 13.</b> Delineamento experimental comparativo entre a utilização da água da piscicultura em comparação ao substrato utilizado em cultivo hidropônico.	43
<b>Tabela 14.</b> Dimensões do tanque de equalização e das câmaras do reator compartimentado	48
<b>Tabela 15.</b> Dimensões dos Leitos 1 e 2	50
<b>Tabela 16.</b> Quantidades adequadas de macronutrientes em g/kg para cultura da alface	62
<b>Tabela 17.</b> Tratamentos empregados no experimento.	66
<b>Tabela 18.</b> Concentração de DQO (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados, no período de 26/10/2000 a 21/12/2000.com TDH de 10,76 dias	73
<b>Tabela 19.</b> Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização de cada um dos Compartimentos do Reator e dos Leitos 1 e 2, no período de 26/10/2000 a	

21/12/2000 com um TDH de 10,76 dias	74
<b>Tabela 20.</b> Valores de pH no sistema	75
<b>Tabela 21.</b> Concentração e eficiência de redução da DQO dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Anaeróbio e Leitos Cultivados	77
<b>Tabela 22.</b> Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e dos Leitos Cultivados, no período de 22/12/2000 a 02/02/2001	78
<b>Tabela 23.</b> Concentração de Fósforo na Forma P (g/kg) obtidos no período, oriundos dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e dos Leitos Cultivados, no período de 22/12/00 a 02/02/01	80
<b>Tabela 24.</b> Concentração e Redução da DQO dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados com TDH de 10,76 dias	83
<b>Tabela 25.</b> Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, do Reator Anaeróbio Compartmentado e Leitos Cultivados, no período de 26/03/01 a 15/05/01	85
<b>Tabela 26.</b> Resultados da Concentração do Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados, no período	86
<b>Tabela 27.</b> Resultados do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados, no período de 26/03/01 a 15/05/01	87
<b>Tabela 28.</b> Concentração e Redução do Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados, no período de 26/03/01 a 15/05/01	88
<b>Tabela 29.</b> Resultados do Fósforo na Forma de P (g/kg) dos efluentes do tanque de equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados, no período	89
<b>Tabela 30.</b> Peso médio do esterco (kg) durante a fase de recria e engorda	92
<b>Tabela 31.</b> Valor do dejetos dados expressos na matéria seca (MS).	92
<b>Tabela 32.</b> Concentração e redução da DQO (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados no período entre 30/05/01 a 01/08/01	93

<b>Tabela 33.</b> Concentração e Redução de Sólidos Suspensos (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitões Cultivados no período, com TDH de 10,76 dias	94
<b>Tabela 34.</b> Valores de pH do sistema no período entre 30/05/01 a 01/08/01 com TDH de 10,76 dias	95
<b>Tabela 35.</b> Análise das plantas e da água do Leito 1	105
<b>Tabela 36.</b> Resultado das análises de água resultante do efluente do leito 2	106
<b>Tabela 37.</b> Valores de análise do lodo produzido no reator 1, de origem suína, base seca, correspondente a 10% do peso	107
<b>Tabela 38.</b> Valores de análise do lodo produzido no Reator 1, de origem suína, base seca, correspondente a 10% do peso	107
<b>Tabela 39.</b> Valores da análise química de solo – Análise básica	107
<b>Tabela 40.</b> Valores da análise química de solo: Micronutrientes (DTPA)	107
<b>Tabela 41.</b> Tratamentos, produção média de rabanete e análise estatística	109
<b>Tabela 42.</b> Peso (g) da parte aérea e parte verde da planta.e as médias do Delineamento Estatístico aplicando o teste de Tukey a 5%	110
<b>Tabela 43.</b> Resultados obtidos para peso (g) fresco da parte aérea em alface ( <i>lactuca sativa</i> ) em experimento com diferentes níveis de biossólido de suíno resultante do compartimento 1, e análise estatística, empregando o teste de Tukey a 5%.	111
<b>Tabela 44.</b> Resultados das amostras de efluentes de suíno provenientes das unidades do sistema, na eliminação de microrganismos patogênicos	112
<b>Tabela 45.</b> Bactérias encontradas nas amostras colhidas e presença ou ausência destas	112

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Cultivo e adaptação das macrófitas no Leito Cultivado 1	52
<b>Quadro 2.</b> Cultivo e adaptação das macrófitas no Leito Cultivado 2	52
<b>Quadro 3.</b> Datas e quantidade de animais utilizados durante a fase experimental	54
<b>Quadro 4.</b> Concentração de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, de cada uma das Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados no período de 22/12/00 a 02/02/01	81
<b>Quadro 5..</b> Valores de pH dos efluentes do Tanque de equalização, Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados no período compreendido entre os dias 22/12/00 a 02/02/01	82
<b>Quadro 6.</b> Valores de pH da água oriunda dos efluentes do Tanque de Equalização, Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados no período entre os dias 26/03/01 a 15/05/01.	90
<b>Quadro 7.</b> Concentração e Remoção de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e dos Leitos Cultivados no período de 26/03/01 a 15/05/01	91
<b>Quadro 8.</b> Concentração de macroelementos no período entre 30/05/01 a 01/08/01 com um TDH de 10,76 dias	96
<b>Quadro 9.</b> Concentração e Redução de Microelementos no período entre 30/05/01 a 01/08/01	98
<b>Quadro 10.</b> Valores médios encontrados para Redução da DQO no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e número de animais	99
<b>Quadro 11.</b> Valores médios encontrados para Remoção dos Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e número de animais	99
<b>Quadro 12.</b> Valores de pH em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	100
<b>Quadro 13.</b> Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	101
<b>Quadro 14.</b> Concentração de Fósforo (g/kg) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	102
<b>Quadro 15.</b> Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	102

<b>Quadro 16.</b> Concentração de Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	103
<b>Quadro 17.</b> Concentração de Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais	104
<b>Quadro 18.</b> Tratamentos, dosagens de biossólido, produção de sementes de feijão, análise estatística e alterações em valores de análise	108
<b>Quadro 19.</b> Tratamentos, dosagens de biossólido, produção de sementes, análise estatística e alterações em valores de análise	108

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas no homem e nos animais	13
<b>Figura 2.</b> Esquema simplificado da digestão anaeróbia.	24
<b>Figura 3.</b> Diagrama esquemático do sistema contendo o RAC	28
<b>Figura 4.</b> Diagrama esquemático do sistema modificado contendo o RAC	29
<b>Figura 5.</b> Esquema do reator anaeróbio compartimentado implantado em Cosmópolis	35
<b>Figura 6.</b> Tanque séptico modificado da FEAGRI - UNICAMP	37
<b>Figura 7.</b> Ilustração fotográfica das caixas existentes no local	45
<b>Figura 8.</b> Esquema ilustrativo do sistema de tratamento	46
<b>Figura 9.</b> Foto ilustrativa do tanque de equalização e do registro para regulagem da vazão	47
<b>Figura 10.</b> Ilustração fotográfica dos amostradores e açalpões	48
<b>Figura 11.</b> Ilustração fotográfica da alimentação dos compartimentos	49
<b>Figura 12.</b> Ilustração fotográfica do efluente dos reatores e distribuição nos leitos 1 e 2	50
<b>Figura 13.</b> Ilustração fotográfica do sistema de regulagem da lâmina d'água	51
<b>Figura 14.</b> Ilustração fotográfica das britas e das plantas aquáticas	53
<b>Figura 15.</b> Ilustração fotográfica do filtro para o tanque de equalização.	59
<b>Figura 16.</b> Ilustração fotográfica da caixa para armazenar o efluente do leito 2 e a bomba de fundo	61
<b>Figura 17.</b> Ilustração fotográfica das mudas, vasos, plantio e produção	64
<b>Figura 18.</b> Ilustração fotográfica das culturas e desenvolvimento de colônias	113
<b>Figura 19.</b> Ilustração fotográfica das culturas e desenvolvimento de colônias	113

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi construir, operar e avaliar num período de 22 meses, um sistema conjugado de um reator anaeróbio compartimentado, composto por 4 câmaras em série, com capacidade de 2.586 litros, seguido de 2 leitos cultivados com macrófitas, com capacidade para 7.047 litros, em forma retangular, construídos de alvenaria acima do solo, com vazão sub-superficial. O meio suporte utilizado para ambos foi a brita nº 3 e cultivados com macrófitas emergentes (*Typha spp.*) no tratamento dos resíduos líquidos de uma granja de produção de suínos

O sistema operou com 2 Tempos de Detenção Hidráulica (TDH), 10,76 dias com vazão 24 litros/h e 21,52 dias com vazão de 12 litros/h.

A parte experimental, foi dividida em 4 fases. A primeira fase iniciou-se em 26/10/2000 à 21/12/2000, com TDH de 10,76 dias, a segunda fase aconteceu entre 22/12/2000 até a data de 02/02/2001 com TDH de 21,52 dias, a terceira fase de avaliação foi entre 26/03/2001 à 15/05/01, com TDH de 10,76 dias e a quarta fase de avaliação foi entre 23/05/2001 até 01/08/2001, com TDH de 10,76 dias.

O sistema apresentou porcentagens médias na redução de DQO de 89,11%, de Sólidos Sedimentáveis de 100,00%; os valores de pH estiveram na faixa entre 6,18 – 7,8; nos Sólidos Suspensos a eficiência de redução foi de 81,77% e a redução de Fósforo 15,29%.

Nas diferentes formas de Nitrogênio, o sistema apresentou eficiência de 36,98% na redução do Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg). Na forma de Nitrato (g/kg), a redução foi de 36,27% na terceira fase e o Nitrogênio na forma Amoniacoal (g/kg) o sistema apresentou redução de 37,51%.

Durante a fase experimental, o TDH e o número de animais não interferiram na eficiência do sistema dos itens analisados. Sendo que na primeira fase a redução média de DQO observada foi de 89,04%, na segunda 89,06, na terceira 89,68 e na quarta 88,67%.

O sistema removeu 100% de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) em 3 períodos analisados. No que se refere a Sólidos Suspensos (mg/L) com TDH de 10,76 dias e número de animais 20 e 13, o sistema apresentou uma taxa menor (75,44%) e com TDH de 21,52 dias, as taxas foram de 89,64 e 80,23%.

Na redução de Fósforo o sistema apresentou eficiência melhor quando tratado o resíduo de 13 animais com uma taxa de 25,24% e trabalhado com um TDH de 21,52 dias observou-se redução de 15,46% tratando o resíduo de 20 animais e 5,17% com TDH de 10,76 dias tratando o resíduo de 20 animais.

As macrófitas cultivadas nos leitos apresentaram amarelamento e manchas necróticas nas folhas o que sugere fitotoxidez causada, provavelmente, por excesso ou forma disponível de nutrientes no efluente dos reatores.

O lodo que se forma nos reatores mostrou ser uma alternativa para o emprego na agricultura como uma fonte de matéria orgânica e excelente condicionador de solo.

O emprego de efluente do leito 2 como substrato na cultura de plantas não apresentou os resultados esperados, mas merece atenção por se tratar de material com boa composição de macro e micronutrientes.

Através da análise bromatológica, o material obtido da limpeza seca (fezes, urina e ração) pode ser mais uma alternativa como fonte de alimentos, principalmente para ruminantes.

O sistema conjugado (reatores e leitos) apresentou boa eficiência na eliminação dos patógenos pesquisados.

Palavras Chaves: Tratamento de Resíduos, Suinocultura, Leitos Cultivados, Reator Anaeróbio.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a criação de suínos vem progredindo rapidamente. A expansão do setor é atribuída ao pequeno espaço que os animais necessitam para seu crescimento e desenvolvimento e por ser uma fonte de proteína barata conjugada a carne saborosa.

Com a demanda do consumo interno e das exportações, a suinocultura passou por mudanças adequando-se aos padrões de qualidade internacionais, sofrendo alterações de seu nível tecnológico, genético, nutricional, manejo e sanitário para que os animais obtenham o máximo de produção.

As instalações têm sido projetadas para oferecer um ambiente de conforto e, conseqüentemente, de produção.

Outros fatores têm contribuído para o crescimento desta atividade como o curto ciclo de produção.

O confinamento tem sido uma prática constante na atividade suinícola. É importante mencionar a grande quantidade de água e de boa qualidade que é utilizada nos criatórios para consumo, limpeza das instalações e conforto desses animais.

A maioria dessas propriedades, por não possuir equipamentos e construções adequadas para o armazenamento e tratamento do dejetos, induz o seu lançamento em rios e cursos d'água naturais, promovendo assim, em muitos casos, a deterioração destes ambientes.

A tendência em adotar sistemas de confinamento na produção de suínos e de outras espécies de animais tem gerado quantidades cada vez maiores de dejetos, motivo pelo qual torna-se uma fonte de preocupação a preservação ambiental inerente à atividade.

Esse dejetos lançado no meio ambiente tem sido a causa de sérios desequilíbrios ecológicos e poluição ambiental.

Quanto maior for a quantidade de matéria orgânica existente, maior será a sua concentração ou poder poluente, a qual é normalmente avaliada pela sua DBO<sub>5</sub> e DQO.

As águas residuárias devem ser tratadas antes de seu lançamento em um corpo d'água receptor a fim de reduzir a disseminação de doenças transmissíveis, causadas por organismos patogênicos existentes na água; evitar a poluição de águas subterrâneas e de superfície; proteger melhor o solo e ar e evitar odores indesejáveis, provenientes de manejo inadequado do dejetos.

O material fecal pode conter vários tipos de bactérias patogênicas, vírus e outros microrganismos. Assim sendo, todo corpo d'água que receber determinada carga de dejetos estará também recebendo os organismos patogênicos.

De todas as questões ambientais a água é, com certeza, a que mais cedo coloca em risco o desenvolvimento sócio - econômico e a qualidade de vida da população.

A agregação de elementos estranhos na contaminação da água dá-lhe novas identidades. Além da contaminação com produtos químicos organo-sintéticos e produtos bioacumulativos, o dejetos de qualquer origem prejudica sensivelmente a qualidade da água.

Para que a produção de dejetos não cause impactos ao meio ambiente é necessário criar novos sistemas de tratamento, ou adotar técnicas de manejo do dejetos das granjas produtoras e pela indústria.

Esses dejetos, se processados adequadamente, podem contribuir para com o produtor, deixando de ser um problema ambiental e transformados em aumento de lucratividade.

Na somatória desses fatores, é importante propor sistemas de tratamento para dejetos quer sejam de origem animal ou doméstica para efluentes diversos a fim de minimizar os efeitos negativos que os mesmos têm causados ao meio ambiente, principalmente ao que se refere à qualidade da água.

Os sistemas de tratamento anaeróbio têm se mostrado como uma forma eficiente de saneamento.

A idéia em se empregar o uso do reator anaeróbio compartimentado, seguido de leitos cultivados com macrófitas, como forma de tratamento, cria uma expectativa e mais uma alternativa para se tratar este resíduo.

A retirada do material mais grosseiro das baias através da limpeza seca, já elimina parte do material contaminante e poluente. Com esta medida, utiliza - se menos água para a retirada do material mais grosseiro, que constitui uma fonte de renda para o agricultor,

se o material for tratado, podendo ser utilizado na criação de peixes, ou compostado, servindo como matéria orgânica aplicada ao solo ou utilizado na alimentação de outras espécies, principalmente a de ruminantes.

O lodo (biossólido) que se forma dentro do compartimento dos reatores é um material que, com o tempo, tem que ser retirado e utilizado de forma adequada. O estudo da utilização do lodo na agricultura cria uma expectativa de viabilizar o uso de biossólido de suínos como fonte de nutrientes, verificando os efeitos sobre as características do solo.

Após os estudos realizados, o leito cultivado com macrófitas mostrou-se uma alternativa de tratamento eficiente para eliminação de material poluente e contaminante. As britas servirão como meio suporte e um filtro para possíveis arrastes de sólidos que venham a sair dos compartimentos, como as raízes das plantas aquáticas que servem para agregação de organismos que passam pelo leito e a absorção de macro e microelementos.

Torna-se necessária uma averiguação da porcentagem de quanto o leito cultivado com macrófita pode absorver de macro e micronutrientes. Uma avaliação da composição do efluente deverá ser realizada, bem como um estudo do aproveitamento deste material na agricultura antes do seu lançamento em curso d'água.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo geral

Projetar, construir, operar e avaliar um sistema de tratamento de água residuária da suinocultura composto de reator anaeróbico compartimentado seguido de leitos cultivados com macrófitas.

### 2.2. Objetivos Específicos

- avaliar o funcionamento do reator compartimentado como tratamento primário dos resíduos de suínos;
- avaliar o desempenho do leito cultivado no tratamento do efluente do reator compartimentado;
- avaliar o crescimento da taboa em ambiente com altas taxas de DBO, DQO e nutrientes (Nitrogênio e Fósforo);
  - avaliar a redução de coliformes;
  - viabilizar o resíduo sólido, através do processo de compostagem, utilizando como matéria prima folhas de taboa seca, descarga do tanque de equalização e o dejetos produzido nas baias oriundas da limpeza seca;
  - verificar a possibilidade de utilização do lodo (biossólido) de suínos como fonte de nutrientes, verificando os efeitos sobre as características do solo.
- Fazer um estudo sobre o reuso da água efluente do tratamento, como matéria prima para hidroponia.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Importância da Suinocultura na Pecuária Brasileira

O rebanho mundial de suínos estimado em 1996 era de 785,5 milhões de animais, contribuindo em 78,5 milhões de toneladas de carne, sendo que a China ocupa o primeiro lugar na produção mundial, com um rebanho estimado em 441,7 milhões de cabeças, seguida pelos Estados Unidos, Alemanha e França. A previsão de crescimento médio anual do rebanho suíno está estimado em 4,8% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS, 2001) .

A população mundial, segundo a FAO (1989) era de 5.950 milhões de pessoas e a produção mundial de carne suína de 86.400 milhões de toneladas, com consumo per capita de 14,52 kg/habitante/ano.

Os principais países produtores de carne suína e o consumo por habitante/ano , segundo a FAO (1989), estão descritos na Tabela 1.

**Tabela 1.** Principais países produtores de carne suína e consumo per capita/ano

	PAÍSES	Produção (Milhões de toneladas.)	Consumo (kg/hab/ano)
1	CHINA	36,93	30,00
2	USA	8,52	30,60
3	ALEMANHA	3,50	58,10
4	ESPANHA	2,52	58,50
5	FRANÇA	2,30	37,00
6	POLÔNIA	1,81	41,40
7	DINAMARCA	1,70	70,20
8	BRASIL	1,69	10,09
9	HOLANDA	1,61	44,30
10	RÚSSIA	1,40	11,80
	OUTROS	24,42	-
		86,40	14,52

Fonte: FAO (1989).

O rebanho brasileiro aumentou em número de cabeças e em 1996 ocupava o terceiro lugar, com um rebanho estimado em 32,5 milhões.

A maior representação numérica, econômica e tecnológica do rebanho brasileiro (Tabela 2) está na região sul. Seguem pela ordem as regiões sudeste, centro oeste, nordeste e norte.

**Tabela 2.** Rebanho suíno por região do Brasil

Região	Número de cabeças (milhões)	%	Estados
Sul	12,45	34,10	RS, SC, PR
Sudeste	6,86	18,80	MG, ES, RJ, SP
Nordeste	8,72	23,90	MA, PI, CE, RN, PB, AL, SE,
Centro-oeste	5,86	15,56	BA, PE
Norte	2,79	7,64	RO, AC, AM, RR, PA, AP, TO
Total	36,50	100,00	

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (2001)

As regiões sudeste e centro-oeste, destacam-se graças aos grandes investimentos no setor que estão sendo implantados nos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso principalmente.

A expansão deste setor é atribuída ao pequeno espaço que esses animais precisam para seu crescimento e desenvolvimento e por ser uma fonte de proteína barata e saborosa.

Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS (2001), a carne suína é um alimento nutritivo. Em pesquisa recente de opinião pública, 92% dos entrevistados destacaram como pontos positivos a maciez e o sabor característico e como pontos fracos foram apontados por 55% das pessoas, teores de gordura e colesterol.

Desde 1980 até hoje, o suíno perdeu 31% de gordura, 14% de calorias e 10% de colesterol.

A suinocultura no Brasil representa uma atividade importante para o país, por gerarem um grande volume de empregos diretos ou indiretamente e por produzir um alimento altamente protéico de boa qualidade. A atividade está mais concentrada na região sul e tem uma característica predominante de pequenas propriedades rurais, em áreas com limitações topográficas para estabelecimento de lavouras extensivas. Cerca de 81,7% dos suínos são criados em unidades de até 100 ha (OLIVEIRA, 1993).

### **3.1.1. Produção Quantitativa do Dejeto**

Segundo GODINHO (1995), o esterco tem custo operacional relativamente elevado para sua remoção das instalações de confinamento. A técnica de reciclagem do esterco pode mudar esta situação criando uma renda adicional às criações de suínos, aves e gado de leite.

O esterco só era usado na agricultura, incorporado à terra, ou misturado com adubos químicos na agricultura, ou puro na forma líquida, ou ainda curtido e seco na horticultura. Entretanto, já está sendo empregado com excelentes resultados na geração de energia em biodigestores, na criação de peixes, criação de minhocas e recuperado na formulação de ração (GODINHO, 1995).

Conforme o autor estas ampliações do esterco particularmente para as grandes granjas, abrem um campo para pesquisas muito interessante, porque deixa de ser um material poluente para ser um material de valor, além de ser um melhorador e condicionador de solos, influenciando sobre as suas qualidades físicas, químicas, macro e microbiológicas.

A implantação do equilíbrio agropecuário é uma opção para melhorar a vida dos agricultores e o meio em que trabalham e requer técnicas baratas e acessíveis a todos agricultores (GODINHO, 1995).

Nas nossas criações, toneladas de esterco são desperdiçadas; estima – se que uma granja de mil porcos, pode produzir 2 mil kg de esterco e de 4 a 5 mil litros de urina por dia, que nos dá uma idéia da quantia de dejetos produzidos no final de 1 ano (GODINHO, 1995).

O desenvolvimento da suinocultura tem como fator preocupante a quantidade de dejetos produzidos diariamente, baseados em estimativas.

Segundo OLIVEIRA (1994), a produção de suínos no Brasil gera de 32 a 51 milhões de toneladas de dejetos/ano. KONZEN, (1980) argumenta que os suínos nas fases de crescimento e terminação, produzem em média 7 litros/dejeto/dia.

A quantidade de dejetos líquido produzido por suínos varia de acordo com a fase dentro do criatório, cerca de 4,9 a 8,5% de seu peso vivo/dia. A quantidade de urina produzida depende da ingestão de água; em média para cada litro consumido, resulta em 0,6 litro de dejetos líquido (OLIVEIRA, 1994).

Conforme citação de SILVA (1979), a diluição dos resíduos utilizada numa suinocultura é variável de acordo com o tipo de instalação, disponibilidade de água e hábitos do criador. O consumo de água por cabeça/dia está entre 5 a 10 litros. O uso da água tem como finalidade diluir a concentração das fezes e urina produzidas recentemente e tratá-las como resíduo líquido. O autor cita que esta diluição pode ocasionar dificuldade em tratar este resíduo, uma vez que quando se emprega água no resíduo, há um aumento de volume e pode representar dificuldade no tratamento. O ideal é minimizar o uso da água.

A Tabela 3 apresenta a relação do consumo de água em relação ao consumo nas diferentes fases do ciclo de produção.

**Tabela 3.** Exigência de água dos suínos, de acordo com a fase do ciclo de produção.

Categoria/Peso vivo	Exigência em água: litros/dia/suíno	
	Temperatura ambiente	
	22° C	35° C
Leitão : 5 kg	0,7	1,0
10 kg	1,0	1,4
20 kg	2,0	3,5
Suíno: 25 a 50 kg	4,0 a 7,0	10,0 a 15,0
50 a 100 kg	5,0 a 10,0	12,0 a 18,0
Matrizes desmamadas e porcas em início de gestação	8,0 a 12,0	15,0 a 20,0
Matrizes no final da gestação e cachaços	10,0 a 15,0	20,0 a 25,0
Matrizes em lactação	15 + 1,5 x NL	25 + 1,8 NL

NL = número de leitões

Fonte: Suínos...1998. p.140.

A composição do dejetos de suíno varia em função da quantidade de água usada nas instalações, tipo de alimento e idade dos animais, sendo que a composição mais completa de resíduos líquidos está na fase de crescimento e terminação.

A Tabela 4 apresenta as variações das quantidades de dejetos líquidos produzidos de acordo com diferentes fases do sistema de criação.

**Tabela 4** - Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos.

Fases de Produção dos Suínos	esterco kg/dia	Esterco + urina kg/dia	Dejeto líquido L/dia	Produção m <sup>3</sup> /animal/mes dejeto líquido
25 –100 Kg	2,30	4,90	7,00	0,25
Porcas	3,60	11,00	16,00	0,48
P. lactação	6,40	18,00	27,00	0,81
Macho	3,00	6,00	9,00	0,28
Leitões creche	0,35	0,95	1,40	0,05
Média	2,35	5,80	8,60	0,27

Fonte: KONZEN (1980).

### 3.1.2. Característica Poluente do Dejeto

A quantidade de dejeto produzido diariamente dentro de uma granja é muito grande e representa elevado potencial de poluição. As granjas utilizam riachos, rios, lagos e outros para lançamentos do dejeto animal, denominando-se assim de diluição (SILVA, 1979).

O lançamento de águas residuárias tratadas ou não em um rio exerce uma demanda de oxigênio, resultando numa diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido, (SILVA, 1979), causando a fertilização da água com sais de nitrogênio e fósforo, tornando um meio mais propício para o desenvolvimento de algas (BRANCO, 1972).

As algas apesar de não causarem danos pela grande quantidade de oxigênio que produzem, podem criar problemas de abastecimento quando atingem altas concentrações, pois obstruem o sistema de filtros. Provocam também odor e sabor indesejável, e alteram as características químicas da água (BRANCO, 1972).

Os organismos patogênicos e a decomposição da matéria orgânica instável provocam a falta de oxigênio e, conseqüentemente, a morte dos peixes. Há também a presença de ácidos, óleos e outros materiais tóxicos que são responsáveis por tornarem a água imprópria para consumo e à vida de seres aquáticos.

Os problemas de poluição ocasionados pelo dejeto suíno podem ser evitados ou diminuídos com a utilização de sistemas de tratamentos eficientes e baratos.

Atualmente apenas cerca de 10 a 15% dos produtores brasileiros possuem sistemas de tratamento ou de aproveitamento de dejetos. Eles podem ser aproveitados como fertilizante orgânico, uma vez que são ricos em nutrientes, como fonte alternativa de energia ou mesmo na alimentação de outras espécies, principalmente ruminantes (OLIVEIRA, 1993).

A composição do dejetos suíno está relacionada ao tipo de manejo adotado pela granja. A composição química dos dejetos de suínos estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Composição química dos dejetos de suínos em função do sistema de manejo utilizado.

Sistema de manejo	kg/tonelada de dejetos			
	Materia seca (%)	N total	P2O	K2O
Esterco sem cama	18	4,54	4,08	3,63
Esterco com cama	18	3,63	3,17	3,63
Liquame fossa de retenção	4	4,08	3,06	2,15
Liquame de tanque oxidação	2,5	2,72	3,06	2,15
Líquido de lagoa	1	0,45	0,23	0,45

Fonte: OLIVEIRA (1993)

A composição mais completa dos resíduos de suínos (Tabela 6) está na fase de crescimento e terminação (25 a 100 kg).

**Tabela 6.** Algumas características dos dejetos de suínos em unidade de crescimento e terminação manejados em fossas de retenção.

Parâmetros	Média	Coefficiente de variação
PH	6,94	2,45
Matéria seca (%)	8,99	13,68
Sólidos totais/ST (%)	9,00	27,33
Sólidos voláteis/SV (%)	75,05	5,86
Nitrogênio total (%)	0,60	8,33
Fósforo (%)	0,25	28,00
Potássio (%)	0,12	33,33
DBO5 (g/litro)	52,27	22,71
DQO (g/litro)	98,65	17,32

Fonte: KONZEN (1983)

Estudos desenvolvidos pela Embrapa indicam os seguintes valores das características químicas dos resíduos de suínos (Tabela 7).

**Tabela 7.** Características químicas dos resíduos de suínos

Variável	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Média (mg/l)
Demanda química de oxigênio (DQO)	11530, 2	38448, 0	25542, 9
Sólidos totais (ST)	12697, 0	49432, 0	22399, 0
Sólidos voláteis (SV)	8429, 0	39024, 0	16388, 8
Sólidos fixos (SF)	4268, 0	10408, 0	6010, 2
Sólidos sedimentares (SS)	220, 0	850, 0	428, 9
Nitrogênio total (NT)	1660, 0	3710, 0	2374, 3
Fósforo total (FT)	320, 0	1180, 0	577, 8
Potássio total (PT)	260, 0	1140, 0	535, 7

Fonte: SUÍNOS... 1998. p.208

O esterco de suíno apresenta uma composição física e química semelhante a de outras espécies comumente utilizadas na agricultura como fonte de matéria orgânica (Tabela 8).

**Tabela 8.** Composição química média (%) de resíduos líquidos não decomposto e submetidos a fermentação anaeróbia produzidos por diferentes espécies.

Resíduos Orgânicos	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
Bovino	0,60	0,15	0,45
Equino	0,70	0,25	0,55
Ovino	0,96	0,35	1,00
Suíno	0,60	0,25	0,12
Biofertilizante	Nitrogênio	Fósforo	Potássio
Bovino	1,5 – 1,8	1,1 – 2,2	0,8 – 1,2
Suíno	1,8 – 2,5	1,2 – 2,0	0,8 – 1,5
Aves	2,0 – 2,8	1,2 – 2,1	0,9 – 1,6

Fonte: FAO (1977).

Os dejetos de suínos possuem elevadas concentrações de DBO, sólidos em suspensão e nutrientes (Nitrogênio e Fósforo). Isto representa uma fonte de fertilizantes, mas também uma fonte potencial de poluição quando não tratado ou manejado inadequadamente (CAVALCANTI, 1984).

Este resíduo vem sendo apontado como uma das maiores fontes poluidoras de mananciais e do solo (CAVALCANTI, 1984).

### **3.1.3. Microrganismos Presentes no Dejeito**

Além dos problemas ambientais causados pelos dejetos, há os casos epidemiológicos constatados no meio rural relacionados com os agentes causadores de infecções dentro das propriedades.

A falta de saneamento urbano tem contribuído para que doenças de veiculação hídrica acometam pessoas. Segundo estatística do SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE – SUS, um terço das internações foram decorrentes da falta de saneamento. Isto representa 3,4 milhões de pessoas em todo país que não têm infra-estrutura de saneamento básico como água encanada e tratamento de esgoto. São populações que convivem com mananciais contaminados pela carga de esgoto lançado diariamente nestes corpos d'água, ficando expostas a inúmeros agentes causadores de contaminações (SILVA, 2001). Os principais tipos de microrganismos patogênicos presentes na água são: bactérias, fungos, protozoários e vermes.

Da mesma maneira na zona rural esses microrganismos podem estar presentes na água pela sua contaminação com a urina e fezes de animais (BRANCO, 1972).

Os problemas epidemiológicos ligados aos grandes sistemas de confinamento estão intimamente relacionados com o manejo do esterco animal.

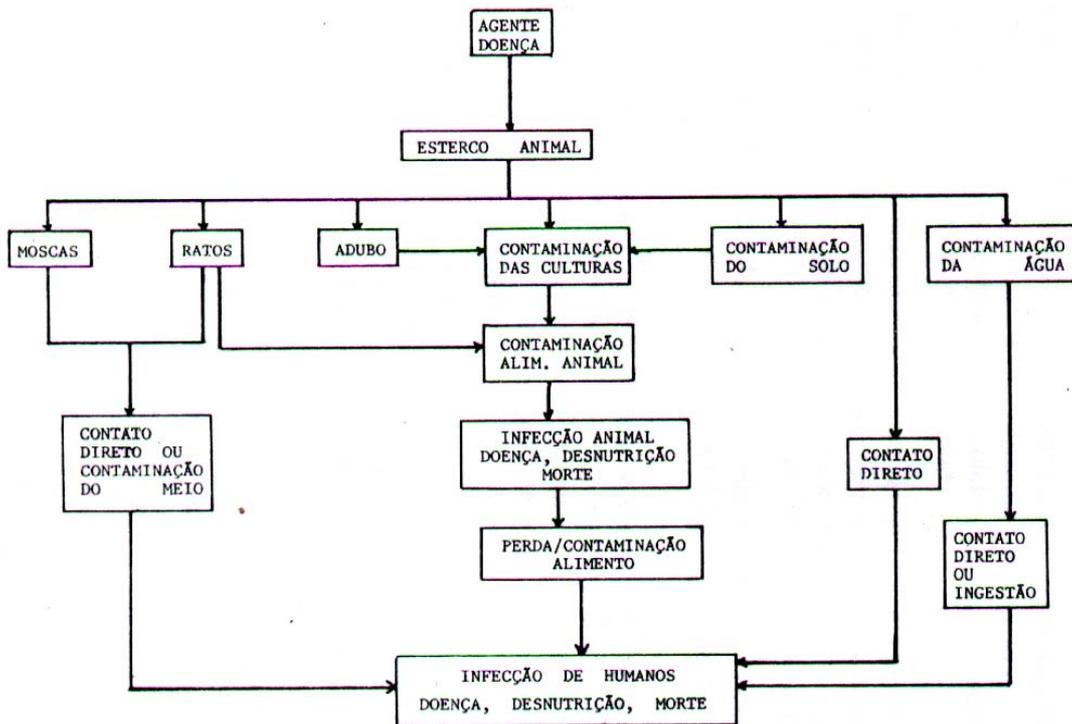
De acordo com OLIVEIRA (1994), a incidência de infecções latentes aumenta quando plantéis homogêneos são concentrados em confinamento. Os animais infectados eliminam patógenos através da urina, fezes e outros meios, de modo que a deposição de microrganismos fique sobre o piso das instalações, estando presente nos resíduos líquidos dos animais.

Faz-se necessária a prevenção de fatores que contribuem para a sua ocorrência e a proteção dos animais contra riscos de infecções e a proteção do público em geral, contra zoonoses ou outros riscos sanitários provocados pelo lançamento dos dejetos de animais nos cursos d'água.

Esses microrganismos podem sobreviver por vários meses, especialmente se estiverem presentes em materiais fecais.

A Figura 1 mostra as formas diretas e indiretas pelas quais o esterco animal pode afetar o homem e demais unidades de produção.

Segundo o autor a prevenção só é possível quando estas formas são devidamente bloqueadas, e por serem muitas as formas são necessários vários procedimentos para bloqueá-las, a não ser que medidas epidemiológicas sejam tomadas antes que os microrganismos fiquem liberados no meio ambiente e isto pode ser feito em nível de produção. Há interação entre os dejetos e as doenças infecciosas no homem e nos animais e as formas diretas e indiretas pelas quais o esterco animal pode afetar o homem e demais unidades de produção.



**Figura 1.** Interação entre os dejetos de animais e as doenças infecciosas no homem e nos animais (OLIVEIRA, 1993).

### 3.1.4. Doenças de Veiculação Hídrica

São as doenças em que a água é o veículo de transporte do agente transmissor da moléstia de um indivíduo para outro.

A enfermidade pode ser causada pelo agente contaminante, ou através de toxinas liberadas (BRANCO, 1972).

As principais doenças de veiculação hídrica:

Amebíase

O agente causador é um protozoário da espécie *Entamoeba histolítica*, sendo o único membro do gênero *Entamoeba* que é patogênico para o homem (PEREIRA, 1976). A doença é mais frequente em áreas de condições sanitárias precárias.

O uso da água contaminada para irrigação de hortaliças, legumes, põe em risco a saúde humana, quando ingeridas de forma natural e de quem manuseia esses alimentos (PEREIRA, 1976).

Ascariíase

Outro verme intestinal que pode ser transmitido pela água contaminada é o *Ascaris lumbricoides*. Os ovos deste nematóide são eliminados pelo hospedeiro e carreados até a água. A infestação também pode se dar através de alimentos contaminados ingeridos de forma natural (PEREIRA, 1976).

Cólera

A água consiste no principal disseminador do vibrião colérico, agente causador da doença, podendo contaminar alimentos tais como verduras, o leite, peixes, etc. A doença se caracteriza por apresentar no homem vômitos, diarreia, fezes aquosas e até casos de mortalidade (PEREIRA, 1976).

Esquitossomose

O agente causador desta enfermidade é o *Trematodo-phylum platielminthes*. Três espécies foram identificadas como principais veiculadoras da doença, o *Shistosoma mansoni*, *S. japonicum* e o *S. haematobium* (PEREIRA, 1976).

### Febre Tifóide

É uma doença de veiculação hídrica cosmopolita, relacionada intimamente com a falta de higiene e saneamento básico. A água é o grande transmissor direto da *Salmonella typhi*, podendo também ser feito o contágio através de alimentos contaminados.

### Hepatite infecciosa

É uma doença cosmopolita, sendo endêmica em algumas regiões. O agente etiológico se dissemina pelas fezes e pelo sangue e a principal causa da disseminação tem sido atribuída à água contaminada (PEREIRA, 1976).

### **3 1.5. Contaminação do solo**

O esterco tanto na forma líquida como sólida aplicado ao solo, ou armazenados em lagoas sem revestimento por um período muito longo, poderá acarretar saturação dos mesmos, provocando infiltração, atingindo assim águas subterrâneas ou superficiais acarretando problemas de contaminação (OLIVEIRA, 1993).

### **3.1.6. Gases nocivos**

Os problemas relacionados aos gases é sobre o desconforto que causam às comunidades perto das granjas e também serem nocivos ao homem e aos animais.

Os principais gases nocivos existentes em torno dos sistemas de confinamento são a amônia, sulfeto de hidrogênio, dióxido de carbono e por inúmeros compostos orgânicos resultantes da decomposição biológica da matéria orgânica do esterco (OLIVEIRA, 1993).

### **3.2. Inativação de Organismos Patogênicos**

Para a inativação dos organismos patogênicos, torna-se importante o conhecimento da capacidade de sobrevivência e do seu comportamento no meio ambiente; isto é imprescindível para a avaliação sanitária dos processos destinados ao tratamento dos dejetos animais e/ou humanos, ou do tratamento de resíduos da criação animal ou do lixo doméstico.

A maioria dos agentes patogênicos estão altamente adaptados a hospedeiros vertebrados superiores com temperatura média de 36°C.

VON SPERLING (1996a) cita que a detecção de agentes patogênicos, principalmente bactérias, protozoários e vírus em uma amostra de água é difícil, tornando-se um obstáculo a ser superado através do estudo dos chamados organismos vivos de contaminação fecal. Tais organismos não são patogênicos, mas dão uma indicação satisfatória de quando uma água apresenta contaminação por fezes humanas ou de animais e a sua potencialidade para transmitir doenças. Esses organismos utilizados para tal finalidade são as bactérias do grupo *Coliforme* sendo, portanto, este grupo utilizado como indicador de contaminação fecal.

Todos os animais superiores possuem coliforme em seus intestinos, em maior ou menor quantidade, os quais são eliminados pelas fezes e são considerados de dois gêneros, *Escherichia* e *Aerobacter* (PEREIRA, 1976; SILVA, 1979).

A existência de coliformes em determinadas concentrações deve servir como sinal de alerta, indicando a possibilidade de haver poluição fecal (PEREIRA, 1976; SILVA, 1979).

O lançamento de efluentes de animais lançados nos cursos d'água, além da poluição, podem causar doenças, tais como: a leptospirose, hepatite, febre aftosa e outras (OLIVEIRA, 1993).

Os *Coliformes* apresentam em grande número apenas nas fezes do homem e em animais de sangue quente. Tal fato é interessante, pois se existissem em fezes de animais de sangue frio, não serviriam para serem bons indicadores de contaminação fecal, (VON SPERLING, 1996a).

As técnicas bacteriológicas para a detecção de *Coliformes* são rápidas e econômicas.

Os principais indicadores de contaminação fecal comumente utilizados:

*Coliformes totais* (CT) constitui-se um grupo de bactérias em que tem sido isoladas as amostras de águas e solos poluídos e não poluídos, bem como de fezes de seres humanos e outros animais de sangue quente. Não existe uma relação entre CT e microrganismos patogênicos.

*Coliformes fecais* (CF) indicam grupo de bactérias originárias do trato intestinal de humanos e outros animais de sangue quente.

*Streptococos fecais* (EF) são organismos que têm predileção pelo trato intestinal de humanos e animais de sangue quente (VON SPERLING, 1996a).

A detecção de microrganismos patogênicos na água é difícil devido as baixas concentrações. Após o lançamento do dejetos num curso d'água, há uma diluição, portanto, a concentração é reduzida, fazendo com que os exames laboratoriais sejam complexos. Entretanto a presença de organismos indicadores de contaminação fecal nos dá a indicação satisfatória da contaminação da água por dejetos humanos ou de animais.

Esses indicativos de organismos mais utilizados para tal finalidade são do grupo coliforme. Os coliformes apresentam em grande número nas fezes humanas e de animais de sangue quente. Esses microrganismos são resistentes como a maioria das bactérias patogênicas intestinais (CHRISTOVÃO, 1974).

### **3.3. Principais Indicadores de Poluição e Contaminação**

Outro indicador de interesse na caracterização de poluição é a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

O esgoto doméstico apresenta DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio) em torno de 200 mg/litro, já o dejetos suíno apresenta poder poluente muito maior. A DBO<sub>5</sub> do dejetos suíno oscila entre 30.000 a 52.000 mg/l, ou seja, a DBO<sub>5</sub> é cerca de 260 vezes superior ao esgoto doméstico (OLIVEIRA, 1993).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são parâmetros usados para medir a quantidade de matéria orgânica de um resíduo através da medida de oxigênio necessária para oxidar, quimicamente (DQO) e biologicamente (DBO) a matéria orgânica.

pH, Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF) e Sólidos Voláteis (SV) e os nutrientes Nitrogênio (N) e Fósforo (P) são parâmetros relevantes para medir a poluição mineral.

O potencial de hidrogenação (pH) é um parâmetro importante porque condiciona as reações químicas do meio.

Os sólidos são responsáveis pelo aparecimento da cor e turbidez nas águas, sendo classificados de acordo com as características químicas em: Sólidos Totais (ST), em águas residuárias, caracterizando o teor de matéria seca das mesmas, em Sólidos Voláteis (SV)

que estimam a matéria orgânica existente no resíduo, enquanto que os Sólidos Fixos (SF), representam a matéria inorgânica, ou seja, o teor dos sólidos minerais.

O Nitrogênio e o Fósforo são os principais nutrientes responsáveis pelo crescimento e reprodução dos microrganismos que promovem a estabilização da matéria orgânica presente nos dejetos (OLIVEIRA, 1994).

Os elementos essenciais são divididos em dois grandes grupos: os macronutrientes (primários, catiônicos) N, P, K e os (secundários, aniônicos) Ca, Mg e S e os micronutrientes B, Cl, Mo (aniônicos), Cu, Fe, Mn, Zn e Co (catiônicos); onde cada elemento tem suas funções (MALAVOLTA, 1980).

O nitrogênio é um componente importante no metabolismo da planta (MALAVOLTA, 1980) e também em termos do próprio controle de poluição da água. É indispensável para o crescimento das algas, podendo conduzir a fenômenos de eutroficação de lagos e represas. O elemento nos processos de conversão da amônia a nitrito e este a nitrato, implica no consumo de oxigênio dissolvido no corpo d'água receptor.

O nitrogênio na forma de amônia livre é diretamente tóxico para peixes e na forma de nitrato está associado a doenças como metaheglobinemia (VON SPERLING, 1996a).

No esgoto participa do crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento, como também na conversão da amônia a nitrito e este a nitrato (nitrificação) que, eventualmente, possa ocorrer numa estação de tratamento de esgotos e no consumo de oxigênio e alcalinidade. No processo de conversão do nitrato a nitrogênio gasoso (desnitrificação), implica na economia de oxigênio e alcalinidade quando realizado de forma controlada e deterioração da decantabilidade, se não controlada.

O nitrogênio é em geral o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade. Na sua maior proporção é absorvido pelas raízes na forma de nitrato: depois do processo de digestão ou melhor chamado de “mineralização” o nitrogênio orgânico é transformado em nitrato que as raízes absorvem. O nitrogênio em excesso é prejudicial: o arroz e o milho podem acamar-se, o cafeeiro mostra atraso na maturação dos frutos e a qualidade da bebida pode ficar prejudicada. A dose de nitrogênio deve estar em equilíbrio com outros elementos, principalmente o Fósforo e o Potássio (MALAVOLTA, 1979).

TEIXEIRA (1996) cita que dosagens altas de nitrogênio podem causar excesso de vegetação na planta, atrasa a parte reprodutiva e provoca queima das folhas. O excesso de Fósforo diminui a absorção de nutrientes, acarretando folhas menores e plantas pequenas.

### **3.4. Sistemas de Tratamento do Dejeito**

Dentre as técnicas de tratamento dos dejetos existentes, o tratamento físico tem-se mostrado eficiente. A separação de sólidos através de peneiras de malhas finas, seguido de prensagem do material é uma boa alternativa para diminuir a quantidade de matéria orgânica a ser lançada ao meio ambiente.

A separação de fases consiste em isolar partículas maiores contidas nos dejetos da fração líquida, obtendo-se assim dois produtos: uma fração mais fluída, mas conservando a mesma concentração em elementos fertilizantes solúveis que os dejetos brutos, e uma fração sólida. A fração mais líquida pode ainda ser utilizada nos seguintes processos: a decantação, peneiramento e centrifugação. A decantação consiste em armazenar um determinado volume da parte mais líquida obtida do processo anterior em reservatório, por um determinado período de tempo. E uma fração mais sólida que irá decantar separando assim as fases líquida e sólida (OLIVEIRA, 1994).

O peneiramento e a centrifugação têm o mesmo objetivo, separação da parte sólida e líquida, com a finalidade de facilitar o tratamento dos dejetos. O material obtido da prensagem, ou seja, a parte mais sólida, pode ser tratada através de processos de compostagem e como alimento na engorda de peixes, desde que sofra um tratamento prévio ou mesmo usado na preparação de rações para bovino de corte, (OLIVEIRA, 1994).

#### **3.4.1. Aplicação em áreas de Pastagem**

A aplicação de dejetos de suínos em pastagem de braquiário pode levar a uma utilização de matéria seca e de proteína bruta até superior a obtida com a utilização de adubação química. A conclusão da pesquisa realizada pela médica veterinária Marcia Cristina Barnabé, citada em ADUBOS...(2001), abre a possibilidade de grande parte dos resíduos extraídos das granjas suínas serem empregados nas pastagens do Estado, aumentando a produção de forragem, melhorando a qualidade do solo e diminuindo os transtornos ambientais que este material pode causar.

### **3.4.2. Processo de Compostagem**

Segundo LIMA (1991), o processo de compostagem é o ato de transformar resíduos orgânicos através de processos físicos e biológicos obtendo-se uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras.

Há diversos sistemas para se preparar a compostagem. O sistema chinês é tido como o mais elementar para se produzir compostos orgânicos a partir de resíduos. Os resíduos orgânicos de origem animal e vegetal são misturados na proporção de 1:4 (animal e vegetal), são empilhados formando leiras de 1,5 m de altura, por 2,5 m de largura, cujo comprimento pode ser indeterminado, formadas as leiras, são introduzidas varas de bambu obedecendo certa distância entre si, servindo de dutos de ventilação ou aeração, em seguida toda pilha é coberta com uma argamassa de saibro e areia (KIEHL, 1985).

Após 2 (dois) dias com argamassa as varas de bambu são removidas. Quando a temperatura da pilha atinge de 60 a 70°C os furos de ventilação são selados.

Passados de 15 a 20 dias a pilha é aberta, revolvida e selada novamente. Em épocas de seca, costuma-se adicionar água para manter a integridade do processo.

KIEHL (1985), propôs um sistema de preparação do composto orgânico a custos reduzidos. O autor relata que o composto pode ser feito manualmente, com o uso de pás ou gadanhos para o revolvimento da massa, ou de forma mecânica, utilizando máquinas agrícolas.

TOBIAS (1997) preparou um composto orgânico utilizando diversos tipos de piso (maravalha, casca de arroz, casca de café e casca de amendoim) e o material foi hidratado com uma proporção de 50% de água; misturado e formado leiras, essas foram cobertas utilizando-se lonas plásticas de cor preta, tipo terreiro e monitorada as temperaturas de hora em hora num período de 10 dias. A proposta foi verificar o tempo de compostagem como agente eliminador de alguns patógenos toxi-infecciosos.

O processo de compostagem proposto por TOBIAS (1997) foi viável como forma de tratamento para estabilizar a matéria orgânica e ao mesmo tempo eliminar alguns patógenos presentes na cama de frango.

### 3.4.3. Lagoas de Estabilização

Conforme citação de VON SPERLING (1996b), as lagoas de estabilização são unidades especialmente construídas com a finalidade de tratar esgotos. A construção é simples, baseando-se principalmente em movimento de terra de escavação e preparo de taludes.

O autor cita que as lagoas de estabilização são uma forma popular de tratamento de águas residuárias em virtude de seus baixos custo de capital e operacional.

O processo de lagoas de estabilização é o mais simples, devido aos fenômenos naturais. O material a ser tratado fica por vários dias, em consequência a matéria orgânica em suspensão tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (VON SPERLING, 1996b).

Através da ação dos microrganismos anaeróbios o lodo de fundo sofre o processo de decomposição.

### 3.4.4. Biodigestor

O biodigestor é outra alternativa para tratamento, segundo CRAVEIRO et al. (1982). É uma construção importante como forma de saneamento. O autor comenta que os excrementos, quer sejam de origem animal ou humana constituem-se de uma fonte de contaminação bacteriana. A eliminação de microrganismos entéricos de importância para a saúde pública, durante a digestão anaeróbia, estão apresentados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Tempo de retenção em biodigestor para eliminação de microrganismos.

Organismo	Temperatura (°C)	Tempo de retenção (dias)	Morte (%)
Polivírus (poliomielite)	35	2 dias	98.5
<i>Salmonella sp</i>	22 – 37	2 – 20 dias	82 – 96
<i>Salmonella typhosa</i>	22 – 37	6 dias	99
<i>Myc. Tuberculosis</i>	30	-	100
<i>Ascaris</i>	29	15	90
Cistos de parasitas	30	10	100

Fonte: Craveiro et al. (1982)

O tratamento anaeróbio também resulta numa fonte alternativa de energia com produção de gás. De acordo com a citação de KONSEN (1983) 1m<sup>3</sup> de esterco de suíno equivale a 0,50 m<sup>3</sup> de biogás e 1m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,66 litros de óleo diesel ou 0,7 litros de gasolina. O seu emprego na agricultura desde que previamente tratado, pode contribuir para as condições físicas do solo quando incorporado, aumentando assim a produção, devido a sua composição como fertilizante orgânico.

Outra alternativa eficiente são os reatores de manta de lodo que têm sido muito utilizados para o tratamento de esgotos industriais e mais recentemente de esgotos domésticos. O processo anaeróbio de reatores de manta de lodo apresentam vantagens por ser um sistema compacto, com baixa demanda de área, baixo custo de implantação e de operação, baixa produção de lodo, eficiência na remoção de DBO/DQO, da ordem de 65 a 75%, possibilidade de rápida ativação após longas paralisações, elevada concentração do lodo excedente e sua boa desidratabilidade (VON SPERLING, 1996b).

#### **3.4.5. Processos de Digestão**

Os tratamentos biológicos têm se mostrado eficientes como alternativa empregada para a estabilização dos lodos provenientes dos tratamentos primários e secundários dos dejetos. É realizado basicamente por bactérias, fungos, algas protozoários e rotíferos.

As bactérias são organismos unicelulares, apresentando-se isoladamente ou agrupadas, formando colônias de aspectos característicos (formas filamentosas, cachos de uva, etc.). O tamanho da célula que constitui cada indivíduo varia de 05 a 25 microns, com formas diferenciadas, tais como bastonetes, espiraladas, etc., podendo apresentar ou não flagelos para sua locomoção (BRANCO, 1972).

O material orgânico é oxidado e utilizado para fornecer energia e sobrevivência celular, resultando em produtos finais oxidados (aeróbio) ou reduzidos (anaeróbios) em que alguns dos materiais orgânicos são convertidos a novas células e biomassa. As bactérias são tidas como agentes de transformação dos processos anaeróbios.

A digestão anaeróbia é reconhecida como a melhor forma de tratamento de fezes humanas por provocar a morte da maior parte dos vírus, bactérias, protozoários e

vermes patogênicos que podem estar presentes. O processo anaeróbio é realizado basicamente por bactérias

O tratamento biológico é realizado por bactérias, fungos, algas, protozoários e rotíferos. O material é oxidado e utilizado para fornecer energia e sobrevivência celular resultando em produtos finais oxidados (aeróbio) ou reduzidos (anaeróbios), em que alguns materiais orgânicos são convertidos a novas células e biomassa (LIMA, 1991).

Os microrganismos da digestão anaeróbia necessitam de energia, matéria orgânica, demais nutrientes e condições adequadas para desenvolver suas atividades. Como consequência, o material orgânico é degradado a moléculas mais simples.

A digestão anaeróbia é citada como um processo envolvendo 4 fases cinéticas (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994):

a. Hidrólise: as bactérias fermentativas, chamadas hidrolíticas, convertem o substrato orgânico a compostos de menor peso molecular. As proteínas se degradam, formando os aminoácidos, os lipídeos são metabolizados em ácidos graxos de cadeia longa de carbono e glicerina e os carboidratos convertem-se em açúcares solúveis (mono e dissacarídeos);

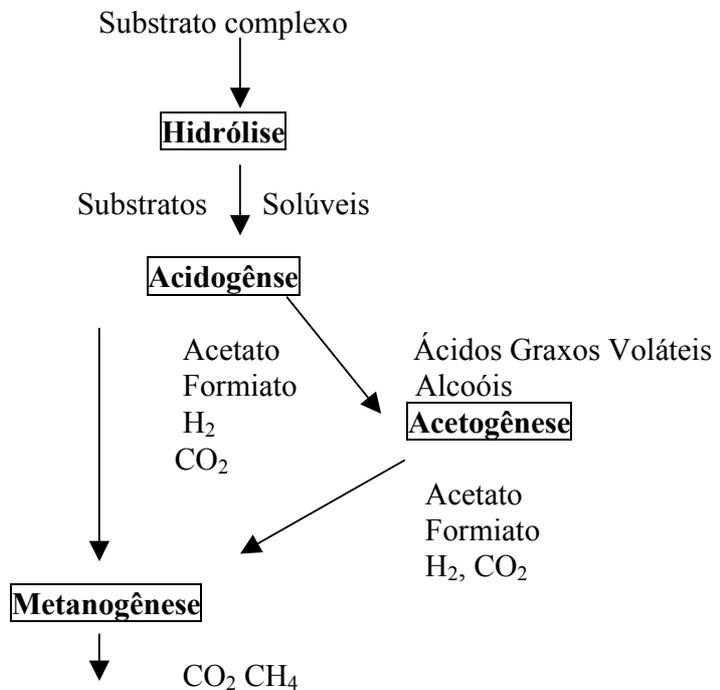
b. Acidogênese: através das bactérias acidogênicas os compostos gerados na hidrólise são convertidos a substâncias mais simples, ácidos graxos voláteis (acético, propiônico e butírico) pela ação das bactérias homoacetogênicas;

c. Acetogênese: nesta etapa, os produtos resultantes da acidogênese são convertidos em acetato,  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$  pela ação das bactérias homoacetogênicas formando os substratos para serem utilizados na fase seguinte e na produção de metano;

d. Metanogênese: as bactérias metanogênicas acetotróficas produzem o metano a partir da redução do ácido acético e pelas bactérias metanogênicas hidrogenotróficas a partir da redução  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2$ . Geralmente as bactérias metanogênicas limitam a taxa de conversão dos compostos orgânicos a biogás.

As bactérias metanogênicas agem como um eixo principal na digestão anaeróbia, pois seu metabolismo único controla a taxa de degradação orgânica e dirige o fluxo de carbono e elétrons a remover metabólitos tóxicos intermediários e também por aumentar a eficiência termodinâmica de metabolismos intermediários de inter-espécies (ZEIKUS, 1981).

FOX e POHLAND (1994) montaram um esquema simplificado da digestão anaeróbia, como mostra a Figura 2.



**Figura 2.** Esquema simplificado da digestão anaeróbia.

LIMA (1991) cita que os tratamentos biológicos encerram três tipos de processamento: aeróbio, anaeróbio e o misto.

Muitos são os fatores ambientais que apresentam influências nos processos de digestão: temperatura, pH, alcalinidade, nutrientes, compostos tóxicos e inibidores.

KIEHL (1985) relatou que os tratamentos podem ser classificados quanto a biologia em aeróbio, anaeróbio e misto. O processo aeróbio é aquele quando a fermentação ocorre na presença de ar. Nesse processo a temperatura da massa em decomposição é sempre elevada, ocorrendo desprendimento de gases ( $\text{CO}_2$ ) e vapor de água

No processo anaeróbio, a fermentação ocorre na ausência de ar, permanecendo a temperatura baixa da massa em decomposição, havendo desprendimento de gases ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) e outros. Nos últimos anos, o interesse por tratamentos anaeróbio cresceu consideravelmente devido ao subproduto o gás metano que pode ser utilizado como fonte de energia.

O processo misto ocorre de uma combinação dos dois processos anteriormente descritos.

FORESTI (1994) relata as vantagens da digestão anaeróbia como sendo um processo que requer baixo consumo de energia, baixa produção de lodo (20% a menos que os tratamentos aeróbios convencionais) e produção do gás metano como fonte de energia.

Quando comparado aos tratamentos aeróbios, favorece a construção de unidades de tratamento de dimensões menores que as utilizadas nos convencionais, podendo descentralizar o tratamento de efluentes líquidos, principalmente o esgoto sanitário.

Inicialmente, a matéria orgânica é submetida ao processo aeróbio pela presença de oxigênio no meio. Com a redução do O<sub>2</sub> presente, desenvolve-se o processo anaeróbio.

Para que o processo de digestão anaeróbia de compostos solúveis e efluentes industriais não tóxicos seja eficiente, procura-se aumentar a atividade microbológica por unidade de volume nos sistemas. Por outro lado, a estabilidade do processo é de extrema importância para tornar a digestão anaeróbia competitiva frente aos outros processos existentes, o principal objetivo quando se projeta um sistema de tratamento, ou um meio anaeróbio é obter um tempo de detenção celular (TDC) elevado e possibilitar uma mistura que assegure um contato maior entre microrganismos presentes e o substrato a ser metabolizado (GROBICKI & STUCKEY, 1991).

Os sistemas anaeróbios de tratamento, segundo VON SPERLING (1996a), apresentam vantagens e desvantagens.

#### Vantagens:

- satisfatória eficiência de remoção de DBO;
- baixos requisitos de área;
- baixo custo de implantação;
- reduzido consumo de energia;
- construção, operação e manutenção simples;
- baixa produção de lodo;
- estabilização do lodo no próprio reator;
- necessidade apenas da disposição final do lodo;
- rápido reinício após períodos de paralisação.

Desvantagens:

- dificuldade em satisfazer padrões de lançamento bem restritivos;
- efluente com aspecto desagradável;
- remoção de Nitrogênio e Fósforo insatisfatória;
- possibilidade de maus odores;
- a partida do processo é geralmente lenta
- relativamente sensível a variações de carga;
- usualmente necessita pós – tratamento.

### **3.4.6. Quanto a Temperatura**

Quanto a temperatura a classificação do processo pode ser: criofílico, mesofílico e termofílico.

No processo criofílico relativo a baixa temperatura a matéria orgânica é digerida a uma temperatura próxima ou inferior a do meio ambiente.

Já no processo mesofílico, relativo às temperaturas médias, variam de 40 a 55° C. A temperatura varia em função da população de microrganismos; quanto maior o número populacional, mais elevada a temperatura (LIMA, 1991). Nesse processo a matéria orgânica se transforma em ácidos orgânicos e há uma sensível redução do pH do meio.

O processo termofílico ocorre quando a fermentação se processa em temperaturas superiores a 55° C, podendo nesse processo alcançar valores próximos a 70° C, caso a atividade microbiológica seja muito intensa e se as condições de contorno especiais favorecerem o processo (LIMA, 1991).

Nos processos de digestão anaeróbia, a faixa de temperatura mais comum de operação está na faixa entre 30 a 40°C. A temperatura na faixa entre 10 e 45°C, apresenta mudanças na microbiota participante do processo, e na faixa de 50 a 70°C, o mecanismo da digestão apresenta uma eficiência em torno de 25 a 50%, provocado pelo aumento da produção de metano e das características do substrato (VAN HANDEEL & LETTINGA, 1994).

Os autores citam que a digestão de sólidos sedimentados de esgoto sanitário bruto diminui com a temperatura pela baixa taxa de hidrólise; grande parte das partículas sólidas permanecem intactas.

#### **3.4.7. Quanto ao pH**

O pH tem uma influência considerável na atividade microbiana. A faixa ótima está entre 6,8 e 7,2 valores que atuam neutralizando os ácidos graxos voláteis, produzidos nas etapas acidogênicas e acetogênicas (NOUR, 1996).

### **3.5. Reator Anaeróbio Compartimentado**

O reator anaeróbio compartimentado (RAC) tem sido difundido no mundo todo. Sua utilização está na eficiência da remoção de sólidos sedimentáveis e parte de Sólidos Suspensos na DBO e DQO presentes no esgoto doméstico bruto.

Na década de sessenta, o interesse de pesquisadores e de entidades na aplicação do tratamento anaeróbio para águas residuárias teve sua evolução.

Inicialmente o RAC era conhecido por pesquisadores brasileiros como Reator Anaeróbio de Chicanas, por ser tradução da língua inglesa “Anaerobic Baffed Reactor” (ABR).

BARROS & CAMPOS (1992) propuseram o nome de Reator Anaeróbio Compartimentado e aceito como sendo a denominação mais utilizada para este tipo de sistema em diversos artigos e teses publicadas.

Segundo IZA et. al. (1991), o conceito dos reatores anaeróbios é baseado em três aspectos fundamentais:

a) acumulação de biomassa no interior do reator por meio de sedimentação, aderência de sólidos ou por circulação, permitindo assim a retenção dos microrganismos e assegurando um tempo de detenção celular (TDC) superior ao tempo de detenção hidráulico (TDH);

b) desenvolver um contato maior entre a biomassa e o resíduo;

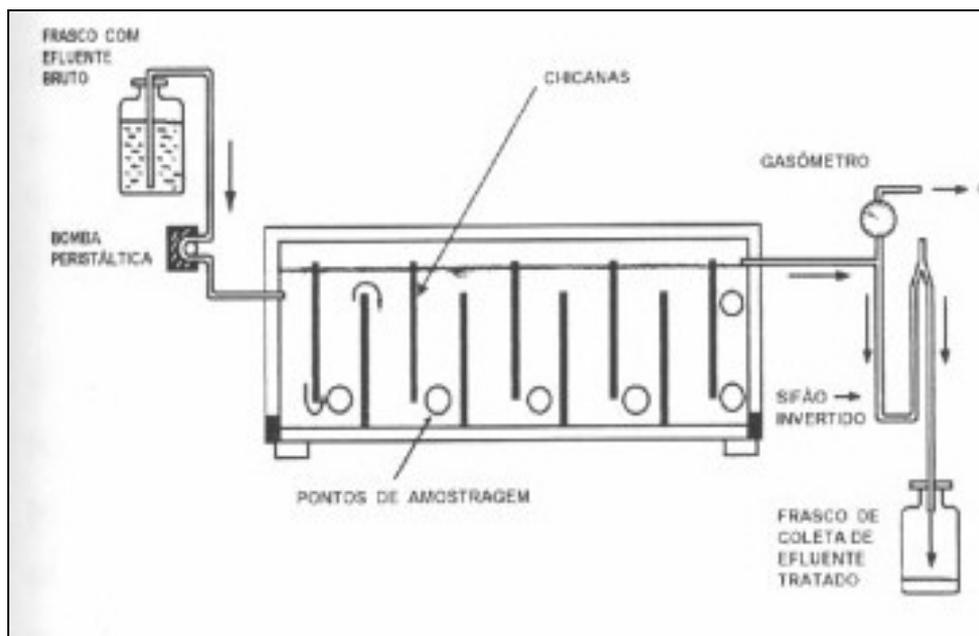
c) intensificar a atividade da biomassa com a sua adaptação e crescimento. O reator compartimentado (RAC) possui estas características por sua configuração simples, com divisões internas (câmaras) que favorecem um maior contato entre os microrganismos e o

substrato. O baixo custo de construção e operação comparado a outros reatores anaeróbios, tornam-se também um atrativo.

Para LETTINGA et al. (1980), as idéias que possibilitaram o desenvolvimento e construção do reator foram:

- a) condições físicas e químicas favoráveis à produção de lodo com boas características de sedimentação;
- b) a manta de lodo suporta misturas elevadas quando bem estabilizadas;
- c) dentro do reator há pouca agitação minimizando o arraste de partículas pelo fluxo ascensional.

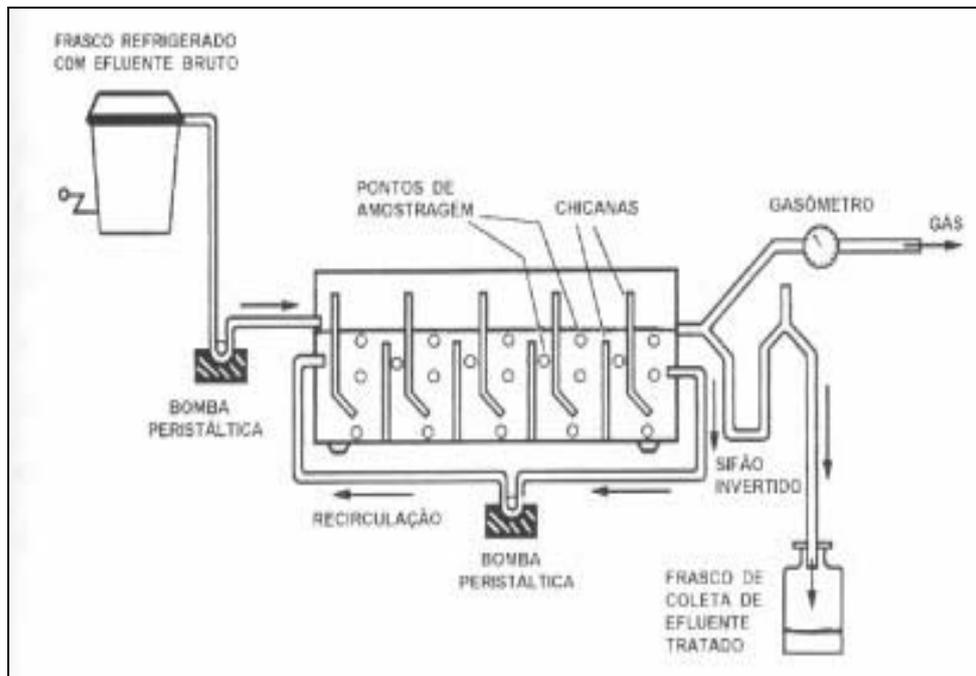
BACHMANN et al. (1982) publicaram o primeiro trabalho sobre o RAC. Inicialmente os autores imaginaram um reator anaeróbio de discos rotativos funcionando de maneira estática, sem a rotação dos discos conforme apresenta a Figura 3.



**Figura 3.** Diagrama esquemático do sistema contendo o RAC.  
(Adaptado de Bachmann et al. 1982)

Outra configuração do RAC tem como principal diferença a disposição da placa divisória entre os compartimentos de fluxo descendente e ascendente de uma mesma câmara, de forma que no reator o compartimento de fluxo descendente sofreu um estreitamento possibilitando um aumento no espaço reservado à manta de lodo do compartimento de fluxo

ascendente e assim uma maior mistura entre o lodo e o fluxo do ascendente. Este artifício possibilita um contato maior entre o afluente e os microrganismos responsáveis pela degradação dos compostos presentes. Esta configuração está apresentada na Figura 4.



**Figura 4.** Diagrama esquemático do sistema modificado contendo RAC.  
BACHMANN et al. (1982)

BACHMANN et al. (1982) compararam vários tipos de reatores anaeróbios e o RAC ficou sendo definido como vários UASBs em série, com uma característica única, a de não necessitar de um crescimento granular do lodo.

O RAC é constituído de diversas câmaras (compartimentos), montadas em seqüência de tal forma que o esgoto atravessa regiões de densa população microbiana (manta de lodo), sempre no sentido ascendente, tendo a oportunidade de ter contato por várias vezes com os microrganismos que degradam a matéria orgânica presente.

A eficiência do processo de digestão anaeróbia de compostos solúveis e efluentes industriais não tóxicos está relacionada com o aumento da atividade microbiana por unidade de volume nos reatores. O principal objetivo quando se projeta um reator anaeróbio é obter um tempo de detenção celular (TDC) elevado e possibilitar uma mistura que assegure

um contato maior entre microrganismos presentes e o substrato a ser metabolizado (GROBICKI & STUCKEY, 1991).

O Reator Anaeróbio Compartimentado (RAC) possui estas características por sua configuração simples e presença de divisões internas que possibilitam um maior contato entre microrganismos e substrato.

Segundo BACHMAN et al. (1982), o RAC apresenta vantagens importantes quanto ao aspecto construtivo, ausência de coletores de gases e os anteparos que possibilitam a separação das fases (gás, líquido e grânulos/flocos), alto tempo de detenção celular juntamente com a ocorrência de uma boa mistura no seu interior de maneira a assegurar uma alta taxa de contato entre célula e substrato, retenção de sólidos (formação de grânulos e flocos), diminuindo assim a perda por arraste de microrganismos que são importantes para o processo. A intenção era promover fluxos descendentes e ascendentes do afluente dentro do reator por várias vezes, possibilitando que o afluente tivesse contato várias vezes com a população microbiana presentes na manta de lodo existente nas câmaras.

Para acelerar o processo biológico nos reatores para que haja uma adaptação, crescimento e seleção dos microrganismos presentes no substrato o uso de inóculo (lodo) facilitará o desempenho ou seja a partida do reator influenciado por este tipo de inóculo, será mais rápida (BACHMAN et al. 1982).

Este inóculo pode ser obtido de um sistema de tratamento, oriundo de outros sistemas de tratamento sem decantadores, tanques séptico, flora intestinal de animais ruminantes e de outros reatores que estejam operando há mais tempo. No processo de inoculação, com o tempo, aparecerão grânulos macroscópios, formando uma manta de lodo (DE ZEEUW & LEETINGA, 1983).

Segundo os autores a existência de partículas orgânicas iria auxiliar a formação de grânulos que funcionaria como um substrato para acelerar o crescimento e desenvolvimento microbiano.

Após vários estudos os mesmos autores concluíram que os reatores não necessitariam aplicar inóculo para dar a partida. A diversidade da flora microbiana é intensa e diversificada no esgoto sanitário e um por um, período de 3 a 4 meses, após o início, o reator atingiria o estado estacionário.

POVINELLI (1994) afirma que a operação de partida deveria ocorrer sem a adição de inóculo. O autor realizou ensaios preliminares em um ABR, tratando esgoto sanitário e concluiu que: com um TDH de 12 horas, durante um período de 6 meses, conseguiu uma remoção de 70% da taxa de DBO e 50% de SSV.

POVINELLI (1999), utilizando inóculo, mediu a eficiência de remoção de DQO. Antes o resultado obtido foi de 55,5% da remoção da DQO, após a inoculação esses valores passaram a 59,2%. O autor conclui que esta pequena alteração não parece significativa, mas pode inferir que a inoculação mudou um pouco a eficiência do sistema.

LETTINGA et al. (1980), conseguiu uma taxa de remoção da DQO de 30% a 80%. Resultados estes obtidos utilizando reator UASB, tratando esgoto sanitário.

Durante a partida do reator outro fator importante a ser mencionado é a alcalinidade. O pH deve estar na faixa de 6,3 a 7,8 assim tornando possível a atividade das bactérias metanogênicas (VAN HANDEEL, 1993).

GROBICKI & STUKEY (1991), estudando reator composto de 8 compartimentos, operando com substrato sintético, com um TDH de 20 h, obtiveram uma remoção de DQO de 98 a 99%.

OROZCO (1988) trabalhou com Reator Anaeróbio Compartimentado, utilizando como substrato artificial semelhante ao esgoto doméstico, com um TDH de 6,8 a 11,02 h conseguiu uma remoção da DQO de 84,3 a 92,5%.

BACHMANN et al. (1985), em escala de laboratório, estudaram diversos aspectos da operacionalidade do RAC. Com um modelo apresentando 13 litros de volume útil, 5 câmaras em série, utilizaram um efluente sintético apresentando uma DBO de 8000 mg/litro, um pH de 6,6 a 7,2., verificaram uma eficiência na remoção de DQO frente à variação da taxa de carregamento orgânico (TCO), tempo de detenção hidráulico (TDH), taxa de produção de metano e porcentagem de metano no gás produzido durante a digestão. Os resultados estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 .** Desempenho do RAC sob diferentes TCO, no estado de regime estacionário.

Período de operação	Dias de operação	TCO (g DQO L <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	TDH (horas)	% de DQO removida	% de CH <sub>4</sub> no gás
1	22	2,5	71	92	54
2	28	4,2	48	88	70
3	28	8,9	22	81	58
4	21	11,4	18	91	54
5	113	15,3	12	77	50
6	33	20,0	10	75	48
7	32	27,3	6,7	68	47
8	11	31,8	5,6	55	44
9	10	36,2	4,8	60	45

Fonte: BACHMANN et al. (1985)

Com estes resultados os autores chegaram a várias conclusões:

- para o tratamento de efluentes líquidos industriais, o modelo mostrou-se promissor, pois combinava alta estabilidade e confiabilidade, com aproveitamento do volume do reator;

- apresentavam uma configuração simples, em que o arraste de sólidos era dificultado pela presença das divisões em compartimentos;

- redução do risco de entupimento e perda da massa biológica sem a necessidade de sistemas de coleta de gases e separação de sólidos;

- o RAC, mostrou que não era necessário descarte de lodo, durante a operação;

- e concluíram a necessidade de estudo com os reatores para verificação do desempenho do sistema frente à produção de gás e o efeito na hidrodinâmica do processo, aparecimento de turbulência nas câmaras, modificando as taxas de transferências de massa entre grânulos e fase líquida. A recirculação do efluente tratado, a frequência e necessidade do descarte de sólidos e da temperatura deste.

As condições necessárias para o funcionamento dos reatores anaeróbios devem seguir alguns critérios como: tipo de reator empregado, compatibilizar os tempos de detenção hidráulico e celular em harmonia com o resíduo a digerir. Variações bruscas de temperatura é um fator importante, pois afetam a decomposição da matéria orgânica e o crescimento dos microrganismos (MERKEL 1981). A temperatura não deve ser inferior a 15°C, abaixo desta faixa as bactérias metanogênicas começam a paralisar a produção de metano, manter um pH na faixa entre 6,5 a 7,5, problemas de sobrecargas além da capacidade

do reator, uso de cargas inorgânicas ou tóxicas, tais como amônia, sulfatos e sulfetos, metais pesados, oxigênio, metais alcalinos e alcalinos terrosos e a relação das quantidades de N e P, compatíveis com a quantidade de carbono; as relações recomendadas são: C/N = 30 e N/P = 5.

XIUSHAN et al. (1988) e BOOPATHY & TILCHE (1991 e 1992) realizaram estudos sobre um RAC híbrido que apresentava uma configuração semelhante ao reator usado por BACHMANN et al, (1985). Fizeram a utilização de um meio suporte, de material sintético, na parte superior de cada uma das três câmaras do reator. Nas câmaras 1 e 2 o meio suporte era constituído de anéis plásticos “pall rings”, com volume de vazios de 94%. A 3ª câmara, apresentava 95% de volume de vazios. O volume útil do reator era de 165 litros; cada câmara um volume de 50 litros, e um tanque de sedimentação com volume de aproximadamente 15 litros.

Nos afluentes utilizados na primeira etapa foi o melaço destilado obtido após a produção e destilação do álcool (DQO solúvel de 115.771 mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) e numa segunda etapa, o melaço bruto (990.000 mg de O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> de DQO solúvel), de forma que a taxa de carregamento orgânico variou de 4,33 a 12,25 kg DQO m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> para o melaço destilado e, 12,25 a 28,0 kg de DQO m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> para o melaço bruto.

A etapa de partida teve a duração de 40 dias e houve a adição de inóculo correspondente a 34% do volume útil do reator. O inóculo utilizado foi uma associação de lodo digerido de estação de tratamento de esgoto sanitário (7,21g SSV L<sup>-1</sup>), adicionados da seguinte forma:

Câmara nº 1: - 11 litros de lodo digerido + 23 litros de efluente de biodigestor;

Câmara nº 2: - 11 litros de lodo digerido;

Câmara nº 3: - 03 litros de lodo digerido.

Neste trabalho, a primeira câmara foi a responsável por cerca de 70% de toda a produção de gás do sistema, quando a porcentagem de CH<sub>4</sub>, na mistura de gases era cerca de 75% ao longo de quase todo o estudo, exceto para a TCO de 28 kg DQO m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>, quando esta porcentagem atingir o valor de 60%.

XIUSHAN et al. (1988) e BOOPATHY & TILCHE (1991 e 1992) verificaram durante todo o trabalho que o perfil da concentração de Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) ao longo das 3 câmaras foi semelhante, observando que mais de 70% da manta de lodo se concentrou nos primeiros 40 cm do fundo de cada câmara. Ocorreu também um aumento na

concentração de SSV em todas as câmaras, mesmo quando do aumento da velocidade ascensional (diminuição do TDH).

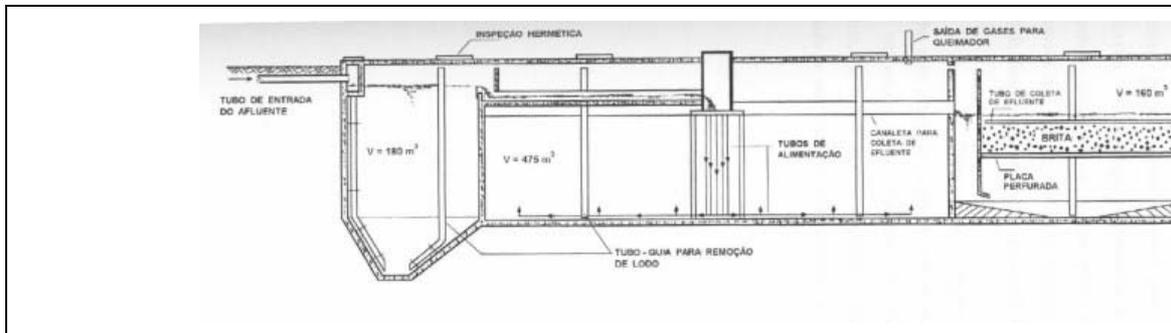
Segundo os autores, dois fatores podem ser responsáveis por este aumento. Um deles seria uma taxa de crescimento da biomassa (lodo) maior que a quantidade perdida por arraste e a boa sedimentabilidade desta biomassa. Ao redor de 30 dias, os autores verificaram o aparecimento dos primeiros grânulos no lodo que apresentavam forma esférica de cor acinzentada, atingindo diâmetro de 0,5 mm. Os grânulos encontravam-se dispersos na manta de lodo presente na 1ª câmara e de forma concentrada, no fundo das câmaras 2 e 3. Aos 90 dias, alguns grânulos do fundo das câmaras apresentavam diâmetro entre 3 e 3,5 mm (valores máximos encontrados), porém a maioria dos grânulos das câmaras 2 e 3 apresentavam diâmetro entre 0,5 e 1,0 mm e entre 1 e 2 mm nos grânulos da 1ª câmara. Uma importante observação foi a presença de poros e rachaduras na superfície dos grânulos, cavidades típicas por onde o biogás produzido no interior do grânulo era liberado.

BARROS & CAMPOS (1992) introduziram o RAC em escala real na cidade de Cosmópolis/SP. O projeto foi implantado em três etapas, acompanhando o crescimento populacional da cidade. A primeira etapa do projeto (Figura 5), em que segundo os autores o reator conhecido no projeto não mais poderia ser enquadrado como reator com chicanas, propondo assim a denominação de Reator Anaeróbio Compartimentado. No sistema, o esgoto sanitário após tratamento preliminar, entrava no reator constituído por três compartimentos em série, com fluxo ascendente e com tempo de detenção hidráulica total da ordem de 12 horas.

O primeiro compartimento promovia a sedimentação e a digestão dos sólidos, possuindo um volume de 180 m<sup>3</sup> e da ordem de três horas. No segundo compartimento, projetado seguindo os parâmetros adotados para reatores UASB, a velocidade ascensional era da ordem de 0,7 m h<sup>-1</sup> e o tempo de detenção hidráulica de 7 horas, para um volume de 475 m<sup>3</sup>.

Segundo os autores, no primeiro compartimento prevaleciam as etapas de hidrólise e acidogênese e no segundo compartimento, a metanogênese, sendo a etapa predominante. No compartimento nº 3, foi instalado um leito de brita, com a finalidade de reter sólidos suspensos que poderiam ser arrastados pelo efluente do segundo compartimento e com a finalidade de atuar como um filtro. O terceiro compartimento foi projetado para um tempo de detenção hidráulico da ordem de 2 horas, taxa de aplicação superficial de 0,9 m h<sup>-1</sup>.

O lodo biológico produzido nos compartimentos, quando necessário, foi removido e colocado em tanques de secagem (Figura 5).



**Figura 5.** Esquema do reator anaeróbio compartimentado implantado em Cosmópolis.  
(BARROS & CAMPOS, 1992)

NOUR (1996) avaliou o desempenho de um RAC por um período de 667 dias. O volume total era de  $11 \text{ m}^3$ , dividido em quatro compartimentos:

- 1 câmara:  $3,4 \text{ m}^3$
- 2 câmara:  $3,4 \text{ m}^3$
- 3 câmara:  $3,6 \text{ m}^3$
- 4 câmara: (filtro):  $0,6 \text{ m}^3$

A câmara 4 foi construída para diminuir a concentração de sólidos suspensos que saíam com o efluente e continha a seguinte composição: na câmara superior, pedriscos de 2,38 a 4,76 mm (vazão de  $0,1 \text{ m h}^{-1}$ ) seguido de uma camada intermediária de pedregulho de 6,35 a 9,52 mm (vazão de  $0,1 \text{ m h}^{-1}$ ) e uma camada inferior de pedregulho de 15,9 a 19,1 mm (vazão de  $0,1 \text{ m h}^{-1}$ ).

O RAC utilizado por NOUR (1996) foi o de dois tempos de detenção hidráulica: de 12 horas operando com instabilidade e outro tempo de detenção hidráulica de 8 horas. As amostras foram colhidas a partir das 8 – 9 horas até às 16 horas. A periodicidade de análises realizadas por (NOUR, 1996) estão na Tabela 11.

**Tabela 11.** Parâmetros de avaliação e sua periodicidade.

Parâmetros	Periodicidade
Temperatura	Semanal
Ph	Ocasional
Alcalinidade total – efluente	Semana
Lodo	Ocasional
Alcalinidade parcial	Semanal
Ácidos orgânicos voláteis	Semanal
DQO total	Semanal
DQO filtrada	Semanal
DBO	Semanal
Sólidos sedimentáveis	Semanal
Sólidos suspensos totais, sólidos filtráveis e sólidos suspensos voláteis efluente Lodo	Semanal
Nitrogênio amoniacal (NH <sub>3</sub> -N) e total Kjeldahl (NTK), Fósforo Total (PO <sub>4</sub> ) fósforo total	Ocasional
Atividade Metanogênica do Lodo	Quinzenal

(\*) amostra filtrada em filtro Whatmann GF/C (porosidade 1,2 µm), sendo o mesmo utilizado para a análise dos sólidos suspensos.

Não foi utilizado nenhum tipo de inóculo. O tempo de detenção hidráulica de 16 horas, fluxo ascendente, teve a produção de gases (principalmente metano e carbono) como resultado da atividade anaeróbia, com formação de bolhas e tendência ascendente. Como resultado reteve a biomassa no sistema, impedindo que saísse com o efluente. Assim o efluente sai clarificado e a concentração da biomassa no reator foi mantida.

O autor tratando esgoto doméstico, obteve como resultado uma taxa de remoção da DQO, situando-se na faixa de 29,69% a 75,90%.

Nesse sistema a produção de lodo é baixa, já sai estabilizado, podendo ser desidratado em leitos de secagem (VON SPERLING, 1996b).

VALENTIM (1999) propôs um projeto de tanque séptico para o de três câmaras em série utilizando o conceito do reator anaeróbio compartimentado. O tanque foi montado acima do solo com três caixas de cimento amianto, de 1000, 500 e 500 litros, as entradas do afluente junto ao fundo das mesmas, para um maior contato entre a biomassa a ser formada e o afluente. Procurou-se com isso obter uma eficiência maior na carga poluidora, com um menor tempo de detenção e, conseqüentemente, o aumento da população servida por este tratamento. O autor obteve uma redução da taxa de DQO da ordem de 61% e uma redução de Sólidos

Sedimentáveis de 100% no tratamento de efluente doméstico. A Figura 6, apresenta o tanque séptico modificado utilizado por (VALENTIM, 1999).



**Figura 6.** Tanque séptico modificado da FEAGRI - UNICAMP.  
(Adaptado de VALENTIM, 1999)

### **3.6. Leitos Cultivados**

O termo “Wetlands” é traduzido como alagados naturais ou várzeas, referindo-se a áreas inundadas ou saturadas por águas superficiais ou subterrâneas, de forma a manter condições para essas referidas saturações (USEPA, 1988).

Os primeiros trabalhos utilizando plantas macrófitas aquáticas para tratamento de águas residuárias e aceito cientificamente data da década de 50 na Alemanha por SEIDEL, citado por (WOOD & MCATAMNEY, 1994) utilizando brita como meio suporte. O mesmo autor realizou posteriormente outros experimentos usando leitos preenchidos com brita e cultivados com macrófitas emergentes.

De acordo com MANSOR (1998), os leitos cultivados podem ser classificados conforme o seu fluxo em:

a) Leitos Cultivados em Fluxo Superficial (FS);

Neste sistema a água flui a uma pequena profundidade entre 0,1 a 0,3 metros acima do meio suporte. É um sistema que requer uma área superficial maior. A lâmina d’água fica exposta podendo ser um meio de desenvolvimento de insetos e uma fonte contaminante de microrganismos. O sistema consiste em canais ou algum tipo de barreira que pode ser o solo ou palha de arroz ou uma composição destes.

b) Leitos Cultivados de Fluxo Subsuperficial (FSS);

Este sistema apresenta boa eficiência no tratamento primário de águas residuárias, eliminando odores e de acordo com sua disposição a lâmina d'água fica alguns centímetros abaixo da superfície do meio suporte não permitindo que pessoas e animais tenham acesso a água e evita a propagação de moscas.

Este sistema funciona como um filtro lento, contendo brita, solo, palha de arroz ou outro meio suporte para fixação das raízes das plantas aquáticas.

O líquido escoar por gravidade. No geral possui uma inclinação de 1%, na forma horizontal ou vertical através de todo leito; isso permite um maior contato com organismos que vivem nestes ambientes.

c) Leitos Cultivados de Fluxo Vertical (FV);

Apresenta esta denominação pois a direção predominante do fluxo é vertical, tendo o seu interior preenchido por brita ou areia e o nível d'água encontra-se abaixo do meio suporte.

WOLVERTON (1988) pesquisou o uso de tanque séptico associado com leitos cultivados no tratamento de águas residuárias de casas isoladas, tornando o processo popular nos Estados Unidos.

ROSTON (1994) preparou um sistema para tratamento do esgoto doméstico de 02 (duas) residências rurais numa fazenda americana. Usou como meio suporte britas de 4 a 6 cm de diâmetro, dois leitos cultivados com macrófitas e um sem cultivo; avaliou o afluente e efluente por um período de 06 (seis) meses, concluindo que o sistema de leito cultivado com macrófitas é um conjunto eficiente e barato para tratar o esgoto doméstico de propriedades rurais.

No Brasil são poucos os trabalhos utilizando leitos cultivados com macrófitas.

MANSOR (1998) avaliou por um período de 06 (seis) meses de funcionamento, o desempenho de leitos cultivados com macrófitas, obtendo uma redução média de DQO, da ordem de 82,7%.

VALENTIM (1999) propôs um sistema conjugado de reator compartimentado e leitos cultivados, para tratar águas residuárias da FEAGRI - UNICAMP. Na sua avaliação o sistema mostrou boa eficiência.

Os alagados construídos que procuram “ imitar ” os alagados naturais são áreas inundadas ou saturadas por águas superficiais ou subterrâneas em que sobreviveriam espécies de plantas adaptadas.

Essas plantas de alagados (macrófitas) possuem estruturas físicas especializadas, como os aerênquimas, desenvolvidos para transportar gases atmosféricos através das folhas e caules, a fim de prover o oxigênio necessário à respiração das raízes (MANSOR, 1998).

Os sistemas de vazão subsuperficial são filtros de escoamentos lentos, horizontais, contendo brita, solo palha de arroz, vermiculita ou uma combinação destes como meio suporte, além de extensas raízes de plantas macrófitas. O mecanismo de remoção são mais numerosos e efetivos em leitos de brita.

Neste sistema, a lâmina d’água fica alguns centímetros abaixo da superfície do meio suporte, não sendo exposta nos leitos, evitando assim odores, propagação de mosquitos e protegendo pessoas e animais à exposição de microrganismos patogênicos (TROTTER et al. 1994).

O resíduo líquido escoar por gravidade, de forma horizontal ou vertical através do meio suporte do leito, entrando em contato com os microrganismos facultativos que vivem em associações com o meio suporte e as raízes das plantas macrófitas emergentes. O leito possui uma inclinação de 1%, com a finalidade de evitar o escoamento do resíduo líquido acima do meio suporte (COOPER, 1993).

O sistema funciona em condições anaeróbias, causando transformações específicas em substâncias químicas encontradas na maioria dos solos, formando assim os alagados (HAMMER, 1997).

As plantas dos alagados são aptas a ambientes mais hostis, onde normalmente outras plantas não sobrevivem, sendo assim um indicador da ocorrência dos alagados (KADLEC & KNIGHT, 1996).

Para o processo de respiração das raízes, as plantas, utilizam o oxigênio que ficam nos poros do solo ocupados por gases atmosféricos. Se esses espaços forem ocupados por água livre de oxigênio dissolvido, as plantas terrestres ficam impossibilitadas de sobrevivência, por não terem fonte de oxigênio para respiração das raízes.

Nos alagados a diversidade biológica presente é muito grande, composta especialmente por uma variedade de microrganismos, especialmente bactérias e fungos e uma diversidade de plantas.

Um grupo de bactérias alimentam-se de compostos orgânicos para o seu desenvolvimento, sintetizando moléculas orgânicas a partir do carbono inorgânico CO<sub>2</sub>.

Os fungos presentes nos alagados utilizam para o seu desenvolvimento a matéria orgânica degradada reciclando o carbono e outros nutrientes.

Já as plantas dos alagados possuem estruturas físicas especializadas, transportando gases atmosféricos para as raízes através das folhas e caules, provendo assim o oxigênio necessário para respiração das raízes (HAMMER, 1997).

WOOD (1995) descreveu os alagados como sendo filtros biológicos de águas contaminadas através de ambientes aeróbio e anaeróbio, evapotranspiração e infiltração, removendo os poluentes de águas superficiais e subsuperficiais.

### **3.7. Plantas Aquáticas**

Dentre esta diversidade de plantas aquáticas a taboa tem sido descrita como um eficiente filtro biológico (MANSOR, 1998).

LORENZI (1981) descreveu a planta como sendo uma planta perene, herbácea, ereta, fortemente rizomatoza, aquática e de terrenos pantanosos, caule mais ou menos cilíndrico, medindo 2 – 3 m. de altura, com reprodução por sementes ou através de rizomas.

As folhas são ensiformes, esponjosas, espessas, lineares, de 2 a 3 m. de comprimento.

BACCHI et al. (1984) descreveram a planta como pertencente à família *Typhaceae*, gênero *Typha* L.Syst, planta herbácea, paludosas ou lacustres, gráceis ou robustas, glabras rizomatosas. Caule ereto, simples e submerso na porção inferior. Folhas verdes, as radicais lineares ou estreitamente oblongo-lanceoladas, grossas e esponjosas e as caulinares poucas e curtas; pedúnculos eretos e indivisos. Reproduz-se por sementes e mais comumente através de vigorosos rizomas.

A descrição desta planta tem sido as mais diversas. BACCHI et al (1984) referem-se a planta como invasora de culturas. Já LORENZI (1981), refere-se a planta como pertencente ao grupo das plantas daninhas e CORREA (1978) como plantas úteis ao Brasil. Os autores são unânimes em afirmar que é uma planta de utilidade na confecção de cestos e esteiras, isolante de calor e som (fibras dos caules), por possuir um teor de proteína no seu rizoma igual ao do milho e de carboidrato igual ao da batata, a folha fornece excelente fibra para o fabrico de papel e por possuir propriedades medicinais sendo o rizoma adstringente, diurético e emoliente.

TEIXEIRA (1996), definiu o termo hidroponia como o cultivo de plantas sem solo, empregando-se somente água e solução de nutrientes. A solução de nutrientes varia de acordo com a espécie, necessidades e variedades das plantas.

Entre esses nutrientes ou elementos essenciais que são vitais para a manutenção e desenvolvimento da planta participam o Nitrogênio, Fósforo e Potássio (TEIXEIRA, 1996).

As formas de utilização dos macronutrientes e micronutrientes pelas plantas podem ser pela terra ou pela água. O cultivo pela água é denominado hidroponia (TEIXEIRA, 1996).

Praticamente qualquer espécie de vegetal pode ser cultivada com a técnica da hidroponia, verduras folhosas, legumes, ervas aromáticas, ervas medicinais, gramíneas, flores etc (TEIXEIRA, 1996).

A técnica é antiga, há descritos que os egípcios, já faziam uso dela cem anos antes de Cristo, porém o autor cita como uma ciência nova, sendo usada comercialmente há 40 anos (TEIXEIRA, 1996).

A técnica apresenta como vantagens: produção de melhor qualidade, emprego da mão de obra é menor, uso mínimo de inseticidas e fungicidas, colheita precoce, menor consumo de água e adubo, utilização racional de áreas, dispensa rotação de culturas e maior produtividade por área como mostra a Tabela 12.

**Tabela 12.** Produção de algumas hortaliças cultivadas em estufas em sistema hidropônico e em campo.

Culturas	<u>hidroponia</u>			<u>campo</u>
	t/ha	n° de cultivo	t/ha/ano	t/ha/ano
Brócolis	32,5	3	97,5	10,5
Feijão-vagem	11,5	4	46,0	6,0
Repolho	57,5	3	172,5	30,0
Pepino	250,0	3	750,0	30,0
Berinjela	28,0	2	56,0	20,0
Alface	31,3	10	313,0	52,0
Pimentão	32,0	3	96,0	16,0
Tomate	187,5	2	375,0	100,0

Fonte: TEIXEIRA (1996)

A técnica da hidroponia exige equipamentos simples: tubulação de PVC  $\frac{3}{4}$ , para o leito hidropônico, telhas de cimento amianto, pedra como meio suporte, isopor, registro, bomba d'água e reservatório (TEIXEIRA, 1996). A construção deve ser vedada e coberta.

TEIXEIRA & PENA (2000) montaram um experimento, utilizando água de tanque de piscicultura no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L), cultivada em hidroponia no sistema da Técnica do Filme Nutriente. A idéia parte do princípio de utilização do uso racional da água, baseando-se nas novas leis ambientais, devolvendo água limpa à natureza.

O delineamento empregado foi o inteiramente casualizado com 8 repetições e 3 tratamentos, solução nutritiva recomendada por TEIXEIRA (1996), somente água de piscicultura e água de piscicultura complementada por solução nutritiva.

Os resultados obtidos, expressos na Tabela 13, mostram que a utilização da água do tanque de piscicultura complementada com solução nutritiva apresentou-se com excelentes possibilidades de emprego.

**Tabela 13.** Delineamento experimental comparativo entre a utilização da água da piscicultura em comparação ao substrato utilizado em cultivo hidropônico.

Tratamentos	Peso de plantas (g/planta)
Solução nutritiva normal	520,40 b
Água do tanque de piscicultura	362,64 a
Água do tanque de piscicultura complementada	536,74 b
F	12,43 **
CV %	7,34
DMS (Tukey a 5%)	186,54

Obs. \* \* significativo a 1 % de probabilidade; médias seguidas de mesmas letras são iguais estatisticamente.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Local do experimento**

O experimento foi montado no Campus I do Centro Regional Universitário de Espírito Santo do Pinhal, (CREUPI), Sítio Bela Vista, que está localizado na vicinal que liga a cidade de Espírito Santo do Pinhal – SP à cidade de Jacutinga – MG.

No referido Campus o setor de suinocultura constitui-se de um módulo de alvenaria. Suas dependências e equipamentos têm estrutura para atender todas as fases de criação dos animais, tendo como finalidade servir de material didático e pesquisa para os alunos dos Cursos de Agronomia e Medicina Veterinária.

Em estudo preliminar sobre a utilização da granja, observou-se que a limpeza da granja era realizada 2 vezes por dia como medida de higiene e para se evitar mal cheiro e proliferação de moscas principalmente no verão.

A origem da água que serve a granja é proveniente de um açude que dista 50 m aproximadamente da instalação. O resíduo desta limpeza retorna ao referido açude por gravidade .

Outro fator importante neste estudo preliminar foram 3 caixas de alvenarias construídas para servirem como depósito de efluente de um biodigestor desativado há alguns anos. Um levantamento das dimensões dessas levou a conclusão de que as mesmas, com poucas modificações, poderiam ser aproveitadas no experimento.

### **4.2. Animais Utilizados no Experimento**

Inicialmente foram utilizados na parte experimental 20 animais mestiços nas fases de recria e terminação, clinicamente sadios. Os animais foram alimentados com ração comercial formulada a serem isocalóricas e isoproteicas que atendessem as exigências nutricionais de cada fase e água *ad libitum*.

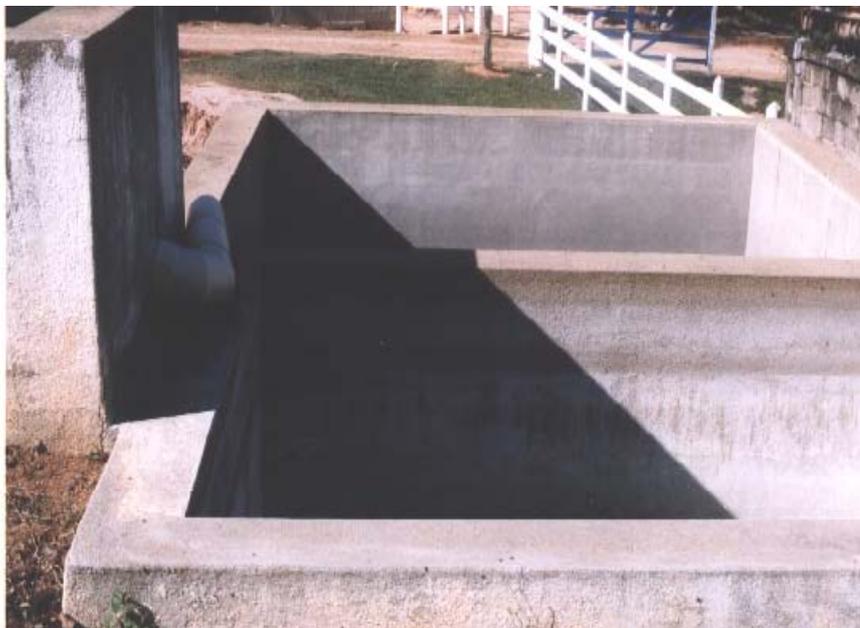
### 4.3. Medição da Vazão

Para os cálculos de construção foi verificado inicialmente a quantidade de carga produzida diariamente. Para isto foram monitoradas duas vezes por dia num período de 8 dias o tempo de duração da limpeza úmida e a vazão de água da mangueira de lavagem das báias, que apresentou os seguintes resultados: vazão de 24 litros de água por minuto, duração média da limpeza 3,0 minutos para cada baía, utilizando-se um total de 04 ( quatro) báias.

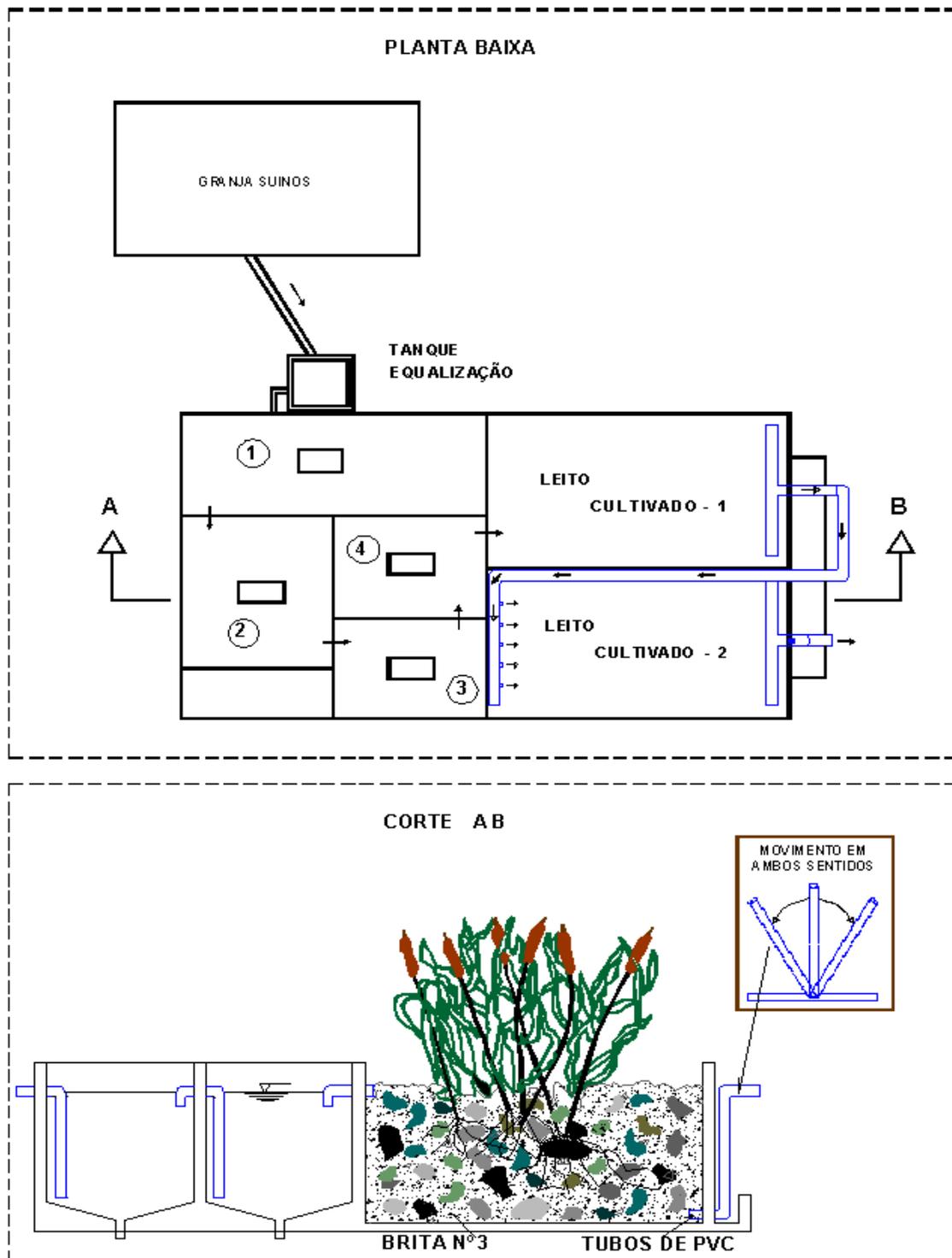
O volume médio de água na limpeza foi de 288 litros. Em 2 limpezas diárias utilizaram-se 576 litros de água, o que dá uma vazão de 24 L/h.

### 4.4. Construção do sistema

No local do experimento existiam 3 caixas construídas de alvenaria. A primeira caixa que fica num nível superior as demais com dimensões de 1,2 m. X 1,2 m. com 1,10 m. de altura e 2 caixas conjugadas, cada uma com as seguintes dimensões: 2,98m x 2,98m e 1,00 m. de altura, foram aproveitadas para o experimento, conforme a Figura 7 e esquema ilustrativo do sistema do experimento Figura 8.



**Figura 7.** Ilustração fotográfica das caixas existentes no local.



**Figura 8.** Esquema ilustrativo do sistema de tratamento.

#### 4.4.1. Tanque de Equalização

A primeira caixa citada que fica acima das outras, de forma quadrada com dimensões de 1,2 m. x 1,2m. com 1,10 m. de altura, com capacidade para 1584 litros, foi aproveitada como tanque de equalização com a finalidade de receber a água residuária proveniente da granja de suínos. O efluente foi captado por gravidade em tubulação de PVC, com diâmetro de 100 mm. Foi adaptado na lateral esquerda um registro tipo gaveta com 2” de diâmetro para regulagem da vazão e construída uma caixa de alvenaria (Figura 9) com a metragem de 22 cm de altura, 40 cm de largura e igual comprimento, para monitoramento da vazão.



**Figura 9.** Foto ilustrativa do tanque de equalização e do registro para regulagem da vazão.

#### 4.4.2. Construção do Reator Compartimentado

A primeira caixa abaixo do tanque de equalização foi destinada a construção do reator anaeróbio compartimentado. Com dimensões de 2,98 x 2,98m e 1,00 de altura, os compartimentados foram projetados e construídos de acordo com VALENTIM (1999), optando-se para quatro câmaras em série. Foram fechados com vigas de concreto para suportarem as condições anaeróbias e em cada compartimento, na parte superior, foram colocados amostradores (Figura 10) na posição vertical de PVC de 75 mm com a parte superior vedada com capa também de PVC, que serviram para colheita de material.

Foram também construídos açapões vedados (Figura 10) de cimento e nas frestas passado silicone para boa vedação. A finalidade dos açapões é a possibilidade de se

fazer inspeção dentro de cada compartimento sem a necessidade de se interferir na construção.



**Figura 10.** Ilustração fotográfica dos amostradores e açapões.

As dimensões dos tanques e as distribuições dos compartimentos estão na Tabela 14.

**TABELA 14.** Dimensões do tanque de equalização e das câmaras do reator compartimentado.

	Comprimento metros (m)	Largura /m	Altura/ m	Volume/ L
Tanque de equalização	1,20	1,20	1,10	1584
Câmara 1	1,95	0,94	0,71	1038
Câmara 2	1,10	0,94	0,71	734
Câmara 3	0,87	0,66	0,71	407
Câmara 4	0,87	0,66	0,71	407

A alimentação do primeiro e dos demais compartimentos do reator foi feito através de canos de PVC de 75 mm de diâmetro, colocados a 20 cm do piso (Figura 11) da câmara. A idéia foi promover distribuição homogênea do esgoto e contato maior entre os microrganismos e substrato.



**Figura 11.** Ilustração fotográfica da alimentação dos compartimentos

O primeiro compartimento tem como objetivo reter a maior parcela possível de sólidos, promover a digestão parcial dos sólidos sedimentáveis e reduzir a taxa de DBO solúvel.

Os efluentes deste compartimento são coletados em tubulação de PVC, com diâmetro de 75 mm em forma de cachimbo a 10 cm abaixo da parte superior da câmara para alimentar o segundo compartimento e assim sucessivamente.

O efluente da quarta câmara é coletado por tubulação de PVC com diâmetro de 75 mm em forma de cachimbo; coletada a 10 cm da parte superior da câmara e lançado ao leito cultivado.

Para o início de funcionamento dos reatores não foi utilizado nenhum tipo de inóculo. Esta etapa aconteceu basicamente com o afluente sendo lançado no reator e a adaptação dos microrganismos presentes no substrato, para seleção e crescimento de populações de microrganismos.

#### **4.5. Leitos Cultivados**

A terceira caixa de alvenaria foi aproveitada para o projeto do leito cultivado. O seu dimensionamento e construção foram baseados nos critérios adotados por VALENTIM (1999) para sistemas de fluxo subsuperficial como fase final do tratamento.

Foi construída uma divisória em alvenaria de blocos de cimento (40 cm x 20 cm) com base de concreto armado. Nas paredes, os materiais utilizados foram argamassa com vedacit e impermeabilizadas com neutrol, ficando com forma retangular.

A adequação das caixas para a planta piloto e montagem do experimento foram feitas durante os meses de agosto a outubro de 1999. O leito 2 foi ativado em 28/04/2000 (termino do plantio das taboas e recebimento do efluente do leito 1), com a finalidade de melhorar a eficiência do tratamento. As dimensões dos leitos 1 e 2 são mostrados na Tabela 15.

**Tabela 15.** Dimensões dos Leitos 1 e 2.

	Comprimento (metros)	Largura (metros)	Altura (metros)	Altura da lâmina d'água (metros)	Volume (litros)
Leito 1	2,99	1,42	1,00	0,99	4.203
Leito 2	2,99	1,42	1,00	0,71	3.014

A alimentação do leito 1 foi feita através de tubulação de PVC de 75 mm, com furos de 10 mm de diâmetro espaçados de 10 em 10 cm, locado na parte lateral, voltado para frente dos leitos 1 e 2 (Figura 12), de forma a distribuir o líquido de maneira uniforme.



**Figura 12.** Ilustração fotográfica do efluente dos reatores e distribuição nos leitos 1 e 2.

O efluente do leito 1 é captado por tubulação de PVC de 75 mm, com furos de 10 mm de diâmetro espaçados de 10 cm em 10 cm, colocados na parte frontal inferior, opostos ao afluente e após o líquido passar por toda extensão do leito é captado por esta tubulação descrita, seguindo por outra de 50 mm até a parte frontal do leito 2 com a mesma disposição do leito 1 para distribuição do afluente.

O sistema de controle de regulagem da altura da lâmina d'água do leito 2 é feito por um dispositivo em forma de cachimbo (Figura 13), com deslocamento angular de 180° em relação ao eixo de onde saem mangueiras de 50 mm para a rede coletora.



**Figura 13.** Ilustração fotográfica do sistema de regulagem da lâmina d'água.

Este sistema de construção possibilita o escoamento do resíduo líquido por gravidade e facilita o controle do tratamento.

Dentro dos leitos foram colocadas pedras nº 3 (Figura 14), como meio suporte para fixação das macrófitas e para aderência de microrganismos com o objetivo de obter remoção de matéria orgânica. Dentro de cada leito em sentido vertical foram colocados 2 (dois) tubos de PVC de 75 mm de diâmetro perfurados em toda sua extensão para servir como amostradores.

Os leitos foram cultivados no sistema de monocultivo com macrófita da espécie *Typha spp.*, (Figura 14) colhidas no Campus experimental II do CREUPI. As mudas de *Typha spp.*, foram retiradas com auxílio de enxadão para que fosse possível conservar o máximo do

sistema radicular e corte das folhas com auxílio de facão. As mudas foram transportadas até o experimento sem qualquer tratamento e plantadas imediatamente após a chegada ao local do experimento. Os Quadro 1 e 2 mostram as datas de plantio das taboas nos leitos.

**Quadro 1.** Cultivo e adaptação das macrófitas no Leito Cultivado 1.

Data	<u>Typha ssp.</u>	Observações
10/08/1999	Foram plantadas 78 mudas com 20 a 30 cm de caule	Apenas 9 touceiras apresentaram brotação
08/02/2000	Plantio de 70 mudas	29 touceiras brotaram
23/03/00	Foram retiradas para análise 02 touceiras para análise fitopatológica	Ficaram 36 plantas
12/04/2000		Contagem de 48 plantas
15/05/00	Plantio de 17 mudas	
12/06/00		Pulverização com Benlate
26/06/00	Plantio de 06 mudas	

**Quadro 2.** Cultivo e adaptação das macrófitas no Leito Cultivado 2.

Data	<u>Typha ssp.</u>	Observações
28/04/2000	Plantio de 76 mudas com 20 a 25 cm de caule	
21/06/00	Plantio de 06 mudas com 20 a 25 cm de caule	
15/05/00	Plantio de 23 mudas	
12/06/00		Pulverização com Benlate
19/06/00	Plantio de 06 mudas	

Este procedimento se deu no final do mês de agosto a outubro de 1999, sendo plantadas inicialmente 78 touceiras por toda extensão do leito a uma profundidade de 20 cm. O leito foi alimentado com água limpa para fixação das plantas nas pedras até o funcionamento do sistema, quando foi esvaziado para receber as águas residuárias provenientes da granja.



**Figura 14.** Ilustração fotográfica das britas e das plantas aquáticas.

Outra medida tomada foi a de não utilizar a touceira para plantio. Foram colhidas utilizando-se dos mesmos procedimentos anteriores e deixadas em caixa de 500 litros com água limpa para brotação. Os brotos quando atingiam a altura de 15 cm eram cortados das touceiras e plantados nos leitos.

#### **4.6. Entrada dos Animais na Granja**

Os animais durante a fase experimental, assim como a alimentação, foram cedidos pela Fundação Pinhalense de Ensino durante toda fase experimental. Os animais foram introduzidos na granja no dia 18 de outubro de 1999, distribuídos aleatoriamente em 4 baias, sendo que cada uma foi povoada por 5 animais, perfazendo o total de 20 animais. As baias tinham dimensões de 5,20 m de comprimento por 2,00 metros de largura. Os animais foram introduzidos com peso médio inicial em torno de 20 kg, alimentados com ração comercial para recria e substituída após 30 dias para ração de engorda. Os animais foram substituídos assim que completaram 70 a 80 dias na granja, atingindo o peso médio entre 90 e 100 kg/PV, ou quando houvesse algum contratempo. A Tabela 16 indica as datas e o número de animais que foram utilizados na fase experimental.

**Quadro 3.** Datas e quantidade de animais utilizados durante a fase experimental

Data de entrada	Saída dos animais	N de animais	N. que saíram	Obs
18/10/1999	05 /01/2000	20	20	
11/01/2000	01/03/2000	20	20	
07/03/2000	10/05/2000	20	20	
16/05/2000	27/07/2000	12	12	
08/08/2000	18/10/2000	20	20	
26/10/2000	02/02/2001	20	20	
20/02/2001	17/05/2001	20	19	23/06 baixa de 1 animal
23/05/2001	01/08/2001	13	13	

#### **4.7. Tempo de Detenção Hidraulico (TDH)**

Para avaliação do sistema 2 tempos de detenção foram empregados. Um período trabalhando com TDH de 10,76 dias e outro com 21,52 dias. A idéia era verificar se o TDH mais curto ou mais longo iria interferir na redução da DQO, Sólidos Suspensos, Nitrogênio (NTK, NO<sub>3</sub> e NH<sub>3</sub>), Fósforo, Sólidos Sedimentáveis.

O ensaio foi dividido em 4 Fases.

#### **4.8. Fases do Experimento**

##### **4.8.1. Primeira Fase**

Neste período foram feitas avaliações da eficiência do reator anaeróbio compartimentado e dos leitos cultivados com macrófitas. O sistema foi aferido para atuar com TDH de 10,76 dias, sendo que o reator teve TDH de 4,49 dias e os leitos trabalharam com TDH de 6,27 dias, considerando vazão de 24 L/h. As análises realizadas foram;

Fator Poluente:

a) Demanda Química de Oxigênio - coleta feita quinzenalmente, um total de 03 coletas no período de 26/10/00 a 21/12/00.

b) Sólidos Sedimentáveis - as amostras foram coletadas semanalmente, num total de 06 amostras no período de 26/10/00 a 21/12/00;

c) pH - as aferições foram semanais num total de 06 coletadas de dados, no período de 26/10/00 a 21/12/00;

#### **4.8.2. Segunda Fase**

A segunda fase experimental ocorreu no período entre os dias 22/12/00 à 02/02/01, com TDH de 21,52 dias. O TDH do reator de 8,98 dias e dos leitos cultivados de 12,54 dias, e vazão de 12 L/h. Neste período que durou 42 dias, foram analisados;

Fator Poluente:

a) Demanda Química de Oxigênio – foram coletadas 03 amostras realizadas quinzenalmente;

b) Sólidos Suspensos - as amostras foram colhidas quinzenalmente para análise num total de 03 análises no período;

c) Sólidos sedimentáveis - no período as análises foram semanais num total de 7 amostras;

d) pH – as aferições do pH, foram semanais , num total de 07 aferições;

Nutrientes:

a) Fósforo - avaliadas no período, 2 amostragem para determinação do elemento;

Fator Contaminante:

a) Triple Sugar Iron (TSI) – fermentação da lactose, sacarose, glicose, H<sub>2</sub>S e gás;

b) Caldo Lactose Bile Verde Brilhante (isolamento de Coliformes Totais (CT));

c) Agar Eosina Metileno Blue (EMB), (isolamento de bactérias do gênero *Escherichia*;

d) *Streptococcus faecalis medium* (isolamento de *Enterococcus faecalis*, (EF);

e) Agar Uréia (enzima urease);

f) Meio SIM (H<sub>2</sub>S, indol, motilidade);

g) Agar citrato (utiliza citrato como fonte de carbono);

h) Agar Mac Conkey (isolamento de bactérias Gram negativas e fermentadoras da lactose);

i) Agar Baird Parker (isolamento de *Staphylococcus aureus*);

- j) Agar Sabourand – Dextrose (isolamento de leveduras);
- k) Agar *Salmonella Shiguella* (SS), isolamento de *Salmonella Shiguella*);
- l) Agar sangue (isolamento de bactérias gram positivas).

#### 4.8.3. Terceira Fase

A terceira fase da avaliação do desempenho do reator anaeróbio compartimentado e dos leitos cultivados com macrófitas no tratamento da água residuária da suinocultura contendo 20 animais, ocorreu entre os dias 26/03/01 a 15/05/01. A vazão considerada foi a de 24L/h, e o sistema teve TDH de 10,76 dias, sendo que os reatores trabalharam com TDH de 4,49 dias e os leitos com 6,27 dias. Esta fase teve a duração de 50 dias. Tendo os seguintes parâmetros analisados:

a) - Demanda Química de Oxigênio - coleta feita quinzenalmente, num total de 04 amostras;

b) - Sólidos Suspensos – foram avaliadas 04 amostras, feitas quinzenalmente;

c) - Nitrogênio - foram analisados no período:

c1) Nitrogênio Total Kjeldahl NTK (mg/L) 03 amostras, colhidas quinzenalmente;

c2) Nitrogênio na Forma de Nitrato - NO<sub>3</sub> (mg/L) 03 amostras, colhidas quinzenalmente;

c3) Nitrogênio na Forma Amoniacal – NH<sub>3</sub> (mg/L), 03 amostras colhidas quinzenalmente;

d) Fósforo – as análises foram quinzenais, total de 03 amostras;

e) pH – neste período as aferições do pH, foram semanais , num total de 08 aferições;

f) Sólidos Sedimentáveis – foram monitorados semanalmente, num total de 08 avaliações;

Fator Contaminante:

a) Triple Sugar Iron (TSI) – fermentação da lactose, sacarose, glicose, H<sub>2</sub>S e gás;

b) Caldo Lactose Bile Verde Brilhante (isolamento de Coliformes Totais (CT));

- c) Agar Eosina Methileno Blue (EMB), (isolamento de bactérias do gênero *Escherichia*;
- d) *Streptococcus faecalis medium* (isolamento de *Enterococcus faecalis*, (EF);
- e) Agar Uréia (enzima urease);
- f) Meio SIM (H<sub>2</sub>S, indol, motilidade);
- g) Agar citrato (utiliza citrato como fonte de carbono);
- h) Agar Mac Conkey (isolamento de bactérias Gram negativas e fermentadoras da lactose);
- i) Agar Baird Parker (isolamento de *Staphylococcus aureus*);
- j) Agar Sabourand – Dextrose (isolamento de leveduras);
- k) Agar *Salmonella Shiguella* (SS), isolamento de *Salmonella Shiguella*);
- l) Agar sangue (isolamento de bactérias gram positivas).

#### 4.8.4. Quarta Fase

A fase de avaliações ocorreu entre 23/05/01 a 01/08/01, perfazendo um total de 62 dias, em que o sistema foi monitorado para tratar o resíduo de 13 animais distribuídos nas quatro baias, sendo que uma delas ficou com um animal a mais. O sistema foi ajustado para trabalhar com TDH de 10,76 dias, os reatores com TDH de 4,49 dias e os leitos com 6,27 dias. Os parâmetros analisados foram:

- a) Peso do dejetos
- b) Análise bromatológica do Dejetos Seco;
- c) Demanda Química de Oxigênio - coleta feita quinzenalmente, num total de 05 avaliações;
- d) Sólidos Suspensos - as amostras foram colhidas quinzenalmente para análise num total de 05 análises no período;
- e) pH – neste período as aferições do pH, foram semanais, num total de 05 análises no período;
- f) Redução de macronutrientes – para análise, foram colhidas um total 05 amostras realizadas a cada 15 dias;

g) Redução de microelementos: as análises foram feitas a cada 15 dias com 05 amostragem;h) análise microbiológica.

Em todas as etapas, o TDH foi monitorado diariamente sempre no período da manhã (7:30 às 8:00 h) e no período da tarde (16:30 às 17:00 h) utilizando-se proveta graduada e cronômetro digital.

A parte experimental teve duração de 22 meses. De início não foram colhidas amostras para análises. Este tempo de funcionamento do projeto serviu para observar e avaliar o comportamento do sistema e fazer ajustes no mesmo.

A primeira observação foi a grande quantidade de ração que caía dos comedouros e saía junto com as fezes, causando dificuldade em regular a vazão d'água do tanque de equalização para os reatores.

Foi colocado um filtro como mostra a Figura 16, utilizando-se para isso tubo de PVC de 100 mm de diâmetro com furos de 10 mm de diâmetro por toda sua extensão e envolto em tela tipo mosquiteiro, acoplado à entrada do registro para evitar possível entupimento permitindo assim melhor regulagem da vazão. Este filtro era retirado semanalmente para limpeza em água corrente e recolocado.

Também foi providenciada a mudança do cocho de ração para não haver desperdício, demonstrando que pequenas mudanças no sistema operacional de manejo ou em relação a equipamentos podem diminuir custos da criação evitando-se perdas de rações e gerando menos resíduos a ser tratado.



**Figura 15.** Ilustração fotográfica do filtro para o tanque de equalização.

#### **4.9. Resíduos**

A água residuária a ser tratada foi a resultante da limpeza das baias misturada a restos de ração, urina e fezes. A limpeza continuou a ser realizada duas vezes por dia e a captação do material foi feita por gravidade, em tubulação de PVC de 100 mm de diâmetro.

##### **4.9.1. Parte sólida do dejetos obtido após a limpeza seca**

O tratamento preliminar consistiu na remoção dos sólidos grosseiros (materiais de maiores dimensões, ração) empregado para tal métodos físicos. Fezes e restos de rações que possivelmente caíam dos comedouros foram retirados com auxílio de rodo de ferro e depositado em esterqueira. O restante foi retirado através da limpeza úmida com auxílio da água que serve a granja, com mangueira de borracha de diâmetro de 0,5”.

Durante o período de 24/05 a 25/07/2001 os sólidos grosseiros foram pesados a cada 15 dias pela manhã e à tarde, esparramados sobre um piso de cimento para secar e posteriormente acondicionados em sacos plásticos com capacidade para 50 kg e armazenados em local seco e coberto. Desse material foram retiradas amostras para análise bromatológica, seguindo a metodologia preconizada por SILVA (1990). A análise foi realizada no laboratório de Nutrição do CREUPI.

#### **4.9.2. Resíduos do Tanque de Equalização**

Outra observação a ser mencionada foi a grande quantidade de ração e fezes sedimentadas no tanque de equalização que estavam levando o sistema a um colapso. A alternativa encontrada para sanar o problema foi a retirada deste material através de uma chorumeira marca Lely, com capacidade para 4.000 litros. A descarga do processo passou a ser de duas vezes por semana, todas segundas e quintas feiras. O chorume retirado foi aplicado de maneira uniforme em área de pastagem de 2,0 ha, cultivada com Tanzânia no referido Campus, conforme ADUBOS...(2001).

#### **4.9.3. Destino do Efluente do Leito 2**

Na saída do leito 2, foram feitas duas ligações para destino do efluente. Uma saída que lança o líquido em um açude e outra com destino a uma caixa de amianto com capacidade para 1000 litros (Figura 17), colocada abaixo do experimento. O líquido sai por gravidade, não necessitando de bombas ou outro equipamento para seu destino. As tubulações para construção são de 50 mm com registro de gaveta de igual diâmetro em ambas para saída do efluente.

Dentro da caixa de amianto foi colocada uma bomba submersa marca RAIMÃ, modelo 1500 A, com potência de 370 watts, tensão de frequência 127 V, diâmetro de 15 cm.

A finalidade da mesma é servir de depósito e facilitar a retirada do líquido em caso de necessidade. Esse efluente depositado na caixa foi reutilizado na técnica de cultivo hidropônico, especificamente no cultivo da alface.



**Figura 16.** Ilustração fotográfica da caixa para armazenar o efluente do leito 2 e a bomba de fundo.

#### **4.9.4. Cultivo Hidropônico**

O ensaio foi conduzido no Setor de Nutrição Mineral, Núcleo de Solos e Nutrição de Plantas do Curso de Engenharia Agrônoma “Manoel Carlos Gonçalves” do CREUPI, Espírito Santo do Pinhal – SP.

O ensaio foi realizado na estufa de hidroponia do setor. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 5 repetições, com cultura de alface (*Lactuca sativa*) cv. Salad Bowl green. As mudas replantadas estavam com 21 dias após semeadas.

Na estufa de hidroponia foram utilizadas 3 mesas, cada uma com 3 canaletas com capacidade para 24 plantas, num total de 72 mudas.

O efluente utilizado para o experimento foi o do leito 2 com as características expressas na Tabela 53.

Os tratamentos foram:

O delineamento estatístico empregado foi inteiramente casualizado com 8 repetições e 3 tratamentos:

T1 – solução nutritiva recomendada por Teixeira (1996);

T2 – somente água oriunda do efluente do tratamento do dejetos suíno;

T3 – água oriunda do efluente suíno enriquecida com solução nutritiva 50%.

Valor do substrato indicado para cultura de alface alface em mg/L (Tabela 16)

**Tabela 16.** Quantidades adequadas de macronutrientes em mg/L para cultura da alface.

Espécie vegetal	N	P	K	CA	Mg	S
Alface	110	16	156	40	28	24

Fonte: TEIXEIRA (1996).

#### **4.9.5. Lodo Produzido na Câmara 1.**

##### **4.9.5.1. Utilização do Lodo Produzido na Câmara 1 em Cultivo de Alface em Vasos**

O ensaio foi feito em condições de estufa no Setor de nutrição Mineral, Núcleo de Solos e Nutrição de Plantas do Curso de Engenharia Agronômica “Manoel Carlos Gonçalves” do CREUPI, Espírito Santo do Pinhal – SP nos meses de abril a julho de 2001, com a cultura de alface (*Lacuta sativa* L.) cv. Salad Bowl Green.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, utilizando 5 tratamentos com 4 repetições.

A análise do bio-sólido na base seca de macro e micronutrientes estão expressos nas Tabelas 23 e 24 no capítulo resultados.

Cada parcela experimental constou de um vaso plástico com capacidade para 5 litros, contendo 4 kg de solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo, tendo seu pH corrigido de acordo com a análise de solo.

Passados 7 dias da calcareação, os vasos foram preparados e o plantio aconteceu no dia 30 de abril de 2001. Os vasos foram identificados e quantidades crescentes do efluente calculadas em base seca misturados à terra contida nos vasos utilizando-se mudas de alface (*Lactuca sativa*) cv. Salad Bowl green. As mudas foram transplantadas com 21 dias após a semeadura.

As mudas foram plantadas ao acaso com distribuição nos vasos sobre plataforma de madeira, sendo duas mudas por vaso e posteriormente molhadas.

Após 35 dias de plantio as plantas foram cortadas rente ao solo. Os parâmetros de avaliação utilizados foram a parte aérea da planta e a parte verde.

No final do ensaio para obtenção dos resultados analisados estatisticamente, foi empregado o teste de Tukey a 5% para comparação de médias.

Os tratamentos estão descritos abaixo:

- 1 – testemunha;
- 2 – 50 gr de matéria seca correspondente a 20 ton/ha, ou seja 0,5 kg de lodo líquido;
- 3 – 100 gr de matéria seca, correspondente a 40 ton/ha, ou seja 1 kg de lodo líquido;
- 4 – 150 gr de matéria seca, correspondente a 60 ton/ha, ou seja 1,5 kg de lodo líquido;
- 5 – 200 gr de matéria seca, correspondente a 80 ton/ha, ou seja 2,0 kg de lodo líquido.

#### **4.9.5.2. Utilização do Lodo Produzido na Câmara 1 em Cultivo de Alface em Vasos e Adubação Química**

O ensaio foi feito em condições de estufa no Setor de nutrição Mineral, Núcleo de Solos e Nutrição de Plantas do Curso de Engenharia Agrônômica “Manoel Carlos Gonçalves” do CREUPI, Espírito Santo do Pinhal – SP nos meses de abril a julho de 2001, com a cultura de alface (*Lacuta sativa* L.) cv. Salad Bowl Green.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente casualizado, utilizando 5 tratamentos com 4 repetições.

Foi realizada a análise do biossólido na base seca de macro e micronutrientes.

Cada parcela experimental constou de um vaso plástico, com capacidade para 5 litros (Figura 18), contendo 4 kg de solo classificado como Podzólico Vermelho Amarelo corrigido o seu pH de acordo com a análise de solo.

O ensaio foi conduzido utilizando-se biossólido produzido no reator 1 e adubação química, preconizada cuja formulação foi: NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio) 4–14–8, de uma marca comercial idônea, utilizando-se 200 kg/ha.

Passados 7 dias da calcareação, os vasos foram preparados e o plantio aconteceu no dia 30 de abril de 2001 com mudas de 21 dias semeadas em bandeja. Os vasos foram identificados e as quantidades crescentes do fluente calculadas em base seca misturados à terra contida nos vasos de acordo com as recomendações técnicas para plantio de alface. Os tratamentos estão descritos abaixo:

- 1 – testemunha;
- 2 – NPK (Nitrogênio, Fósforo e Potássio);
- 3 – 2/3 de NPK;
- 4 – 2/3 NPK + 40 ton/ha;
- 5 – NPK + 40 ton/ha.

Após 35 dias de plantio as plantas foram cortadas rente ao solo. Os parâmetros para avaliação foram a parte aérea e a parte verde da planta.

No final do ensaio a análise estatística dos resultados foi feita pelo teste de Tukey a 5% para comparação de médias.

1). mudas para serem replantadas



2) vasos após o plantio das mudas



3) – tratamentos



4) – tratamentos prontos para avaliação

**Figura 17.** Ilustração fotográfica das mudas, vasos, plantio e produção.

#### **4.9.5.3. Utilização do Lodo Produzido na Câmara 1 no Solo e Produção de Feijão. (*Phaseolus vulgaris*), CV. CARIOCA**

O feijão é um dos produtos agrícolas cultivados da mais alta importância econômica e social que, juntamente com o arroz, constitui a base da alimentação da maior parte da população brasileira e, por isso, a nível mundial é o maior produtor e consumidor desta leguminosa.

Grande parte da produção é efetuada em caráter de subsistência e tecnicamente rudimentar, acarretando baixa produtividade por área.

Para avaliar os efeitos da adição do lodo produzido no reator 1 ao solo na produção de feijão, instalou-se um ensaio em casa de vegetação do Campus 1 do CREUPI.

O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, textura argilosa, retirada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar e peneirado.

Na análise granulométrica, a argila foi: 580 g kg<sup>-1</sup>, areia: 340 g kg<sup>-1</sup> e silte: 80 g kg<sup>-1</sup>. O delineamento estatístico inteiramente casualizado, com dosagens crescentes do efluente de biodigestor anaeróbico contendo 90% de água e 10% de material seco.

Foi realizada análise da composição química da base seca de macro e micronutrientes.

Quantidades crescentes do efluente calculadas em base seca, foram misturados em vasos contendo 7 kg de solo e passados em peneira de 2 mm (ABNT 10).

Após homogeneizar e umedecer a mistura solo – biossólido (lodo), deixou-se em repouso durante duas semanas e só depois semeado o feijão, deixando-se duas plantas/vaso. Não foi adicionado nenhum corretivo ou fertilizante, somente o material em estudo SIMA JR et al. (2001).

Os tratamentos foram:

- 1 – testemunha (0% de lodo), correspondente a 0;
- 2 – 10 toneladas/ha de lodo, correspondente a 35 g;
- 3 – 20 toneladas/ha de lodo, correspondente a 70 g;
- 4 – 30 toneladas/ha de lodo, correspondente a 105 g;
- 5 – 40 toneladas/ha de lodo, correspondente a 140 g;
- 6 – 50 toneladas/ha de lodo, correspondente a 175 g;
- 7 – 60 toneladas/ha de lodo, correspondente a 210 g.

#### **4.9.5.4. Efeitos de Biossólidos de Suínos no Solo e Produção de Rabanete (*Raphanus sativus* L.)**

O ensaio foi conduzido em casa de vegetação, utilizando-se solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, retirada de 0-20 cm de profundidade, seco ao ar e peneirado através de malha com abertura de 2 mm (10 ABNT).

O experimento realizado em vasos com 7 kg de terra, constou de um delineamento estatístico inteiramente casualizado de 7 tratamentos e 3 repetições com doses crescentes de biossólido de suíno (base seca), cujos tratamentos estão descritos na Tabela 17.

Após ter sido misturado ao solo, umedecido e posto em contato durante 15 dias em incubação, foi semeado rabanete deixando-se desenvolver duas plantas/ vaso de acordo com (MARACCINI et al. 2001).

Na colheita, aos 31 dias do plantio, procedeu-se a pesagem da parte aérea e do tubérculo. Também foi feita amostragem de solo de cada vaso para fins de análise.

**Tabela 17.** Tratamentos empregados no experimento.

Tratamentos	Dosagem tonelada/ha
1	0
2	10
3	20
4	30
5	40
6	50
7	60

#### **4.10. Coleta de Amostras do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e dos Leitos Cultivados para análise.**

##### **4.10.1. Sólidos Sedimentáveis**

Para os sólidos sedimentáveis foram colhidas um total de 6 amostras do tanque de equalização, nos amostradores das câmaras 2, 3 e 4 do reator e nos leitos 1 e 2. as coletas foram realizadas nos cachimbos mostrados na Figura 13.

As coletas foram semanais, iniciadas no dia 13/11/2000 e se estenderam até a data de 15/05/2001, num total de 20 amostras.

O horário das coletas foi no período da manhã, sempre no mesmo horário (início às 8:00 e término às 8:30 h).

#### **4.10.2. pH**

Para aferição do pH (em nenhuma fase do experimento foi acrescentado corretivos ou outra substância qualquer para correção do pH durante todo período de estudo) as amostras foram colhidas com pipeta graduada de 100 ml e colocadas em frascos de vidro, com tampa de vidro com capacidade para 250 ml e as leituras realizadas no laboratório de Aquicultura do Campus 1 do CREUPI.

O período de coleta foi no período compreendido entre 13/11/2000 a 15/05/2001 num total de 20 análises.

#### **4.10.3. DQO**

As coletas foram quinzenais, num intervalo maior no período de 01/02/01 a 28/03/01 e no período de 09/05/01 a 30/05/01, terminado dia 10/07/01.

#### **4.10.4. Sólidos Suspensos, N, P e K**

Sólidos Suspensos, DQO, Nitrogênio, Nitrogênio Total Kjeldahl – NTK (mg/L), Nitrogênio na Forma de Nitrato, Nitrogenio na Forma Amoniacal – NH<sub>3</sub> (mg/l), Fósforo, pH, Sólidos Sedimentáveis, foram analisado em uma segunda fase com período de amostragem que ocorreu entre 26/03/01 a 15/05/01, levando-se em consideração a vazão de 24 L/h, com TDH de 10,76 dias. No período avaliado os animais entraram na granja no dia 20/02/01 e retirados na data de 17/05/01.

#### **4.11. Programação dos Ensaio**

A avaliação do sistema teve como parâmetros a remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), a Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos (SS), turbidez, monitoramento do pH, vazão do afluente e efluente. Com relação ao leite cultivado com macrófitas foram também avaliadas as reduções de nitrogênio amoniacal

(NH<sub>3</sub> - N), Total Kjeldahal (NTK), Orgânico (Norg) e Nitrato (NO<sub>3</sub>), Fósforo Total (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) e Microbiológico.

Todas as análises foram realizadas seguindo a metodologia do “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (APHA, 1995).

#### **4.12. Métodos de Análise Laboratorial**

Os métodos e equipamentos utilizados nas análises laboratoriais para esse experimento estão descritas abaixo:

**Sólidos Sedimentáveis** - realizado no cone Imhoff, segundo Standard Methods, APHA (1995), fornecendo leituras em ml/L.

**Sólidos Suspensos** – realizado pelo método colorimétrico descrito em HACH (1996).

**pH** – as determinações do pH foram feitas em pHmetro, da marca TECNAL , modelo TEC – 2, previamente calibrado com soluções tampão com pH 4,0 e pH 7,0, segundo Standard Methods, APHA (1995).

**DQO** – realizado com a digestão da amostra com dicromato de potássio em um reator DQO Hach, seguida de determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/2010 , na faixa de 0 a 150 mg O<sub>2</sub>/L e desvio padrão de  $\pm 2,7$  mg de O<sub>2</sub>/L, conforme descrito em HACH (1996).

**Nitrogênio Total Kjeldahl** – realizada pelo método de NESSLER, com a digestão da amostra no digestor Digesdahl e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/2010, fornecendo os resultados em mg/L de NTK. Os procedimentos experimentais estão descritos em HACH (1996).

**Nitrogênio Amoniacal** – realizada pelo método de NESSLER sem a necessidade em se utilizar a digestão. A determinação do NA foi feita pelo método de colorimetria, no espectrofotômetro DR/2010 (HACH). Os procedimentos experimentais estão descritos em HACH (1996).

**Nitrato** – realizado pelo método do reagente Nitra Ver5 (HACH) e posterior determinação colorimétrica no espectrofotômetro DR/2010, com resultados em mg/L. Os procedimentos experimentais estão descritos em HACH (1996).

**Enxofre** – realizado por colorimetria, pela precipitação do enxofre, pelo cloreto de bário. Em colorímetro na forma de transmitância por espectrofotômetro marca FENTO, modelo 432, na faixa de 420 nm, conforme MALAVOLTA et al. (1989).

**Fósforo Total** – realizado pelo método de colorimetria do metavanadato e posterior determinação no espectrofotômetro FENTO 432, na faixa de 420 NM, conforme MALAVOLTA et al. (1989).

**Cálcio, Magnésio e Potássio** – foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, conforme MALAVOLTA et al. (1989), utilizando-se aparelho marca GBC, modelo 933 AA.

**Boro** – realizado pelo método de Colorimetria da Azometrina H e posterior determinação no espectrofotômetro FENTO 432, na faixa de 420 nm, conforme MALAVOLTA et al. (1989).

**Cobre** – assim como o **Ferro**, **Manganês** e o **Zinco** foram determinados diretamente em espectrofotômetro de absorção atômica marca GBC, modelo 933 AA, conforme MALAVOLTA et al. (1989).

#### **4.13. Coleta de Amostras para Análises Microbiológicas**

**1. Amostras de Água** – As coletas foram realizadas às terças-feiras, no período da manhã (início às 8:00 e termino 8:30). Coletadas um total de 6 amostras, provenientes de 6 tanques de tratamento de efluentes de suínos. A amostra 1 refere-se ao tanque de equalização, as amostras 2, 3 e 4 aos reatores onde ocorreu a fermentação anaeróbia, no fundo do tanque e as amostras 5 e 6 referem-se aos leitos 1 e 2, cultivados com Taboa (*Typha domingensis*).

**2. Amostras de Fezes** – amostras de fezes frescas (200g) de 13 suínos nas fases de recria e terminação, clinicamente sadios, foram colhidas do piso onde os animais ficavam confinados e colocadas em frascos estéreis transportas imediatamente para o laboratório de microbiologia do Curso de Engenharia Ambiental. Todas as amostras foram colhidas em duplicata.

**3. Coleta das Amostras** – As amostras foram colhidas com pipetas volumétricas estéreis (100 ml) dos tanques 1, 2, 3 e 4 através dos amostradores dos compartimentos e nos leitões 1 e 2 diretamente com frascos de vidro de bocas largas estéreis. Todas as amostras foram colhidas em duplicata.

#### **4.14. Análises Microbiológicas das Amostras**

##### **4.14.1. Águas Residuárias**

Pesquisa de coliformes totais (CT), coliformes fecais (CF) e estreptococos fecais (EF).

As análises das amostras de efluentes foram realizadas pelo método do Número Mais Provável (NMP), pela técnica dos tubos múltiplos, de acordo com a metodologia da AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (1985).

##### **4.14.2. Amostra de Fezes**

De cada amostra foi retirada 10 g de fezes, diluída em 90 ml de Phosphate Buffered Saline (PBS), pH 7.2, obtendo-se a diluição de  $10^{-1}$ , e a partir dessa foram feitas diluições decimais sucessivas até  $10^{-5}$ , utilizando-se o mesmo diluente. De cada diluição foi depositado 1 ml nos seguintes meios: Agar Mac Conckey, Agar Eosina, Methylene Blue (BEM), Agar Salmonella – Shiguella (SS), Agar Baird Parker, Agar Sabouraud e Caldo BHI. De cada amostra de água foi retirado 1 ml e plaqueadas nos mesmos meios descritos utilizados para análise de fezes

#### **4.14.3. Isolamento e Identificação de Enterobactérias -**

O isolamento e identificação de Enterobactérias foi feito quanto ao gênero de acordo com métodos usuais a partir dos meios de Agar Eosina Methilene Blue (BEM) e Mac Conckey. A identificação bioquímica foi feita utilizando-se meios usuais (Agar Citrato, meio H<sub>2</sub>S, Indol Motilidade (SIM), Agar Uréia, meio do Instituto Adolfo Lutz (IAL), Caldo Vogues Proskauer, Caldo Vermelho de Metila (VM) de acordo com SILVA & JUNQUEIRA (1997).

#### **4.14.4. Isolamento de Bactérias do Gênero *Staphylococcus***

As culturas desenvolvidas no Caldo BHI foram semeadas (0.1 ml) em Agar Baird-Parker, incubadas a 37° C por 24-48 horas. Após o período de incubação, as colônias com características de *Staphylococcus* (coloração negra com ou sem halo), foram submetidas a prova da Dnase e termonuclease, coagulase e catalase, de acordo com SILVA & JUNQUEIRA (1997).

#### **4.14.5. Isolamento e Identificação de Bolores e Leveduras**

As amostras semeadas em Agar Sabouraud foram incubadas a 37° C por 5 dias. Após este período as colônias da placa com aspecto de levedura foram submetidas a coloração de Gram e identificadas de acordo com KREGER-VAN RIJ (1984). As colônias com aspecto de bolor foram identificadas pelo aspecto macro e microscópio (método da fita adesiva), de acordo com ALEXOPOULOS (1985).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Este capítulo retrata o desenvolvimento, as fases do experimento e o que se conseguiu dentro do tempo de avaliação deste projeto. Os resultados e as análises obtidas estão descritos a seguir:

### **5.1. Fases do Experimento**

#### **5.1.1. PRIMEIRA FASE**

##### **5.1.1.1. Concentração e Redução da DQO dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e dos Leito Cultivados com TDH de 10,76 dias, período compreendido entre 26/10/00 a 21/12/00**

Conforme dados obtidos na Tabela 18, quanto a redução da DQO do tanque de equalização à saída do reator apresentou variação média de 79,78% com extremos entre 67,48% a 91,86 com um TDH de 4,49 dias.

NOUR, (1996) obteve redução de 56,7% e VALENTIM (1999) obteve valores médios da ordem de 61%, os resultados obtidos foram superiores aos encontrados por esses autores citados, que trabalharam com esgoto doméstico.

**Tabela 18.** Concentração de DQO (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e dos Leitos Cultivados, no período de 26/10/2000 a 21/12/2000.com TDH de 10,76 dias.

Unidade	23/11/00 28 dias	07/12/00 42 dias	21/12/00 56 dias
Tanque de Equalização	6804	4544	1805
Saída do Reator	1361	370	587
% Redução DQO	80,00%	91,86%	67,48%
Leito 1	804	370	478
Leito 2	609	109	391
% Redução DQO	55,25%	70,54%	33,39%
Tanque de Equalização	6804	454	1805
Leito 2	609	109	391
% Redução DQO do Sistema	91,19%	97,60%	78,33%

Os leitos cultivados 1 e 2 com um TDH de 6,27 dias, apresentaram redução média de 53,06% com variações de 33,39% a 70,54%. Valores inferiores aos encontrados por MANSOR, (1998), quando trabalhou com esgoto doméstico obtendo 82,7%, com TDH de 2,5 dias.

Feita uma análise do desempenho do sistema integrado, reatores anaeróbios compartimentados e leitos cultivados com macrófitas, como apresenta a Tabela 18, verificou-se redução média de 89,04% com variações entre 78,33% e 97,60%.

VALENTIM (1999), ao avaliar o sistema (reator anaeróbio compartimentado seguido de leitos cultivados com macrófitas) em período semelhante, entre 04/11/98 a 21/12/98, obteve valor médio de 87,70% tratando esgoto doméstico.

**5.1.1.2. Desempenho do Sistema (Reator Compartmentado e Leitos Cultivados com Macrófitas) com um TDH de 10,76 dias, na Remoção de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no período compreendido entre 26/10/00 a 21/12/00**

Como apresenta a Tabela 19, o tanque de equalização apresentou uma porcentagem baixa de Sólidos Sedimentáveis e a câmara 4 foi eficiente na redução.

A remoção média de Sólidos Sedimentáveis nos compartimentos foi de 93,75%, com variação de 75,00% a 99,83%. Examinado estes valores, notou-se que são heterogêneos podendo ser atribuídos à faixa etária do animal.

**Tabela 19.** Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização de cada um dos Compartimentos do Reator e dos Leitos 1 e 2, no período de 26/10/2000 a 21/12/2000 com TDH de 10,76 dias

Unidade	13/11/00 18 dias	20/11/00 25 dias	27/11/00 32 dias	04/12/00 39 dias	12/12/00 47 dias	20/12/00 55 dias
T. Equalização	0,4	5,5	50	60	22	30
Câmara 2	24	6	20	80	22	30
Câmara 3	10,5	6	20	40	15	15
Câmara 4	11,5	0,8	18	7	5	10
Saída do Reator	0,1	0,2	0,1	0,1	1,5	0,5
% Remoção	75,00%	96,36%	99,80	99,83%	93,18%	98,33%
Saída do Reator	0,1	0,2	0,1	0,1	1,5	0,5
Saída do Leito 1	0,05	0,02	0	0	0,3	0,1
Saída do Leito 2	0	0	0	0	0	0
% Remoção do Sistema	75,00%	96,36%	99,80%	99,83%	93,18%	98,33%

A Tabela 19 indica que os leitos cultivados apresentaram remoção de 100% dos Sólidos Sedimentáveis (ml/L) com TDH de 6,27 dias. As pedras de brita e as raízes das macrófitas desempenham papel importante para conter sólidos, que possivelmente foram arrastadas das câmaras.

O tratamento proposto mostrou-se eficiente com mínimo de 86% e máximo de 100%. A maior parte de foi realizada no primeiro compartimento e completada no segundo. A variação da porcentagem de sólidos sedimentáveis é variável com a faixa etária do animal. Outro fator a ser mencionado é que partes dos Sólidos Sedimentáveis foram retirados através da limpeza seca e outra parte retida no filtro colocado no registro de controle da vazão. Deve-se salientar que a pouca movimentação do líquido nas câmaras foi fator importante na sedimentação. Os valores obtidos são iguais aos encontrados por VALENTIM (1999), cujos resultados apresentados foram de 100%, no período idêntico de 04/11/98 à 21/12/98, tratando esgoto doméstico.

#### **5.1.1.3. Valores de pH do Sistema (Reator Compartmentado e Leitos Cultivados com Macrófitas) com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/10/00 a 21/12/00**

Os valores do pH (Tabela 20 ) encontrados no tanque de equalização, em todos os compartimentos e nos leitos cultivados com macrófitas, situaram-se na faixa de 6,18 a 7,25.

**Tabela 20.** Valores de pH no sistema.

Compartimentos	13/11/00 18 dias	20/11/00 25 dias	27/11/00 32 dias	04/12/00 39 dias	12/12/00 47 dias	20/12/00 55 dias
T. de Equalização	6,71	6,18	6,70	6,70	6,76	7,00
Câmara 2	6,80	6,81	6,80	6,75	6,86	7,00
Câmara 3	7,12	6,96	6,90	6,78	6,93	6,97
Câmara 4	6,96	7,10	7,05	6,80	6,96	7,00
Saída da Câmara 4	7,00	6,95	6,95	6,80	7,00	6,95
Leito 1	7,16	7,25	7,05	6,96	7,15	7,15
Leito 2	7,22	7,21	7,03	6,85	7,06	7,11

Os resultados mostrados permitiram avaliar que não houve oscilações do pH no tanque de equalização. O valor mínimo encontrado foi de 6,18, o que não prejudicou o sistema.

Numa análise geral o pH manteve-se com pouca variação, sempre numa constância, apresentando valores próximos aos observados por (NOUR, 1996), que encontrou valores de 6,8 a 7,2, faixas consideradas ótimas para atividade bacteriana na degradação anaeróbia.

## **5.2. SEGUNDA FASE**

### **5.2.1. Resultados da Redução da DQO do Tanque de Equalização até o Efluente do Leito 2 com um TDH de 21,52 dias, período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01**

Neste período usou-se vazão de 12 L/h e TDH de 21,52 dias, o reator anaeróbio compartimentado operou com TDH de 8,98 dias e os leitos cultivados 12,54 dias e para os leitos cultivados o TDH foi de 12,54 dias

Os resultados apresentados na Tabela 21 indicam que a água residuária proveniente do efluente do tanque de equalização após passar pelo reator anaeróbio compartimentado, apresentou redução média de 80,52%, com extremos de 78,58% e 83,46%. BACHMANN et al. (1985) estudando o comportamento do Reator Anaeróbio Compartimentado, alimentado com efluente sintético e TDH variável de 4,8 horas à 71 horas, obtiveram valores de 60,00% a 92,00% de redução da DQO.

**Tabela 21.** Concentração e eficiência de redução da DQO dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados.

Unidade	04/01/01 14 dias	17/01/01 27 dias	01/02/01 42 dias
Tanque de Equalização	3147	3283	2652
Saída do Reator	674	543	543
% Redução DQO	78,58%	83,46%	79,53%
Saída do Reator	674	543	543
Leito 1	370	413	300
% Redução DQO	45,10%	23,94%	44,75%
Leito 1	370	413	300
Leito 2	326	391	280
% Redução DQO	11,89%	27,99%	48,44%
Tanque de Equalização	3147	3283	2652
Leito 2	326	391	280
% Redução DQO do Sistema	89,64%	88,10%	89,44%

Analisando os dados acima, verificou-se que o leito 1 apresentou no período uma variações de 23,94% a 45,10% verificando-se uma variação média de 37,93%. A eficiência do leito 2 apresentou uma média de 29,44%, com extremos de 11,89% à 48,44%, conforme Tabela 21.

O sistema integrado apresentou no período, com vazão de 12 L/h, e TDH de 21,52 dias valores de 88,10% a 89,64% uma eficiência de redução média de 89,06%.

Esses valores estão próximos aos encontrados por VALENTIM (1999), que registrou 87,70%.

**5.2.2. Redução de Sólidos Suspensos (mg/L) do Tanque de Equalização até o Efluente do Leito 2 com TDH de 21,52 dias, vazão considerada de 12 L/h no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01**

No período avaliado, a Tabela 22 abaixo indica que os valores dos efluentes do Tanque de Equalização e do sistema integrado foram considerados acima de 750 (mg/L). O reator anaeróbio compartimentado mostrou eficiência média de 73,15%, com valores variáveis de 66,13% e 81,47%, respectivamente.

Esses valores estão próximos aos deparados por NOUR (1996) que, avaliando esgoto doméstico, encontrou taxa média de 67,5%.

**Tabela 22.** Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e dos Leitos Cultivados, no período de 22/12/2000 a 02/02/2001.

Unidade	04/01/01 14 dias	17/01/01 27 dias	01/02/01 42 dias
Tanque de Equalização	> 750	> 750	> 750
Saída do Reator	211	254	139
% de Redução	>71,87%	>66,13%	>81,47%
Saída do Reator	211	254	139
Leito 1	106	114	35
% de Redução	49,76%	55,11%	74,82%
Leito 2	106	59	68
% de Redução	0%	48,24%	-
T. Equalização	> 750	> 750	> 750
Leito 2	106	59	68
% de Redução do Sistema	85,87%	92,13%	90,93%

O Leito 1 apresenta valores variando de 49,76% a 74,82% com média de 59,89% (Tabela 22). No leito 1 ocorreu redução de 48,24%, na avaliação feita no dia 04/01. Não houve redução no leito 2 e, na avaliação realizada no dia 01/02/01, pois ocorreu um aumento da concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) em relação ao Leito 1.

Os leitos, pela sua constituição de vazão subsuperficial, favorecem a redução de Sólidos Suspensos (mg/L). As raízes das macrófitas aderem-se as britas que têm o papel de filtrar grânulos. Provavelmente esta pouca eficiência verificada no leito 2 seja devido a formação de matéria orgânica resultante das folhas ou raízes das macrófitas em decomposição (MANSOR, 1998).

A redução de Sólidos Suspensos ocorrida no período com um TDH de 21,52 dias, apresentou uma redução média de 89,64%, com uma eficiência mínima de 85,87% e máxima de 92,13%; dados expressos na Tabela 22.

A média encontrada no sistema integrado está próxima à obtida por VALENTIM (1999), utilizando o sistema para tratamento do esgoto doméstico, cuja porcentagem de remoção média foi de 67,5%.

### **5.2.3. Concentração de Fósforo (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com TDH de 21,52 dias (8,98 dias para o Reator e 12,54 dias para os Leitos) no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01**

Analisando os resultados apresentados na Tabela 23, observou-se que no reator compartimentado anaeróbio e nos leitos cultivados com macrófitas não ocorreu redução da concentração de Fósforo na data de 17/01/01, havendo até um acréscimo deste mineral. Na avaliação da data de 01/02/01 a porcentagem de redução do sistema foi pequena, apenas 5,17%.

**Tabela 23.** Concentração de Fósforo na Forma P (g/kg) obtidos no período, oriundos dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e dos Leitos Cultivados, no período de 22/12/00 a 02/02/01.

Unidade	1ª Avaliação (17/01/01) 27 dias	2ª Avaliação (01/02/01) 42 dias
Tanque de Equalização	45	58
Saída do Reator	63	50
% de Redução	-	13,79%
Saída do Leito 1	62	67
Saída do Leito 2	65	55
% de Redução dos Leitos	-	-
% de Redução do Sistema	-	5,17%

As primeiras análises mostraram que não houve boa eficiência de redução de Fósforo, contudo na segunda avaliação o sistema mostrou pequena porcentagem indicando possível incorporação ou assimilação via metabolismo microbiano nos grânulos ou flocos pertencentes a manta de lodo.

Nos leitos os resultados apresentados não foram positivos quanto a redução de Fósforo. MANSOR (1998), obteve valores de 57,44% e 86,38% tratando esgoto doméstico.

#### **5.2.4. Concentração de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no Sistema com TDH de 21,52 dias no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01**

O Quadro 4 indica que a eficiência de remoção de Sólidos Sedimentáveis no reator anaeróbio compartmentado apresentaram valores de 87,50% 99,72%, com valor médio de 96,08% e TDH de 8,98 dias.

Os leitos cultivados com macrófitas apresentaram eficiência de remoção de 100%, com TDH de 12,54 dias.

O compartimento 2 apresentou concentração maior de Sólidos Sedimentáveis em relação ao Tanque de Equalização, provavelmente pela ocorrência de atividade de microrganismos no interior desta câmara. Os outros compartimentos apresentaram boa eficiência, indicando que o reator anaeróbio compartimentado é uma boa alternativa para redução de Sólidos Sedimentáveis.

Os leitos já receberam efluente com pequena porcentagem de Sólidos Sedimentáveis e completaram sua remoção até 100%

**Quadro 4.** Concentração de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, de cada uma das Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados, no período de 22/12/00 a 02/02/01.

Unidade	27/12/00 6 dias	03/01/01 13 dias	10/01/01 20 dias	17/01/01 27 dias	24/01/02 34 dias	31/01/01 41 dias
T. de Equalização	20	3	25	32	60	45
Câmara 2	24	25	12	32	36	30
Câmara 3	13,5	16	5	70	7	15
Câmara 4	10,5	17	6,5	2	4	13
Saída reator	3	2	0,1	0,08	0,1	0,5
% Remoção	87,50%	92,00%	99,17%	99,75%	99,72%	98,33%
Leito 1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Leito 2	0	0	0	0	0	0
% Remoção	100%	100%	100%	100%	100%	100%

**5.2.5. Valores de pH dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com um TDH de 21,52 dias no período compreendido entre 22/12/00 a 02/02/01.**

Os valores de pH dos efluentes do tanque de equalização apresentados no Quadro 5 estiveram na faixa de 6,9 a 7,8 no tanque de equalização. Nos reatores os valores apresentaram certa tendência a estabilização, ficando na faixa entre 6,94 e 7,35 e nos leitos 7,04 a 7,40. O valor médio obtido por MANSOR (1998) nos leitos 1 e 2 foi de 6,70.

Esses valores encontrados mantêm um ambiente adequado para o meio microbiano e sem necessidade de interferir no funcionamento do sistema.

**Quadro 5.** Valores de pH dos efluentes do Tanque de Equalização, Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados no período compreendido entre os dias 22/12/00 a 02/02/01.

Unidade	27/12/00 6 dias	03/01/01 13 dias	10/01/01 20 dias	17/01/01 27 dias	24/01/02 34 dias	31/01/01 41 dias
T. Equalização	6,90	7,00	7,40	7,80	6,17	7,10
Câmara 2	7,05	7,33	7,04	7,04	7,20	7,15
Câmara 3	7,15	7,35	7,06	6,94	7,30	7,00
Câmara 4	7,02	7,10	7,08	6,98	7,21	7,10
Saída do Reator	7,05	7,07	7,11	6,99	7,20	7,18
Leito 1	7,15	7,12	7,29	7,04	7,33	7,15
Leito 2	7,22	7,06	7,14	7,17	7,40	7,12

### 5.3. TERCEIRA FASE

#### 5.3.1. Desempenho do Sistema (Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas) com TDH de 10,76 dias na Redução de DQO, no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01

Pelos dados da Tabela 24, observou-se que o reator apresentou redução mínima de 80,53% e máxima de 86,48% da DQO com TDH de 4,49 dias e eficiência média de 82,26%. Dados aos obtidos no período anterior entre 22/20/00 a 02/02/01, com TDH 8,98 dias e considerado vazão de 12L/h os reatores apresentaram média de 80,52%. As porcentagens médias de redução não foram diferentes da eficiência verificada no período anterior, cujo valor foi de 82,26%.

**Tabela 24.** Concentração e Redução da DQO dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com TDH de 10,76 dias.

Unidade	28/03/01 2 dias	10/04/01 15 dias	24/04/01 29 dias	09/05/01 44 dias
Tanque de Equalização	5153	4022	6109	4648
Saída do Reator	957	783	826	902
% Redução da DQO	81,42%	80,53%	86,48%	80,59%
Saída do Reator	957	783	826	902
Leito 1	783	478	652	925
Leito 2	652	413	543	439
% Redução da DQO	31,87%	47,25%	34,26%	51,33%
Tanque de Equalização	5153	4022	6109	4648
Leito 2	652	413	543	439
% Redução da DQO do Sistema	87,34%	89,73%	91,11%	90,55%

Os leitos cultivados com macrófitas na redução da DQO apresentados na Tabela 24, indicam que a média foi de 41,17%, eficiência mínima de 31,87% e valor máximo de 51,33%. Comparado os dados obtidos entre 22/20/00 a 02/02/01, com o TDH 12,54 dias e considerado uma vazão de 12L/h os leitos apresentaram uma média de 37,93%, indicando que os valores obtidos nos períodos não apresentaram diferenças significativas.

A Tabela acima mostra que o sistema apresentou média no período de 89,68% com valores extremos entre 87,34% a 91,11%.

No período de 22/20/00 a 02/02/01 com TDH 21,52 dias e considerada uma vazão de 12L/h o Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, mostraram média de 89,06%.

Analisado estes dados conclui-se que o TDH não interferiu na redução da DQO e esses dados são semelhantes aos encontrados por VALENTIM (1999) que obteve uma taxa de 87,70%.

### **5.3.2. Desempenho do Sistema com um TDH de 10,76 dias na Redução de Sólidos Suspensos, no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01**

Nos resultados apresentados na Tabela 25, no tanque de equalização encontram-se valores acima de 750 mg/L, superiores a capacidade de leitura do aparelho.

Do tanque de equalização à saída dos reatores, os valores encontrados na redução de Sólidos Suspensos ficaram entre 51,73% a 70,93%. NOUR (1996), com resultados superiores, média de 67,5% na análise da terceira fase de seu experimento.

A média encontrada no período foi de 57,39%. Comparada esta média com a obtida no período de 22/12/00 a 02/02/01 com o TDH 21,52 dias e considerada uma vazão de 12L/h que foi de 73,15%. Observou-se que o TDH influiu na redução dos Sólidos Suspensos.

**Tabela 25.** Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, do Reator Compartmentado e Leitos Cultivados, no período de 26/03/01 a 15/05/01.

Unidade	28/03/01 2 dias	10/04/01 15 dias	24/04/01 29 dias	09/05/01 44 dias
Tanque de Equalização	> 750	> 750	> 750	> 750
Saída do Reator	362	361	218	337
% de Redução	51,73%	51,86%	70,93%	55,06%
Saída do Reator	362	361	218	337
Leito 1	198	185	190	237
Leito 2	185	116	195	174
% de Redução	48,90%	67,87%	10,55%	48,36
T. Equalização	> 750	> 750	> 750	> 750
Leito 2	185	116	195	174
% de Redução no sistema	75,33%	84,53%	74,00%	76,89%

A Tabela 25, mostra que o valor médio de redução de Sólidos Suspensos mg/L foi de 43,92%, apresentando mínimo de 10,55% e redução valor máxima de 67,87%.

A constituição do leito, vazão subsuperficial e seus componentes, meio suporte (brita), plantas aquáticas, raízes, bem como sua flora, ação das bactérias aderidas ao meio suporte são indicativos de eficiência na redução de Sólidos Suspensos. Esses valores estão abaixo aos obtidos por MANSOR (1998), cuja média encontrada foi de 95,95%.

O valor médio encontrado de redução de Sólidos Suspensos no período entre 22/20/00 a 02/02/01 com o TDH 12,54 dias, e vazão de 12L/h foi de 73,15%. Comparando esses dados com os obtidos em outro período de avaliação, conclui-se que o TDH interferiu nos leitos da redução de Sólidos Suspensos (mg/l).

As análises realizadas mostraram valores superiores a 750 mg/L. Na Tabela 25, verifica-se que os valores variaram entre 74,00% a 76,89%, com valor médio de 75,44%, o que torna o sistema aplicavel para redução de Sólidos Suspensos.

Comparando esses dados com os obtidos no período de 22/12/00 a 02/02/01 com o TDH 21,52 dias com valor encontrado de 73,15%, conclui-se que o reator anaeróbio

compartimentado seguido de leitos cultivados com macrófitas em porcentagens médias apresentou a mesma eficiência na taxa de redução de Sólidos Suspensos (mg/L).

### 5.3.3. Redução do Nitrogênio

#### 5.3.3.1. Concentração e Redução do Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com um TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01

A Tabela 26, mostra que os dados obtidos na avaliação do dia 10/04, o reator apresentou uma redução de 8,33%. Os leitos contribuíram com 9,09% e o sistema 16,67%.

Na segunda avaliação, o reator não apresentou redução, os leitos foram eficientes apresentando redução de 33,33%, e o sistema 9,09%.

As análises realizadas no período de 09/05/01 mostraram redução da concentração de Nitrogênio de 48,15%, os leitos cultivados foram responsáveis por redução de 71,43% e o sistema mostrou um desempenho de 85,19%.

**Tabela 26.** Resultados da Concentração do Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados, no período.

Unidade	1ª Avaliação (10/04/01) 15 dias	2ª Avaliação (24/04/01) 29 dias	3ª Avaliação (09/05/01) 44 dias
Tanque de Equalização	480	440	1080
Saída do Reator	440	520	560
% de Redução	08,33%	-	48,15%
Saída do Leito 1	440	600	560
Saída do Leito 2	400	400	160
% de Redução dos Leitos	9,09%	33,33%	71,43%
% Redução no Sistema	16,67%	09,09%	85,19%

**5.3.3.2. Concentração e Redução do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados, com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01.**

Os dados do dia 10/04 indicam que no reator anaeróbio compartimentado ocorreu redução de 7,41%, a eficiência do leito 1 foi de 4,00% e o leito 2 apresentou redução de 8,33%. No sistema integrado a redução do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) foi de 18,52%.

Na segunda avaliação no reator anaeróbio compartimentado não ocorreu redução na concentração do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg). A eficiência deu-se nos leitos cultivados com 19,30% e no sistema integrado a redução foi de 6,12%.

Na avaliação feita no dia 09/05/01, a passagem da água residuária pelo reator apresentou eficiência de 47,50%. O resultado obtido foi maior na saída do reator passando pelos leitos com 69,84% e no sistema integrado a redução foi de 84,17% (Tabela 27).

**Tabela 27.** Resultados do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados, no período de 26/03/01 a 15/05/01.

Unidade	1ª Avaliação (10/04/01) 15 dias	2ª Avaliação (24/04/01) 29 dias	3ª Avaliação (09/05/01) 44 dias
Tanque de Equalização	2160	1960	4800
Saída do Reator	2000	2280	2520
% de Redução	07,41%	-	47,50%
Saída do Leito 1	1920	2600	2440
Saída do Leito 2	1760	1840	760
% de Redução dos Leitos	12,00%	19,30%	69,84%
% Redução do Sistema	18,52%	06,12%	84,17%

**5.3.3.3. Concentração e Redução do Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01.**

A eficiência de redução de Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) na primeira avaliação foi de 20%, o reator anaeróbio compartimentado reduziu 6,67% e os leitos cultivados, a redução verificada foi de 14,29%, sendo que o leito 1 reduziu 7,14% e no leito 2 a redução verificada foi de 7,69%.

Na data de 24/04, como mostra a Tabela 28, a eficiência de redução dos leitos cultivados foi de 25% e do sistema 7,69%.

O resultado obtido na avaliação do dia 09/05, verificou-se que o reator reduziu 48,49% e a passagem pelos leitos cultivados o resultado verificado foi uma redução de 84,85%.

**Tabela 28.** Concentração e Redução do Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados, no período de 26/03/01 a 15/05/01.

Unidade	1ª Avaliação (10/04/01) 15 dias	2ª Avaliação (24/04/01) 29 dias	3ª Avaliação (09/05/01) 44 dias
T. de Equalização	600	520	1320
Saída do Reator	560	640	680
% de Redução	06,67%	-	48,49%
Saída do Leito 1	520	720	680
Saída do Leito 2	480	480	200
% de Redução dos Leitos	14,29%	25,00%	70,59%
% Redução do Sistema	20,00%	07,69%	84,85%

**5.3.4. Concentração de Fósforo (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01.**

A análise da Tabela 29 mostra que a porcentagem de redução do Fósforo no reator anaeróbio compartimentado na data de 28/03 foi de 34,97%. Os leitos cultivados tiveram eficiência de 1,85% e o sistema apresentou valores de 34,97%.

Na data de 10/04 os valores apresentados indicam redução de Fósforo de 14,18% no reator compartimentado, com eficiência de 14,78% nos leitos cultivados e no sistema 26,87%.

Na avaliação do dia 24/04 os dados obtidos no reator anaeróbio compartimentado indicaram eficiência de 13,94%. Apenas no leito 1 verificou-se redução de 21,90% e o sistema integrado não apresentou eficiência de redução de Fósforo.

Quanto a análise realizada no período de 09/05 o reator anaeróbio compartimentado não apresentou porcentagem positiva na redução de fósforo, somente da saída do reator e leito 1 cuja eficiência de redução foi de 16,07%.

**Tabela 29.** Resultados do Fósforo na Forma de P (g/kg) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados, no período.

Unidade	1ª Avaliação (28/03/01) 2 dias	2ª Avaliação (10/04/01) 15 dias	3ª Avaliação (24/04/01) 29 dias	4ª Avaliação (09/05/01) 44 dias
Tanque de Equalização	163	134	122	55
Saída do Reator	108	115	105	56
% de Redução	34,74%	14,18%	13,94%	
Saída do leito 1	80	78	82	47
Saída do leito 2	106	98	134	107
% de Redução dos Leitos	1,85%	14,78%	-	-
% Redução do Sistema	34,97%	26,87%	-	-

**5.3.5. Valores de pH dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com Macrófitas, com TDH de 10,76 dias no período compreendido entre 26/03/01 a 15/05/01**

No período entre 26/03/01 a 15/05/01 (Quadro 6) os valores das aferições de pH mantiveram-se dentro do esperado, pois não comprometeram as atividades bacterianas. O valor encontrado na data de 08/05/01 de 9,09 não comprometeu o sistema, uma vez que este valor foi encontrado no tanque de equalização. No sistema os valores encontrados variaram de 6,99 a 7,80.

**Quadro 6.** Valores de pH da água oriunda dos efluentes do Tanque de Equalização, Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados no período entre os dias 26/03/01 a 15/05/01.

Unidade	26/03 1 dia	03/04 9 dias	10/04 16 dias	17/04 23 dias	24/04 30 dias	01/05 37 dias	08/05 44 dias	15/05 54 dias
T. Equalização	7,24	6,13	7,56	6,79	7,83	6,95	9,09	7,32
Câmara 2	7,10	7,15	7,28	7,35	7,53	7,35	7,60	7,63
Câmara 3	6,99	7,28	7,27	7,39	7,50	7,41	7,55	7,69
Câmara 4	7,00	7,15	7,29	7,43	7,52	7,46	7,37	7,41
Saída do reator	7,08	7,16	7,34	7,52	7,53	7,46	7,42	7,38
Leito 1	7,10	7,26	7,56	7,80	7,61	7,30	7,55	7,47
Leito 2	7,27	7,18	7,36	7,70	7,52	7,40	7,53	7,60

**5.3.6. Concentração e Remoção de Sólidos Sedimentáveis (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados com TDH de 10,76 dias no período entre 26/03/01 a 15/05/01.**

Como já descrito anteriormente os resultados dos Sólidos Sedimentáveis (ml/L) neste período (Quadro 7) continuaram variáveis. Observou-se que as câmaras desempenharam importante função de sedimentação de sólidos e os leitos acabaram eliminando possíveis sólidos que vieram a ser arrastados das câmaras. A eficiência do sistema encontrou-se próximo aos valores encontrados por VALENTIM (1999), que obteve 100%.

**Quadro 7.** Concentração e Remoção de Sólidos Sedimentáveis (ml/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Câmaras do Reator e dos Leitos Cultivados no período de 26/03/01 a 15/05/01.

Unidade	26/03 1 dia	03/04 9 dias	10/04 16 dias	17/04 23 dias	24/04 30 dias	01/05 37 dias	08/05 44 dias	15/05 54 dias
Tanque de Equalização	1,80	40,00	3,50	34,00	2,50	5,50	5,00	10,50
Câmara 2	80,00	100,00	10,00	52,50	10,00	35,20	120,00	76,00
Câmara 3	25,00	45,00	3,50	8,50	6,50	24,80	49,00	14,00
Câmara 4	2,50	4,00	1,00	3,50	2,00	1,90	3,00	1,40
Saída reator	0,80	0,01	1,40	1,60	0,05	0,15	0,20	0,10
% Remoção	99,00%	99,99%	86,00%	96,95%	99,50%	99,57%	99,83%	99,87
Leito 1	0,20	0,50	0,01	0,20	0,02	0,05	0,20	0,10
Leito 2	0	0	0	0	0	0	0,05	0,10

#### 5.4. QUARTA FASE

Como foi mencionado anteriormente, nesta fase o sistema foi monitorado, tratando a água residuária da granja proveniente de 13 animais que entraram nas baias com peso médio de 20 kg.

##### 5.4.1. Peso do Dejeto durante a Fase de Recria e Engorda.

Acompanhando o peso dos animais em relação a quantidade de dejeto/dia como apresentado na Tabela 30, os resultados encontrados confirmam aos já descritos por OLIVEIRA (1994). A quantidade de dejeto produzido por suínos variando de acordo com a idade dos animais e a produção do dejeto, cerca de 4,9 a 8,5% de seu peso vivo / dia.

**Tabela 30.** Peso médio do esterco (kg) durante a fase de recria e engorda.

Data	Baia 1, n. de animais 3	Baia 2, n. de animais 4	Baia 3 , n. de animais 4	Baia 4, n. de animais 4
24/05/01	1,6	1,5	1,4	1,9
11/06/01	6,6	6,9	7,8	7,7
28/06/01	8,4	8,3	10,0	10,3
10/07/01	11,4	12,6	13,8	14,
25/07/01	14,5	15,5	15,95	16,8
Peso médio	8,5	8,9	9,79	10,14

#### **5.4.2. Análise bromatológica do Dejeto de Suíno dados expressos em Matéria Seca.**

Os dados obtidos de matéria seca vão ao encontro às citações feitas por OLIVEIRA (1994), quanto da utilização do dejeto suíno na alimentação de bovinos. A análise bromatológica foi baseada no produto seco e apresentou bons valores nutricionais, mostrados na Tabela 31.

**Tabela 31.** Valor do dejeto dados expressos na matéria seca (MS).

Amostra	% MS final	% MM	% EE	% PB	% FDA	% FDN	% Hemicelulose	N
Esterco suíno	72,73	23,30	0,94	13,65	28,85	71,61	42,76	2,19

#### **5.4.3. Desempenho do Reator Compartimentado e Leitões Cultivados com Macrófitas com TDH de 10,76 dias na redução de DQO, no período compreendido entre 23/05/01 a 01/08/01.**

O desempenho do reator anaeróbico compartimentado na redução da DQO (mg/L) com TDH de 4,29 dias de detenção (Tabela 32) operando com uma carga orgânica de 13 animais, teve eficiência mínima de 82,27% e máxima de 94,46%. A eficiência média foi de 82,79%, superior aos encontrados por POVINELLI (1994) em ensaios preliminares em um ABR, que tratou esgoto sanitário e conseguiu redução de 70,00%.

**Tabela 32.** Concentração e Redução da DQO (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados no período entre 30/05/01 a 01/08/01.

Unidade	30/05/2001	11/06/2001	26/06/01	10/07/2001	24/07/01
T. de Equalização	6683	3954	3630	5364	2174
Saída do Reator	370	370	717	1387	555
% Remoção DQO	94,46%	90,64%	80,24%	74,14%	74,47%
Saída do Reator	370	370	717	1387	555
Leito 1	185	92	532	879	301
% Remoção DQO	50%	75,13%	25,80%	36,62%	45,76%
Leito 2	370	393	462	555	393
% Remoção DQO	-	-	13,15%	36,86%	-
T. de Equalização	6683	3954	3630	5364	2174
Leito 2	370	393	462	555	393
% Remoção no Sistema	94,46%	90,06%	87,27%	89,65%	81,92%

Operando com TDH de 6,27 dias o leito 1 apresentou redução média de DQO 46,66% com valores mínimos e máximos de 25,80% e 75,13% respectivamente. No período de 30/03, 11/06 e 24/07, o leito 2 não apresentou redução (Tabela 32).

Trabalhado com o resíduo de 13 animais, o sistema, apresentou média de redução de DQO de 88,67%, mínima de 81,92% e máxima de 94,46% no período.

**5.4.4. Desempenho do Sistema com TDH de 10,76 dias na Redução de Sólidos Suspensos (mg/L), no período compreendido entre 23/05/01 a 01/08/01.**

Os resultados apresentados na Tabela 33 foram superiores a 750 mg/L. Os valores encontrados na taxa de redução do reator anaeróbio compartimentado com TDH de 4,49 dias foi 34,80% e 82,69%, com uma redução média de 62,56%.

**Tabela 33.** Concentração e Redução de Sólidos Suspensos (mg/L) dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartimentado e Leitos Cultivados no período, com TDH de 10,76 dias.

Unidade	30/05/01	11/06/01	26/06/01	10/07/01	24/07/01
T. Equalização	>750	653	>750	>750	> 750
Saída do Reator	155	113	288	489	342
% de Redução	79,33%	82,69%	61,60%	34,80%	54,40%
Saída do Reator	155	113	288	489	342
Leito 1	86	27	178	224	221
Leito 2	73	55	158	283	164
% de Redução dos Leitos	52,90%	51,32%	45,13%	54,19%	25,79%
T. Equalização	>750	653	>750	>750	> 750
Leito 2	73	55	158	283	164
Total de Redução do Sistema	90,26%	91,57%	78,93	62,26%	78,13%

A eficiência dos leitos com um TDH de 6,27 dias apresentaram um valor de 25,79% a 54,19% com uma redução média de 45,86%.

No leito 2, as reduções foram de 62,26% e 91,57% com uma média de redução de 80,23%.

**5.4.5. Valores de pH do Sistema com TDH de 10,76 dias, no período compreendido entre 30/05/01 a 01/08/01.**

Pelos dados da Tabela 34, verificamos que os valores de pH ficaram dentro da faixa de 5,98 à 7,49, não comprometendo portanto a atividade microbiana, pois o valor de 5,98 foi encontrado no tanque de equalização e não nos compartimentos e leitos. Nos leitos os valores de pH oscilaram entre 7,04 a 7,49.

**Tabela 34.** Valores de pH do sistema no período entre 30/05/01 a 01/08/01 com TDH de 10,76 dias.

Unidade	30/05/01	11/06/01	26/06/01	10/07/01	24/07/01
T. Equalização	6,69	6,44	7,37	5,98	6,40
Câmara 2	7,04	7,25	7,27	6,93	7,10
Câmara 3	7,06	7,30	7,27	7,08	7,12
Câmara 4	7,06	7,42	7,34	7,10	7,19
Saída do Reator	7,08	7,36	7,36	7,13	7,49
Leito 1	7,16	7,43	7,47	7,36	7,20
Leito 2	7,14	7,38	7,35	7,24	7,29

**5.4.6. Desempenho do Sistema com TDH de 10,76 dias na Redução de Macronutrientes, dos efluentes do Tanque de Equalização, Reator Compartmentado e Leitos Cultivados no período compreendido entre 30/05/01 a 01/08/01.**

A análise do Quadro 8, mostra que não houve redução do nitrogênio no período, havendo até um aumento de sua concentração.

Em relação ao Fósforo, houve redução mínima de 12,62% na data de 10/07 e a maior foi na data de 11/06 com 37,87%; embora houvesse redução da concentração do elemento citado, os valores encontrados ainda não eram os ideais para serem lançados em um curso d'água.

Quanto a concentração do Potássio, o sistema apresentou na data de 11/06 redução de 52,17%. Em outras avaliações o sistema apresentou pouca eficiência de redução deste nutriente.

Na concentração de Calcio, na data de 31/05/01 verificou-se uma redução de 50%, na data de 10/07 o sistema apresentou uma concentração maior deste elemento.

Na concentração do Magnésio na análise do dia 10/07, verificou-se redução de 51,30% e a menor eficiência se deu na data de 26/06/01 com 5,3%.

**Quadro 8.** Concentração de macroelementos no período entre 30/05/01 a 01/08/01 com um TDH de 10,76 dias.

Data	Amostra	N g/Kg	P g/Kg	K g/Kg	Ca G/Kg	Mg g/Kg
31/05/01	Equalizador	25	63	29	2	6.6
	Saída do reator	24,5	68	21	8	6.5
	Leito 1	25.5	56	22	7	5.7
	Leito 2	25	51	22	6	4.3
11/06/01	Equalizador	20	132	46	11	10.4
	Saída do reator	17	95	24	9	6.5
	Leito 1	19	83	24	8	6.2
	Leito 2	22	82	22	8	5.8
26/06/01	Equalizador	22	106	38	6	5.6
	Saída do reator	18	97	39	6	6.1
	Leito 1	19	95	36	6	6.0
	Leito 2	21	89	36	6	5.3
10/07/01	Equalizador	20	103	62	7	5.9
	Saída do reator	24	111	69	9	11.5
	Leito 1	20	97	60	8	5.1
	Leito 2	21	90	57	9	5.6
24/07/01	Equalizador	23	122	52	0	10.3
	Saída do reator	18	98	37	8	6.1
	Leito 1	21	81	34	7	5.9
	Leito 2	21	76	30	6	5.2

#### **5.4.7. Desempenho do Sistema com TDH de 10,76 dias na Redução de Micronutrientes, no período compreendido entre 23/05/01 a 01/08/01.**

##### **a) Redução de Enxofre (S)**

No período avaliado o sistema não apresentou redução de enxofre, como se pode verificar no Quadro 9. Na data de 31/05, houve aumento de concentração de enxofre na saída do reator.

##### **b) Redução de Boro (B)**

O mesmo quadro mostra que, para redução de boro, no dia 11/06 o sistema apresentou redução de 68,85% e a menor eficiência se deu na análise realizada no dia 10/07, com 40,00% à taxa de redução e na data de 10/07 na saída do reator o Quadro 9, mostra um aumento deste elemento.

##### **C) Redução de Cobre (Cu)**

A redução de cobre, como mostra o Quadro 9, indica que a maior remoção se deu na data de 31/05, com eficiência de 75,00%, sendo que a menor remoção aconteceu em 10/07 com 50,00%.

##### **d) Redução de Ferro (Fe)**

As análises de concentração de ferro atingiu redução de 90,42% em 31/05 e mínima de 8,4%, em 10/07. Neste período a concentração de Fe encontrada na saída do reator foi de 139 mg/kg, (Quadro9).

##### **e) Redução de Zinco (Zn)**

A redução de zinco do sistema atingiu eficiência máxima de 95,65% em 11/06 e mínima de 56,25 em 10/07. Nesta mesma data houve aumento de concentração na saída dos reatores. O valor de Zn no Tanque de equalização era de 16 g/kg, e na saída apresentou uma taxa de Zn de 36 g/kg (Quadro 9) .

**Quadro 9.** Concentração e Redução de Microelementos no período entre 30/05/01 a 01/08/01.

Data	Amostra	S g/Kg	B mg/Kg	Cu mg/Kg	Fe mg/Kg	Zn mg/Kg
31/05/01	Equalizador	2.5	45	16	282	9
	Saída do reator	2.8	28	6	43	2
	Leito 1	2.7	27	6	42	2
	Leito 2	2.1	21	4	27	1
11/06/01	Equalizador	4.3	61	7	149	23
	Saída do reator	4.1	19	7	42	2
	Leito 1	3.7	21	9	39	6
	Leito 2	3.8	19	3	17	1
26/06/01	Equalizador	4.1	64	7	52	13
	Saída do reator	3.9	35	4	14	3
	Leito 1	3.9	42	2	20	2
	Leito 2	4.0	31	2	29	1
10/07/01	Equalizador	3.9	5	8	59	16
	Saída do reator	4.0	9	12	139	36
	Leito 1	4.1	3	4	57	20
	Leito 2	4.0	3	4	54	7
24/07/01	Equalizador	4.1	16	8	127	21
	Saída do reator	3.9	9	6	45	5
	Leito 1	3.6	7	5	26	9
	Leito 2	3.7	5	4	21	3

### **5.5. Concentração e Redução da DQO no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e diferentes quantidades de animais.**

Analisando o Quadro 10, observamos que o TDH não interferiu na redução da DQO no sistema (Reator Anaeróbio Compartimentado, seguido de Leitões Cultivados com macrófitas).

POVINELLI (1994) realizou ensaios preliminares em ABR, tratando esgoto sanitário com TDH de 12 horas durante um período de 6 meses, obtendo redução de 70% da taxa de DBO. Já VALENTIM (1999) conseguiu redução de DQO de 61% e LETTINGA et al. (1980), conseguiram obter redução que variou de 30 a 80%, resultados estes obtidos com Reator UASB, no tratamento de esgoto doméstico.

O sistema operando com diferentes TDH não apresentou diferenças de redução de DQO, assim como a quantidade de animais avaliados no sistema não apresentaram diferentes reduções.

BACHMANN et al. (1985) estudaram RAC composta de 5 compartimentos e avaliando vários TDH em vários dias de operação e obtiveram resultados variáveis em 22 dias de operação e TDH de 71 h, obteve valores entre 55% e 92% na redução de DQO com TDH de 5,6 h e operacionalidade de 11 dias.

**Quadro 10.** Valores médios encontrados para Redução da DQO no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e número de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
% média de redução			
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
89,04%	89,06%	89,68%	88,67%

**5.6. Eficiência da Remoção dos Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e diferentes quantidades de animais.**

Nas diferentes fases do experimento, verificou-se que o tratamento empregado mostrou-se eficiente na remoção de Sólidos Sedimentáveis (ml/L), conforme apresenta o Quadro 11, com diferentes TDH. Os resultados observados foram iguais aos encontrados por VALENTIM (1999).

**Quadro 11.** Valores médios encontrados para Redução dos Sólidos Sedimentáveis (ml/L) no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e número de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01
% média de remoção	% média de remoção	% média de remoção
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20
100%	100%	100%

### **5.7. Valores de pH no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais.**

Durante toda fase experimental, os valores de pH no sistema integrado (Reator Anaeróbio Compartimentado, seguido de Leitos Cultivados com Macrófitas), mantiveram dentro da faixa de 6,18 a 7,8 (Quadro 12).

Estes valores estiveram próximos aos monitorados por (NOUR, 1996) tratando esgoto doméstico, cujos valores oscilaram entre 6,8 a 7,2. MANSOR (1998) encontrou valores entre 7,04 – 7,40 e VAN HANDEEL (1993) citou valores na faixa de 6,3 a 7,8 tornaram possível a atividade bacteriana.

BACHMANN et al. (1985), para avaliação de uma RAC composta de 5 compartimentos em escala de laboratório, trabalharam com pH de 6,6 a 7,2 durante vários dias e com TDH diferentes.

MERKEL (1981) preconiza que uma das condições necessárias para o funcionamento dos reatores é manter pH na faixa de 6,5 a 7,5.

**Quadro 12.** Valores de pH em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
TDH - 10,76 dias	TDH – 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
6,18 – 7,25	6,9 – 7,8	6,99 – 7,8	7,04 – 7,49

### **5.8. Eficiência da Redução Média dos Sólidos Suspensos (mg/L) no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais.**

As análises realizadas indicaram que a água residuária oriunda da suinocultura apresentava concentrações de Sólidos Suspensos acima de 750 mg/L e a eficiência do sistema apresentou média de 81,77% (Quadro 13).

Os valores encontrados estão próximos aos obtidos por NOUR (1996), quando tratou água residuária de esgoto doméstico e verificou uma redução de 67,5%, VALENTIM (1999) obteve valores de 78,38% de redução de Sólidos Suspensos.

POVINELLI (1994) realizou ensaios com ABR, tratando esgoto sanitário, com TDH de 12 horas e conseguiu uma taxa de redução de 50%.

**Quadro 13.** Concentração de Sólidos Suspensos (mg/L) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
% média de redução			
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
		75,44%	80,23%

### **5.9. Concentração e Redução Média de Fósforo (g/kg) no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e com diferentes quantidades de animais.**

Analisando o (Quadro 14), verificou-se que a redução de Fósforo no sistema foi pequena. As médias da eficiência de remoção encontradas se aproximam às encontradas por VALENTIM (1999) as quais estiveram na faixa de 13 a 29%. Este autor comenta que a remoção de Fósforo é feita por processo de adsorção promovido pela matéria orgânica em decomposição, pela formação de compostos insolúveis com o ferro e manganês e pela retirada das plantas.

Os reatores não foram eficientes quanto ao fósforo, inclusive gerando valores negativos de redução, contudo. VON SPERLING (1996a) menciona que os sistemas de digestão anaeróbios são pouco eficientes quanto à este elemento.

**Quadro 14.** Concentração de Fósforo (g/kg) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
% média de redução			
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
	5,17%	15,46%	25,24%

### 5.10. Eficiência da Redução Média de Nitrogênio

**5.10.1. Eficiência da Redução Média de Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg) no Sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e diferentes quantidades de animais.**

É importante salientar que tanto os níveis de Fósforo, quanto os níveis de Nitrogênio verificados no Quadro 15 no dejetos suíno são superiores aos encontrados no esgoto doméstico.

A redução deste elemento no sistema não apresentou boa eficiência, chegando a um aumento de porcentagem nas avaliações feitas, fato este mencionado por (NOUR, 1996) que, ao analisar a pequena remoção obtida operando o RAC, atribuiu este baixo rendimento ao processo de digestão anaeróbia. O aumento das concentrações foram verificadas por VALENTIM (1999).

**Quadro 15.** Concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl (mg/L) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
% média de redução			
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
		36,98%	-

**5.10.2. Redução Média do Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) no sistema em diferentes datas, com diferentes TDH e diferentes quantidades de animais.**

Como se observa no Quadro 16, o sistema não apresentou boa eficiência quanto ao Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg), chegando a apresentar valores negativos.

**Quadro 16.** Concentração de Nitrogênio na Forma de Nitrato (g/kg) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
% média de redução			
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
		36,27%	-

**5.10.3. Eficiência da Redução Média do Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) no Sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.**

Como observado anteriormente no meio anaeróbio, a remoção de elementos tais como Fósforo, Nitrogênio Total Kjeldahl (g/kg), Nitrogênio na forma de Nitrato (g/kg) e de Nitrogênio na forma de Amoniacal (g/kg) não foi eficiente (Quadro 17)

VON SPERLING (1996a) cita que a remoção de N e P é insatisfatória em meio anaeróbio.

Quando se fornece um sal amoniacal há exsorção de  $H^+$  proveniente, por exemplo, da dissociação do  $H_2CO_3$  respiratório. Os hidróxilos no caso da absorção do nitrato podem se originar na redução do mesmo ( $NO_3^- + 8H \Rightarrow NH_3 + 2H_2O + OH^-$ ). Tem-se aqui, um motivo para aumento de acidez quando a planta recebe N amoniacal. Além da acidez gerada na reação efetuada por *Nitrosomonas* a própria absorção de  $NH_4^+$  está ligada à liberação de prótons ( $H^+$ ) no meio (MALAVOLTA, 1980).

A observação da coloração amarelada, necrose e o pouco desenvolvimento das plantas e em certos casos a morte das folhas, levam a diagnosticar fitotoxidez, sendo esses distúrbios explicados pelo aumento do potencial osmótico nos leitos atribuídos às altas concentrações de nitrogênio em diferentes formas.

Segundo MALAVOLTA (1980) o excesso de nitrogênio ou a forma como este encontra-se disponível pode prejudicar o desenvolvimento da planta, causando intoxicação e predispondo a mesma a pragas e doenças. As manchas necróticas encontradas, a coloração amarelada das folhas e a falta de desenvolvimento das plantas ao receberem o efluente dos reatores podem ser indicativo de excesso, ou da forma de nitrogênio disponível.

**Quadro 17.** Concentração de Nitrogênio na Forma Amoniacal (g/kg) no sistema em diferentes datas, TDH e quantidades de animais.

Primeira Fase	Segunda Fase	Terceira Fase	Quarta Fase
26/10/00 a 21/12/00	22/12/00 a 02/02/01	26/03/01 a 15/05/01	23/05/01 a 01/08/01
% média de redução			
TDH - 10,76 dias	TDH - 21,52 dias	TDH - 10,76 dias	TDH - 10,76 dias
n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 20	n. de animais 13
		37,51%	

### 5.11. Análise das Plantas e da Água do Leito 1.

No decorrer do trabalho, verificou-se a necessidade de se fazer replantes, devido a não adaptação das mesmas. Observou-se que as que recebiam diretamente o efluente dos reatores apresentavam coloração amarelada, posteriormente manchas necróticas nas folhas e dificuldades de propagação; não se desenvolviam, chegando a secar.

No dia 23 de março de 2000, foram retiradas 02 (duas) touceiras e encaminhadas até o Centro de Atendimento Fitossanitário do Curso de Agronomia “Manoel Carlos Gonçalves” do CREUPI para análise. As plantas encaminhadas para análise apresentaram manchas necróticas e o diagnóstico foi uma mancha comum na parte aérea da planta causada por *Colletotrichum sp.*

O Centro de atendimento prescreveu para tratamento o uso do produto comercial denominado Benlate na dosagem de 1 g/l de água na forma de pulverização, direcionado para toda planta, repetindo o procedimento por mais duas vezes.

No dia 13 de junho de 2000, uma nova pulverização com o produto Benlate na dosagem de 1g/L foi realizada, pois as plantas apresentavam a mesma sintomatologia identificada anteriormente ,e por prescrição agrônômica, repetida no dia 27 de junho de 2000.

Observou-se que as folhas estavam com coloração amarelada (Figura 15) e secavam. No dia 03 de maio de 2000, foram colhidas amostras de taboa e água dos leitos e encaminhadas ao Departamento de Nutrição de plantas do Curso de Agronomia “Manoel Carlos Gonçalves” do CREUPI, para análise foliar com a finalidade solucionar o problema de baixo desempenho das plantas no leito.

Analisando os resultados da Tabela 35, observaram-se as concentrações altas de Nitrogênio (22 g/kg) na amostra 3, e Fósforo (7,7 g/kg) o que sugere intoxicação desses elementos à planta. O procedimento inicial foi fazer uma diluição, colocando água até uma saturação do leito 1 por meio de uma mangueira de 50 mm com o objetivo de diminuir a concentração dos elementos citados até a formação das plantas.

VAN HAANDEL & LETTINGA (1994), comentam que a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) durante a operação dos reatores é mínima. Em certos casos as concentrações de ambos aumentaram na saída da câmara 4 do reator. Este fato talvez seja decorrente da mineralização de compostos orgânicos presentes no lodo.

**Tabela 35.** Análise das plantas e da água do Leito 1.

Amostra	N	S	P	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Zn	Mn
	g/kg	g/Kg	g/kg	g/kg	g/kg	g/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Am. 1	43	1,2	3,2	5	2,8	33	24	18	43	8	22
Am. 2	27	1,4	2,0	10	5,4	37	38	7	127	8	86
Am. 3	22	1,9	7,7	11	2,5	60	71	4	31	3	2

Amostra 1 – Taboa folha nova

Amostra 2 – Taboa folha velha

Amostra 3 – água do leito 1

## 5.12. Hidroponia

O aproveitamento do efluente do leito 2 para cultivo hidropônico da cultura de alface não apresentou resultados positivos. Todas as mudas secaram após serem transportadas às canaletas o que indica, pelos valores encontrados nas análises do efluente (Tabela 36), concentrações elevadas de macronutrientes. De fato, a concentração de Nitrogênio recomendada é 11,0 (g/kg) e a concentração encontrada no efluente 38,0 (g/kg) e a concentração de fósforo indicada é 5,3 (g/kg). As concentrações de Mg indicado é 2,8 o valor encontrado 4,5.

Os valores de solução nutritiva indicado para hidroponia segundo TEIXEIRA (1996). Somente os níveis de Ca e K foram menores aos indicados para cultura de alface.

Os valores analisados do efluente do leito 2 apresentaram sintomas típicos de intoxicação das plantas devido a concentrações altas de macronutrientes contidas no efluente.

**Tabela 36.** Resultado das análises de água resultante do efluente do Leito 2.

Data	Amostra	N	S	P	Ca	Mg	K	B	Cu	Fe	Zn	Mn
		g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	g/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg
09/05	Leito 2	38,2	-	5.3	7	4.5	38	-	6	28	2	5

Apesar de não se obter resultados positivos em relação ao efluente do leito 2, o mesmo apresentou composição importante de macronutrientes, não devendo ser desprezados uma vez que irão se tornar uma fonte poluidora desses elementos, principalmente de N e P.

O experimento foi interrompido pela observação de resultados negativos bem como a utilização do efluente do leito 2 como substrato para hidroponia.

### 5.13. Utilização do Lodo Produzido no Reator 1

#### 5.13.1 Utilização do Lodo Produzido no Reator 1, no Cultivo de Feijão (*Phaseolus vulgaris*).

A utilização do biossólido produzido no reator 1, de origem suína, com peso correspondente a 10%, foi utilizado para o cultivo de feijão, que apresentou as características que estão descritas nas Tabelas 37 e 38.

Os resultados das análises químicas do solo utilizado no experimento apresentou valores descritos nas Tabelas 39 e 40.

**Tabela 37.** Valores de análise do lodo produzido no Reator 1, de origem suína, base seca, correspondente a 10% do peso.

Mat. Org. g/dm <sup>3</sup>	PH CaCl <sub>2</sub>	P S		K Ca Mg A SB H+AL CTC					V (%)		
		mg/dm <sup>3</sup>		mmol/dm <sup>3</sup>							
97	270	270	20	44,2	584	76	1	704,2	28	723,2	96

**Tabela 38.** Valores de análise do lodo produzido no Reator 1, de origem suína, base seca, correspondente a 10% do peso.

Boro	Cobre	Ferro mg/dm <sup>3</sup>	Manganês	Zinco
0,75	31,1	125	354,4	32,4

**Tabela 39 -** Valores da análise química de solo – Análise básica

Mat. Org. g/dm <sup>3</sup>	PH CaCl <sub>2</sub>	P S		K Ca Mg Al mol/dm <sup>3</sup> SB H+A CTC					V (%)		
		mg/dm <sup>3</sup>									
14	4,5	4	7	0,2	9	3	2	12,2	40	52,2	23

**Tabela 40 -** Valores da análise química de solo: Micronutrientes (DTPA).

Boro	Cobre	Ferro mg/dm <sup>3</sup>	Manganês	Zinco
0,20	0,30	14	3,7	0,5

Os Quadros 18 e 19, apresentam os resultados dos tratamentos, dosagens de biossólidos, produção de sementes, análise estatística.

**Quadro 18 .** Tratamentos, dosagens de biossólido, produção de sementes, análise estatística e alterações em valores de análise.

Tratamentos	Biossólido t/ha	Peso seco g vaso	Produção g vaso	pH CaCl <sub>2</sub>	P	mmol/dm <sup>3</sup>					V %
						K	Ca	Mg	H+Al	CTC	
1	0	0	6 a	4,5	10	1,2	10	4	29	44,2	34
2	10	35	11,67 a	4,6	61	0,8	14	6	31	51,8	40
3	20	70	20,33 b	4,8	126	0,6	21	6	31	60,6	49
4	30	105	23,00 b	5,0	208	0,5	26	10	29	65,5	56
5	40	140	24,67 b	5,2	239	0,6	36	13	25	74,6	66
6	50	175	26,67 bc	5,3	243	0,8	40	15	25	80,8	69
7	60	210	33,00 c	5,6	245	0,6	46	19	21	86,6	76
F			29,83*								
CV (%)			14,02%								
DMS a 5% Tukey			8,12								

**Quadro 19 .** Tratamentos, dosagens de biossólidos, produção de sementes, análise estatística e alterações em valores de análise.

Tratamentos	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	mg/dm <sup>3</sup>				
1	0,22	0,2	18	2,9	0,6
2	0,29	1,0	27	5,9	1,9
3	0,32	2,1	26	6,3	3,3
4	0,35	4,0	29	6,9	5,3
5	0,35	4,3	31	8,4	6,2
6	0,36	4,8	38	10,1	6,3
7	0,40	5,9	47	11,2	7,9

No final do ciclo, avaliando-se a produção de sementes em vasos e aplicando o teste de Tukey a 5% de probabilidade, percebeu-se aumento gradativo da produção em relação à quantidade de lodo aplicado ao solo, sendo que o tratamento 7 com a aplicação de 60 toneladas/ha apresentou maior produção.

Outro fator importante da aplicação do biofóssido cujos resultados de análises estão apresentados na Tabela 39 foi a melhora da qualidade e textura do solo.

### 5.13.2. Efeitos de Biofóssido de Suínos no Solo e Produção de Rabanete (*Raphanus sativus* L.).

As Tabelas 37 e 38 ilustram o desempenho da aplicação do biofóssido (lodo) produzido no reator 1 no tratamento de efluente suíno. As Tabelas 39 e 40 apresentam os resultados da análise química do solo.

A aplicação do biofóssido no solo como forma de aproveitamento do biofóssido na produção de rabanete em vasos, empregando-se a análise de variância e teste de Tukey a 5% para comparação das médias estão na Tabela 41.

**Tabela 41.** Tratamentos, produção média de rabanete e análise estatística.

Tratamentos	Tubérculo g/vaso <sup>-1</sup>	Folha g/vaso <sup>-1</sup>
1	2,67 a	10,67 a
2	8,00 ab	11,00 ab
3	18,33 ab	56,33 bc
4	18,33 ab	58,67 bc
5	41,67 c	98,00 d
6	30,67 bc	84,67 cd
7	23,33 abc	63,67 bad
F	7,65 *	14,47*
CV(%)	40,41%	21,98%
DMS a 5% (Tukey)	23,0	36,17

Pelos resultados obtidos observou-se que houve aumento na produção até a dosagem de 40 ton/ha de biofóssido suíno; tanto na produção de tubérculos como na produção de folhagem, porém houve diminuição de produção quando se aplicou dosagens de biofóssido entre 50 e 60 t/h.

Os valores de potássio e boro permaneceram baixos, sendo necessária a adição destes nutrientes, quando o biofóssido for destinado para fins agrícolas.

Quanto aos micronutrientes os maiores acréscimos ocorreram nos teores de cobre e zinco.

A aplicação de biossólido de origem suína produzido no reator 1 contribuiu de forma expressiva para aumentar as características físico-químicas e na fauna microbiana do solo com aumento na produção de rabanetes quando aplicado na dosagem de 40 ton/ha no solo.

### 5.13.3. Utilização do Lodo Produzido no Reator 1 no Cultivo de Alface em Vasos.

Para verificação da eficiência da utilização de biossólido de origem suína produzido no reator 1 aplicada ao solo em diferentes porcentagens para o cultivo de alface, pesou-se a parte aérea e parte verde da planta, cujos resultados estão mostrados na Tabela 42. Para o delineamento estatístico, foi aplicado o teste de Tukey a 5%, cujos resultados das médias estão descritos na Tabela 42.

**Tabela 42.** Peso (g) da parte aérea e parte verde da planta.e as médias do Delineamento Estatístico aplicando o teste de Tukey a 5%

					Médias
Tratamento 1	0,005	0,001	0,003	0,001	0.002 a
Tratamento 2	0,042	0,054	0,06	0,059	0.054 c
Tratamento 3	0,059	0,064	0,069	0,086	0.069 c
Tratamento 4	0,065	0,078	0,064	0,054	0.065 c
Tratamento 5	0,027	0,017	0,041	0,028	0.028 b

Os resultados dos macro e micronutrientes do biossólido (lodo) suíno produzido no reator 1 estão descritos nas Tabelas 37 e 38, e os resultados das análises de solo, apresentados nas Tabelas 39 e 40.

A aplicação do teste de Tukey a 5%, indicou que os tratamentos 2 (20 ton. de lodo/ha), 3 (40 ton. de lodo/ha) e 4 (60 ton. de lodo/ha) foram iguais estatisticamente com produção maior para o tratamento 3 (40 ton. de lodo/ha). O tratamento 1 apresentou o pior desempenho, bem como o tratamento 5 (80 ton/ha) que apresentou pequeno desempenho em relação aos tratamentos 2, 3 e 4.

#### 5.13.4. Utilização do Lodo Produzido no Reator 1 no Cultivo de Alface em Vasos e Adubação Química

A utilização de bio-sólidos no cultivo de alface, os resultados dos macro e micronutrientes estão expressos nas Tabelas 37 e 38. Foram realizadas as análises de macro e micronutrientes do solo utilizados nos experimentos e os valores desta análise encontram-se nas Tabelas 39 e 40.

Os resultados do peso da parte aérea e da parte verde da planta no cultivo da alface estão expressos na Tabela 43. Os resultados da análise estatística aplicando o teste de Tukey a 5% de probabilidade, mostram que os tratamentos 2 (200 kg de NPK/ha), 3 (132 kg de NPK/ha) e 5 (200kg de NPK + 40 ton. de lodo/ha), foram iguais. Os tratamentos 1 e 4, também apresentaram médias iguais, e o tratamento 1 (testemunha) apresentou a menor média.

**Tabela 43.** Resultados obtidos para peso (g) fresco da parte aérea em alface (*Lactuca sativa*) em experimento com diferentes níveis de bio-sólido de suíno resultante do compartimento 1, e análise estatística, empregando o teste de Tukey a 5%.

					Médias
Tratamento 1	0,002	0,001	0,001	0,001	0.001 a
Tratamento 2	0,030	0,025	0,021	0,022	0,024 b
Tratamento 3	0,028	0,015	0,020	0,018	0.020 b
Tratamento 4	0,008	0,006	0,008	0,008	0.007 a
Tratamento 5	0,022	0,037	0,015	0,019	0.023 b

#### 5.14. Microbiologia

O resultado das análises microbiológicas estão apresentados nas Tabelas 44 e 45, ilustrados na Figuras 19 e 20. O sistema mostrou-se eficiente na eliminação dos microrganismos patogênicos pesquisados, uma vez que os resultados encontrados constataram a presença desses microrganismos e a sua redução. Verificou-se que o meio anaeróbico é uma importante forma de saneamento, como citado por CRAVEIRO (1982).

VALENTIM (1999) obteve bons resultados na remoção de *E. Coli* no tanque séptico e MANSOR (1998) descreve que os microrganismos patogênicos nas águas residuárias

são eliminados através de significativo decaimento natural e das condições ambientais desfavoráveis aos quais esses microrganismos são expostos.

**Tabela 44.** Resultados das amostras de efluentes de suíno provenientes das unidades do sistema, na eliminação de microrganismos patogênicos.

amostras correspondentes aos compartimentos	NMP (100 ml)		
	CT	CF	EF
1- tanque de equalização	$7 \times 10^2$	$1.1 \times 10^3$	$7 \times 10^2$
2 - reator 2	$4 \times 10^2$	$2.2 \times 10^3$	$4 \times 10^2$
3 - reator 3	<300	$4 \times 10^2$	$7 \times 10^2$
4 - reator 4	< 300	$4 \times 10^2$	$7 \times 10^2$
5 - Leito 1*	< 300	< 300	< 300
6 - Leito 2 *	< 300	<300	<300

\*leitões cultivados com macrófitas. Obs – valores aceitáveis para Coliformes Totais e *Streptococcus faecalis* até 300/100 ml em água residuária.

**Tabela 45.** Bactérias encontradas nas amostras colhidas e presença ou ausência destas.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
<i>Escherichia coli</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Salmonella spp</i>	+			-	-	-
<i>Enterobacter spp</i>	+	+	+	-	-	-
<i>Proteus spp</i>	+		-	-	-	-
<i>Staphylococcus aureus</i>	+	-	-	-	-	-
Bolores e leveduras	+	-	-	-	-	-
<i>Rhizopus spp</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Candida albicans</i>	+	-	-	-	-	-
<i>Candida spp</i>	+	-	-	-	-	-

+ presença de bactérias  
- ausência de bactérias

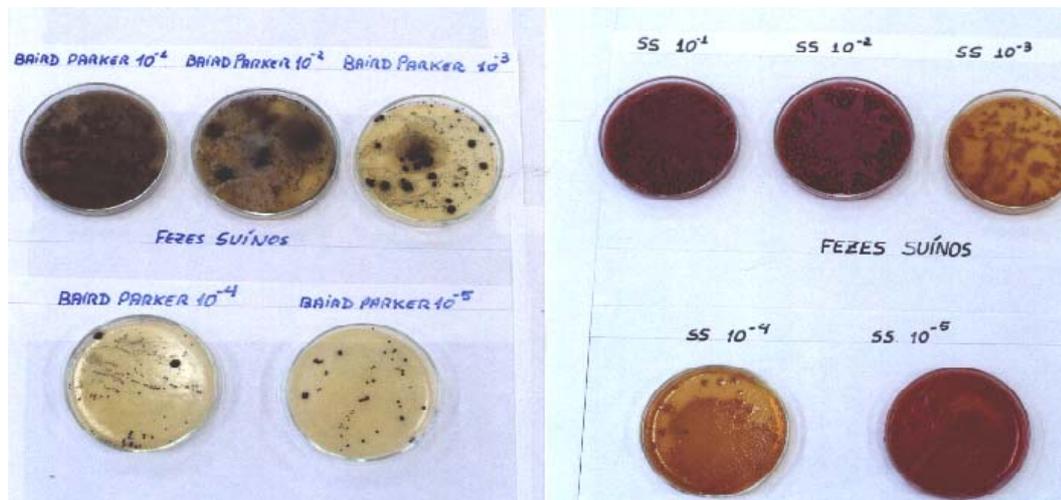


Figura 18. Ilustração fotográfica das culturas e desenvolvimento de colônias.

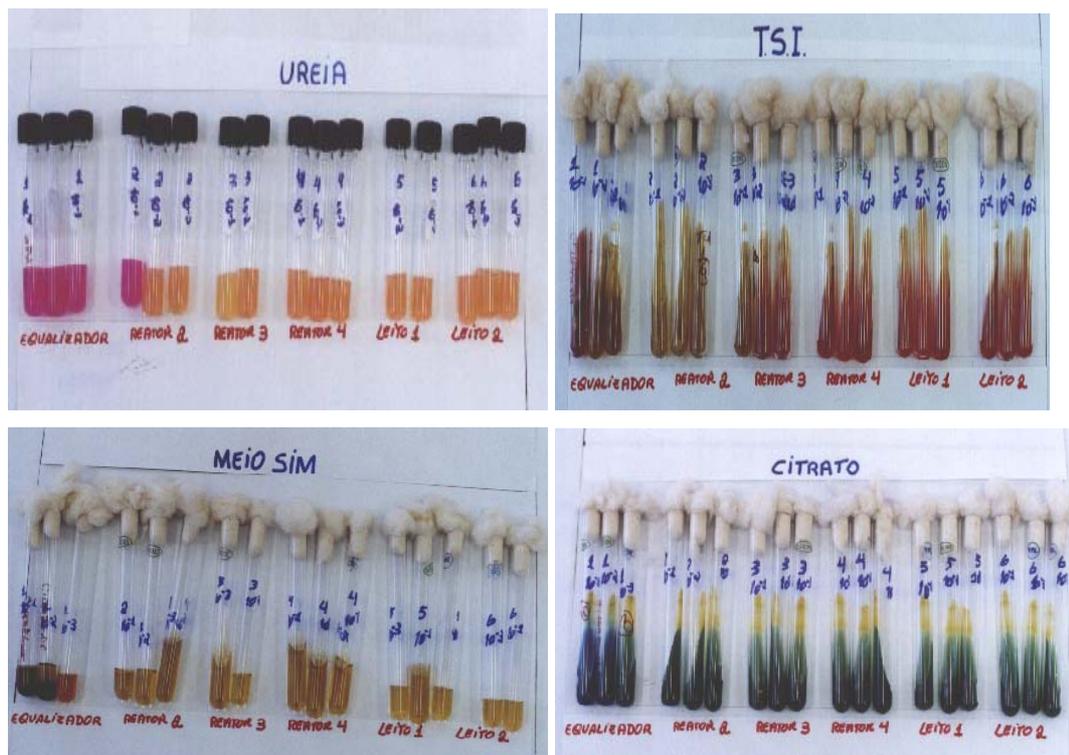


Figura 19. Ilustração fotográfica das culturas e desenvolvimento de colônias.

### **5.15. Excedente Resultante da Limpeza do Tanque de Equalização.**

O material resultante da limpeza do tanque de equalização teve como destino a aplicação em pastagens. Uma análise comparativa com outra área do mesmo talhão em que o produto não foi aplicado foi realizada através de avaliação visual. A área que recebeu a aplicação do excedente do tanque de equalização apresentou melhor coloração das folhagens, principalmente na época de estiagem, pois além da quantidade de matéria orgânica presente, houve contribuição da parte líquida que aumentou a umidade do solo.

Não houve possibilidade de análise científica dos parâmetros de controle, no entanto, a aplicação foi baseada nos resultados obtidos por ADUBOS...(2001).

## 6. CONCLUSÃO E SUGESTÕES

O reator anaeróbio compartimentado seguido de leitos cultivados com macrófitas no tratamento do efluente da granja de suínos mostrou-se eficaz na remoção da DQO, com valores que variaram de 78,33% a 97,60%, numa média de 87,9%.

Comparado esses dados com os obtidos em outros sistemas utilizados no tratamento deste mesmo tipo de resíduo, verificou-se que o sistema é viável em vários aspectos.

Quanto a construção do reator anaeróbio compartimentado e dos leitos cultivados, mostrou-se que é possível o aproveitamento das construções já existentes na propriedade e, no caso de construção, pode-se utilizar materiais de fácil aquisição e manuseio para construção do mesmo.

A construção do reator com amostradores e saída para descarga de cada compartimento, facilitou a obtenção de dados e coleta de materiais para outros experimentos sem afetar o funcionamento do sistema.

Mostrou-se que as macrófitas não toleraram níveis altos principalmente de N e P ou à alta concentração de macronutrientes contidos no efluente da saída dos reatores.

O reator anaeróbio compartimentado mostrou-se eficiente na redução do número de alguns patógenos.

Os TDH (10,76 e 21,52 dias) não interferiram na remoção dos parâmetros analisados.

O sistema de uma maneira geral apresentou resultados semelhantes ao tratar o efluente de 13 e 20 animais.

A brita nº 3 utilizada nos leitos não apresentou problemas de entupimento ou de interferência no fluxo e nos mecanismos dos leitos no período de funcionamento do sistema.

Os resíduos que o sistema produz, tais como: lodo, efluente do leito 2, descarga do tanque de equalização, esterco, urina, restos de ração obtidos da limpeza seca, não devem ser vistos como problema ou um simples material a ser desprezado. Conclui-se que se bem manejados podem apresentar mais uma fonte de lucro para o produtor e cria uma expectativa muito grande para novas pesquisas direcionadas com esses elementos.

Quanto ao aproveitamento do efluente do leito 2 para cultivo hidropônico os resultados obtidos foram negativos, dadas as altas concentrações de macro e micronutrientes presentes no efluente.

O lodo (biossólido) obtido do reator 1, mostrou ser um bom estruturador de solo conforme análises realizadas. Pelos resultados obtidos verificou-se um aumento de produção quando determinadas porcentagens foram aplicadas ao solo.

Quanto a aplicação da descarga do tanque de equalização em pastagem fica a sugestão para futuros projetos como a utilização deste material na formação de pastagens com gramíneas.

A análise bromatológica do esterco seco apresentou resultados semelhantes aos encontrados por outros autores e pode ser utilizada na alimentação de outras espécies, dado seu valor nutricional.

O sistema em si mostrou-se eficiente na redução de alguns microrganismos patogênicos, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e DQO, apesar de não ser ainda uma redução com valores ideais.

Quanto a redução de macro e micronutrientes o efluente apresentou concentrações altas para seu lançamento no meio ambiente, merecendo estudos, pesquisas ou aprimorando o sistema para que a redução desses elementos seja mais eficiente, com melhor destino e aproveitamento deste efluente, deixando assim de ser uma fonte poluidora, constituindo-se em um elemento de utilidade para agricultura, transformando-se em fonte de renda para o agricultor.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADUBOS para pastagem. **Boletim Pecuário**, v. 1, n. 217, jun. 2001. Disponível em: <[www.boletimpecuario.com.br](http://www.boletimpecuario.com.br)> . Acesso em: 26 jun. 2001.

ALEXOPOULOS, C.J.; MINS, C.W. **Introduction a la micologia**. 2. ed. Barcelona: Omega, 1985. 638p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 16. ed. New York: Apha, 1985.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19. ed. New York: Apha, 1995.

BACCHI, O.; LEITÃO FILHO, H.F.; ARANHA, C. **Plantas Invasoras de Culturas**. Campinas: UNICAMP, 1984. p. 835-838.

BACHMANN, A.; BERAD, V. L.; McCARTY, P. L. Comparison of fixed-film reactors with a modified sludge blanket reactor. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON FIXED-FILM ECOLOGICAL PROCESS, 1, 1982. Kings Island/Ohio. **Proceedings...** Kings Island/Ohio: 1982. p. 20-23.

BACHMANN, A.; BERAD, V. L.; McCARTY, P. L. Performance characteristics of the anaerobic baffled reactor. **Water. Research.**, v. 19, n. 1, p. 99-106, 1985.

BARROS, W.; CAMPOS, J. R. “Tratamento de esgotos sanitários por reator anaeróbio compartimentado”. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 23., 1992, Habana. **Anais...** Habana: 1992. p. 297-307.

BOPATHY, R.; TILCHE, A. Aaerobic digestion of high strength molasses wastewater using hybrid anaerobic baffled reactor. **Water Research.**, v. 25, n. 7, p.785 – 790, 1991.

BOPATHY, R.; TILCHE, A. Pelletization of biomass in a hybrid anaerobic (HABR) treating acidified wastewater. **Bioresource technology**, v. 40, p.101 – 107, 1992.

BRANCO, S. M. **Poluição: a morte de nossos rios**. São Paulo: Manole, 1972. 115 p.

CAVALCANTI, S. de S. **Produção de suínos**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1984.

COOPER, P. F. The use of bed systems to treat domestic sewage: the European design and operations guidelines for reed bed treatment systems. In: MOSHIRI, G. A. (Ed.) **Constructed wetlands for water quality improvement**. Boca Raton, Fl: Lewis, 1993. p. 203-217.

CORRÊA, P.M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, 1978. v.6, p.167.

CRAVEIRO, A.M.; LA IGLESIA, M.R.; HIRATA, Y.S. **Manual de biodigestores rurais**. São Paulo. I P T, 1982. p.17.

CHRISTOVÃO, D.A. Padrões bacteriológicos: caracterização bacteriológica de poluição e contaminação. In: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL **Água: qualidade, padrões de potabilidade e poluição**. São Paulo, 1974. p.57 – 119.

DE ZEEUW, W.; LETTINGA, G. Start-up of UASB-reactors. In: PROCEEDINGS OF THE EUROPEAN SYMPOSIUM ANAEROBIC WASTE WATER TREATMENT, 1983. Noordwifkerhout. **Anais...**: Noordwifkerhout: 1983. p. 23-25.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. (Roma, Itália). China: **Recycling of organic wastes in agriculture**. Roma, 1977. 10p. (FAO Soils Bulletin, 40).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. (Roma, Itália). Production. **FAO Quarterly Bulletin of Statistics**, v.2, n.4, p.37, 1989.

FORESTI, E. **Fundamentos do processo de digestão anaeróbia**. In: Taller y Seminário Latinoamericano “Tratamiento Anaerobio da Aguas Residuales”, 3., 1994, Montevideo, **Annales...** Montevideo: Graphis, 1994. p. 217-242.

FOX, P.; POHLAND, F.G. Anaerobic treatment applications and fundamentals: substrate specificity uring phase separation. **Water Environment Research**, v. 66, n. 5, 716 – 724, 1994.

GODINHO, J.F. **Tecnologia moderada formação e manejo de pastagens**.2. ed. São Paulo: Nobel, 1995. p. 30 – 31.

GROBICKI, A.; STUCKEY, D. Performance of the anaerobic baffled reactor. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION, 50., 1991. Bologna. **Anais...**, Bologna: 1991. p. 22 – 26.

HACH Company, **Spectrophotometer Instrument Manual**. Loveland, Colorado, 1996.

HAMMER, D. **Creating freshwater wetlands**. Boca Raton: Lewis, 1997. Cap. 1: Marshes, Bogs, Swamps, Sloughs, Fens, Tules, and Bayons. p. 1-22. Cap.3: Three Important Components: Water, Soil, and Vegetation. Cap. 5: Wetlands: Functions and Values. p. 89-124. Appendix B: Common and names. P.335-362.

IZA, J.; COLLERAN, E.; PARIS, J. M. Water sciense and tecnology. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ANAEROBIC TREATMENT TECNOLOGY FOR MUNICIPAL AND INDUSTRIAL WASTWATER. 1991. Oxford. **Anais...** Oxford: v. 24, n. 8, 1991. p.1 – 16.

KADLEC, R.H., KNIGHT, R.L.. **Treatment wetlands**. Boca Raton: CRC Lewis , 1996. Cap. 1, 3, p. 3 – 18, 31 - 43 p. 31 – 18

KIEHL, E.J. **Metodologia da compostagem e ação fertilizante do composto de resíduos domiciliares**. São Paulo: Ceres, 1985. 492 p.

KONZEN, E.A. **Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejadas em forma líquida**. 1980. 56f. Dissertação (Mestrado). - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

KONZEN, E.A. **Manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concordia: Embrapa – CNPSA, 1983. 32 p. (Circular técnica, 6)

KREGER – VAN RIJ, N.J. **The yeasts: a taxonomic study**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 1984, 1082 p.

LETTINGA., G. *et al.* Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) reator concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. **Biotechnol. and Bioeng.** v. 22, n. 4, p. 699 –734, 1980.

LIMA, L.M.Q. **Tratamento de lixo**. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1991. p.71-115.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais**. Nova Odessa: Plantarum , 1981. p. 402.

MALAVOLTA, E. **A B C da Adubação**. São Paulo: Agronomica Ceres, 1979. Cap. 3: Adubos nitrogenados, p. 25-39.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**, São Paulo: Agronomica Ceres, 1980, Cap. 6, Os elementos minerais, p. 114 -140.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; DE OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1989. 210p.

MANSOR, M, T, C. **Uso de leite de macrófitas no tratamento de águas residuárias**. 1998. 106f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade de Campinas.

MARACCINI, E.L. *et al.* Efeitos de biossólido de suínos no solo e produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.).In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28. 2001. Londrina. **Anais...** Londrina: 2001. p.367.

MERKEL, A.J. **Managing livestock wastes**. Westport: Avi, 1981, 419 p.

NOUR, E. A. A. **Tratamento de esgoto sanitário empregando-se reator anaeróbio compartimentado**. 1996. 148 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.

OLIVEIRA, P. A. V. de (Coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia:Embrapa – CNPSA, 1993.188 p.

OLIVEIRA, P. A. V. Impacto ambiental causado pelo dejetos de suínos. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE NUTRIÇÃO DE SUÍNO, 1994. Concórdia. **Anais...** Concórdia: Concórdia: CBNA, 1994. p.188.

OROZCO, A. Anaerobic wastewater treating using an open plug flow baffled reactor at low temperature. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION, 50., 1988. Bologna. **Anais...** Bologna: 1988. p.22 - 26.

PEREIRA, N. S. **Terra planeta poluído**. Rio Grande do Sul: Sagra, 1976. 170p.

POVINELLI, S. C. C. **Estudo da hidrodinâmica e partida de reator anaeróbio com chicanas tratando esgoto sanitário.** 1994. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

POVINELLI, S.C.S. **Cinética e hidrodinâmica e biomassa em reator anaeróbio compartimentado alimentado com esgoto sanitário.** 1999. 137 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ROSTON, D. M. Uso de várzeas artificiais para tratamento de efluente de tanque séptico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23., 1994, Campinas. **Anais ...** Campinas, 1994. p.210.

SILVA, S. A. **Tratamento biológico de águas residuárias.** São Paulo: CETESB, 1979. 50 p.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise de Alimentos.** São Paulo: Varela, 1997. 295p.

SILVA, A.C.C. Uma grande indústria silenciosa. **Bio – Revista Brasileira de Saneamento e meio Ambiente**, Rio de Janeiro, v 6. n. 17, p. 5, jan/mar. 2001.

SILVA, D.J. **Análise de alimentos** . Viçosa: UFV, 1990.

SIMA JR, J.C. *et al.* Efluente de Biodigestor anaeróbio de origem suína no solo e produção de feijão (*Phaseolus vulgaris*), cv. carioca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001. Londrina. **Anais...** Londrina: 2001. p.367.

**SUÍNOS:** o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. Brasília: Embrapa, 1998. 243 p.

TEIXEIRA, N.T. **Hidroponia uma alternativa para pequenas propriedades.** Guaíba: Agropecuária, 1996. 86 p.

TEIXEIRA, N.T.; PENA, A. S. Emprego de água do tanque de piscicultura no cultivo de alface (*Lactuca sativa* L) cultivada em hidroponia no sistema NFT. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., 2000. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: 2000. p. 210.

TOBIAS, A.C.T. **Estudo das variedades de cama de frango usadas na alimentação de bovinos: “tempo de compostagem como agente eliminador de alguns patógenos toxi-infecciosos”**. 1997. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo.

TROTTER, E. A.; THONSON, B.; COLEMAN, R. **Evaluation of a subsurface flow wetland processing sewage from the Sevilleta LTER field station**. Las Cruces: New Mexico Water Resources Research Institute, 1994. 52 p. (WRRI Report, 287).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA/625/1-88/022: design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment**. Cincinnati, OH: CERL, 1988. 83p.

VALENTIM, M. A. A. **Uso de Leitões Cultivados no Tratamento de Efluente de Tanque Séptico Modificado**. 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas.

VAN HAANDELL, A. C. Influência da concentração do material orgânico sobre a alcalinidade e estabilidade do pH em digestores anaeróbios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17., 1993. Natal. **Anais...** Natal: 1993. p. 483 – 496.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos em regiões de clima quente**. Campina Grande: Epgraf, 1994. 125p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed., Belo Horizonte: UFMG, 1996a. v. 1, 243 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 1996b. v. 2, 243p.

WOLVERTON, B. C. "Aquatic plant / microbial filters for treating septic tank effluent", In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONSTRUCTED WETLANDS FOR WASTEWATER TREATMENT, 1, 1988, Chattanooga. **Anais...** Chattanooga, 1988. v. 1. nº 5, p. 173 - 177.

WOOD, R. B.; McTAMNEY, C. F. The use of macrophytes in bioremediation. **Biotech. Advance.**, v. 12, p.653 - 662, 1994.

WOOD, A. Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. **Water Science and Technology**, v.32, n.3, p.21-29, 1995.

XIUSHAN, Y. *et al.* Process differences between a sludge bed filter and an anaerobic baffled reactor treating soluble wastes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION. 50, 1988. Bologna. **Anais...** Bologna: 1988.

ZEIKUS, J.G. Microbial intermediary metabolism in anaerobic digestion. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANAEROBIC DIGESTION, 2., 1981. Amsterdam . Travemunde. **Proceedings...** Amsterdam: Elvisevier Biomedical. 1981. p. 23-35.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CRIADORES DE SUÍNOS: Rebanho estatístico mundial. Disponível em: <<http://www.abcs.com.br/>> Acesso em: 15 julho 2001.