



**AVALIAÇÃO DE SISTEMA
ANAERÓBIO (RAC-UASB) NO
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA
DE SUINOCULTURA E APLICAÇÃO VIA
FERTIRRIGAÇÃO, EM FEIJÃO-VAGEM
CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

CLAUDIONOR CAMILO DA COSTA

2007

CLAUDIONOR CAMILO DA COSTA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA ANAERÓBIO (RAC-UASB) NO
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E
APLICAÇÃO VIA FERTIRRIGAÇÃO, EM FEIJÃO-VAGEM
CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador
Prof. Dr. Cláudio Milton Montenegro Campos, PhD

**LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2007**

CLAUDIONOR CAMILO DA COSTA

**AVALIAÇÃO DE SISTEMA ANAERÓBIO (RAC-UASB) NO
TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DE SUINOCULTURA E
APLICAÇÃO VIA FERTIRRIGAÇÃO, EM FEIJÃO-VAGEM
CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 25 de julho de 2007

Pesquisadora Dra. Fátima Conceição Rezende	UFLA
Prof..Dr. Rovilson José de Souza	UFLA
Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira	UFG/UFLA
Pesquisador Dr. Waldir Aparecido Marouelli	EMBRAPA/CNPH

Prof. Cláudio Milton Montenegro Campos, PhD
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS- BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Costa, Claudionor Camilo da.

Avaliação de sistema anaeróbio (RAC-UASB) no tratamento de água
residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem
cultivado em ambiente protegido / Claudionor Camilo da Costa. -- Lavras :
UFLA, 2007.

174 p. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Cláudio Milton Montenegro Campos.

Bibliografia.

1. Dejetos. 2. Suínos. 3. Efluentes. 4. UASB. 5. Irrigação. 6. Fertirrigação. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 628.16846

Ao meu DEUS, pela sua misericórdia e bondade;

À minha mãe, Maria Aparecida da Costa

A meu pai, Claudionor da Costa

A minha esposa, Leiliane

A minha filha, Fernanda

As minhas irmãs, Josiane, Josimara, Claudimara e Juliana

A todos os meus sobrinhos e sobrinhas

A meu avô Josino (“in memoriam”)

À minha avó Alzira (“in memoriam”)

À minha primeira professora, Maria José Rodrigues

OFEREÇO

Eclesiastes 3: 1

“Tudo tem a sua ocasião própria, e há tempo para todo propósito debaixo do céu.

Mateus 7: 13-14

“Entrai pela porta estreita; porque larga é a porta, e espaçoso o caminho que conduz à perdição, e muitos são os que entram por ela;

e porque estreita é a porta, e apertado o caminho que conduz à vida, e poucos são os que a encontram.”

AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, pela minha existência e pela Sua eterna misericórdia, ensinando-me, nessa jornada, que o caminho para se chegar ao sucesso não é largo e espaçoso, pelo contrário, é estreito e apertado, mas que deve ser percorrido com perseverança, sem olhar para os lados.

A minha mãe e ao meu pai, pelo constante apoio ao longo de minha vida e pela paciência em me ouvir em todos os momentos, sempre me dando força nas horas mais difíceis, sofrendo junto comigo nos momentos de tribulação e vibrando comigo nos momentos de alegria.

Ao meu orientador e amigo, professor Cláudio Milton Montenegro Campos, pelo importante apoio e pela paciência e também pela idealização do projeto.

Ao professor, amigo e conselheiro Cláudio Gouvêa Botelho, pelo importante apoio e incentivo durante a realização do curso, pela sincera amizade e confiança, sempre demonstradas durante quase quinze anos de convivência.

À pesquisadora Fátima Conceição Rezende pelo indispensável auxílio na fase experimental, pela educação e presteza em me atender, além da paciência em me orientar em vários momentos.

Ao diretor da Escola Agrotécnica Federal de São João Evangelista, professor Kleber Gonçalves Glória e ao professor José Roberto de Paula, pelo apoio absolutamente fundamental para a conclusão do doutorado.

Ao colega e incentivador professor Dilson Neander Botelho Alves, pelos conselhos importantes e pela ajuda em vários momentos cruciais de minha vida nos últimos tempos e também na montagem do sistema de irrigação na casa de vegetação.

A meu cunhado e amigo, Engenheiro Agrícola Ícaro Tourino Alves, pelo apoio em mais de dois anos durante a realização do curso.

Ao professor Geraldo Magela Pereira (DEG/UFLA), pelo empréstimo de materiais essenciais à execução do trabalho e pela sua costumeira atenção em me atender.

À Universidade Federal de Lavras, pela convivência de quase vinte anos, local onde muito aprendi e fiz muitos amigos, entre eles, Tadeu Roberto Furtado e Elias Iramar Pinheiro (“Ceará”), da Estação de Tratamento de Água da UFLA.

Ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade para a realização da pós-graduação e pelos ensinamentos durante esses oito anos (entre mestrado e doutorado).

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (Fapemig), pelo apoio indispensável na viabilização da implantação do projeto.

Ao professor Luiz Antônio Augusto Gomes (Departamento de Agricultura) pelas importantes orientações e pela presteza em me atender.

Ao professor Telde Natel Custódio (Departamento de Agricultura), pelo importante auxílio.

Ao professor Manoel Alves de Faria (atual coordenador de pós-graduação do Departamento de Engenharia), pelos ensinamentos acadêmicos.

Ao meu constante incentivador, Geraldo Cirilo Ribeiro (Departamento de Recursos Humanos da UFLA), que sempre confiou em minha vitória, mais que eu mesmo.

Ao reitor Prof. Antônio Nazareno Guimarães Mendes e também ao ex-reitor e professor Fabiano Ribeiro do Vale, pela licença parcial concedida durante a realização do curso.

Ao professor Alcione de Oliveira, pelo apoio sempre presente.

A Ana Daniela dos Santos (secretária de pós-graduação do Departamento de Engenharia), pela eficiência, educação, presteza, incentivo, paciência e, sobretudo, pela amizade durante todo esse tempo de UFLA em que tive o privilégio de conviver com ela.

Ao Jamil Estevão de Carvalho pelo apoio sempre presente.

Ao José Luiz Moraes Rodrigues (Laboratório de Hidráulica da UFLA), pelo indispensável auxílio nas análises laboratoriais e pela amizade.

Aos funcionários da Hidráulica (DEG/UFLA), Oswaldo Francisco de Carvalho (Neném) e Lindeberg Naves da Silva (“Sr.Berg”), pela presteza sempre demonstrada.

Ao professor Carlos Alberto (Departamento de Solos), pela realização de análises.

Aos colegas, professores José Rogério Ferreira e Gisele Karla Pires Teixeira pela cordial acolhida quando de minha mudança para São João Evangelista.

Ao professor e conterrâneo Magno Antônio Patto Ramalho (Departamento de Biologia-UFLA), pelo auxílio durante a condução da cultura.

A meu amigo, professor Manuel Losada Gavilanes (Departamento de Biologia da UFLA), pelo convívio durante todo esse tempo e pelos conselhos.

À Hélia, Secretária da Prefeitura do Campus da UFLA, principalmente pelo apoio nesse ano de 2007.

À querida Aneta Barroso Silveira de Oliveira (EAFSJE), pelo incentivo na reta final de minhas atividades como doutorando.

Aos diretores, professores, funcionários e alunos da Escola Superior em Meio Ambiente (ESMA), em Iguatama, MG, com os quais tive o privilégio de conviver por três anos.

Às alunas de engenharia agrícola, Joice e Greta, pelo auxílio no início da fase experimental deste trabalho.

Ao funcionário Alexsander Teodoro Teixeira, pelo auxílio na operação da estação-piloto de tratamento de dejetos.

Aos pós-graduandos do Departamento de Ciências Exatas da UFLA, Tiago de Oliveira e Ademária de Souza, pelo auxílio e atenção.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para o sucesso deste trabalho.

BIOGRAFIA

Claudionor Camilo da Costa, nascido em 31 de agosto de 1969, em Ribeirão Vermelho, Minas Gerais, é filho de Claudionor da Costa e Maria Aparecida da Costa.

Concluiu o ensino fundamental em Ribeirão Vermelho, MG, em 1983 e o ensino médio no Instituto Gammon, em Lavras, MG, em 1986.

Foi aprovado para o curso de Agronomia na então ESAL em 1986, concluindo em 1992, diplomando-se como engenheiro agrônomo.

Foi aprovado em concurso na Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), trabalhando de dezembro de 1992 a dezembro de 1994, na cidade de Santo Antônio do Amparo, MG. Por meio de concurso público, foi aprovado e tomou posse como servidor técnico-administrativo da Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde trabalhou até meados de 2005.

Em agosto de 1997, iniciou o curso de pós-graduação *Strictu sensu* (Mestrado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) na UFLA, concluindo-o no ano 2000.

De 2001 a 2003 realizou, também na UFLA, curso de Especialização *Latu Sensu* em “Gestão e manejo ambiental em sistemas florestais”.

De agosto de 2002 a julho de 2005, lecionou na Escola Superior em Meio Ambiente (ESMA) na cidade de Iguatama, MG.

Lecionou também no Curso Técnico em Segurança do Trabalho da UNIPAC, no ano de 2004, em Ribeirão Vermelho, MG.

Integrou corpo docente que participou da implantação do curso de Engenharia Ambiental da Faculdade Espírito-Santense-FAESA (Vitória, ES) em 2001.

Foi aprovado em concurso da EMBRAPA para o cargo de Pesquisador 2, Área- Sistemas de Irrigação, no ano de 2001.

Em agosto de 2002, iniciou o curso de pós-graduação *Strictu sensu* (Doutorado em Engenharia Agrícola - Irrigação e Drenagem) na UFLA concluindo em 2007.

Em meados de 2005 foi aprovado em concurso público para Professor de 1º e 2º graus na Escola Agrotécnica Federal de São João Evangelista, MG, tomando posse em agosto do mesmo ano.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 A oferta de água e o seu reuso.....	4
2.1.1 Forma de reuso.....	6
2.1.2 Modalidades de reuso e suas aplicações.....	8
2.1.3 Tecnologia de tratamento de efluentes.....	11
2.1.3.1 O Processo da digestão anaeróbia.....	11
2.1.3.1.1 Os reatores anaeróbios.....	13
2.1.3.2 Desempenho de sistemas de tratamento de efluentes.....	18
2.1.4 Dejetos de suinocultura.....	21
2.1.4.1 Produção e composição.....	21
2.1.4.2 Capacidade poluente.....	23
2.1.4.3 Uso na agricultura como fertilizantes.....	23
2.1.4.4 Efeito da aplicação de efluentes no solo.....	28
2.2 Cultivo protegido e demanda de água.....	30
2.3 Produção de feijão-vagem	31
2.3.1. Necessidades nutricionais da cultura.....	34
2.3.2. Necessidades hídricas da cultura.....	35
2.3.3 Matéria seca das vagens e das plantas.....	37
2.4 Condutividade elétrica da solução do solo.....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	40
3.1 Localização do experimento.....	40
3.2 Delineamento experimental.....	40
3.3 Caracterização do plantel de animais.....	41
3.4 Caracterização da área experimental.....	42
3.4.1 Características físicas do solo.....	42
3.4.2 Características químicas do solo.....	43
3.4.3 Instalação experimental.....	45
3.4.3.1 Sistema de tratamento de efluente.....	46
3.4.3.1.1 Caixa de areia e medidor de vazão Thompson.....	47
3.4.3.1.2 Separação de fases (peneiramento).....	48
3.4.3.1.3 Sistema de bombeamento.....	50
3.4.3.1.4 Reator anaeróbio compartimentado.....	52
3.4.3.1.5 Reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo.....	55

3.4.3.1.6 Sistema de coleta, armazenamento, medição e queima do biogás.....	58
3.4.3.1.7 Sistema de tratamento e análises realizadas.....	59
3.4.3.1.7.1 Operação e acompanhamento do sistema de tratamento.....	59
3.4.3.1.7.2 Amostragem dos dejetos.....	62
3.4.3.1.7.3 Determinação da eficiência de remoção de DBO nas unidades do sistema de tratamento.....	63
3.4.3.1.7.4 Metodologia de análises.....	64
3.4.3.2 Análises da água potável.....	65
3.4.3.3 Produção teórica de biogás.....	66
3.4.3.4 Casa de vegetação.....	68
3.4.3.5 Irrigação das unidades experimentais.....	69
3.4.3.5.1 Sistema de irrigação.....	69
3.4.3.5.2 Desempenho do sistema de irrigação.....	73
3.4.3.5.3 Manejo da irrigação.....	74
3.4.3.6 Cultivares e condução do feijão-vagem.....	77
3.4.3.6.1 Adubação.....	80
3.4.3.6.2 Controle fitossanitário.....	84
3.4.3.6.3 Características da produção de feijão-vagem.....	84
3.4.3.6.3.1 Avaliação das vagens.....	84
3.4.3.6.3.2 Avaliação da produtividade total.....	85
3.4.3.6.3.3 Avaliação do teor de matéria seca de vagens e plantas.....	86
3.4.3.6.3.4 Avaliação da umidade média das vagens.....	87
3.4.4 Análises estatísticas.....	87
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	88
4.1 Sistema de tratamento de efluente.....	88
4.1.1 Variação da vazão do afluente na calha de Thompson.....	88
4.1.2 Carga orgânica volumétrica.....	89
4.1.3 Carga orgânica biológica.....	92
4.1.4 Volume estimado de metano.....	93
4.1.5 Tempo de detenção hidráulica.....	95
4.1.6 Carga hidráulica.....	96
4.1.7 Velocidade ascendente.....	96
4.1.8 Eficiência na remoção de matéria orgânica das diversas unidades do sistema.....	98
4.1.8.1 Peneira Estática.....	98
4.1.8.2 Dorna.....	99
4.1.8.3 Reator anaeróbio compartimentado e reator UASB.....	99
4.1.8.4 Sistema de tratamento.....	100
4.1.9 Variáveis analisadas nas unidades de tratamento.....	100
4.1.9.1 pH.....	102
4.1.9.2 Nitrogênio total Kjeldahl.....	102

4.1.9.3 Fósforo total.....	103
4.1.9.4. Sólidos totais, fixos e voláteis.....	104
4.1.9.5 Produção de biogás.....	107
4.2 Fertirrigação em cultivo protegido.....	108
4.2.1 Nitrogênio total Kjeldahl.....	108
4.2.2 Fósforo total.....	109
4.2.3 Potássio.....	110
4.2.4 Quantificação dos teores médios de NPK aplicados no solo via fertirrigação.....	110
4.2.5 Condutividade elétrica do efluente.....	112
4.2.6 Demanda bioquímica de oxigênio.....	115
4.2.7 Demanda química de oxigênio.....	116
4.2.8 Sodicidade das águas.....	117
4.2.9 Características climáticas (Temperatura interna e externa).....	118
4.2.10 Desempenho do sistema de irrigação.....	121
4.2.11 Consumo de água pela cultura.....	123
4.2.12 Crescimento da planta.....	125
4.2.13 Análise de variância.....	127
4.2.13.1 Produção média de vagens por planta.....	127
4.2.13.2 Diâmetro das vagens por planta.....	132
4.2.13.3 Comprimento das vagens por planta.....	132
4.2.13.4 Número médio de vagens por planta.....	134
4.2.13.5 Massa média unitária de vagem.....	138
4.2.13.6 Produtividade de vagens.....	138
4.2.13.7 Matéria seca das vagens.....	145
4.2.13.8 Matéria seca das plantas.....	146
4.2.13.9 Umidade média das vagens.....	147
4.2.14 Condutividade elétrica do solo.....	150
5 CONCLUSÕES.....	151
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	153
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
ANEXOS.....	171

LISTA DE SÍMBOLOS

Am	cultivar Atibaia com adubação mineral
Ao	cultivar Atibaia com adubação orgânica
ABR	anaerobic baffled reactor
APHA	American Public Health Association
atm	Atmosfera
AVT	ácidos voláteis totais
Bm	cultivar Brasília com adubação mineral
Bo	cultivar Brasília com adubação orgânica
CE _{ES}	condutividade elétrica do estrato de saturação
CEi	condutividade elétrica da água de irrigação
CIRRA	Centro Internacional de Referência em Reuso de Água
CNTP	condições normais de temperatura e pressão - 1 atm e 273,15°K (0°C)
COB	carga orgânica biológica
COV	carga orgânica volumétrica
CTC	capacidade de troca catiônica
CV	coeficiente de variação
CVF	coeficiente de variação de fabricação
Cwa	clima temperado, verão quente e úmido e inverno seco e frio
DAE	dias após emergência
DAS	dias após semeadura
DAT	dias após transplantio
DBO	demanda bioquímica de oxigênio
DEG	Departamento de Engenharia
DIC	delineamento inteiramente casualizado
DQO	demanda química de oxigênio
Ea	Eficiência de aplicação de água
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EV	Evaporação
FAO	Food and Agriculture Organization
IFPRI	International Food Policy Research Institute
IWMI	International Water Management Institute
K	coeficiente de remoção de DQO
K	Potássio
K (t)	fator de correção para temperatura
kc	coeficiente de cultura (cultivo)
kg	Quilograma
kl	coeficiente de localização
kt	coeficiente do tanque

LAADEG	Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia
LB	lâmina bruta
LL	lâmina líquida
MO	material orgânico
MS	matéria seca
NT	nitrogênio total
NTK	nitrogênio total Kjeldahl
PEBD	polietileno de baixa densidade
pH	potencial hidrogeniônico
PT	fósforo total
Q	Vazão
r^2	coeficiente de ajuste de determinação múltipla
RAC	reator anaeróbico compartimentado
RAS	razão de adsorção de sódio
RAS°	razão de adsorção de sódio corrigida
SAS	statistical analysis system
SDT	sólidos dissolvidos totais
SF	sólidos fixos
SFT	sólidos fixos totais
SS	sólidos suspensos
SSV	sólidos suspensos voláteis
ST	sólidos totais
Startup	Partida
Steady-State	Equilíbrio
SV	sólidos voláteis
SVT	sólidos voláteis totais
T	Temperatura
TDH	tempo de detenção hidráulica
UASB	<i>upflow anaerobic sludge blanket</i>
UE	uniformidade de emissão
UFLA	Universidade Federal de Lavras
UR	umidade relativa
Wash-out	varredura (arraste) de sólidos
WHO	World Health Organization
WMO	World Meteorological Organization

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 Desenho esquemático do funcionamento de um reator do tipo UASB (Silva, 2007)	14
FIGURA 2 Representação esquemática de dois sistemas de tratamento de dois estágios e alta carga.....	16
FIGURA 3 “Layout” da casa de vegetação com indicativo das unidades experimentais e componentes do sistema de irrigação.....	41
FIGURA 4 Layout do sistema de tratamento de efluentes, sendo a caixa de 3.000 litros usada como caixa de acumulação do efluente do reator tipo UASB.....	46
FIGURA 5 Caixa de areia (desarenador) com medidor de vazão de Thompson de ardósia.....	47
FIGURA 6 Peneira estática para a remoção de sólidos dos dejetos.....	49
FIGURA 7 Vista lateral do leito de drenagem onde caíam os resíduos sólidos dos dejetos após peneiramento.....	50
FIGURA 8 Bomba NEMO que recalrava os dejetos da dorna até o RAC com uma vazão constante de $1,6 \text{ L min}^{-1}$	51
FIGURA 9 Inversor de frequência que visava melhorar a eficiência do sistema de bombeamento.....	51
FIGURA 10 Reator anaeróbio compartimentado (corte longitudinal).....	53
FIGURA 11 Reator anaeróbio compartimentado (corte transversal).....	54
FIGURA 12 Reator anaeróbio compartimentado (RAC) e reator UASB....	55
FIGURA 13 Reator do tipo UASB (corte transversal).....	56
FIGURA 14 Reator do tipo UASB (corte longitudinal).....	57
FIGURA 15 Detalhe da preparação para o primeiro tipo de revestimento (com manta asfáltica) com moldagem a quente no reator	

tipo UASB.....	58
FIGURA 16 Sistema de queimadores de gás tipo maçarico.....	59
FIGURA 17 Cloro residual da água de torneira e da água do reservatório de 1000 litros utilizada no experimento.....	66
FIGURA 18 A Vista frontal e panorâmica da casa de vegetação utilizada para o experimento com feijão-vagem.....	68
FIGURA 18 B Vista panorâmica da casa de vegetação utilizada para o experimento com feijão-vagem.....	69
FIGURA 19 Conjunto motobomba (490,3w) que recalava o efluente da caixa de 3.000 litros até o reservatório de 1.000 litros no cabeçal de controle.....	72
FIGURA 20 Cabeçal de controle, destacando-se os reservatório de água potável e água residuária, conjunto moto-bomba centrifuga com potência de 735,5 w (1cv) utilizado para irrigação, e o filtro de areia.....	72
FIGURA 21 Detalhe da realização do teste final de uniformidade de emissão de água após a retirada das plantas.....	73
FIGURA 22 Mini-tanque instalado no centro da casa de vegetação.....	74
FIGURA 23 Mudanças de feijão-vagem na bandeja de 128 células no ponto de transplantio.....	78
FIGURA 24 Detalhe do tutoramento das plantas com bambu.....	79
FIGURA 25 Plantas da cultivar Macarrão Brasília apresentando o estiolamento.....	79
FIGURA 26 Determinação do comprimento das vagens através de régua.....	84
FIGURA 27 Determinação do diâmetro das vagens com paquímetro.....	85
FIGURA 28 Preparo das amostras de vagens para se determinar a matéria seca.....	86
FIGURA 29 Variação da vazão na calha de Thompson, instalada na caixa de areia.....	89
FIGURA 30 Variação da carga orgânica volumétrica (COV) em relação à DQO em cada uma das unidades ao longo do período de 79 dias.....	90

FIGURA 31 Variação da carga orgânica volumétrica (COV) em relação a DBO em cada uma das unidades ao longo do período de 79 dias.....	91
FIGURA 32 Variação da carga orgânica biológica (COB) em termos de DBO ₅ nos compartimentos do RAC e no reator UASB.....	92
FIGURA 33 Variação da COB em termos de DQO nos compartimentos do RAC e no reator UASB.....	93
FIGURA 34 Volume estimado de metano nos reatores RAC e UASB.....	94
FIGURA 35 Tempo de detenção hidráulica (TDH) nos reatores tipo UASB e RAC.....	95
FIGURA 36 Carga Hidráulica (1/TDH) nos reatores tipo UASB e RAC.....	96
FIGURA 37 Velocidades ascendentes (VA) dos reatores do tipo RAC e UASB.....	97
FIGURA 38 Carga hidráulica (CH) dos reatores do tipo RAC e UASB....	97
FIGURA 39 Eficiência na remoção (%) de DBO ₅ em diversas unidades de tratamento.....	98
FIGURA 40 Valores médios de acidez em cada uma das unidades de tratamento.....	101
FIGURA 41 Valores médios de alcalinidade em cada uma das unidades de tratamento.....	101
FIGURA 42 Valores médios de pH nas unidades de tratamento.....	102
FIGURA 43 Valores médios de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) nas unidades do sistema.....	103
FIGURA 44 Valores médios de fósforo total (PT) nas unidades do sistema.....	103
FIGURA 45 Valores médios de sólidos totais nas unidades de tratamento.	105
FIGURA 46 Valores médios de sólidos fixos nas unidades de tratamento.	106

FIGURA 47 Valores médios de sólidos voláteis nas unidades de tratamento.....	106
FIGURA 48 Produção de biogás no reator UASB conforme indicado pelo gasômetro.....	107
FIGURA 49 Concentração de Nitrogênio total Kjeldahl (NTK) presente em amostras de dois pontos na Estação piloto da suinocultura.....	108
FIGURA 50 Concentração de fósforo total presente em amostras de dois pontos na Estação de tratamento piloto da suinocultura.....	109
FIGURA 51 Teores de potássio em amostras de dejetos de suínos da caixa de 1.000 litros.....	110
FIGURA 52 Teores médios de NPK aplicados na cultura de feijão-vagem ao longo do experimento.....	111
FIGURA 53 Valores médios de condutividade elétrica das unidades de tratamento.....	112
FIGURA 54 Valores médios de sólidos dissolvidos totais nas unidades de tratamento.....	113
FIGURA 55 Monitoramento da condutividade elétrica- CE (dS m^{-1}) do efluente da caixa de 3.000 litros.....	114
FIGURA 56 pH presente em amostras de dois pontos na Estação de tratamento piloto da suinocultura.....	115
FIGURA 57 Demanda bioquímica de oxigênio em amostras de dois pontos na Estação de tratamento piloto da suinocultura.....	116
FIGURA 58 Demanda Química de Oxigênio em amostras de dois pontos na E.T.E. da suinocultura.....	117
FIGURA 59 Razão de adsorção de sódio não corrigida (RAS) do efluente da caixa de 3.000 litros usado na irrigação	118
FIGURA 60 Temperaturas máximas, mínimas e médias no interior da casa de vegetação durante o cultivo de feijão-vagem.....	119

FIGURA 61 Variação das temperaturas máximas, médias e mínimas medidas na Estação Meteorológica da UFLA, durante o período de monitoramento da Estação piloto da suinocultura.....	120
FIGURA 62 Vazão nominal, inicial, final e relativa dos gotejadores (a 245,25 kPa).....	122
FIGURA 63 Lâmina bruta de água (mm) aplicada em relação às fases fenológicas da cultura.....	124
FIGURA 64 Lâmina bruta acumulada aplicada à cultura ao longo dos meses de cultivo.....	125
FIGURA 65 Altura média (m) atingida pelas plantas nos diferentes tratamentos em relação aos DAT (dias após transplantio).....	126
FIGURA 66 Massa média de vagens por planta (g) cv. Atibaia ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	128
FIGURA 67 Massa média de vagens por planta (g) cv. Brasília ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	130
FIGURA 68 Massa média de vagens por planta (g) utilizando-se adubo mineral ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas..	131
FIGURA 69 Massa média de vagens por planta (g) utilizando-se adubo orgânico ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas	131
FIGURA 70 Comprimento médio das vagens por planta (cm), cultivar Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas..	133
FIGURA 71 Comprimento médio das vagens por planta (cm), cultivar Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.	134
FIGURA 72 Número médio de vagens por planta cv. Atibaia ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	135
FIGURA 73 Número médio de vagens por planta cv. Brasília ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	136
FIGURA 74 Número médio de vagens por planta usando-se adubo mineral ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas..	137

FIGURA 75 Número médio de vagens por planta usando-se adubo orgânico ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	137
FIGURA 76 Produtividade (kg m^{-2}), cultivar Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	139
FIGURA 77 Produtividade (kg ha^{-1}), cultivar Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	140
FIGURA 78 Produtividade (kg m^{-2}), cultivar Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	141
FIGURA 79 Produtividade (kg ha^{-1}), cultivar Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	141
FIGURA 80 Produtividade (kg m^{-2}), adubação mineral, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	142
FIGURA 81 Produtividade (kg ha^{-1}), adubação mineral, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	143
FIGURA 82 Produtividade (kg m^{-2}), adubação orgânica, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	143
FIGURA 83 Produtividade (kg ha^{-1}), adubação orgânica, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	144
FIGURA 84 Matéria seca das vagens (MSV) ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	146
FIGURA 85 Matéria seca média das plantas (%) ao final do experimento, onde Am, Bm, Ao e Bo representam as duas cultivares (Atibaia e Brasília) com as duas fontes de adubação (Mineral e orgânica).....	147
FIGURA 86 Umidade média das vagens (%) nas quatro épocas de colheita, onde Am, Bm, Ao e Bo representam as duas cultivares (Atibaia e Brasília) com as duas fontes de adubação (Mineral e orgânica).....	148
FIGURA 87 Umidade média das vagens (%) ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.....	149

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos	22
TABELA 2 Características químicas dos efluentes de suínos	24
TABELA 3 Diretrizes de qualidade microbiológica de águas residuárias (recomendadas pela FAO) a serem usadas na agricultura.....	27
TABELA 4 Análise textural do solo da casa de vegetação.....	43
TABELA 5 Valores de umidade gravimétrica obtidos para a determinação da curva de retenção de água no solo (0-20 cm).....	43
TABELA 6 Resultados analíticos- Fertilidade do solo na profundidade de 0-40cm (6 dias antes do transplante do feijão-vagem-08/02/2007).....	44
TABELA 7 Parâmetros hidráulicos adotados para partida e operação dos reatores.....	61
TABELA 8 Parâmetros físico-químicos analisados e frequências de amostragem.....	63
TABELA 9 Resultados analíticos da água potável (UFLA), usada no experimento, ao longo dos principais meses de condução do experimento.....	65
TABELA 10 Quantidade de fertilizantes utilizados para plantio da cultura.....	81
TABELA 11 Quantidade de fertilizantes utilizados para adubação de cobertura.....	81
TABELA 12 Resumo da análise de variância pelo método dos quadrados médios.....	129

RESUMO

COSTA, Claudionor Camilo da. **Avaliação de sistema anaeróbio (RAC-UASB) no tratamento de água residuária de suinocultura e aplicação via fertirrigação, em feijão-vagem cultivado em ambiente protegido.** 2007. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil¹

Objetivou-se, nesta pesquisa, avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de águas residuárias de suinocultura a partir de análises de vários parâmetros físico-químicos. Utilizou-se o efluente de um sistema de tratamento anaeróbio na fertirrigação de duas cultivares de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivadas em ambiente protegido. Analisou-se também o nível de salinidade do solo no final do experimento. A estação-piloto de tratamento de dejetos de suinocultura, foi composta por um medidor de vazão Thompson, uma caixa de areia, uma peneira estática, uma dorna de 8.500 litros, um sistema de bombeamento, dois reatores anaeróbios funcionando em série, sendo o primeiro reator do tipo anaeróbio compartimentado (RAC) e, em seqüência, um reator do tipo anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB). Após o tratamento, o efluente final do sistema era reservado em um tanque e posteriormente bombeado para as linhas de irrigação por gotejamento, visando suprir as necessidades hídricas e nutricionais do feijão-vagem cultivado em casa de vegetação. Como testemunha, a cultura também foi irrigada exclusivamente com água potável e fertilizantes químicos. O sistema de tratamento gerou um efluente com características apropriadas à irrigação por gotejamento, apesar de se ter um aumento progressivo da condutividade elétrica, bem como dos sólidos dissolvidos totais à medida que a água residuária passava de uma unidade para outra. A cultivar Atibaia apresentou maior produtividade do que a cultivar Brasília, independentemente da fonte de nutrientes (mineral ou orgânica). Foram realizadas colheitas nas seguintes épocas: 65, 74, 86 e 100 DAS (dias após a semeadura). O período que apresentou maior produtividade de ambas as cultivares foi do 78º ao 85º DAS. A fonte orgânica de nutrientes apresentou uma tendência a melhores resultados de produtividade de vagens na última colheita realizada, sendo 15,18% da produtividade total de 20,7 Mg ha⁻¹, contra 9,4% da produtividade da fonte mineral de nutrientes. As quantidades médias de nutrientes NPK aplicados via fonte orgânica representaram 28; 1,3 e 59 % do total aplicados via fertilizante químico. O solo irrigado com água residuária não apresentou problemas de salinidade ao final do experimento, apresentando condutividade elétrica média de 0,95 dS m⁻¹.

¹ Comitê orientador: Cláudio Milton Montenegro Campos-UFLA (Orientador), Fátima Conceição Rezende e Cláudio Gouvêa Botelho (Co-orientadores).

ABSTRACT

COSTA, Claudionor Camilo da. **Evaluation of an anaerobic system (ABR-UASB) in the treatment of swine wastewater and application by fertirrigation, in snap bean cropped at protected environment.** 2007. 174p. Thesis (Doctorate in Agricultural Engineering/Irrigation and Drainage) - Federal University of Lavras, MG)²

This research aimed at evaluating the performance of swine wastewater system analyzing several physical-chemical parameters. An effluent of anaerobic treatment system was applied to fertirrigate two cultivars of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cropped in a greenhouse. The level of soil salinity was also measured in the final of the experiment period. The swine wastewater pilot system was assembled with a sand retention unit, a Thompson flow rate meter, a static screen, a drainage device, a reservoir about 8.500 liters, pumping systems, two anaerobic units (anaerobic reactors) working in series, being the first unit an anaerobic baffled reactor (ABR) and, in the following step, an UASB reactor. After treatment, the final effluent of the system was pumped to a water reservoir, remaining there during sometime. Finally, it was pumped to the drip hoses intending to supply the snap bean crop, with the water (organic source of nutrients) needed in a protected environment (organic source of nutrients). As control treatment, the crop cited above only was irrigated with potable water and received exclusively chemical fertilizers (mineral source of nutrients). It was obtained an effluent with appropriated characteristics for drip irrigation, but a progressive increasing of the electrical conductivity and total dissolved solids was observed while the wastewater was going from one unit to another. The Atibaia cultivar was more productive than Brasília cultivar, not depending on the source of nutrients (mineral or organic). The harvestings carried out in the following times : 65, 74, 86 and 100 DAS (days after seeding). The time range of the best productivities to both cultivars was from 78th to 85th DAS. The organic source was tending to best productivities results of the cultivars in the last harvesting that was carried out, representing 15,18% of the total productivity of 20,7 Mg ha⁻¹ against 9,4% of the mineral source of nutrients. The mean amounts of NPK applyied using organic source represented 28, 1,3, e 59% of the total chemical source total applyied.. The analysis executed in the final period indicated that the irrigated soil at the greenhouse with final swine effluent did not present problems related to salinity.

² Guidance Committee: Cláudio Milton Montenegro Campos- UFLA (Major Professor), Fátima Conceição Rezende and Cláudio Gouvêa Botelho (Co-advisers)

1 INTRODUÇÃO

Até a década de 1970, a densidade de animais na suinocultura proporcionava uma geração de dejetos capaz de ser absorvida pelo solo, não constituindo grave problema. Com a evolução da suinocultura, os animais passaram a ser confinados em densidades cada vez maiores, aumentando a quantidade de dejetos produzidos e passando a ser um importante agente impactante. Além disso, o confinamento ocasionou um aumento crescente no uso de água de higienização (lavação), aumentando o volume de dejetos e sua diluição (Oliveira, R., 1997).

Atualmente, a suinocultura é uma atividade altamente poluente e deve ser encarada com bastante seriedade no que diz respeito ao destino que se dará aos dejetos dos animais. Em algumas regiões do Brasil e outras de países europeus, observam-se altíssimos níveis de poluentes em suas águas provenientes da atividade suinícola. O produtor deve saber que os dejetos advindos de sua atividade deverão ser devidamente tratados e que isso representa um custo adicional no processo produtivo, fato esse irreversível.

O tratamento das águas residuárias e a sua posterior utilização na agricultura são medidas que apresentam diversas vantagens, dentre elas a economia de água, de fertilizante mineral e, ainda, a redução significativa da contaminação orgânica e microbiológica do meio ambiente.

Para que o sistema agrícola adubado com dejetos constitua um sistema auto-sustentável, ou seja, que possa ser produtivo, lucrativo e repetitivo indefinidamente com a isenção de danos ambientais, é necessário que, por um lado, as quantidades de nutrientes retiradas pelas plantas sejam repostas por meio de adubações orgânicas ou químicas (Ketelaars & van der Meer, 1998). Por outro lado, as quantidades de nutrientes adicionadas não são maiores do que aquelas requeridas pelas plantas (Pain, 1998).

Por outro lado, deve-se dar especial atenção a esses dejetos, os quais apresentam problemas relacionados não só relacionados à carga orgânica, mas também à presença de patógenos (bactérias, protozoários e helmintos), principalmente na irrigação de hortaliças, que podem transmitir doenças ao agricultor e ao consumidor desses produtos (Gomes Filho et al., 2001 e Barros et al., 2003).

Dentre os diversos sistemas de tratamento, podem-se citar os reatores anaeróbios de fluxo ascendente como uma boa opção, principalmente em locais onde o custo da terra é alto e poderia inviabilizar o uso de lagoas de estabilização, as quais demandam grandes áreas para a sua construção (Chernicharo, 1997). A concentração de biomassa no reator é bastante elevada, o que permite que o volume requerido para sua construção seja mais reduzido em comparação com outros sistemas de tratamento (Von Sperling, 1996).

A tecnologia dos reatores é particularmente atrativa nos países em desenvolvimento, já que a energia necessária para a sua operação é mínima ou nula, comparada com os sistemas convencionais de tratamento biológico aeróbio, além de sua alta eficiência na remoção de matéria orgânica. Adicionalmente, o gás metano gerado nesses sistemas pode transformar-se em energia aproveitável no próprio tratamento; no entanto, seus curtos períodos de detenção hidráulica não permitem a remoção de patógenos, requerendo-se tratamento complementar para melhorar a qualidade microbiológica (Léon Suemastu & Cavallini, 1996).

Por outro lado, o efluente produzido após o tratamento contém ainda uma quantidade considerável de nutrientes, os quais podem ser reaproveitados na fertirrigação de diferentes culturas.

A horticultura é uma das opções que o suinocultor tem à sua disposição, para reusar os resíduos provenientes de sua atividade. É nesse cenário que entra o cultivo protegido como uma opção para a prática do reuso. Especialistas

estimam em tomo de 6 mil hectares de cultivo protegido para a produção de hortaliças; somando-se áreas similares para a produção de mudas florestais, ornamentais e frutíferas, é possível que se alcancem, nos próximos anos, 10 mil hectares de área total sob plástico no território nacional. Dentre as espécies hortícolas que podem ser utilizadas nesse tipo de ambiente está o feijão-vagem.

Tendo em vista todos os aspectos expostos, objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar o desempenho de um sistema de tratamento de águas residuárias de suinocultura, composto por dois reatores, funcionando em série, sendo o primeiro do tipo anaeróbio compartimentado (RAC) e, em seqüência, um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). A água residuária, após tratamento, foi utilizada na fertirrigação de duas cultivares de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivadas em ambiente protegido, onde se pode avaliar as produtividades das mesmas. O nível de salinidade do solo também foi avaliado no final do experimento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A oferta de água e o seu reuso

A demanda de água no mundo tem relação estreita com a segurança alimentar, o estilo de vida das pessoas, o crescimento industrial e agrícola e a sustentabilidade ambiental.

Conforme a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 1997), o consumo mundial de água cresceu mais de seis vezes entre 1900 e 1995, mais que o dobro da taxa de crescimento da população e continua a crescer rapidamente com a elevação de consumo dos setores agrícola, industrial e residencial.

Embora as fontes hídricas sejam abundantes, a demanda é freqüentemente mal distribuída na superfície do planeta. Em algumas áreas, as retiradas são tão elevadas, em comparação com a oferta, que a disponibilidade superficial de água está sendo reduzida e os recursos subterrâneos rapidamente esgotados.

Em função da relação entre escassez de água e de alimentos, conforme relatório do Instituto Internacional de Pesquisa e Vigilância em Alimentação & Instituto Internacional de Manejo de Águas (IFPRI & IWMI, 2002), projeta-se que, em 2025, a escassez de água causará perdas anuais globais da ordem de 350 milhões de toneladas de alimentos, ligeiramente maior que toda a produção anual de grãos dos Estados Unidos. A crescente competição por água limitará severamente sua disponibilidade para a irrigação que, por sua vez, restringirá seriamente a produção de alimentos no mundo. O declínio na produção de alimentos poderá provocar grande elevação de preços, que resultaria em significativo aumento da desnutrição, uma vez que muitos povos pobres, em países em desenvolvimento, já gastam mais da metade de sua renda em alimento.

Outro fator preocupante refere-se à disposição do crescimento da população, gerando aumento de demanda de água. Conforme Brown (2002), das 80 milhões de pessoas que são adicionadas à população mundial a cada ano, a maioria ocorre em países que já sofrem escassez de água. Assim, a recuperação de um equilíbrio entre a oferta e a demanda da água, em todo o mundo, irá depender da estabilização populacional nos países com déficit hídrico.

Onyango (2002) projeta que a demanda de água para os usos domésticos, industriais e da pecuária, até o ano de 2025, deverá ter um aumento de, pelo menos, 50%. Esse aumento limitará severamente a retirada de água para irrigação que, por sua vez, proporcionará um aumento na produção de alimentos em apenas 4%.

Cerca de 250 milhões de hectares são irrigados atualmente no mundo, quase cinco vezes mais do que no início do século XX. A irrigação tem ajudado a aumentar a produção dos campos agrícolas e a estabilizar a produção e os preços de alimentos. Com o crescimento populacional, aumentará a demanda por água para irrigação, visando atender às necessidades da produção de alimentos. Além da escassez hídrica, que é grave em diversas regiões, deve-se considerar a questão da poluição concentrada e difusa de grande parte dos corpos hídricos. Processos de eutrofização, presença de metais pesados, acidificação, poluentes orgânicos e outros efluentes tóxicos deterioram os corpos hídricos, principalmente de áreas densamente povoadas, comprometendo assim a qualidade da água (Bernardi, 2003).

Segundo Beekman (1996), como a demanda pela água continua a aumentar, o retorno das águas servidas e o seu reuso vêm se mostrando um componente importante no planejamento, no desenvolvimento e na utilização dos recursos hídricos, tanto em regiões áridas, como em regiões úmidas. A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização

de água de melhor qualidade. Pelo planejamento integrado dos recursos hídricos, a reutilização da água pode propiciar suficiente flexibilidade para o atendimento das demandas de curto prazo, assim como assegurar o aumento da garantia no suprimento de longo prazo.

As águas servidas, ou águas usadas, são aquelas que foram empregadas em alguma atividade e sofreram transformação na sua qualidade, vindo a constituir-se em um despejo líquido (por exemplo, esgotos domésticos) (Von Sperling, 1996).

Entre todos os aspectos abordados, o reuso de água para diversos fins, incluindo o da irrigação, surge como alternativa para aumentar a oferta de recursos hídricos, garantindo economia do recurso e racionalização do uso desse bem. Diversos países já utilizam essa tecnologia e possuem regulamentação específica na temática, porém, o Brasil ainda está em fase embrionária na efetivação e na regulamentação da técnica, com grande potencial de crescimento.

2.1.1 Forma de reuso

Segundo Beekman (1996), a implantação de sistemas de reuso e reciclagem de água, desde que possuam viabilidade técnica e econômica, implica em significativos benefícios ambientais. É importante ressaltar que, além dos benefícios ambientais, a implantação de sistemas de reuso apresenta também significativos impactos positivos em termos sociais e econômicos.

De acordo com a WHO (1973), o reuso indireto ocorre quando a água já usada uma ou mais vezes para uso doméstico ou agroindustrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída. Reuso direto é o uso planejado e deliberado de águas residuárias para certas finalidades, como irrigação, uso industrial e recarga de aquífero. Reciclagem interna é o reuso da água internamente nas instalações industriais e

residenciais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição. Estabelece, ainda, que, quando o reuso indireto decorre de descargas planejadas a montante, ou a recargas planejadas no aquífero subterrâneo, designa-se de reuso indireto intencional.

Para Brega Filho & Mancuso (2002), o reuso da água pode ocorrer de forma direta ou indireta, por meio de ações planejadas ou não planejadas. Segundo Lavrador Filho (1987), os termos "planejado" e "não planejado" referem-se ao fato de o reuso ser resultante de uma ação consciente, subsequente à descarga do efluente ou do reuso ser apenas um subproduto não intencional dessa descarga. Dessa forma, conceitua-se como reuso planejado de água o resultado da ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma direta ou indireta. O reuso planejado das águas pressupõe a existência de um sistema de tratamento de efluentes que atenda aos padrões de qualidade requeridos pelo novo uso a que se destina a água. Essa modalidade de reuso pode ser denominada de reuso intencional da água.

O reuso de água pode ser classificado em duas grandes categorias: potável e não potável. O reuso potável direto é quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável. O reuso potável indireto se dá nos casos em que o esgoto, após o tratamento, é disposto na coleção de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e, finalmente, utilizado como água potável; o reuso não potável para fins agrícolas objetiva basicamente a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas e cereais, e plantas não alimentícias, tais como pastagens e forrageiras. O reuso não potável para fins agrícolas é classificado segundo o tipo de cultura que o utiliza, apresentando-se em dois grupos: a) plantas não comestíveis, como na silvicultura, pastagens, fibras e sementes e b) plantas consumidas cozidas e cruas (Westerhoff, 1984).

Hespanhol (1999) argumenta que a presença, na grande maioria dos efluentes, de organismos patogênicos e de compostos orgânicos sintéticos, caracteriza o reuso potável como uma alternativa associada a riscos muito elevados. Sendo assim, a responsabilidade pela remoção de um determinado contaminante não deve ser atribuída a um único processo ou operação. Os organismos patogênicos mais importantes que podem estar presentes nesses efluentes são as bactérias, helmintos e protozoários e, mesmo, no reuso não potável, merecem especial atenção no sentido de se evitar a transmissão de doenças a trabalhadores rurais e consumidores de produtos hortícolas.

2.1.2 Modalidades de reuso e suas aplicações

O Centro Internacional de Referência em Reuso de Água (CIRRA, 2002) classifica as modalidades de reuso e suas aplicações como reuso urbano, industrial, no meio ambiente e agrícola.

Segundo Bernardi (2003), o setor agrícola responde por, aproximadamente, 70% do consumo total de água. Essa demanda, associada à má distribuição geográfica dos recursos hídricos de boa qualidade, leva à conclusão de que as atividades agrícolas devem ser consideradas prioritárias em termos de reuso de efluentes tratados. Efluentes adequadamente tratados podem ser utilizados para a aplicação em culturas de alimentos não processados comercialmente, culturas de alimentos processados comercialmente e culturas não alimentícias, entre outros. O efluente tratado, resultante na água de reuso, pode ser utilizado na agricultura, barateando o custo da água e aumentando a produtividade. O uso dessa técnica resulta na economia de fertilizantes e no aumento da produtividade da cultura, pois a água tratada carrega matéria orgânica, essencial ao desenvolvimento das plantas.

Segundo Folegatti (1999), os esgotos sanitários, em geral, apresentam teores de macro e micronutrientes satisfatórios para a demanda da maioria das

culturas. Porém, a presença de sais e sólidos dissolvidos fixos deve ser vista com atenção, já que tais características podem gerar um efluente salino, impróprio para a irrigação.

Chernicharo (2001) afirma que a aplicação de nutrientes contidos nos efluentes tratados pode reduzir, ou mesmo eliminar, a necessidade de fertilizantes comerciais. Além disso, a matéria orgânica contida nos esgotos aumenta a capacidade do solo em reter água.

Para Braile & Cavalcanti (1993) e Leon Suemastu & Cavallini (1996), os organismos patogênicos presentes nos efluentes apresentam períodos de sobrevivência no solo e nas culturas bastante variados. Os helmintos podem sobreviver por alguns meses no solo e entre 30 e 60 dias nas culturas, embora esses períodos sejam bem variáveis, dependendo da situação específica.

Metcalf & Eddy (2003) salientam que as águas residuárias tratadas e destinadas ao reuso agrícola devem ser avaliadas sob os aspectos de sodicidade, salinidade, excesso de nutrientes e, sobretudo, sob os aspectos sanitários pela presença de bactérias, cistos de protozoários, ovos de helmintos e vírus que criam graves problemas de saúde pública, uma vez que acarretam enfermidades.

Rocha et al. (2003) avaliaram o uso de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. Esses autores constataram que, após 54 dias da incorporação do biossólido ao solo, os coliformes fecais eram praticamente nulos e, a partir dos 70 dias, não foram mais encontradas amostras positivas com ovos de helmintos, apesar do alto grau de contaminação inicial. Em outras palavras, os coliformes totais e fecais, assim como ovos de helmintos, estavam ausentes nos tecidos foliares da couve fertilizada com biossólido.

Souza et al. (2006), estudando o reuso de água residuária doméstica na produção do pimentão irrigação por sulco, afirmam que os organismos patogênicos presentes nos esgotos não penetram no tecido vegetal, a não ser que a planta esteja danificada. De modo geral, a sobrevivência dos patógenos depende de

fatores, como luz solar, temperatura e umidade relativa do ar, entre outros. Nesse caso, os microrganismos presentes na superfície das culturas estão expostos às condições ambientais desfavoráveis. Constataram, ainda, que a concentração de coliformes termotolerantes após a colheita é maior no solo do que nos frutos.

A sobrevivência das bactérias intestinais no solo depende também da atividade autogênica de actinomicetos e fungos, os quais produzem antibióticos que as eliminam; por outro lado, a sobrevivência dessas bactérias pode ser prolongada em solos com nutrientes disponíveis.

A Legislação Brasileira para Padrões Microbiológicos de Hortaliças estabelece um número mínimo de cinco amostragens, das quais duas podem apresentar densidade de coliformes termotolerantes, até o valor máximo de 10^2 org g⁻¹ (Brasil, 2001).

Oliveira & Germano (1992), Robertson & Gjerde (2001) e Soares & Cantos (2006) afirmam que as enfermidades intestinais causadas por protozoários constituem sério problema de saúde pública em diversos países, inclusive no Brasil. Nesse contexto, sobressai a importância que as hortaliças, principalmente aquelas consumidas “in natura”, podem desempenhar como vias de transmissão de protozoários intestinais, uma vez que esses alimentos freqüentemente são irrigados com águas contaminadas por esgotos domésticos não tratados.

Shuval et al. (1997) e Metcalf & Eddy (2003) asseguram que o tratamento primário de esgotos domésticos já é suficiente para torná-los adequados à irrigação de culturas de consumo indireto (cozidas). Tratamentos secundário e terciário são necessários quando essas águas forem utilizadas na irrigação das culturas para consumo direto (verduras).

2.1.3 Tecnologia de tratamento de efluentes

2.1.3.1 O Processo da digestão anaeróbia

Nas últimas décadas, o interesse pelo conhecimento a respeito do processo de digestão anaeróbia tem crescido de forma considerável no Brasil. Esse tipo de processo biológico de estabilização da matéria orgânica se mostra adequado às condições de clima tropical e demonstra um balanço energético otimizado em relação às tecnologias aeróbias, considerando, ainda, a produção de insumos, como biogás e biofertilizantes, e a baixa demanda energética (Chernicharo, 1997). A anaerobiose ocorre na ausência de oxigênio, envolve uma série de grupos de microrganismos que interagem entre si, convertendo a matéria orgânica complexa em metano e dióxido de carbono (Campos, 1990). A eficiência do processo anaeróbio é, portanto, função de uma série de interações entre diversos grupos de microrganismos, os quais possuem diferentes capacidades digestivas e em que os intermediários metabólicos de um grupo servem como substrato para o desenvolvimento de outros (Vazzoler, 2006). Depreende-se, portanto, que o processo de digestão anaeróbia é, na verdade, composto por uma série de reações seqüenciais e que a velocidade de cada reação influi na velocidade global do processo. As reações mais lentas, principalmente, denominadas limitantes, influirão no retardo ou na aceleração dessa velocidade.

No processo anaeróbio proposto por Gujer & Zehnder (1982), citados por Campos (1990), nota-se que a percentagem, em termos de concentração de demanda química de oxigênio (DQO) que contribui para a formação de metano, está em torno de 70%. Verifica-se também que, em um sistema anaeróbio, as populações microbianas podem ser divididas em três grupos: hidrolíticas, acidogênicas e acetogênicas, e metanogênicas, que se dividem em acetotróficas e hidrogenotróficas, cada grupo com características fisiológicas diferenciadas.

O primeiro grupo, formado por bactérias hidrolíticas, age na primeira fase do processo digestivo, hidrolisando e liquefazendo, por ação de enzimas específicas, moléculas complexas, como proteínas, carboidratos e lipídeos, transformando-as em outras mais simples, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos, tornando-as, assim, disponíveis para a assimilação bacteriana. Sabe-se que a hidrólise de polímeros em ambiente anaeróbio se dá de forma lenta, fazendo com que essa fase se torne a mais limitante de todo o processo de conversão da matéria orgânica em metano (Ramirez, 2005).

O segundo grupo é composto pelas bactérias acidogênicas e acetogênicas, das quais as primeiras, a partir da digestão de substratos solubilizados, irão produzir ácidos graxos como o ácido acético, propiônico, butírico e outros, além dos gases, dióxido de carbono e hidrogênio. Durante a formação de ácidos graxos de baixo peso molecular, como o acético e o butírico, ocorre liberação de grandes quantidades de hidrogênio no meio, o que leva a uma queda de pH no sistema. Essas bactérias, comparadas com as acetogênicas, possuem taxa metabólica maior e, em função disso, parâmetros cinéticos de crescimento bacteriano diferenciados.

De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, como ácidos, álcoois e compostos aromáticos, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados pelas metanogênicas para a formação do metano. Contudo, os demais metabólitos gerados na etapa anterior serão oxidados pelas bactérias acetogênicas, proporcionando, assim, substrato adequado para a produção de metano na fase seguinte (McCarty, 1964, citado por Campos, 1990). As bactérias acetogênicas redutoras obrigatórias de prótons são capazes de produzir ácido acético e hidrogênio a partir de ácidos graxos de cadeia maior, como propiônico e butírico, mas, para que isso ocorra, são necessárias baixas pressões de hidrogênio no meio, em função do consumo do mesmo pelas bactérias hidrogenotróficas e homoacetogênicas. Esse é apenas um exemplo de quão

interdependentes são os diferentes grupos bacterianos que interagem num processo como esse.

O terceiro grupo, as metanogênicas, é responsável pela última fase do processo anaeróbio e se divide em dois grupos importantes: as acetotróficas ou acetoclásticas, que produzem metano a partir da redução do ácido acético e as hidrogenotróficas, que utilizam o dióxido de carbono e de hidrogênio para produzir metano. Essa última rota metabólica descrita é utilizada para produzir somente 30% de todo metano, de suma importância para o processo, pois propicia condições de baixa pressão de hidrogênio, no momento em que o utiliza para a formação do metano. Essa última fase do processo de transformação da matéria orgânica em metano é considerada limitante, pois a taxa de crescimento bacteriano específico dessas colônias é baixa. Na realidade, de 90% a 95% do material orgânico biodegradável (DBO_5) se transforma em metano, enquanto apenas de 5% a 10% são sintetizados como biomassa bacteriana.

2.1.3.1.1 Os reatores anaeróbios

Segundo Campos (1990), o reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (tipo *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* ou UASB), demonstrado Na Figura 1, foi inicialmente desenvolvido e aplicado largamente na Holanda. Essencialmente, o processo consiste de um fluxo ascendente de esgotos através de um leito de lodo denso e de elevada atividade. O perfil de sólidos no reator varia de muito denso e com partículas granulares de elevada capacidade de sedimentação, próximas ao fundo (leito de lodo), até um lodo mais disperso e leve, próximo ao topo do reator (manta de lodo).

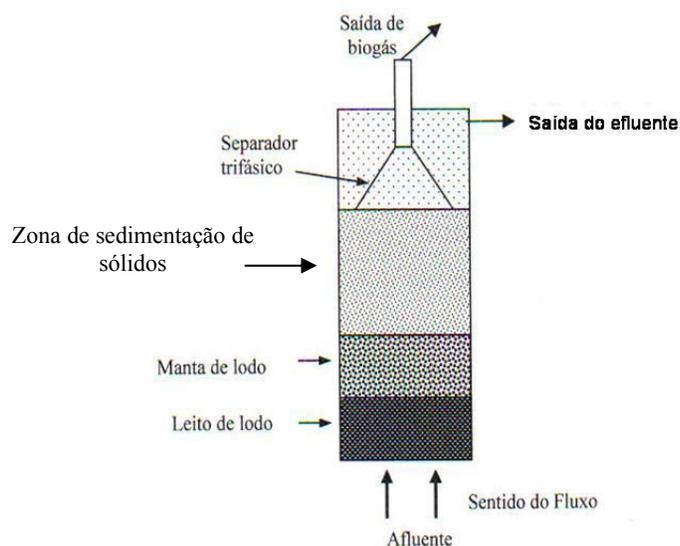


FIGURA 1 Desenho esquemático do funcionamento de um reator do tipo UASB (Silva, 2007)

De acordo com Campos (1990), Carmo et al. (2004) e Silva (2007), a estabilização da matéria orgânica ocorre em todas as zonas de reação (leito e manta de lodo), sendo a mistura do sistema promovida pelo fluxo ascensional do esgoto e das bolhas de gás. O esgoto entra pelo fundo do reator e o efluente deixa o mesmo pela parte superior. Um separador trifásico, localizado abaixo do decantador, garante as condições ótimas para a sedimentação das partículas que se desgarram da manta de lodo, permitindo que elas retornem à câmara de digestão, em vez de serem arrastados para fora do sistema. Embora parte das partículas mais leves seja perdida juntamente com o efluente, o tempo médio de residência de sólidos no reator é mantido suficientemente elevado para garantir o

crescimento de uma massa densa de microrganismos formadores de metano, apesar do reduzido tempo de detenção hidráulica.

Segundo Chernicharo (1997), o segundo princípio fundamental do processo é a presença de um dispositivo de separação de gases e sólidos, localizado na parte superior do reator. O principal objetivo desse dispositivo é a separação dos gases contidos na mistura líquida, de tal forma que uma zona propícia à sedimentação seja criada no extremo superior do reator.

Para Van Haandel & Lettinga (1994), o efluente produzido pelo reator UASB apresenta grande quantidade de nutrientes. No entanto, não deve ser utilizado diretamente na agricultura, pois exige cuidados com relação a patógenos que podem contaminar os trabalhadores rurais e consumidores dos produtos. Logo, o efluente do UASB exige um pós-tratamento para produzir efluentes com características de qualidade sanitária (WHO, 1989).

Os modernos reatores de alta taxa são capazes de reter grandes quantidades de biomassa, de elevada atividade, mesmo com a aplicação de baixos tempos de detenção hidráulica. Esses reatores incorporam mecanismos de retenção de biomassa. Como exemplo, podem-se citar os do tipo UASB, nos quais o tempo de detenção hidráulica está dissociado do tempo de retenção dos sólidos. Esses reatores permitiram a ampla aceitação mundial da tecnologia anaeróbia como alternativa viável para sistemas de tratamento de águas residuárias (Chernicharo, 1997; Lier et al., 2001; Vazoller, 2002).

Os reatores UASB apresentam características hidrodinâmicas favoráveis à formação de grânulos, possibilitando elevado tempo de retenção celular e acomodando, portanto, altas cargas orgânicas volumétricas, com tempo de detenção hidráulica curto, da ordem de grandeza de horas, dependendo das condições operacionais e das características dos afluentes, sendo possível desvincular o tempo de retenção celular do tempo de detenção hidráulica (Foresti, 1994).

As limitações do processo anaeróbio nos reatores UASB estão relacionadas à hidrólise dos sólidos suspensos orgânicos (SSV) do afluente, considerados prejudiciais ao desenvolvimento do lodo granular (Lettinga & Hulshoff-Pol, 1991 e Seghezze et al., 1998). Isso tem maior importância no tratamento de resíduos sólidos, esterco, lodos e águas residuárias com altas concentrações de sólidos suspensos, tais como o esgoto sanitário bruto (Lier et al. 2001) e as águas residuárias de suinocultura (Oliveira, C., 1997).

Assim, para tratar águas residuárias com elevadas frações de matéria orgânica particulada, pode ser vantajoso aplicar-se o processo anaeróbio em dois estágios (Seghezze et al., 1998). Segundo Haandel & Lettinga (1994), esse processo consiste em dois reatores em série, podendo ser um RAC e um UASB na seqüência, sendo o primeiro para a hidrólise parcial do material orgânico complexo e o segundo, outro para digerir os compostos solúveis formados no primeiro reator (Figura 2).

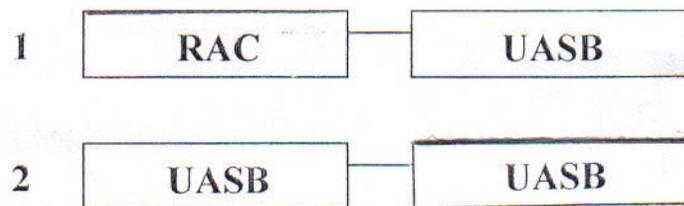


FIGURA 2 Representação esquemática de dois sistemas de tratamento de dois estágios e alta carga (Adaptado de Chernicharo, 1997)

A utilização do processo anaeróbio em dois estágios com reatores (dois UASB em série ou um RAC e um UASB em série) pode propiciar melhor desempenho na remoção de sólidos suspensos orgânicos, incrementando a hidrólise no primeiro reator e melhorar a remoção de matéria orgânica e a

produção do metano no segundo, conferindo assim maior estabilidade ao sistema de tratamento (Oliveira, 1993; Lier et al., 2001; Pereira, 2003 citado por Santana & Oliveira, 2005; Campos et al., 2006; Fernandes & Oliveira, 2006).

Os reatores UASB, assim como outros reatores anaeróbios de alta taxa, apresentam limitações para o tratamento de águas residuárias com altas concentrações de sólidos suspensos. Lettinga et al. (1980) estabeleceram valores abaixo de 1.000 mg L^{-1} e, posteriormente, ampliaram para 6.000 a 8.000 mg L^{-1} (Lettinga & Hulshoff-Pol, 1991). Contudo, estudos ainda precisam ser realizados para confirmar essa última recomendação.

O reator anaeróbio compartimentado (RAC), também conhecido internacionalmente pelo nome de *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR), altamente eficiente na retenção da fração orgânica particulada (Boopathy, 1998), poderá melhorar o desempenho e a estabilidade do sistema de tratamento. Possui boa capacidade na absorção de cargas de choque (orgânicas e hidráulicas), baixa produção de lodo e maior tempo na retenção de biomassa, além de auxiliar na hidrólise de sólidos e digestão de compostos solúveis. A vantagem mais significativa do RAC é a capacidade de estratificar os processos da acidogênese e metanogênese em diferentes partes do reator, permitindo que os grupos específicos de bactérias atuem sob condições (temperatura, pH, etc.) mais favoráveis (Barber & Stuckey, 2000). O RAC possui compartimentos que operam em série, ou seja, o afluente de um compartimento é o efluente do anterior.

A otimização da configuração dos reatores associa objetivos científicos e tecnológicos na área de processos anaeróbios e visa obter maior eficiência na remoção de sólidos suspensos orgânicos, incrementando a hidrólise no primeiro reator.

2.1.3.2 Desempenho de sistemas de tratamento de efluentes

Campos et al. (2006) operaram um sistema de tratamento de efluentes em escala laboratorial, composto por um tanque de acidificação e equalização, um reator anaeróbio de manta de lodo e uma lagoa aerada facultativa, alimentado em fluxo contínuo com efluente líquido de suinocultura, com concentração média de sólidos totais igual a 2.490 mg L^{-1} . Esses autores observaram eficiência de remoção de nitrogênio total Kjeldahl-NTK (que representa o nitrogênio orgânico mais o nitrogênio amoniacal) e fósforo total (PT) da ordem de 41,7% e 36,6%, respectivamente. A remoção mencionada significou a mineralização (transformação em outros compostos químicos) do nitrogênio e do fósforo, nesse caso em específico. Em outras palavras, 58,3% do NTK e 63,4% do PT continuaram na forma orgânica. Cabe frisar que, no caso do nitrogênio, a maior eficiência obtida dentre as unidades do sistema correspondeu à lagoa aerada facultativa e, no caso do fósforo, as maiores eficiências de remoção ficaram por conta do reator UASB.

Lourenço (2006), verificando o desempenho de um sistema em escala laboratorial composto de tanque de acidificação e equalização, reator UASB, filtro anaeróbio e lagoa aerada facultativa no tratamento de águas residuárias da suinocultura, considerou como a principal limitação do sistema avaliado a baixa remoção de nitrogênio e fósforo. Os macronutrientes e os micronutrientes podem ser reutilizados na irrigação, mas são necessários maiores estudos sobre tal prática.

Fernandes & Oliveira (2006), ao estudarem dois reatores operando em série, verificaram que houve eficiência na remoção da DQO e na redução dos teores de sólidos em suspensão, possibilitando, nas condições operacionais impostas no trabalho, alcançar valores médios entre 84% e 86%, respectivamente. O sistema de tratamento anaeróbio, composto de reatores do tipo RAC e UASB, com tempo de detenção hidráulica (TDH) de 22 horas, foi predominantemente mais eficiente na remoção de DQO (90,5%) e de sólidos suspensos (84,2%) do que o RAC em um

estágio com TDH de 28 horas ou 56 horas. O efeito da redução da temperatura média, para valores próximos ou inferiores a 20°C, com TDH de 34,5 horas no sistema de tratamento anaeróbio em dois estágios, foi acentuado, provocando diminuição da eficiência de remoção de DQO e sólidos suspensos para valores inferiores aos obtidos com TDH de 22 horas. O reator do tipo RAC acomodou as cargas orgânicas de choque, mantendo as eficiências de remoção de DQO e de sólidos em suspensão em torno de 70% e a qualidade do biogás em torno de 80% de CH₄.

Santana & Oliveira (2005) estudaram o desempenho de reatores do tipo UASB de um e dois estágios, tratando águas residuárias de suinocultura. Concluíram que o sistema de dois estágios foi eficiente na remoção de DQO e de sólidos suspensos, com valores médios acima de 85% e conversões acima de 0,15 m³ CH₄ kg⁻¹ DQO_{total} removida. Verificaram, ainda, que, no sistema de dois estágios, o TDH de 37,6 horas foi mais eficiente na remoção de DQO e sólidos suspensos (SS) e na produção de metano do que no de um estágio com TDH de 62,3 horas e carga orgânica volumétrica (COV) de 3,40 e 5,33 kg DQO_{total} m⁻³. O principal atributo de projeto para afluentes com concentrações médias de sólidos suspensos totais (SST) variando de 2.216 a 7.131 mg L⁻¹ foi a COV e não a concentração de SST do afluente ou o TDH. As maiores produções específicas de metano foram obtidas com valores de COV de 3,40 kg DQO_{total} m⁻³ d⁻¹ para o primeiro reator do tipo UASB e 2,25 kg DQO_{total} m⁻³ dia⁻¹ para o segundo.

Pereira-Ramirez et al. (2004), estudando a influência da recirculação e da alcalinidade no desempenho de um reator UASB no tratamento de efluente de suinocultura com um TDH de 12 horas, concluíram que a eficiência de remoção da DQO solúvel pelo UASB variou entre 68% e 85%. O reator obteve sua melhor eficiência de remoção de sólidos suspensos voláteis (SSV) de 81% quando a taxa de reciclo foi de 3:1. O pior desempenho na remoção dos SSV

aconteceu para a taxa de reciclo de 5:1 e alcalinidade inicial de 2.500 mg CaCO₃ L⁻¹ (20%). A recirculação de efluente aumentou a alcalinidade no reator, favorecendo a remoção orgânica. O reator UASB apresentou melhor eficiência na remoção da carga orgânica, quando foi mantida a relação AVT (ácidos voláteis totais/alcalinidade) em valores próximos a 0,20. A maior eficiência de remoção da DQO aconteceu com a velocidade ascensional de 0,35 m³ m⁻² h⁻¹. Velocidades superiores a 0,35 m³ m⁻² h⁻¹ promoveram instabilidade no desempenho do reator, ocasionando perda de eficiência de remoção da carga orgânica do mesmo. Nessa condição, o reator removeu 96% dos coliformes fecais e 99% da *Salmonella choleraesuis* presente no efluente bruto, durante o tratamento em que a alcalinidade inicial do efluente foi de 2.500 miliequivalente CaCO₃ L⁻¹ e a taxa de reciclo aplicada foi de 3:1.

Segundo Scherer et al. (1995), em torno de 2/3 do nitrogênio dos dejetos líquidos de suínos (esterco+urina) estão na forma amoniacal, isto é, numa forma prontamente assimilável pelas plantas. Cabe lembrar, entretanto, que a fração N-amoniacal também é facilmente perdida por volatilização de amônia, quando não forem tomados os devidos cuidados por ocasião da aplicação do adubo na lavoura. Altas temperaturas, vento e pH elevado do dejetos e do solo favorecem a volatilização de amônia e a perda desse nutriente, especialmente se aplicada via aspersão.

2.1.4 Dejetos de suinocultura

Os suínos são onívoros, isto é, comem uma variedade enorme de produtos. São monogástricos, com ceco simples não funcional, possuem estômago simples, digestão enzimática, pequena capacidade de armazenamento de alimentos (em torno de oito litros), praticamente não sintetizam nutrientes e possuem baixa capacidade de digerir fibra (20%). Por tudo isso, precisam receber ração balanceada, com todos os nutrientes, para atender às suas

necessidades. A finalidade do aparelho digestivo é reduzir quimicamente substâncias complexas, como carboidratos, gorduras e proteínas, a substâncias simples, como açúcares, ácidos graxos e aminoácidos, que são absorvidos através da parede intestinal e utilizados, posteriormente, para diversas funções metabólicas (Lima,1991).

2.1.4.1 Produção e composição

Os dejetos de suínos são constituídos por fezes, água desperdiçada pelos bebedouros e água de higienização, resíduos da ração, pêlos, poeiras e outros materiais decorrentes do processo criatório (Konzen, 1983). O uso das águas tem como finalidade diluir a concentração das fezes e urina produzidas recentemente. Com isso, haverá volume maior de resíduo a ser tratado (Oliveira, 1993; Perdomo et al., 2001). O esterco, por sua vez, é constituído pelas fezes dos animais que, normalmente, se apresentam na forma pastosa ou sólida.

A quantidade de dejetos produzida pelos suínos é função do desenvolvimento dos animais, variando de 4,9% a 8,5% de seu peso vivo por dia (Tabela 1).

TABELA 1 Produção média diária de dejetos nas diferentes fases produtivas dos suínos

Fases de produção dos suínos	Esterco kg dia ⁻¹	Esterco + Urina kg dia ⁻¹	Dejeto líquido kg dia ⁻¹	Produção m ³ animal ⁻¹ mês ⁻¹
Suínos (25-100 kg)	2,30	4,90	7,00	0,25
Porcas gestação	3,60	11,00	16,00	0,48
Porcas em lactação + leitões	6,40	18,00	27,00	0,81
Cachaço	3,00	6,00	9,00	0,28
Leitões na creche	0,35	0,95	1,40	0,05
MÉDIA	2,35	5,80	8,60	0,27

Fonte: Oliveira (1993)

Esses dejetos são ricos em nitrogênio e fósforo, que podem ser encontrados nas formas de amônia, nitritos, nitratos e nitrogênio orgânico. A amônia, juntamente com o nitrogênio orgânico, nitrito e nitrato, resulta no nitrogênio total (NT), enquanto a soma do nitrogênio orgânico ao nitrogênio amoniacal denomina-se nitrogênio total Kjeldahl (NTK).

No que diz respeito ao fósforo, ele aparece sob as formas de ortofosfatos e polifosfatos, que são solúveis e nas formas de complexos, fosfatos orgânicos insolúveis e fosfatos precipitados, que são pouco solúveis e ácido fosfórico insolúvel. A soma dos fósforos orgânico e inorgânico denomina-se de fósforo total (PT).

2.1.4.2 Capacidade poluente

A capacidade poluente dos dejetos de suínos, em termos comparativos, é muito superior à de outras espécies. Utilizando-se o conceito de equivalência

populacional, um suíno, em média, em termos de capacidade poluente, equivale a 3,5 pessoas. Oliveira (1993) ressalta que a $DBO_{5,20}$ (demanda bioquímica de oxigênio obtida em cinco dias, a 20°C) de esgoto doméstico é de cerca de 200 $mg L^{-1}$, ao passo que, para dejetos de suínos, encontra-se entre 30.000 e 52.000 $mg L^{-1}$.

2.1.4.3. Uso na agricultura como fertilizante

Os dejetos provenientes da suinocultura podem apresentar nutrientes em quantidades suficientes para serem aproveitados na fertirrigação das culturas agrícolas, levando ao aumento da produtividade. Aproximadamente dois terços do nitrogênio, um terço do fósforo e a quase totalidade do potássio encontram-se na forma mineral, isto é, numa forma prontamente assimilável pelas plantas. Porém, cuidados e medidas devem ser tomados e definidos para evitar os riscos associados à prática do reuso desse tipo de efluente na irrigação, como contaminação da água por bactérias, vírus, protozoários e outros (Gomes Filho et al., 2001).

De acordo com Matos et al. (2004) e Fernandes & Oliveira (2006), a criação de suínos caracteriza-se pela geração de grandes volumes de dejetos em áreas relativamente pequenas. Por esse motivo, o suinocultor precisa estabelecer um esquema de manejo desse dejetos, que seja adequado às condições existentes em sua propriedade. Vários fatores devem ser considerados na escolha da forma de manejo do dejetos líquido da suinocultura, podendo-se destacar os gastos de energia e mão-de-obra, a possibilidade de aproveitamento do resíduo dentro da propriedade e o impacto no ambiente.

Segundo Gomes Filho et al. (2001), os compostos presentes nos dejetos líquidos de suinocultura apresentam-se em concentrações suficientemente altas para constituírem risco de desequilíbrio ecológico, quando dispostos inadequadamente. Infelizmente, no Brasil, esses dejetos líquidos têm sido lançados, muitas vezes, de forma inadequada em cursos de água, sem passar por um tratamento prévio.

Os dejetos de suínos, geralmente, contêm metais pesados, como cobre, zinco e ferro, pois os dois primeiros fazem parte de formulações de antibióticos e todos os três estão presentes nos suplementos de ração fornecidas. Esses elementos químicos são prejudiciais para o tratamento biológico de dejetos (Matos & Sediya, 1995 e Oliveira, 1993). Na Tabela 2 são apresentados valores das características químicas dos resíduos de suínos.

TABELA 2 Características químicas de efluentes de suínos

Parâmetros	Mínimo (mg L ⁻¹)	Máximo (mg L ⁻¹)	Média (mg L ⁻¹)
Demanda química de oxigênio (DQO)	11.530,2	38.448,0	25.542,9
Sólidos totais (ST)	12.697,0	49.432,0	22.399,0
Sólidos voláteis (SV)	8.429,0	39.024,0	16.388,8
Sólidos fixos (SF)	4.268,0	10.408,0	6.010,2
Sólidos sedimentáveis (SS)	220,0	850,0	428,9
Nitrogênio total (NT)	1.660,0	3.710,0	2.374,3
Fósforo total (PT)	320,0	1.180,0	577,8
Potássio total (KT)	260,0	1.140,0	535,7

Fonte: Adaptado de Tobias (2002)

Em virtude das altas concentrações de matéria orgânica, sólidos, nutrientes, metais pesados e patógenos presentes nas águas residuárias de suinocultura, o seu lançamento de forma indiscriminada no solo ou num corpo de água pode ocasionar sérios problemas sanitários e ambientais (Fernandes & Oliveira , 2006).

Ainda hoje, a maioria dos empresários ligados à atividade de confinamento de animais pratica o lançamento de grandes quantidades de dejetos em coleções de água, antes de reduzir o poder poluente desses dejetos a níveis aceitáveis, causando sérios problemas de poluição e desequilíbrios ecológicos em razão da redução do teor de oxigênio dissolvido da água.

Segundo Calheiros (2006), os problemas gerais da utilização de dejetos de suínos são: a) desequilíbrio de nutrientes no dejetos; b) aplicação dos dejetos em uma única oportunidade e em grande quantidade; c) limitação econômica da aplicação convencional por caminhão ou trator e d) problemática do uso de dejetos na agricultura quanto à preservação da saúde dos usuários e consumidores.

De acordo com Bley Júnior (2003), os dejetos de suínos, pela sua composição química, são consagrados no mundo como insumos de alto valor. O valor fertilizante desses dejetos pode ser comparado ao de uma fórmula comercial de fertilizante químico 8-30-20, cujo preço no mercado estava em torno de R\$ 330,00 (\pm US\$ 165,00) por tonelada, à época da sua pesquisa. Caso os dejetos venham a ser aplicados fora da área de coleta, o espalhamento desse material no solo deve se encontrar a uma distância média de 2 a 3 km do ponto de captação para ser economicamente viável. Para aplicação em áreas além dessas distâncias, o valor fertilizante se perde pelo custo da aplicação.

Para se evitar a adição de nutrientes em quantidades superiores às exigidas pela cultura e, muitas vezes, até superiores à capacidade de retenção do solo, recomenda-se equacionar a quantidade de resíduo orgânico a ser aplicada, tomando-se por base o nutriente cuja quantidade será satisfeita com a menor quantidade. Além de considerar a disponibilidade de nutrientes no solo, determinada pela análise do solo, a exigência da cultura e a concentração de nutrientes nos resíduos, deve-se fazer, sempre que necessário, a suplementação com adubos minerais solúveis, de acordo com as recomendações de adubos e corretivos para a região (Oliveira, 1993 e Scherer et al., 1995).

Oliveira (1993) alerta para o fato de que as necessidades nutricionais de uma dada planta dificilmente seriam supridas integralmente apenas com a adição de dejetos de suínos ao solo, pois as relações entre as concentrações de N, P₂O₅ e K₂O são, de modo geral, diferentes das requeridas pela planta.

Em termos econômicos, considera-se somente a disponibilidade de N (nitrogênio), P (fósforo) e K (potássio) nos dejetos de suínos, de modo que seus valores são determinados pelo custo do fertilizante comercial equivalente (Bohrson, 1985).

De acordo com Metcalf & Eddy, (1991), cerca de 2/3 do nitrogênio dos dejetos líquidos de suínos encontram-se mais sujeito a perdas por volatilização e lixiviação no solo. Por outro lado, a maior parte do fósforo dos dejetos desses animais está na forma orgânica. O grau requerido de tratamento do efluente a ser aplicado no solo por meio de sistemas de irrigação é, normalmente, baseado nas diretrizes ou normas de saúde pública. Fatores que poderão ser considerados na avaliação da necessidade de tratamento preliminar incluem o tipo de cultura a ser explorada, a finalidade de uso da cultura, o grau de contato do público com o efluente e o método de aplicação.

Na Tabela 3 são apresentadas as diretrizes de qualidade microbiológica de águas residuárias a serem usadas na agricultura, de acordo com Pescod (1992). Essas diretrizes (em nível mundial) são apresentadas pela Organização para Alimentação e Agricultura (FAO, 1992).

Hussar et al. (2005) utilizaram efluente de dejetos de suínos de um reator do tipo RAC compartimentado na fertirrigação da beterraba. Estes autores constataram que o uso do efluente tratado representou maior teor de NPK em relação à água de irrigação utilizada e que a aplicação do efluente aumentou a produção de raízes de beterraba.

TABELA 3 Diretrizes de qualidade microbiológica de águas residuárias (recomendadas pela FAO) a serem usadas na agricultura.

Categ.	Condição de reuso	Grupo exposto	Nematóides intestinais (médias de ovos/litro)	Coliformes fecais (média geométrica de quant./100mL)	Tratamento para obter a qualidade microbiológica requerida
A	Irrigação de culturas provavelmente ingeridas cruas; campos de esportes, parques públicos	Trabalhadores, consumidores, público	≤1	≤1000	Série de lagoas de estabilização para obter a qualidade microbiológica indicada, ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, pastos e árvores frutíferas	Trabalhadores	≤1	Não há padrão recomendado	Retenção em lagoas de estabilização por 8-10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada das culturas na categoria B se não houver exposição de trabalhadores e público	Nenhum	Não aplicável	Não aplicável	Pré-tratamentos como requerido pela tecnologia da irrigação, mas não menos que a sedimentação primária

Fonte: Pescod (1992).

2.1.4.4 Efeito da aplicação de efluentes no solo

Um aspecto importante abordado por Scaloppi & Baptistella (1986), dentre outros pesquisadores, é a aplicação de água residuária ao solo, especialmente em propriedades que dispõem de maiores áreas. Destacam que, se a técnica for empregada de maneira adequada, evita-se a poluição de mananciais de água e, ao mesmo tempo, melhora-se a fertilidade do solo. No entanto, Clanton & Slack (1987) salientam que aplicações excessivas podem causar selamento superficial e dispersão de partículas do solo, contaminação de águas superficiais e subterrâneas e salinização do solo, especialmente em regiões de clima mais seco (Ayers & Westcot, 1991; Pescod, 1992). Pode ocorrer, também, acúmulo de metais pesados e de nitrato nas partes comestíveis de algumas culturas que venham a ser cultivadas nessas áreas, além da possibilidade de sua contaminação por patógenos (Matos & Sediyaama, 1995).

Segundo Matos et al. (2004) e Pereira (2006), a irrigação efetuada com águas de reuso com elevada concentração de sólidos pode provocar alteração na capacidade de infiltração do solo, ocasionada por entupimento de poros e pela formação de crosta em sua superfície. A formação de crostas superficiais pode provocar, ainda, problemas de germinação e de emergência de plântulas.

Scaloppi & Baptistella (1986) citam que o fósforo aplicado ao solo pode seguir quatro caminhos: fixação no solo, absorção pelas plantas, percolação através do perfil do solo e precipitação.

De acordo com Khallel et al. (1979), o fósforo adsorvido pelas partículas do solo pode ser transportado com a carga de sedimentos quando ocorre chuva ou irrigação excessiva sobre áreas que recebem a aplicação de dejetos. Além disso, as próprias partículas de esterco podem ser transportadas durante eventos de escoamento superficial.

Oliveira (1993) chama a atenção para o fato de que os acúmulos de fósforo e potássio em várias décadas de aplicação de dejetos podem causar um desequilíbrio de nutrientes, afetando, principalmente, a disponibilidade

de zinco e de magnésio para as plantas. Alerta, ainda, que a aplicação de dejetos de suínos não resulta em aumento do teor de substâncias húmicas do solo, pois elas são originadas somente de material de difícil decomposição, geralmente com alto teor de lignina. Em outras palavras, somente materiais com altas relações carbono/nitrogênio (C/N) promovem maior efeito agregante, pois há uma decomposição mais lenta, formando, desse modo, maior quantidade de compostos intermediários.

Segundo Matos et al. (1998), a lixiviação de nitrato está mais relacionada a aspectos da relação solo-água-planta que ocorrem no ambiente de deposição do dejetos. Ou seja, pode ocorrer, por exemplo, lixiviação de nitrato em um solo que receba cargas relativamente pequenas de dejetos, caso a assimilação desse íon pelas culturas e a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo sejam baixas e ou que receba irrigação ou chuva que excedam a sua capacidade de retenção de água.

A lixiviação de nitratos causa grande preocupação em regiões que utilizam águas subterrâneas como fonte de água potável (Kanwar et al., 1985). Essa preocupação é inteiramente justificável, pois, de acordo com Matos & Sediya (1995), foi constatado que as águas subterrâneas de solos tratados, durante muitos anos, com altas taxas de águas residuárias da suinocultura, tiveram aumentados seus teores de nitrato em cerca de dez vezes.

O efeito da aplicação de dejetos sobre o pH de determinado solo depende, basicamente, das propriedades desse meio. No caso da região Oeste de Santa Catarina, grande criadora de suínos, Scherer et al. (1995) relataram que os solos apresentam-se altamente tamponados e a variação de pH em solos que recebem dejetos é muito pequena. Relataram, ainda, que os efeitos são identicamente mínimos sobre a variação do teor de matéria orgânica, creditando esse fato aos baixos teores de matéria seca dos dejetos aplicados, bem como à rápida mineralização dos compostos orgânicos.

Levando em consideração aspectos do solo, dentre outros, e após várias considerações comparativas sobre os métodos de irrigação e a

aplicação dos dejetos de suinocultura na agricultura, Calheiros (2006) considerou o uso da irrigação localizada como mais conveniente, tendo em vista algumas vantagens, tais como: (a) pode-se controlar, mais facilmente, o equilíbrio dos nutrientes do dejetos, por meio da adição de fertilizantes minerais, em complementação, utilizando-se injetor de fertilizante e (b) as aplicações podem ser parceladas, freqüentes e em pequenas quantidades.

2.2 Cultivo protegido e demanda de água

A cobertura plástica de uma estufa e o manejo das suas aberturas interferem no crescimento e no desenvolvimento das plantas e no ambiente, alterando as relações entre essas variáveis no seu interior. Com isso, as variáveis normalmente utilizadas para o manejo das plantas cultivadas no ambiente externo devem ser ajustadas para as condições de um ambiente parcialmente modificado. A modificação da atmosfera no interior da estufa, por exemplo, inviabiliza calcular o uso de água pelas plantas a partir de coeficientes de cultura determinados para condições de campo aberto (Dalmago et al., 1997).

O coeficiente de cultivo (k_c) pode variar em função de fatores, como tipo de planta, época de semeadura, densidade de plantio, local de cultivo, condições climatológicas, crescimento, estágio de desenvolvimento das plantas e condições de preparo do solo e cultivo (semeadura direta na palha ou não, com ou sem controle de plantas invasoras), bem como pode integrar o efeito de todos eles (Dalmago et al., 1997). Por isso, o k_c de uma cultura conduzida na condição de um ambiente parcialmente modificado precisa ser determinado, uma vez que sua aplicação se restringe às culturas e às condições para as quais ele foi determinado (Faria et al., 1998 e Caron & Heldwein, 2000).

Segundo Martins & Gonzáles (1995), os principais fatores da demanda evapotranspirativa são a incidência de radiação solar e a ação dos ventos. Entretanto, a temperatura elevada e a baixa umidade relativa, em alguns

momentos, contribuem para o aumento da evapotranspiração no ambiente protegido.

A evapotranspiração pode ser obtida por meio de diferentes métodos, por medidas diretas ou de forma indireta, a partir de fórmulas teóricas baseadas na utilização de dados de solo, dados meteorológicos ou dados de plantas. Um método bastante utilizado pelos agricultores irrigantes é o tanque Classe A, pela sua facilidade de operação, baixo preço e relativa precisão (Rezende et al., 2004). Porém, devido às suas dimensões, consideradas grandes para instalação em pequenas estufas, alguns pesquisadores têm utilizado um minitanque, com dimensões de 0,60 m de diâmetro e 0,25 m de altura, com bons resultados (Farias et al., 1994; Furlan et al., 1998; Alves et al., 1999 e Rezende et al., 2004).

Farias et al. (1994), estudando a evapotranspiração no interior de estufas plásticas, compararam as observações do tanque reduzido (minitanque) com as do tanque Classe A e observaram uma correlação elevada ($r^2 = 0,79$ a $0,81$), indicando a possibilidade do uso do tanque reduzido nesse ambiente para se estimar a evapotranspiração, em vez do tanque Classe A.

Fernandes et al. (2001), estudando o requerimento de água da cultura do melão no interior de estufas plásticas, verificaram a viabilidade do minitanque para a estimativa da evapotranspiração.

2.3 Produção de feijão-vagem

O feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) é a décima terceira hortaliça, em termos de importância econômica e a sexta, em volume produzido no país. É a principal leguminosa hortícola e tem importância mundial, destacando-se na alimentação humana como excelente fonte de fibra e proteínas (Prela & Arruda Ribeiro, 2002)

Essa cultura é anual, autógama e pertence à família Fabaceae (leguminosas), tendo a domesticação dessa espécie ocorrido há mais de 7.000 anos. Suas vagens são tenras e utilizadas na alimentação humana

cozidas (3% de proteínas) ou em forma industrializada (congelada e em conserva) (Fahl, 1998). No Brasil, a cultura do feijão-vagem é praticada principalmente no sudeste, no sul e no nordeste (Filgueira, 2000).

O cultivo do feijão-vagem tem adquirido importância nos últimos anos, principalmente em ambientes protegidos, pela possibilidade de utilização desta espécie em rotação com tomate ou outras culturas tutoradas, algumas vezes até dispensando-se a adubação de plantio por causa dos nutrientes remanescentes das culturas anteriores. No entanto, existem poucos estudos sobre o comportamento e produção desta cultura, seja em campo aberto ou em ambiente protegido, dispondo-se de poucas informações sobre como responderia, em termos de produção e ecofisiologia, a uma série de fatores, dentre eles as adversidades climáticas (Queiroga et al., 2003).

Essa hortaliça se adapta bem a climas amenos ou quentes, com temperaturas variando entre 18° e 30°C, sendo prejudicada por temperaturas acima de 35°C ou sob frio intenso (Filgueira, 2000). Por outro lado, Omae et al. (2007) relatam que a fase reprodutiva é a mais sensível a altas temperaturas (acima de 27°C), podendo causar perdas substanciais na produtividade.

Dickson & Petzoldt (1987), Monterroso & Wien, (1990); Agtunong et al., (1992) e Shonnard & Gepts, (1994) relatam que o calor excessivo causa danos em qualquer estágio de desenvolvimento do feijão-vagem sendo que os maiores prejuízos ocorrem durante o estágio III, no qual temperaturas variando entre 30 e 40°C ocasionam redução na produtividade, por provocarem abortamento de flores e botões florais.

De acordo com Monterroso & Wien (1990), a planta é mais sensível na pré-fertilização, ou seja, antes da antese. As reduções na produtividade ocorrem porque as altas temperaturas podem esterilizar o grão de pólen (Weaver & Timm, 1988) e elevam a produção de etileno na planta, fatores relacionados com queda de flores e granação deficiente.

Temperaturas baixas, logo após a semeadura, podem impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e a emergência das plântulas,

resultando em baixa população e baixa produtividade. Durante o crescimento vegetativo reduzem a altura das plantas e ramos, diminuindo a produção de vagens por planta (Pereira et al., 2003). Temperaturas inferiores a 15°C e ou baixa luminosidade ocasionam a diminuição da formação de ramos laterais ou axilares, contribuindo para a redução da área foliar, bem como acentuam falhas na formação e fisiologia das estruturas reprodutivas. Os ventos, durante a floração, prejudicam a polinização ou promovem a queda de flores por desidratação (Portes, 1996 citado por Andrade, 1998).

Devem ser evitados os solos muito rasos e aqueles com baixos teores de matéria orgânica. Solos argilosos dificultam a emergência das plântulas e, devido à má drenagem, podem causar apodrecimento de sementes (Pereira et al., 2003).

Os espaçamentos mais utilizados para as cultivares de crescimento indeterminado são os de 1,0m x 0,50m e 1,0m x 0,7m. Já para as cultivares de crescimento determinado, o padrão é de 0,50m entre linhas de plantio e 0,20m entre plantas na mesma linha (Fahl et al., 1998; Filgueira, 2000 e Oliveira, F. et al., 2001). O plantio pode ser feito por semeadura direta (2,5cm de profundidade) em sulcos ou por mudas, produzidas em bandejas com substrato adequado. Nas cultivares de crescimento indeterminado encontram-se as do tipo “macarrão”, ou seja, apresentam seção transversal circular e as do tipo “manteiga”, ou seja, seção transversal elíptica (Fahl et al., 1998).

As cultivares mais apropriadas para a produção de feijão-vagem e também preferidas pelos consumidores são aquelas que possuem frutos com pouca ou nenhuma fibra e polpa espessa (Oliveira et al., 2001).

A produtividade média nacional de vagens para cultivares de feijão-vagem com hábito de crescimento indeterminado a céu aberto é de 25 Mg ha⁻¹ (Tessarioli Neto & Groppo, 1992 e Blanco et al., 1997). Produtividades semelhantes (em torno de 28 Mg ha⁻¹) também foram encontradas por Oliveira et al. (2003) e Oliveira et al. (2005), atingindo 30 Mg ha⁻¹. Oliveira

et al. (2006) obtiveram uma produtividade de 20,3 Mg ha⁻¹ com uma cultivar de crescimento indeterminado.

Por outro lado, Vieira et al. (1998), trabalhando com uma cultivar de feijão-vagem do tipo “macarrão” e outra do tipo “manteiga”, conseguiram as produtividades totais de 47,89 e 73,64 Mg ha⁻¹, respectivamente.

As cultivares de crescimento determinado têm a vantagem de não necessitarem de tutoramento e possibilitarem a mecanização da lavoura, condições que podem aumentar a rentabilidade do produtor (Pereira et al., 2003). Outra vantagem é a possibilidade de se efetuar uma única colheita com o arranquio das plantas no campo e a posterior separação das vagens (Peixoto et al., 1997; Filgueira, 2000).

No que diz respeito ao número de vagens por planta, Oliveira et al. (2005) obtiveram 22 unidades por planta como valor máximo numa aplicação de 267 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Oliveira et al. (2001) e Pereira et al. (2003) conseguiram, em seus estudos com feijão-vagem de crescimento determinado, um número médio de vagens em torno de 30 e 20, respectivamente e uma massa média de uma vagem em torno de 8 g. Peixoto et al. (2002), trabalhando com feijão-vagem de crescimento indeterminado, obtiveram, em média, 57 vagens por planta quando da aplicação de 1.200 kg ha⁻¹ do formulado 04-30-16 no plantio e uma massa média de uma vagem em torno de 10 g.

2.3.1 Necessidades nutricionais da cultura

De acordo com Filgueira (2000) e Pastorini et al. (2000), o fósforo é o nutriente ao qual a cultura de feijão-vagem mais responde quando de sua aplicação. Entretanto, pouco se conhece regionalmente a respeito das quantidades a utilizar, visando à obtenção de rendimentos satisfatórios.

Em estudos realizados no Vale do Ribeira, estado de São Paulo, sobre o efeito da adubação NPK na produção de feijão-vagem, Ishimura et al. (1983) verificaram que a influência da adubação deu-se somente para número total de vagens e não para massa média de vagens, e que a produção

foi maior (23 Mg ha⁻¹) na combinação de 354, 576 e 558 kg ha⁻¹ de N-P₂O₅-K₂O, respectivamente.

Segundo Malavolta (1990) e Filgueira (2000), o nitrogênio é o segundo nutriente mais exigido pelas hortaliças. Seu fornecimento via adubação funciona como complementação à capacidade de seu suprimento nos solos, a partir da mineralização de seus estoques de matéria orgânica, geralmente baixas em relação às necessidades das plantas.

No Brasil, há poucas informações sobre o emprego do nitrogênio no feijão-vagem (Filgueira, 2000). Recomenda-se o emprego de N em adubação de cobertura em dose média de 60 kg ha⁻¹, parcelada em duas aplicações, aos 20 e 40 dias após a semeadura.

Oliveira et al. (2003) constataram efeito significativo das doses e das formas de aplicação de nitrogênio sobre a precocidade e a produtividade do feijão-vagem e sobre o teor de fibra nas vagens. As doses de 21,3 kg ha⁻¹ e de 19,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicadas, respectivamente, na folha e no solo, proporcionaram plantas mais precoces, embora com início de floração mais tardio do que a testemunha (sem adubação).

Para o feijão-vagem, Hortec (2006) recomenda de 2,0 a 2,5 Mg ha⁻¹ (04-14-08+Micro) na adubação de plantio e 400 a 500 kg ha⁻¹ (12-06-12+Micro) na adubação de cobertura (Hortec, 2006).

No que diz respeito aos micronutrientes, Gomes et al. (1999) recomendam aplicar molibdato de amônio antes da floração, na concentração de 0,4 g do produto comercial por litro de água.

2.3.2 Necessidades hídricas da cultura

A cultura do feijão-vagem exige de 200 a 300 mm de água por ciclo em cultivo a céu aberto. É muito crítico o período entre a semeadura e a floração plena, exigindo-se de 110 a 180 mm de água (Fahl, 1998). Com relação à variação do consumo de água da cultura nos diferentes estádios fenológicos, Vargas & Obrecánne (1987) mostraram que 60% da água é consumida antes do florescimento.

Por outro lado, Deproost et al. (2004) afirmam que, embora altas freqüências de irrigação favoreçam, via de regra, um desenvolvimento vegetativo vigoroso, uma indução moderada do estresse hídrico durante o florescimento proporciona um aumento na produção de 30% a 70%.

Singh (1989) e El-Oksh et al. (2002) verificaram que maior desenvolvimento vegetativo de plantas de feijão-vagem foi observado quando as irrigações repuseram 100% da evaporação do tanque Classe A. Para as condições do estudo realizado por Singh (1989), isso representava irrigar a um potencial matricial de -12kPa; a produtividade máxima de vagens foi observada para o potencial matricial de -21 kPa. Similarmente, Millar (1984) recomenda que, para se obter um rendimento de 90% na cultura do feijão-vagem, as irrigações devem ser realizadas quando o potencial matricial atingir -24 kPa.

Segundo Marouelli et al. (1996), para o feijão-vagem, a tensão de água no solo em que se deve promover a irrigação para produtividade máxima está entre 25 e 70 kPa. O limite inferior deve ser levado em conta para evapotranspirações acima de 5 mm dia⁻¹ e períodos críticos ao déficit de umidade do solo, ou seja, durante a floração e enchimento de vagens. Essa faixa de tensão é mais indicada para os métodos de irrigação por aspersão e por superfície. Segundo os autores, para irrigação por gotejamento, melhor desempenho é verificado para tensões entre 10 e 40 kPa.

Um dado importante para a estimativa da necessidade hídrica da cultura é a profundidade efetiva do sistema radicular que, para Debouck & Hidalgo (1985), é de 0,2 m, enquanto Faria & Costa (1987) indicam entre 0,4 a 0,6m.

Segundo Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979), no aspecto relacionado ao coeficiente de cultura (kc) para o feijão-vagem, encontram-se os seguintes valores: a) no estágio I de 0,30 a 0,50; b) no estágio II de 0,65 a 0,75; c) no estágio III, de 0,95 a 1,05 e d) no estágio IV, de 0,85 a 0,90.

Para Vargas & Obrecánné (1987), no que diz respeito aos sistemas de irrigação, o gotejamento é o mais indicado no cultivo em ambientes protegidos, propiciando irrigação com menor gasto de água e maiores produtividades. Para tal, a umidade do solo deve ser mantida uniforme durante o desenvolvimento das plantas, mas deve-se evitar o acúmulo de água, para não favorecer o surgimento de doenças e minimizar as perdas de água por percolação profunda. O gotejamento possibilita dosar e fracionar a aplicação de fertilizantes da maneira desejada, com redução da lixiviação, melhor distribuição dos nutrientes no perfil do solo, possibilidade de fornecer as quantidades de nutrientes de acordo com a marcha de absorção da cultura. Permite também manter a disponibilidade de água e nutrientes próximos dos valores considerados ótimos ao longo das fases de desenvolvimento da cultura (Barbosa et al., 2006).

2.3.3 Matéria seca das vagens e das plantas

Dentro do aspecto relacionado à matéria seca das vagens e das plantas, Lopes et al. (1983), trabalhando com feijão-vagem, verificaram a ocorrência de mudanças no dreno metabólico preferencial, de um órgão para outro em razão das transformações morfológicas das plantas. Inicialmente, as folhas em crescimento são os drenos metabólicos preferenciais, porém, com o crescimento, há uma mudança do dreno preferencial para o caule, nas cultivares de crescimento indeterminado quando cultivadas a céu aberto. Com o início da formação de vagens, o dreno metabólico preferencial mudou para essa parte da planta de forma definitiva e mais acentuada.

Verificou-se que se atingiram os maiores valores para número de vagens ao redor dos 70 DAS no campo e 84 DAS em ambiente protegido.

Silva (2003), estudando duas cultivares de feijão-vagem de crescimento determinado e duas de crescimento indeterminado, observou-se que as cultivares de crescimento determinado, quando cultivadas em casa de vegetação, apresentaram maior acúmulo de massa seca nos frutos e menor nas folhas, comparado ao que se observou para as cultivares de crescimento

indeterminado. Nas demais partes da planta, a massa seca acumulada foi semelhante para todas as cultivares. Considerando que a parte comercializável são os frutos, o comportamento observado para as cultivares de crescimento determinado foi vantajoso, segundo a autora, uma vez que foram mais eficientes na utilização do material produzido nas folhas, pela fotossíntese, para o crescimento dos frutos.

Os valores máximos de acúmulo da massa seca total durante o desenvolvimento das plantas de feijão-vagem ocorreram aos 56 DAS, para todas as cultivares, exceto para uma cultivar de crescimento determinado, em condições de céu aberto e casa de vegetação e aos 70 DAS, em condições de céu aberto.

2.4 Condutividade elétrica da solução do solo

O conteúdo de sais de um solo pode ser estimado, de forma aproximada, pela condutividade elétrica de uma pasta deste solo saturada ou em suspensão mais diluída, conhecida como condutividade elétrica do estrato de saturação (CE_{ES}) (Richards, 1954).

Diversos fatores podem afetar a CE_{ES} do solo. Alguns íons conduzem a eletricidade mais lentamente do que outros. A CE_{ES} se eleva com o aumento da concentração de sais e também é afetada pela temperatura. A temperatura padrão para medição de CE_{ES} é de 25°C. Medições feitas em outras temperaturas precisam ser ajustadas para o padrão. Em alguns equipamentos disponíveis no mercado, esse ajuste é realizado automaticamente (Santos, 2000).

Moura (1994), ao pesquisar a condutividade elétrica da água de irrigação sob diferentes doses de fertilizantes utilizados na fertirrigação, concluiu que, para cada um grama de sulfato de amônio, nitrato de potássio, nitrato de amônio, cloreto de potássio, sulfato de potássio e nitrato de cálcio adicionados em um litro de água, a condutividade elétrica aumentava gradativamente.

Segundo Ayers & Westcot (1985), a produtividade potencial máxima do feijoeiro ocorre quando a cultura é submetida a uma irrigação com a água apresentando, no máximo, $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ de condutividade elétrica e $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ do estrato de saturação do solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

As instalações experimentais, constituídas pelo sistema de tratamento de efluente e casa de vegetação, se situaram no setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia (DZO), localizado no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, MG, nas coordenadas geográficas 21°13'55" de latitude Sul e 44°58'12" de longitude Oeste e 885 m de altitude. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa, temperado com verões quentes e úmidos e invernos secos e frios.

3.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), no esquema fatorial 2 x 2 x 4 (duas cultivares, duas fontes de nutrientes e quatro épocas de colheita) com parcela subdividida no tempo, estando a cultivar e fonte de adubação na parcela e a época de colheita na subparcela. Foram dezesseis tratamentos e quatro repetições (fileiras de plantas), 64 parcelas no total.

Foram utilizadas dez plantas por fileira, tendo as oito plantas centrais sido consideradas úteis.

Os tratamentos foram: Am = cultivar Atibaia com adubação mineral; Ao = cultivar Atibaia com adubação orgânica; Bm= cultivar Brasília com adubação mineral; Bo = cultivar Brasília com adubação orgânica, todos com colheitas realizadas aos 65, 74, 86 e 100 dias após semeadura (DAS).

Na Figura 3, o contorno em preto representa os limites da casa de vegetação, que apresentava doze metros de comprimento e dez metros de largura; os contornos em vermelho representam o limite de cada uma das quatro áreas cultivadas; os círculos verdes representam cada planta; o círculo preto é o minitanque; a linha tracejada representa a entrada da casa de vegetação e as linhas azuis, as tubulações de PVC que levavam água (potável ou residuária) até as linhas de tubos gotejadores.

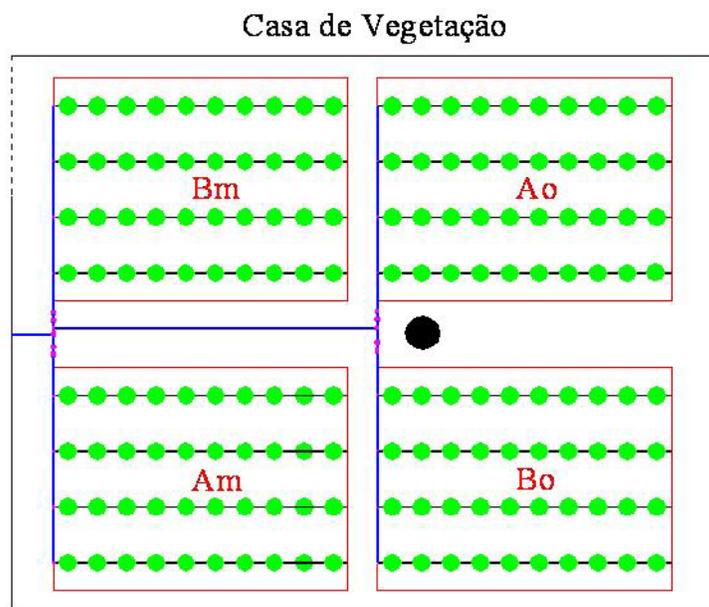


FIGURA 3 “Layout” da casa de vegetação com indicativo das unidades experimentais e componentes do sistema de irrigação.

3.3 Caracterização do plantel de animais

Segundo informações do Setor de Suinocultura da UFLA, atualmente conta-se com animais híbridos, sendo setenta animais que foram adquiridos via parceria genética, tendo-se sessenta matrizes, dez reprodutores, sessenta leitões e mais ou menos duzentos animais na fase de terminação. Durante o ano, ocorre uma flutuação maior desse último número (terminação). No total, havia entre trezentos e quatrocentos animais contribuindo com a geração de dejetos diariamente.

No que diz respeito à sanidade dos animais, gradualmente está se substituindo os antibióticos (Colistina, Tilosina) por probióticos.

Os probióticos são compostos por bactérias e leveduras benéficos, incorporados por meio da dieta e que podem manter o equilíbrio da flora

intestinal dos suínos, prevenindo doenças do trato digestivo, melhorando a digestibilidade das rações e ocasionando melhor desempenho zootécnico dos animais. Já o uso de antibióticos está sendo preterido pelo risco da presença de bactérias resistentes, para a saúde humana e animal e por prejudicar o processo biológico de tratamento dos dejetos (Huaynate et al., 2006).

Os animais eram alimentados com ração produzida pelo próprio setor de suinocultura da UFLA (fábrica de ração). A diluição dos dejetos oscilava bastante e as maiores vazões eram observadas no início das manhãs.

3.4 Caracterização da área experimental

3.4.1 Características físicas do solo

Foram coletadas amostras de solo em duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm) para a realização de análise textural (Tabela 4) e a determinação da curva de retenção de água no solo. As camadas do solo foram classificadas como argilosa (0-20 cm) e muito argilosa (20-40 cm). Na determinação da curva de retenção foi usada a técnica da mesa de tensão, para as três primeiras tensões (5, 8 e 9,8 kPa) e a técnica do extrator de Richards para as tensões mais elevadas (Urach, 2007). Os dados referentes à curva de retenção são apresentados na Tabela 5.

Para a tensão de 1.470 kPa equivalente ao ponto de murcha permanente, encontrou-se o valor de 26,73% e, para a capacidade de campo, 42,21% (ambos os percentuais representando a umidade do solo com base em volume na profundidade de 0-20cm).

TABELA 4 Análise textural do solo da casa de vegetação.

PARTÍCULA	0-20 cm	20-40 cm
Areia	58 (dag kg ⁻¹)	32 (dag kg ⁻¹)
Silte	1 (dag kg ⁻¹)	3 (dag kg ⁻¹)
Argila	41 (dag kg ⁻¹)	65 (dag kg ⁻¹)
Classe textural	Argilosa	Muito argilosa

TABELA 5 Valores de umidade gravimétrica obtidos para a determinação da curva de retenção de água no solo (0-20 cm)

Tensão	$\theta\%$ (0- 20cm)
5,8 kPa	42,80
9,8 kPa	42,21
32,3 kPa	35,259
98,0 kPa	31,605
490 kPa	27,237
1.470 kPa	26,733

3.4.2 Características químicas do solo

Foram coletadas amostras de solo para a realização de análise de fertilidade em diferentes momentos, quais sejam: a) seis dias antes do início do experimento (Tabela 6) e b) quatorze dias após o encerramento do experimento.

TABELA 6 Resultados analíticos- Fertilidade do solo na profundidade de 0-40cm (6 dias antes do transplântio do feijão-vagem-08/02/2007*)

Ponto	Descrição						pH		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
							H ₂ O	-	mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			
I	Amostra composta de 0-40 cm de profundidade						6,5	-	13,2	125	33,1	6,6	0,8	0,0	1,1
Ref.	SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S	
		cmolc dm ⁻³			%		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹			mg dm ⁻³				
I	7,9	7,9	9,0	87,7	0	1,83	2,4	8,8	-	-	-	-	-	-	

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator. KCl - 1 mol L⁻¹

H + Al - Extrator: SMP

B - extrator água quente

S - extrator - fosfato monocálcico em ácido acético

SB = soma de bases trocáveis

* Até então o solo havia sido cultivado com pimentão

CTC (t) - capacidade de troca catiônica efetiva

CTC (T) - capacidade de troca catiônica a pH 7,0

V = índice de saturação de bases

m = índice de saturação de alumínio

ISNa - índice de saturação de sódio

Mat. Org. (MO) - oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem = fósforo remanescente

Em função das análises de solo, constatou-se não ser necessária a calagem. Seguindo-se a recomendação de Gomes et al. (1999), foi realizada adubação de plantio com NPK (nitrogênio-fósforo-potássio) para todos os tratamentos e adubações de cobertura para os tratamentos que utilizaram a fonte mineral de nutrientes.

Após a retirada das plantas (final do experimento), foram efetuadas amostragens do solo (0-20 cm de profundidade) da casa de vegetação nas proximidades onde estava a cultura, a fim de se ter uma noção das suas condições de fertilidade e salinidade. Essa amostragem (composta) foi realizada da seguinte maneira: em cada linha de irrigação foram coletados em torno de 200 g de solo, na profundidade de 0-20 cm; as amostras referentes aos locais onde se cultivou sob condições de adubação química foram misturadas para se obter homogeneidade. A partir desse total, coletou-se uma porção de 200 g de solo que foi conduzido ao laboratório para se obter a condutividade elétrica do extrato de saturação e fertilidade que foi adaptado de Pizarro (1996).

O mesmo foi feito nos locais onde se cultivou o feijão-vagem utilizando-se exclusivamente a adubação orgânica (dejetos de suinocultura).

O procedimento utilizado para se avaliar a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{ES}) de um solo consistiu em usar uma amostra do solo, acrescentando água destilada até à saturação e extrair a água da pasta, mediante sucção, por meio de um filtro que não deixasse passar partículas do solo. A solução obtida denomina-se extrato de saturação, que é uma mistura entre a solução inicial do solo e a água destilada. Mediu-se a CE_{ES} do extrato de saturação e o valor resultante se considera como um índice de salinidade do solo (Pizarro, 1996).

3.4.3 Instalação experimental

A concepção das unidades de tratamento utilizadas neste trabalho é proveniente de vários estudos em escala laboratorial realizados no Departamento de Engenharia da UFLA (Carmo et al., 2004; Campos et al., 2005a; Campos et al., 2005b; Campos et al., 2006 e Lourenço, 2006).

Neste trabalho, usou-se, como critério para a seqüência de apresentação das unidades de tratamento, o caminho percorrido pelo efluente até chegar ao sistema de irrigação.

3.4.3.1 Sistema de tratamento de efluente

Os dejetos provenientes da pocilga localizada no Setor de Suinocultura da UFLA chegavam por gravidade até a caixa de areia, por meio de tubulações de 200 mm de diâmetro. Nesse percurso existiam seis poços de visita para quaisquer reparos ou vistorias necessários. Ressalta-se que nem todo dejetos seguia para o peneiramento; parte dele era descartada para uma lagoa de infiltração.

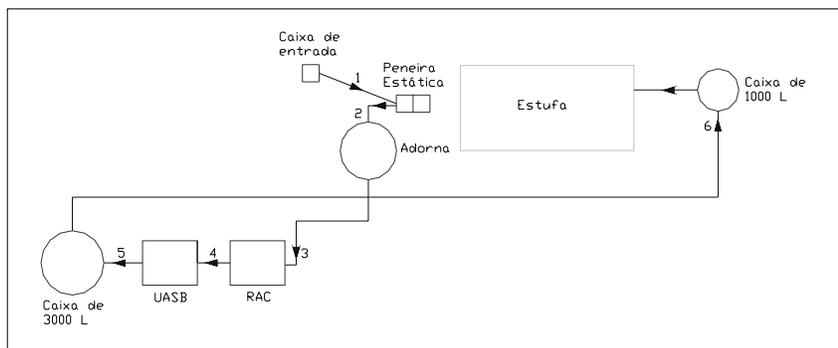


FIGURA 4 Layout do sistema de tratamento de efluentes, sendo a caixa de 3.000 litros usada como caixa de acumulação do efluente do reator tipo UASB

Na Figura 4, o número [1] representa a tubulação de PVC de condução o efluente até o peneiramento; [2] tubulação de abastecimento da

adorna; [3] bombeamento do efluente peneirado até o RAC; [4] saída do efluente do RAC para o UASB; [5] saída do efluente do UASB para o reservatório de 3.000 litros; [6] tubulação de recalque do efluente da caixa de 3.000 litros para o reservatório de 1.000 litros, próximo ao cabeçal de controle.

3.4.3.1.1 Caixa de areia e medidor de vazão Thompson

Para tratamento preliminar do efluente, foi utilizada uma caixa de areia (desarenador), com a finalidade de reter materiais abrasivos. Nessa unidade foi instalado um vertedor triangular de Thompson, construído em ardósia, para medição de vazão, cuja abertura triangular possui 19,5 cm de base por 9,5 cm de altura (Figura 5).

As medidas da caixa de areia são as seguintes: comprimento de 2,20 m, largura de 0,53 m e a calha de Tompson estava a 1,68 m do início da caixa de areia. A distância da caixa de areia até a pocilga era de, aproximadamente, 115 m.



FIGURA 5 Caixa de areia (desarenador) com medidor de vazão de Thompson de ardósia.

3.4.3.1.2 Separação de fases (peneiramento)

Na seqüência, os dejetos eram conduzidos a uma peneira estática, mostrada na Figura 6, cuja malha foi confeccionada em aço inox, com espessura de 0,4 mm na parte superior e de 0,5 mm na parte inferior. As hastes de aço componentes da malha possuíam formato trapezoidal, com altura de 2,5 mm, 1,5 mm (base maior) e 0,7 mm (base menor). Essas hastes foram soldadas em uma barra de inox com diâmetro de 3,8 x 17 mm, espaçadas a cada 3 cm. O comprimento linear da peneira estática é de 1.180 mm. A caixa suporte da peneira foi construída em PVC, com chapa de 8 mm e a alimentação se dava pela parte superior, onde existia um pequeno reservatório, com profundidade de 240 mm, por onde o esgoto afluente era lançado e transbordava por cima da malha de aço em perfil curvo, quando se dava a separação da parte líquida da parte sólida. A parte líquida era conduzida, pelos orifícios da peneira, para dentro da caixa de PVC, cuja estrutura suportava a malha da peneira e, pela parte inferior desta caixa, o líquido era conduzido para a dorna e bombeado para o sistema de tratamento. O percentual de sólidos retidos na superfície da peneira de inox escorria gravitacionalmente para as partes inferiores desta e, após acúmulo, se precipitava no leito de drenagem, construído com pedra de mão, brita 1, brita 0, areia e tijolos, por onde a parte líquida, ainda presente nos sólidos precipitados, sofria percolação (Figura 7).

A eficiência da peneira estática foi avaliada com base na remoção de sólidos totais, representados em porcentagem. Ressalta-se que as amostragens para essas determinações analíticas ocorreram durante todo o período de funcionamento do sistema de tratamento.



FIGURA 6 Peneira estática para a remoção de sólidos dos dejetos



FIGURA 7 Vista lateral do leito de drenagem onde caíam os resíduos sólidos dos dejetos, após peneiramento.

3.4.3.1.3 Sistema de bombeamento

O resíduo líquido que infiltrou no leito de drenagem foi conduzido a uma caixa de recepção construída de tijolos cimentados e argamassados e, posteriormente, recalado para a dorna de 8.500 litros por uma bomba marca Anauger, com potência de 372,9 w , $Q_{min.}=0,55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $Q_{max.}=1,97 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e $h= 637,7 \text{ kPa}$, para a acumulação do efluente líquido peneirado. Após a reunião dos efluentes em uma única dorna, com capacidade de 8.000 litros, a água residuária era recalada por meio de uma bomba Nemo, marca Netzsch, modelo NM015by01L06b, para o sistema de tratamento piloto (Figura 8). O referido bombeamento era controlado por um inversor de frequência da marca WEG-CFW08 com 12 entradas, que permitia variar a vazão com precisão, podendo-se, assim, modificar a carga aplicada ao sistema (Figura 9).

O efluente final, já tratado, era enviado a um reservatório de fibra de vidro de 3.000 litros e, posteriormente, recalado por uma motobomba com potencia de 490,3 w , $Q_{máx.}=10,4 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, $P_{máx.}= 264,9$

kPa e $P_{\min.}=117,7$ kPa para um outro reservatório de 1.000 litros, a fim de ser utilizado.



FIGURA 8 Bomba NEMO que recalrava os dejetos da dorna até o RAC com uma vazão constante de $1,6 \text{ L min}^{-1}$.



FIGURA 9 Inversor de frequência que visava melhorar a eficiência do sistema de bombeamento.

3.4.3.1.4 Reator anaeróbio compartimentado

Depois de coletado e peneirado, o efluente líquido dos dejetos de suínos era transportado até uma dorna com capacidade de ± 8.500 litros, de onde era bombeado continuamente para os reatores. O primeiro reator era do tipo anaeróbio compartimentado (RAC), com três câmaras, cujo fluxo, em cada um dos compartimentos, era ascendente. Esse reator foi construído de tijolo maciço e argamassa forte, revestido internamente com manta asfáltica. Uma segunda camada de fibra de vidro foi necessária, devido a problemas de vazamentos. O primeiro compartimento do RAC (Figuras 10 e 11) possuía volume de 2.180 litros, o segundo de 1.996 litros e o terceiro de 1.906 litros, correspondendo um volume total de 6.082 litros. As seções transversais possuíam as seguintes dimensões: 0,56 x 1,14 m; 0,69 x 1,14 m; 0,73 x 1,14 m, com áreas correspondentes a 0,638; 0,787 e 0,832 m². O RAC possuía três compartimentos que funcionavam com fluxo ascendente. As seções transversais internas dos compartimentos 1, 2 e 3 possuíam volumes úteis de 1,721; 2,12 e 2,24 m³, respectivamente. O fluxo ascendente em cada compartimento era equalizado por meio de calhas niveladas, construídas com vários vertedores triangulares, cuja finalidade era proporcionar um fluxo homogêneo em cada um dos compartimentos do RAC, a fim de se evitar zonas mortas e curto-circuito hidráulico.

Nessa unidade (RAC), procurou-se propiciar condições adequadas às primeiras etapas das reações anaeróbias, hidrolização, acidificação e as características do substrato, acelerando a metanogênese na unidade posterior.

Para acompanhamento quantitativo e qualitativo do perfil do lodo acumulado, foram colocados, em cada compartimento, quatro registros em PVC (pontos de amostragem), para as coletas das amostras de lodo.

Os reatores tipo RAC e tipo UASB são mostrados na Figura 12.

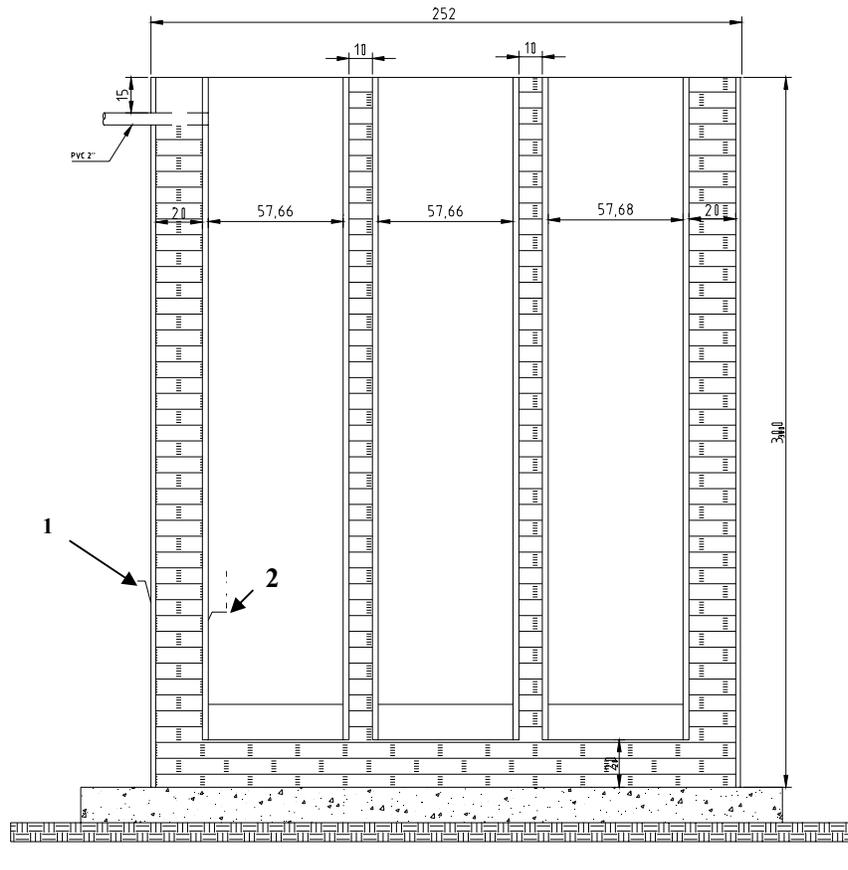


FIGURA 10 Reator anaeróbio compartimentado (corte longitudinal), sendo (1) um revestimento de 2,0 cm com argamassa nas paredes externas e (2) impermeabilização inicialmente com manta asfáltica e, num segundo momento, com fibra de vidro.

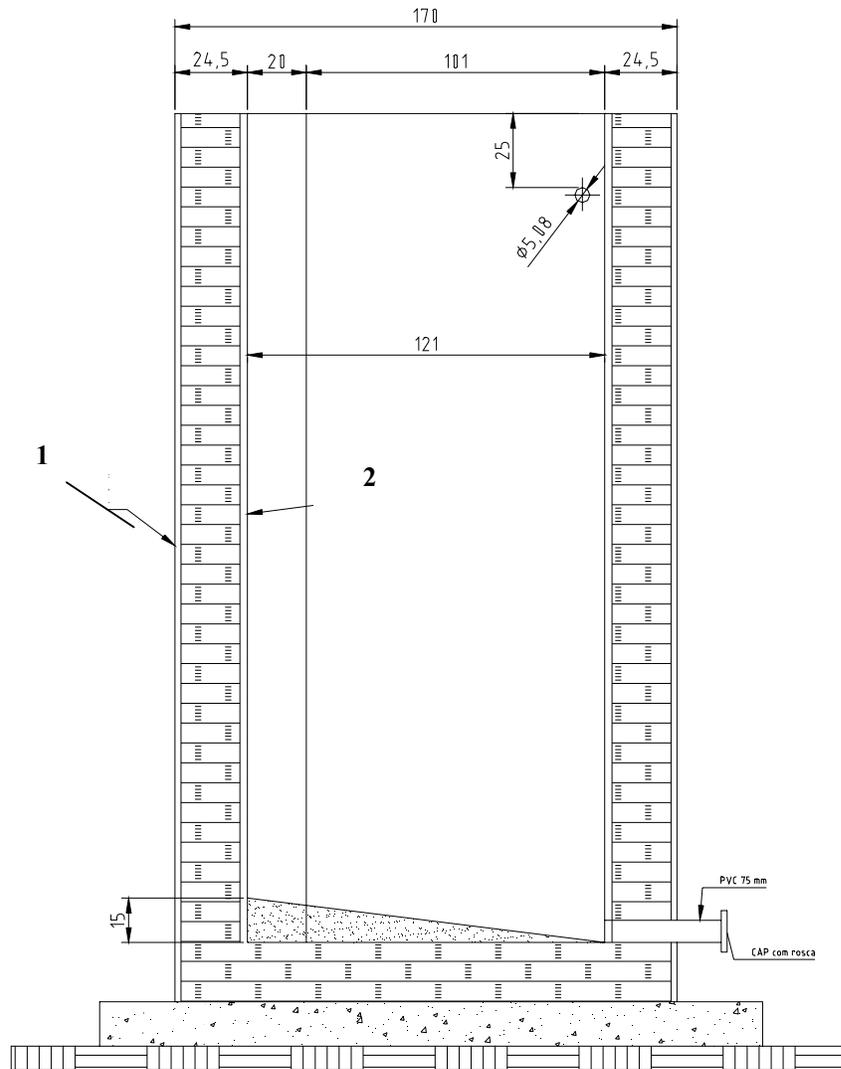


FIGURA 11 Reator anaeróbio compartimentado (corte transversal), sendo (1) um revestimento de 2,0 cm com argamassa nas paredes externas e (2) impermeabilização inicialmente com manta asfáltica e, num segundo momento, com fibra de vidro.



FIGURA 12 Reator anaeróbio compartimentado (RAC) e reator UASB

3.4.3.1.5 Reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo

O efluente do reator do tipo RAC era encaminhado para um reator do tipo anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB) com volume útil de 3.815 litros. Os desenhos do reator UASB estão mostrados nas Figuras 13 e 14. Essa unidade experimental, semelhantemente ao RAC, foi construída em alvenaria argamassada, impermeabilizada com manta asfáltica (Figura 15) e, posteriormente, revestida com fibra de vidro. Na parte superior do reator foi instalado um separador trifásico, utilizando-se meia manilha construída de concreto vibrado, com formato semicircular, por meio da qual o biogás produzido era coletado e conduzido, através de tubos PVC de 12,5 mm de diâmetro, ao equalizador de pressão. O separador trifásico exercia também a função de um defletor de sólidos. Quando da ascensão de partículas sólidas (lodo) junto com bolhas de biogás, o choque das mesmas com as paredes do separador trifásico fazia com que se separassem, obrigando, assim, os sólidos a retornar, por sedimentação, para o fundo do reator. Esse processo de retenção de sólidos era fundamental para a

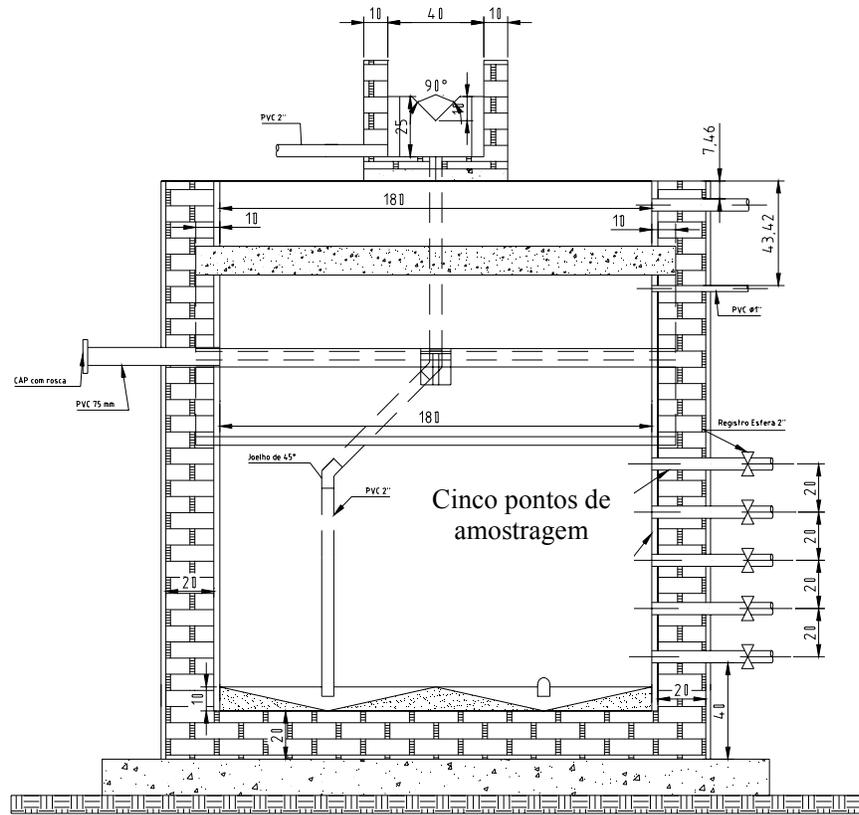


FIGURA 14 Corte longitudinal reator do tipo UASB, destacando-se os cinco pontos de amostragem para a caracterização do lodo produzido.



FIGURA 15 Detalhe da preparação para o primeiro tipo de revestimento (com manta asfáltica) com moldagem a quente no reator tipo UASB.

3.4.3.1.6 Sistema de coleta, armazenamento, medição e queima do biogás

Pelo fato de se estar trabalhando com sistemas anaeróbios e por esses possuírem como característica a produção de biogás a partir da estabilização da matéria orgânica, foi necessário utilizar um mecanismo para a manutenção da pressão do biogás no interior do separador trifásico. Para tal, foi colocada uma tubulação de 12,5 mm de diâmetro para a coleta do biogás na parte superior do separador trifásico. O decantador que fica na região acima do separador torna-se, por não sofrer turbulência excessiva, uma região propícia à decantação e, por conseguinte, a retenção de sólidos flutuantes, permitindo, assim, a viabilidade do retorno dos mesmos às partes inferiores do reator, onde se situava a manta de lodo.

A pressão do biogás no sistema de separação trifásica foi mantida por meio de um equalizador de pressão montado em contêiner plástico de 200 litros.

O biogás proveniente do equalizador de pressão era conduzido, por meio de mangueiras plásticas (diâmetro em torno de 15 mm) para os medidores de biogás, da marca Liceu & Artes, cujas vazões máximas e mínimas eram 16 e 0,016 m³ h⁻¹ e a pressão máxima de 50 kPa. Foram instalados, para queima do biogás, três bicos tipo maçarico, com sistema de centelhamento temporarizado (Figura 16).



FIGURA 16 Sistema de queimadores de gás tipo maçarico.

3.4.3.1.7 Sistema de tratamento e análises realizadas

3.4.3.1.7.1 Operação e acompanhamento do sistema de tratamento

Deve-se enfatizar que o período de operação e monitoramento da casa de vegetação iniciou-se em 14 de fevereiro (data de transplântio das mudas) e finalizou-se em 7 de maio de 2007 (última colheita). Já a operação e o monitoramento da estação de tratamento piloto da suinocultura deram-se num período de 86 dias, iniciado em 6 de março de 2007 e finalizado em 31 de maio de 2007.

Uma vez que não se utilizou inóculo, a partida do sistema foi baseada em parâmetros de sedimentabilidade. As cargas superficiais aplicadas foram bastante baixas para o RAC e UASB ($1,2121$ e $1,5346 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), respectivamente. Para se ter uma idéia, esses valores, em situações em que o sistema já se encontra estabilizado, podem chegar a $30 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Campos, 1990). Os baixos valores auxiliaram em uma maior retenção de sólidos nas unidades de tratamento. Os tempos de detenção hidráulica foram de $53,35$ e $33,46$ horas, para o RAC e UASB, respectivamente. As cargas hidráulicas aplicadas foram $0,45$ e $0,72 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{dia}^{-1}$.

Para facilitar a partida do sistema sem a colocação de inóculo e fazer com que ocorresse o máximo de retenção e acúmulo de sólidos, principalmente no reator UASB, estabeleceram-se, em função da superfície total dos reatores anaeróbios RAC e UASB, cargas superficiais inferiores a $1,5 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Carmo, 2004; Campos et al., 2005a; Campos et al., 2005b; Saleh, 2004 e Campos, 2007). As baixas cargas volumétricas e superficiais aplicadas ao sistema tiveram, ainda, como objetivo, não apenas a retenção máxima de sólidos nas unidades de tratamento, mas, ainda, de se ter uma menor quantidade de sólidos em suspensão no sistema de bombeamento, dutos, tanques de estocagem e, conseqüentemente, no filtro de areia, de disco e tela, evitando-se, assim, obstruções precoces desses e das linhas de irrigação, com subsequente colmatagem dos orifícios de gotejamento.

Apesar de apresentarem valores idênticos, a carga superficial e a velocidade ascendente apresentam diferenças conceituais e também nas unidades. A carga superficial refere-se ao volume de dejetos aplicados diariamente (no reator) por unidade de área. Já a velocidade ascendente representa a relação entre a vazão afluyente e a seção transversal do reator. Os parâmetros adotados para partida e operação podem ser vistos na Tabela 7.

TABELA 7 Parâmetros hidráulicos adotados para partida e operação dos reatores.

PARÂMETROS ADOTADOS		
Carga superficial = Q / A	UASB	RAC
Q = m ³ dia ⁻¹	2,736	2,736
A = m ²	1,78285	2,2572
Carga superficial (m ³ m ⁻² dia ⁻¹) =	1,5346	1,2121
Velocidade ascendente= Q/A	UASB	RAC
Q = m ³ dia ⁻¹	2,736	2,736
A = m ²	1,78285	2,2572
Velocidade ascendente (m dia⁻¹) =	1,5346	1,2121
Tempo de detenção hidráulica = Volume / Q	UASB	RAC
Vol. = (m ³)	3,815	6,082
Q = m ³ h ⁻¹	0,114	0,114
Tempo de detenção hidráulica (h) =	33,46	53,35
Carga hidráulica = 1 / TDH	UASB	RAC
Tempo de detenção hidráulica (dia)	1,3942	2,2229
Carga hidráulica (m ³ m ⁻³ dia ⁻¹) =	0,7172	0,4498

Fonte: Carmo et al. (2004); Campos et al. (2005a); Campos et al. (2005b); Campos et al. (2006);

A carga orgânica volumétrica (COV) é definida como sendo a quantidade de matéria orgânica (em termos de DQO ou DBO) aplicada diretamente ao reator, multiplicada pela vazão do afluente dividido pelo volume do reator (Chernicharo, 1997), conforme é representado na Equação 1:

$$COV = \frac{Q \times S}{V} \quad (1)$$

em que:

COV= carga orgânica volumétrica (kg DQO ou DBO m⁻³ dia⁻¹);

Q= vazão do afluente (m³ dia⁻¹);

S= concentração de substrato afluente (kg DQO ou DBO m⁻³);

V= volume do reator (m³)

A carga orgânica biológica (COB) é fornecida em função da quantidade de matéria orgânica (em termos de DQO, DBO) multiplicada pela vazão afluente e dividida pela massa de sólidos totais voláteis (SVT) presentes na manta de lodo das unidades (Chernicharo, 1997), conforme é demonstrado na Equação 2:

$$COB = \frac{Q \times S}{M} \quad (2)$$

em que:

CB = carga orgânica biológica (kg DQO ou DBO kg SVT dia⁻¹);

Q = vazão do afluente (m³ dia⁻¹);

S = concentração de substrato afluente (kg DQO ou DBO m⁻³);

M = massa de microrganismos presentes no reator (kg SVT m⁻³)

3.4.3.1.7.2 Amostragem dos dejetos

O processo de amostragem deu-se de forma pontual, apresentando grandes variações. Os parâmetros analisados (citados logo a seguir) obedeceram a uma rotina preestabelecida. Em cada uma das unidades de tratamento foram coletadas amostras, utilizando-se, para isso, frascos plásticos. Assim, em algumas unidades, o efluente era o afluente da unidade seguinte. Por exemplo, o efluente do RAC era o afluente do UASB.

As freqüências das análises e determinações realizadas durante o experimento e suas respectivas freqüências estão resumidas na Tabela 8.

TABELA 8 Parâmetros físico-químicos analisados e frequências de amostragem.

Parâmetro	Frequência	Metodologia
Temperatura	Diária	APHA (1998)
pH	2 vezes por semana	APHA (1998)
Alcalinidade	2 vezes por semana	APHA (1998)
Sólidos totais, fixos e voláteis	2 vezes por semana	APHA (1998)
DQO _{total}	2 vezes por semana	APHA (1998)
DBO	Semanal	APHA (1998)
P _{total}	Semanal	APHA (1998)
K	Semanal	APHA (1998)
Condutividade elétrica	Semanal	APHA (1998)
NTK	Semanal	APHA (1998)
Lodo	Mensal	APHA (1998)
Sólidos totais, fixos e voláteis	Mensal	APHA (1998)
Cálcio, sódio, magnésio	Semanal	APHA (1998)

3.4.3.1.7.3 Determinação da eficiência de remoção de DBO nas unidades do sistema de tratamento

Foram feitas determinações da eficiência na remoção de matéria orgânica, por meio da análise de DBO. Os pontos monitorados foram: a peneira estática, dorna, RAC, UASB, caixa de 3.000 litros e todo o sistema. O monitoramento por meio de análises foi semanal (para DBO), mas, tendo em vista alguns problemas com resultados analíticos, em algumas ocasiões, somente parte dos resultados obtidos pôde ser utilizada e explicitada em forma gráfica, ocorrendo períodos sem resultados analíticos de todas as unidades do sistema.

As eficiências refletiram a remoção de DBO dos dejetos de uma unidade de tratamento em relação à DBO da unidade anterior. Por exemplo, a eficiência da dorna refletiu a DBO do efluente dessa unidade menos a DBO dos dejetos da peneira estática expressa em porcentagem. A eficiência porcentual de todo o sistema foi obtida por meio dos resultados da DBO do efluente da caixa de 3.000 litros menos o afluente da caixa de entrada (após o vertedor triangular).

3.4.3.1.7.4 Metodologia de análises

As análises das águas residuárias foram realizadas no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia (LAADEG) e no Laboratório de Águas do Departamento de Solos da Universidade Federal de Lavras, seguindo a metodologia recomendada pela APHA (1998), por meio do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*.

Os valores de sólidos dissolvidos totais foram encontrados por meio da Equação 3, proposta por Richards (1954) citado por Dias et al. (2007), qual seja:

$$\text{SDT} = 640 \times \text{CE} \quad (3)$$

em que:

SDT = sólidos dissolvidos totais (mg L^{-1});

CE = condutividade elétrica (dS m^{-1}).

A razão de adsorção de sódio não corrigida (RAS) foi calculada utilizando-se os resultados analíticos de sódio, cálcio e magnésio, por meio da Equação 4 (Silva, 2007):

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{2}}} \quad (4)$$

em que:

RAS = razão de adsorção de sódio;

Na = sódio (meq. L^{-1});

Ca = cálcio (meq. L^{-1})

Mg = magnésio (meq. L^{-1})

(meq. L⁻¹= mg L⁻¹/peso atômico)

3.4.3.2 Análises da água potável

As análises da água potável utilizada para os tratamentos com adubação química também foram realizadas mensalmente no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia (LAADEG), conforme pode ser constatado na Tabela 9.

TABELA 9 Resultados analíticos da água potável (UFLA) usada, ao longo dos principais meses de condução do experimento.

Parâmetro analisado	Fev 2007	Mar 2007	Abr 2007
pH	6,80	6,87	7,13
Cor (mg Pt L ⁻¹)	5	1	1
Turbidez (N.T.U.)	n/d	0,5	1,5
Ferro total (mg L ⁻¹)	0	0	0
Manganês (mg L ⁻¹)	0	0	0
Sólidos dissolvidos totais (mg L ⁻¹)	58	23	13
Cloretos (mg L ⁻¹)	22	28	27
Detergente	0,036	0,001	0,036
Coliformes totais e fecais (NMP 100 mL ⁻¹)	0	0	0
Dureza Total (mg L ⁻¹ em CaCO ₃)	28	24	40

n/d= Não determinado

FONTE: Laboratório de Análises de Água do Departamento de Engenharia da UFLA.

Foram feitas determinações de alcalinidade, dureza total, dureza, turbidez, pH e cloro residual (este último era medido sempre que houvesse irrigação, por meio de kit de análise marca Genco®).

A depleção dos teores de cloro residual, quando foram comparadas a água potável e a água da caixa de 1.000 litros, pode ser creditada à reação do cloro com substâncias orgânicas e ou inorgânicas presentes na própria água tratada (potável), conforme relata Vianna (1976). Isso pode ser visualizado na Figura 17.

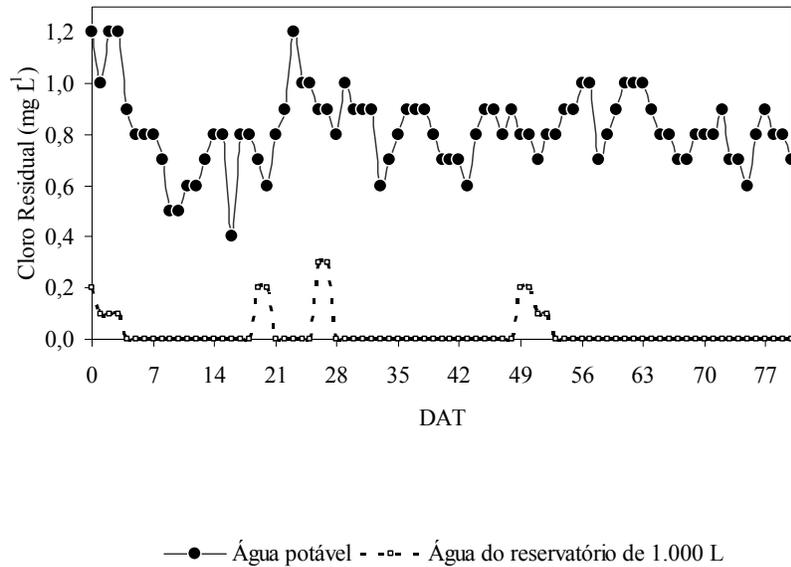


FIGURA 17 Cloro residual da água de torneira e da água do reservatório de 1.000 litros utilizada no experimento.

3.4.3.3 Produção teórica de biogás

A produção teórica de biogás foi determinada em função da carga orgânica aplicada ao reator (vazão x concentração de DQO total). Foi adotado um valor padrão para a produção específica de metano ($0,35 \text{ m}^3$ de CH_4 por kg de DQO removida, nas condições normais de temperatura e pressão-CNTP), citado por Chernicharo (1997).

A correção do volume de biogás para as condições de temperatura e pressão locais foi efetuada por meio das equações 6 e 7 (Chernicharo, 1997) e 5 (Campos, 2005b), as quais são explicitadas a seguir:

$$V_{\text{CH}_4} = \text{DQO}_{\text{CH}_4} / K(t) \quad (5)$$

em que:

V_{CH_4} = volume de metano produzido (L);

DQO_{CH_4} = DQO removida no reator e convertida em CH_4 (g DQO);

$K(t)$ = fator de correção da temperatura operacional do reator (gDQO L^{-1}).

$$K(t) = P \times K / R \cdot t \quad (6)$$

em que:

P = pressão atmosférica local (kPa);

K = DQO correspondente a um mol de CH_4 (64g de DQO mol^{-1})

R = constante dos gases (8064,4086 kPa $m^3 mol^{-1} ^\circ K^{-1}$)

t = temperatura operacional do reator ($^\circ K$)

$$P = P_0 \times e^{-M \cdot g \cdot z / RT} \quad (7)$$

em que:

P = pressão corrigida (kPa);

P_0 = pressão atmosférica ao nível do mar (98,1 kPa);

M = massa molar média do ar (0,029kg mol^{-1});

g = constante gravitacional (9,806m s^{-2});

z = altitude local (m);

R = constante dos gases (8064,4086 kPa $m^3 mol^{-1} ^\circ K^{-1}$)

T = temperatura ($^\circ K$)

Tendo em vista que a altitude do local onde se realizou o experimento era de 885 metros e que a temperatura média ambiente ao longo do experimento foi de 21,2 $^\circ C$ e substituindo-se esses valores na Equação 7, encontra-se 91,4 kPa. De posse desse valor e, ainda, com o da temperatura média operacional do reator, encontra-se, empregando-se a Equação 6, o valor do parâmetro de correção da temperatura local $K(t)$. De posse desses valores e considerando o coeficiente de crescimento bacteriano (“ Y ”) para reatores UASB operando com água residuária de suinocultura, determinado por Saleh (2004), igual a 0,338 mg DQO mg SVT $^{-1}$ dia $^{-1}$ e, ainda, a remoção média de DQO ao longo do experimento, pode-se determinar, por meio da

Equação 8 (Silva, 2007), a parcela de DQO removida utilizada para o crescimento bacteriano.

$$DQO_{\text{biom}} = DQO_{\text{rem}} - DQO_{\text{CH}_4} \quad (8)$$

em que:

DQO_{biom} = DQO utilizada para o crescimento bacteriano (g DQO);

DQO_{rem} = DQO removida no processo (g DQO);

DQO_{CH_4} = DQO removida e transformada em metano (g DQO)

3.4.3.4 Casa de vegetação

Foi construída uma casa de vegetação geminada modelo arco (Figuras 18A e 18B), com pilares de madeira de 0,15x 0,15m, espaço interno de 120 m² (12 m x 10 m), de pé direito de 3 m, arcos em aço galvanizado e fechamento nas laterais com tela de sombreamento de 50%, cobertura em filme polietileno (PEBD) de 150 µm e arame galvanizado no nível do solo com saia plástica. A casa de vegetação se encontrava disposta na posição nordeste-sudoeste.



FIGURA 18A Vista frontal da casa de vegetação utilizada para o experimento com feijão-vagem.



FIGURA 18B Vista panorâmica da casa de vegetação utilizada para o experimento com feijão-vagem.

Para o monitoramento da temperatura e da umidade relativa no interior da casa de vegetação, foi utilizado um termo-higrômetro, instalado no centro do ambiente, a mais ou menos 1,5 m de altura do chão, sob um abrigo. Esse aparelho apresenta a escala para temperatura de -10°C a 60°C e, para umidade, de 10% a 99%. O erro máximo para temperatura é de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ e, para umidade relativa, de $\pm 5\%$.

As leituras foram realizadas diariamente, por volta das oito horas da manhã. Após cada leitura realizada, o aparelho era zerado.

3.4.3.5 Irrigação das unidades experimentais

3.4.3.5.1 Sistema de irrigação

A irrigação de todas as unidades experimentais foi realizada por gotejamento. Foi utilizado tubo gotejador autocompensante com vazão nominal de $1,6\text{ L h}^{-1}$, com uma faixa de pressão de trabalho variando de 39,24 kPa a 245,25 kPa. A pressão de serviço adotada no experimento foi de 245,25 kPa. O espaçamento entre emissores foi de 0,50 m. A filtração

mínima recomendada, segundo o fabricante, é de 120 mesh, em função da qualidade da água utilizada (NETAFIM, 2007).

Por meio de teste, foram obtidos o coeficiente de variação de fabricação (CVF) (Keller & Karmeli, 1974; Solomon, 1979 e ASAE, 1994), no início dos trabalhos, e teste de uniformidade de emissão empírico (U.E.) no final do experimento, conforme metodologia proposta por Merrian & Keller (1978) (Equações 9 e 10). Associadas ao coeficiente de uniformidade de emissão, foram determinadas também as vazões relativas dos tubos gotejadores ao final do experimento, para se detectar prováveis problemas de entupimento (Costa, 2000).

$$CVF = \frac{S}{q_m} \quad (9)$$

em que:

CVF = coeficiente de variação de fabricação;

q_m = média da vazão dos emissores, à pressão de referência;

S = desvio padrão da vazão de uma amostra adequada de gotejadores novos testados na pressão de serviço normal

$$U.E. = 100 \times \left[1 - 1,27(CVF)n^{-0,5} \right] \times \left(\frac{q_n}{q_m} \right) \quad (10)$$

em que:

U.E. = uniformidade de emissão (%)

CVF = coeficiente de variação de fabricação;

n = número de emissores por planta (mínimo de 1);

q_n = mínima vazão;

q_m = vazão média

Para os tratamentos com adubação mineral, foi utilizada água potável proveniente da estação de tratamento de água da UFLA e armazenada em uma caixa d'água de 1.000 litros. Uma tubulação de 25mm levou a água até dois tratamentos, identificados na Figura 4 como Bm e Am, sendo os mesmos sorteados aleatoriamente no interior da casa de vegetação.

Para os tratamentos com água residuária (suinocultura), identificados como Bo e Ao, utilizou-se uma caixa d'água de 1.000 litros, para o armazenamento do afluente que vinha do reservatório de 3.000 litros localizado próximo ao reator do tipo UASB (esse afluente era recalcado por um conjunto motobomba com potência de 245 w). O efluente da caixa de 1.000 litros era bombeado por um conjunto motobomba com a potência de 735,5 w para os tubos gotejadores utilizados na irrigação dos referidos tratamentos, sem que houvesse a mistura desse tipo de efluente com água potável. O mesmo conjunto motobomba era utilizado para água potável sendo as irrigações feitas em momentos distintos. O controle do nível de água residuária na caixa de 1.000 litros era realizado automaticamente por meio de bóias elétricas com sensores de nível. Ou seja, quando o nível de água do reservatório abaixava, as bóias também o faziam, acionando o conjunto motobomba localizado próximo ao reservatório de 3.000 litros que continha o efluente do UASB. O controle do nível de água potável no outro reservatório de 1.000 litros era feito com bóias comuns (tipo caseiras). Os dois conjuntos motobomba podem ser observados nas Figuras 19 e 20, respectivamente.



FIGURA 19 Conjunto motobomba para o recalque do efluente da caixa de 3.000 litros até o reservatório de 1.000 litros no cabeçal de controle



FIGURA 20 Cabeçal de controle, destacando-se os reservatório de água potável e água residuária, conjunto motobomba centrífuga utilizado para irrigação e o filtro de areia.

A água residuária passava por um filtro de areia e, posteriormente, por um filtro de disco e um filtro de tela, ambos de 120 mesh.

Na seqüência, existiam dezesseis linhas de tubos gotejadores, sendo oito linhas para a aplicação de água potável e oito linhas para a aplicação de água residuária de suinocultura.

3.4.3.5.2 Desempenho do sistema de irrigação

No que diz respeito ao desempenho do sistema de irrigação, foram determinadas a vazão inicial, vazão final, vazão relativa e a uniformidade de emissão (UE) dos tubos gotejadores (Figura 21). Aplicou-se para UE a metodologia proposta por Merriam & Keller (1978), ou seja, a Equação 10. Essas determinações poderiam, dentre outras coisas, detectar problemas de entupimento, causados, possivelmente, por mucilagens bacterianas formadas no interior dos tubos gotejadores e ou dos emissores (Nakayama & Bucks, 1986). A vazão relativa representa a relação entre a vazão inicial do emissor e sua vazão final, submetido, em ambas as situações, à mesma pressão de trabalho, nesse caso específico, de 245,25 kPa.



FIGURA 21 Detalhe da realização do teste final de uniformidade de emissão de água após a retirada das plantas.

3.4.3.5.3 Manejo da irrigação

O manejo de irrigação foi realizado com base na evaporação de um minitanque (Figura 22) com diâmetro de 0,60 m e 0,254 m de profundidade, instalado sobre um estrado de madeira de 0,15m de altura, nivelado longitudinal e transversalmente, colocado no centro da casa de vegetação. O nível de água no interior do tanque foi mantido dentro da faixa de 0,174 a 0,204m de profundidade (Medeiros et al., 1997; Furlan et al., 1998; Fernandes et al., 2001). As leituras no minitanque eram realizadas diariamente, no período da manhã.



FIGURA 22 Minitanque instalado no centro da casa de vegetação.

Em função de tratos culturais exigidos pelo feijão-vagem e para se ter um maior tempo para melhor monitorar e inspecionar as unidades de tratamento de dejetos, optou-se por adotar um turno de rega fixo (Bernardo, 1996; Pizarro, 1996) que, no caso, foi de dois dias, repondo-se as lâminas acumuladas evaporadas pelo minitanque no período citado. Para a estimativa da evapotranspiração da cultura, empregou-se a metodologia descrita por Pizarro (1996), ou seja:

$$ETc = EV \cdot kt \cdot kc \cdot kl \quad (11)$$

em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia^{-1});

EV = evaporação do minitanque (mm dia^{-1});

Kt = coeficiente do minitanque (adimensional): Adotou-se um valor igual a 0,85, uma vez que ele representa uma condição de alta umidade, velocidade do vento leve e tanque circundado por solo nu (Doorenbos & Pruitt, 1977).

kc = coeficiente de cultivo (adimensional): os valores de kc utilizados foram aqueles propostos por Marouelli et al. (1996), ou seja:

- estágio I - da emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo (0,30 a 0,50);
- estágio II - do final do estágio I até 70% a 80% do desenvolvimento vegetativo (início do florescimento: 0,65 a 0,75);
- estágio III - desde o final do estágio II até o início da maturação (0,95 a 1,05);
- estágio IV - desde o final do estágio III até a colheita (0,85 a 0,90).

Nesta tese, os coeficientes de cultivo adotados foram os limites inferiores dos quatro estádios citados anteriormente, ou seja: a) estágio I: 0,30; estágio II: 0,65; estágio III: 0,95 e estágio IV: 0,85. Adotaram-se esses valores tendo em vista que o cultivo se encontrava sob alta umidade e vento fraco, conforme sugerem Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassam (1979).

kl = coeficiente de localização (adimensional): computado segundo Pizarro (1996), pela seguinte relação:

$kl = A + 0,15(1-A)$, em que:

A = fração de área sombreada pelas plantas (m^2) (Pizarro, 1996).

A porcentagem de área sombreada foi calculada dividindo-se a área de projeção da copa da planta ao meio-dia (em metros quadrados) pela área de abrangência da planta, neste caso, $1,0 \times 0,5\text{m} = 0,5 \text{ m}^2$. Salienta-se que o

valor de A normalmente utilizado representa a fração de área sombreada pelas plantas ou molhada pela irrigação, adotando-se o maior valor. Nesse experimento especificamente, em todo o período de cultivo do feijão-vagem, preferiu-se utilizar a fração da área sombreada pelas plantas para representar o valor de A.

No início do manejo da irrigação, quando as plantas ainda estavam pequenas, o valor de A foi menor (0,14 m²), aumentando à medida que as plantas iam crescendo. O valor de A no estágio IV foi de 0,76m².

Para o cálculo do tempo de irrigação, utilizaram-se as Equações 12 e 13:

$$T = \frac{A_p \cdot LL}{n \cdot q_m \cdot E_a}, \quad (12)$$

em que:

$$L_B = \frac{LL}{E_a} \quad (13)$$

T = tempo de irrigação (min);

A_p = área ocupada por plantas (m²): 0,5 m²

L_B = lâmina bruta de irrigação(mm);

n = número de emissores (adimensional)

q_m = vazão do emissor(L h⁻¹)

LL = lâmina líquida de irrigação (mm): obtida pela Equação 11.

E_a = eficiência de aplicação de água: como se trabalhou com gotejamento em ambiente protegido, considerou-se essa eficiência igual à uniformidade de emissão (83,3 %), cuja metodologia de determinação já foi explicitada.

A cada duas irrigações sucessivas, o filtro de areia, o qual era utilizado exclusivamente pela água residuária, era lavado com água potável. Nessas mesmas ocasiões, os finais de linha eram abertos para permitir a saída de impurezas que, porventura, tivessem ficado depositadas nos tubos gotejadores.

3.4.3.6 Cultivares e condução do feijão-vagem

Foram utilizadas duas cultivares do feijão-vagem, ‘Macarrão Brasília’ e ‘Macarrão Atibaia’, ambas de crescimento indeterminado, produzidas pela empresa Hortec®.

A cultivar Macarrão Brasília apresenta flores roxas, sementes pretas e quanto às vagens, um comprimento de 16 a 20 cm, diâmetro de 0,7 a 1,0 cm. A cultivar Macarrão Atibaia apresenta flores brancas, sementes brancas e vagens de comprimento de 16 a 18 cm, diâmetro de 0,8 a 1,1 cm. Ambas as cultivares apresentam ciclo de 55 a 60 dias após emergência DAE) (Fahl et al., 1998; Hortec, 2006).

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno expandido com 128 células (Figura 23), preenchidas com substrato para hortaliças (Plantmax® da Eucatex®), visando à obtenção de mudas mais uniformes. Por esse motivo, optou-se por utilizar mudas em vez de se fazer a semeadura direta no solo (sendo este segundo método o mais usual para o feijão-vagem).

Foram colocadas duas sementes por célula, com desbaste cerca de cinco dias do transplante, deixando-se uma planta por célula. As mudas foram transplantadas 17 dias após semeadura, logo após o surgimento da segunda folha definitiva.



FIGURA 23 Mudanças de feijão-vagem, na bandeja de 128 células, no ponto de transplante.

O tutoramento das mudas foi realizado com o uso de um bambu por planta, com 2,30 m de altura útil. Ao longo da fileira de plantas, foram esticados fios de arame, suportados por moirões de eucalipto, sendo um moirão no início da linha, um no meio e outro no final, perfazendo 24 moirões em oito linhas de plantio (Figura 24).

Foram realizadas podas semanais, no total de oito ocasiões, iniciando-se aos 29 DAT, quando todas as plantas apresentavam mais de 2,30 metros (Davis et al., 1988; Hartman et al., 1990; Maynard & Bassuk, 1996). As operações foram realizadas com estilete, o qual era imerso periodicamente em uma solução do fungicida Cercobin® 700 PM (1g do produto para 1 litro de água potável), durante a execução do serviço. Os dias das podas seguintes foram: 29, 33, 40, 47, 54, 61, 68 e 75 DAT (dias após transplante). A realização de podas deveu-se, exclusivamente, ao crescimento excessivo das plantas (Figura 25).



FIGURA 24 Detalhe do tutoramento das plantas com bambu.



FIGURA 25 Plantas da cultivar Macarrão Brasília apresentando estiolamento.

3.4.3.6.1 Adubação

A adubação de plantio foi realizada em todos os tratamentos um dia antes do transplântio das mudas (13 de fevereiro de 2007), conforme Tabela 10. Utilizou-se sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio nas dosagens de 1,5; 5,4 e 0,4 kg, respectivamente, em 80m² da área total cultivada da casa de vegetação, incluindo os locais para os tratamentos com água residuária (fonte orgânica).

A quantidade aplicada de P₂O₅ por hectare no plantio foi de 240 kg, tendo em vista a alta exigência do feijão-vagem pelo fósforo (Raij,1991; Filgueira, 2000; Pastorini et al., 2000).

A adubação mineral em cobertura foi realizada manualmente, uma vez que o injetor Venturi (que seria utilizado) não funcionou adequadamente, no sentido de se conseguir um diferencial de pressão suficiente para que houvesse a sucção necessária da solução de fertilizantes. Ressalta-se que somente os tratamentos Am e Bm receberam os fertilizantes minerais. Isso foi feito planta por planta, após o preparo de uma solução com os fertilizantes (sulfato de amônio, cloreto de potássio e superfosfato simples). Nas semanas 1, 2 e 3 após transplântio utilizaram-se as seguintes quantidades de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente: 0,28; 1,39 e 0,022 kg, em 40 m² da área cultivada nos tratamentos com adubação mineral. Nas semanas 4, 5, 6 e 7, as quantidades desses fertilizantes foram, respectivamente, de 0,28; 2,09 e 0,025 kg, em 40 m² da área. Das semanas 8 a 11 após transplântio, as quantidades dos foram, respectivamente, de 0,28; 1,05 e 0,0085 kg, em 40 m² da área cultivada nos tratamentos com adubação mineral (Tabela 12).

TABELA 10 Quantidade de fertilizantes utilizados para plantio da cultura.

DAE	Fertilizante	Teor do nutriente	% aplicado do total recomendado (%)	Quantia do fertilizante no plantio (kg ha ⁻¹)	Quantia do fertilizante no plantio (kg por 80 m ²)*
12	Sulfato de amônio	20% N	30	225	1,8
12	Cloreto de potássio	60% K ₂ O	50	50	0,4
12	Superfosfato simples	18% P ₂ O ₅	50**	667	5,4

* Área útil para plantio na casa de vegetação, considerando-se os dois canteiros que receberam adubação mineral.

** 100% do recomendado por Gomes et al. 1999; DAE = dias após emergência

TABELA 11 Quantidade de fertilizantes utilizados para adubação de cobertura.

Sema na	DAE	F	QC (kg ha ⁻¹)	QA (g por 40 m ²)*	TS & TP (mL&mL)
1	19	Sulfato de amônio	10	280	8000/100
1	19	Cloreto de potássio	3,3	22	8000/100
1	19	Superfosfato simples	10	1.393	8000/100
2	26	Sulfato de amônio	10	280	8000/100
2	26	Cloreto de potássio	3,3	22	8000/100
2	26	Superfosfato simples	10	1.393	8000/100
3	33	Sulfato de amônio	10	280	8000/100
3	33	Cloreto de potássio	3,3	22	8000/100
3	33	Superfosfato	10	1.393	8000/100

...continua....

TABELA 11, Cont.

4	40	simples Sulfato de amônio	10	280	8000/100
4	40	Cloreto de potássio	3,75	25	8000/100
4	40	Superfos fato	15	2.093	8000/100
5	47	simples Sulfato de Amônio	10	280	8000/100
5	47	Cloreto de Potássio	3,75	25	8000/100
5	47	Superfos fato	15	2.093	8000/100
6	54	simples Sulfato de amônio	10	280	8000/100
6	54	Cloreto de potássio	3,75	25	8000/100
6	54	Super- fosfato	15	2.093	8000/100
7	61	simples Sulfato de amônio	10	280	8000/100
7	61	Cloreto de potássio	3,75	25	8000/100
7	61	Super- fosfato	15	2.093	8000/100
8	68	simples Sulfato de amônio	10	280	8000/100
8	68	Cloreto de potássio	1,25	8.5	8000/100
8	68	Super- fosfato	7,5	1.050	8000/100
9	75	simples Sulfato de amônio	10	280	8000/100
9	75	Cloreto de	1,25	8,5	8000/100

...continua...

TABELA 11, Cont.

9	75	potássio Super-fosfato simples	7,5	1.050	8000/100
10	82	Sulfato de amônio	10	280	8000/100
10	82	Cloreto de potássio	1,25	8,5	8000/100
10	82	Super-fosfato simples	7,5	1.050	8000/100
11	89	Sulfato de amônio	10	140	8000/100
11	89	Cloreto de potássio	1,25	8,5	8000/100
11	89	Super-fosfato simples	7,5	1.050	8000/100

DAE= dias após emergência; F= fertilizante; QC= quantia complementar de fertilizante em cobertura; QA= quantia aproximada de fertilizante em cobertura; TS= total da solução com os fertilizantes; TP= total da solução aplicada por planta.

* Área útil para plantio na casa de vegetação, considerando-se os dois canteiros que receberam adubação mineral. Levou-se em conta também o percentual de solubilidade média em água de cada fertilizante.

OBS.: P₂O₅: 240 kg ha⁻¹ (total recomendado) – 120 kg ha⁻¹ (aplicados no plantio)

Foram realizadas adubações foliares em todos os tratamentos (inclusive naqueles que receberam efluente tratado). No final do segundo estágio de desenvolvimento, que coincide com o início do florescimento, aplicou-se uma única vez 0,4 g L⁻¹ de molibdato de amônio, aos 23º DAT (Gomes et al., 1999; Hortec, 2006).

A partir do 27º DAT até o 62º DAT, foi aplicada, quinzenalmente, uma mistura de ácido bórico e sulfato de zinco, ambos com mais de 95% de pureza. Misturou-se 0,1 g L⁻¹ de ácido bórico + 0,1 g L⁻¹ de sulfato de zinco + 0,1 g L⁻¹ de açúcar refinado, perfazendo um total de quatro aplicações.

3.4.3.6.2 Controle fitossanitário

O controle de pragas e doenças durante o ciclo vegetativo foi realizado seguindo as recomendações para a cultura (Filgueira, 2000; Andrei, 2005).

3.4.3.6.3 Características da produção de feijão-vagem

Os parâmetros de produção do feijão-vagem foram comprimento, diâmetro e matéria seca das vagens. Foi sorteado aleatoriamente um fruto por planta útil em cada linha de plantio, em cada época de colheita.

3.4.3.6.3.1 Avaliação das vagens

O comprimento foi obtido por meio de medição com régua, em linha reta, desprezando-se as curvaturas do fruto (Figura 26). O ponto de colheita adotado foi quando a maioria das vagens apresentava um comprimento aproximado de 16 cm e que, ao serem vergadas nas extremidades, quebravam com facilidade. (Fahl, 1998 e Hortec, 2006).



FIGURA 26 Determinação do comprimento das vagens por meio de régua.

O diâmetro das vagens foi obtido por meio de paquímetro digital com precisão de 0,01mm. A medição era feita na metade do comprimento das vagens (Figura 27).



FIGURA 27 Determinação do diâmetro das vagens com paquímetro.

O número médio de vagens por planta foi obtido pela contagem das vagens por planta, obtendo-se um somatório e dividindo-se pelo número de plantas úteis por parcela. Essa determinação foi realizada em cada parcela experimental (linha de plantio) e para cada época de colheita.

3.4.3.6.3.2 Avaliação da produtividade total

A produtividade total foi obtida pela soma das massas das vagens frescas, expressa em quilograma por metro quadrado (kg m^{-2}). Procedeu-se, em seguida, a uma projeção dessa produtividade para kg ha^{-1} , considerando-se uma densidade de plantio de 20.000 plantas por hectare (Fahl, 1998; Filgueira, 2000), em função do espaçamento adotado (1,0 m x 0,50 m).

3.4.3.6.3.3 Avaliação do teor de matéria seca de vagens e plantas

Após as medições de comprimento, diâmetro e massa fresca, as vagens passaram por uma pré-secagem ao sol e, em seguida, foram cortadas e colocadas em estufa (Figura 28), à temperatura de 65°C, tendo a matéria seca sido determinada após se obter peso constante.



FIGURA 28 Preparo das amostras de vagens para determinação da matéria seca.

A determinação da matéria seca das plantas foi realizada no final do experimento. Para isso coletou-se, aleatoriamente, uma planta por fileira (desprezando-se as raízes), obtendo-se, em seguida, a massa fresca. Após secagem prévia ao sol, as amostras foram levadas à secagem em estufa à temperatura de 65°C, até se obter peso constante.

3.4.3.6.3.4 Avaliação da umidade média de vagens

A umidade média de vagens foi expressa em porcentagem, seguindo a metodologia utilizada por Figueiredo et al. (2004), ou seja:

$$UMV(\%) = \left(\frac{PIAF - PAS}{PIAF} \right) * 100 \quad (14)$$

em que:

M.S. = matéria seca (%)

PIAF = peso inicial da amostra fresca (g);

PAS = peso da amostra seca (g).

3.4.4 Análises estatísticas

Foi realizada análise de variância para as fontes de variação (cultivar, época e fonte de nutrientes) e suas interações. Nos casos de F significativo, aplicou-se o teste t a 5% de significância. As análises estatísticas foram executadas empregando o programa computacional “Statistical Analysis System” (SAS Institute, 1995).

Foi necessário transformar algumas variáveis, para que atendessem às pressuposições da análise de variância, quais sejam: a) os efeitos principais devem ser aditivos; b) os erros de observação devem ser independentes e normalmente distribuídos e c) as variâncias das diferentes amostras devem ser homogêneas (Ferreira, 2000). As variáveis transformadas foram: massa média de vagens, produtividade e número médio de vagens, usando-se, para as três, a “raiz quadrada”. Já no caso da massa média unitária das vagens, usou-se o “logaritmo na base 10”.

Na análise de variância, todas as variáveis independentes (eixo X) foram representadas por dias após a semeadura, ou DAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Sistema de tratamento de efluente

4.1.1 Variação da vazão do afluente na calha de Thompson

A variação da vazão na calha de Thompson, instalada na caixa de areia na entrada do afluente, pode ser vista graficamente na Figura 29. Nota-se enorme variação da vazão em função da lavagem manual das baias localizadas na granja de suínos no Departamento de Zootecnia. As lavagens manuais foram realizadas por meio de mangueira convencional funcionando com baixa pressão e excessiva vazão, o que causou gastos exagerados de água e, conseqüentemente, picos de vazão. O valor médio da vazão calculado ao longo do experimento foi de $0,378 \text{ L s}^{-1}$. Deve-se esclarecer que nem toda a vazão afluente que passava pela caixa de areia era encaminhada ao sistema de tratamento, já que a vazão do sistema era mantida por meio de bombeamento e a excedente era conduzida para uma das lagoas de infiltração. Além disso, o monitoramento da vazão na caixa de entrada somente começou a ser realizado mais ou menos 60 dias após o transplante, isso devido a limitações operacionais existentes.

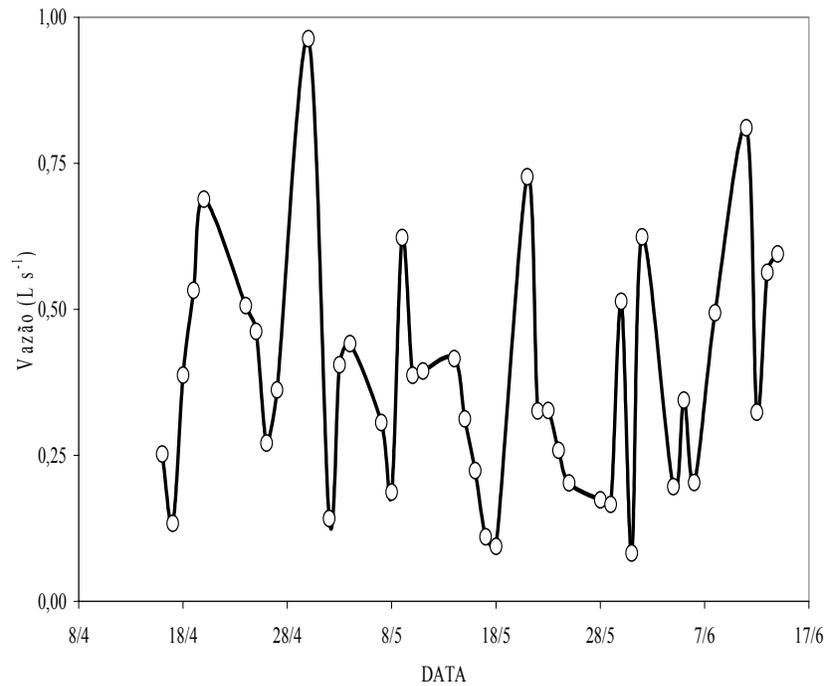


FIGURA 29 Variação da vazão na calha de Thompson, instalada na caixa de areia.

4.1.2 Carga orgânica volumétrica

A carga orgânica volumétrica (COV) para cada uma das unidades (dorna, RAC, UASB e caixa de 3.000 litros) do sistema está explicitada na Figura 30. Observa-se grande variação devido à flutuação da carga, especialmente em relação à concentração da demanda química de oxigênio (DQO), já que a vazão foi mantida constante. Isso se deveu à oscilação da carga orgânica dos dejetos que chegavam a calha Thompson, pois a diluição dos dejetos no momento de se lavar a pocilga era bastante variável.

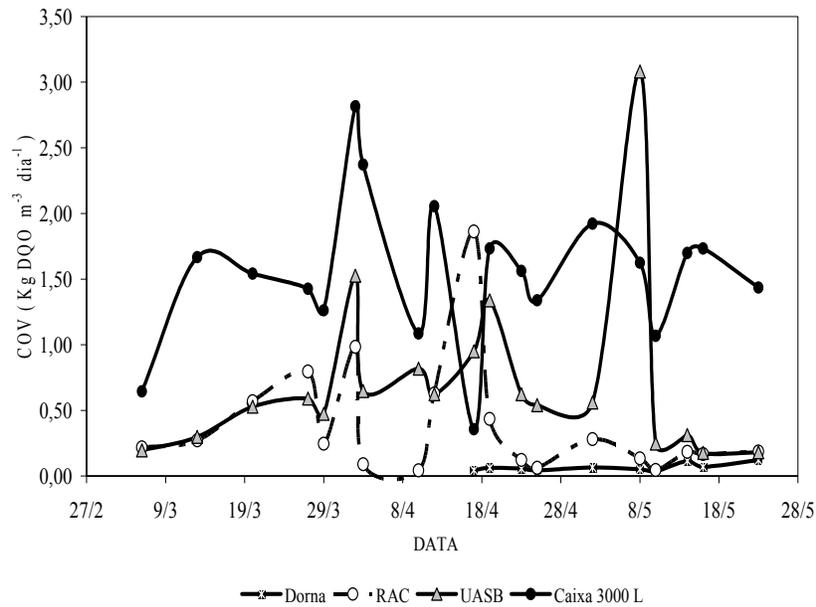


FIGURA 30 Variação da carga orgânica volumétrica (COV) em relação à DQO, em cada uma das unidades, ao longo do período de 79 dias.

O gráfico da Figura 31 mostra a flutuação da COV em função da variação da DBO₅, para quatro unidades de tratamento. Uma vez que a vazão foi mantida constante, ao longo de todo experimento, a variação da carga foi devido à mudança na concentração de DBO₅ afluente. Observa-se que os afluentes do reator UASB e da caixa de acumulação do efluente tratado mostraram pequena variação das respectivas cargas, comparadas às cargas das unidades anteriores, mostrando a capacidade de amortização dos choques de carga dessas duas unidades.

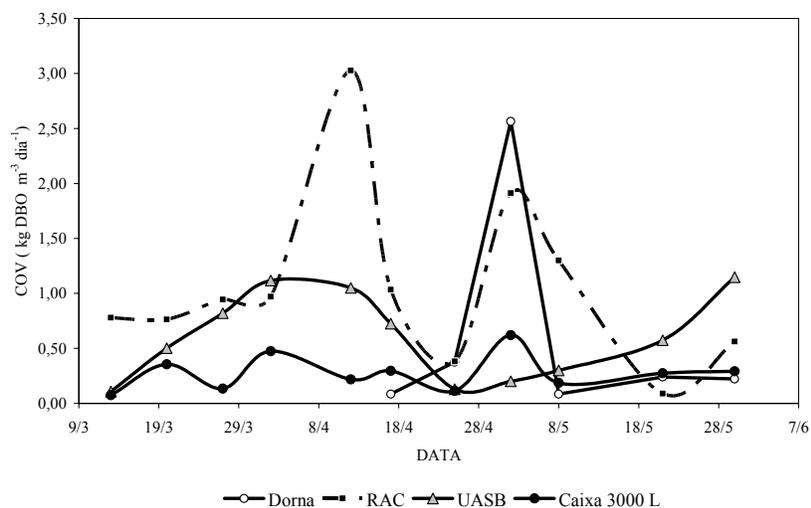


FIGURA 31 Variação da carga orgânica volumétrica (COV) em relação a DBO, em cada uma das unidades, ao longo do período de 79 dias.

Outro aspecto importante a ser mencionado é que as amostragens instantâneas também podem ter influenciado no cálculo das cargas. Isso porque, em certas condições, a unidade analisada poderia estar, num dado momento, liberando sólidos em seu efluente, condições anormais no momento da coleta, fenômeno este denominado varredura, mascarando a determinação quantitativa das cargas (Campos, 2006).

Ressalta-se também que o monitoramento da COV dos dejetos da dorna começou a ser realizado 40 dias após as outras unidades (RAC, UASB e caixa de 3.000 litros).

4.1.3 Carga orgânica biológica

No gráfico da Figura 32 estão representadas as variações da carga orgânica biológica (COB) em cada compartimento do RAC e no UASB, em relação a DBO₅ e DQO, respectivamente.

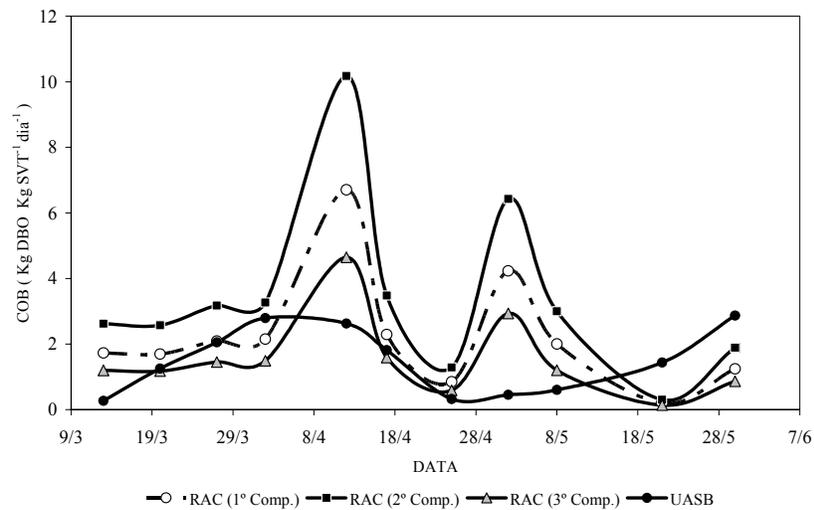


FIGURA 32 Variação da carga orgânica biológica (COB), em termos de DBO₅ nos compartimentos do RAC e no reator UASB.

Pode-se observar, pelo gráfico da Figura 32, que o segundo compartimento do RAC teve maiores valores de COB do que os demais, possivelmente devido à menor quantidade de sólidos voláteis totais (SVT) presente nesse compartimento. Pôde-se avaliar que o reator UASB apresentou COB, em função da DBO₅, mais homogênea ao longo do período experimental, comparada aos demais compartimentos do RAC. Isso leva a crer que o RAC auxiliou na equalização da COB ao longo de cada uma das suas câmaras, fazendo com que o reator UASB sofresse menos alterações. Quanto à COB em função da DQO (Figura 33), nota-se que o RAC teve um comportamento semelhante ao mostrado na Figura 32. Todavia, o reator

UASB, no período compreendido entre 3 a 9 de maio, mostrou grande incremento, passando de valores menores do que 2 para valor próximo a 8 kg DQO kg SVT⁻¹ dia⁻¹. Isso mostra que, uma vez que a vazão foi mantida constante, a concentração de DQO efluente sofreu aumento excessivo. Uma vez que as amostras para análises físico-químicas foram coletadas de forma instantânea e não de maneira composta, com certeza, no momento da amostragem, o reator estaria eliminando sólidos, o que fez com que as referidas análises sofressem tamanha elevação.

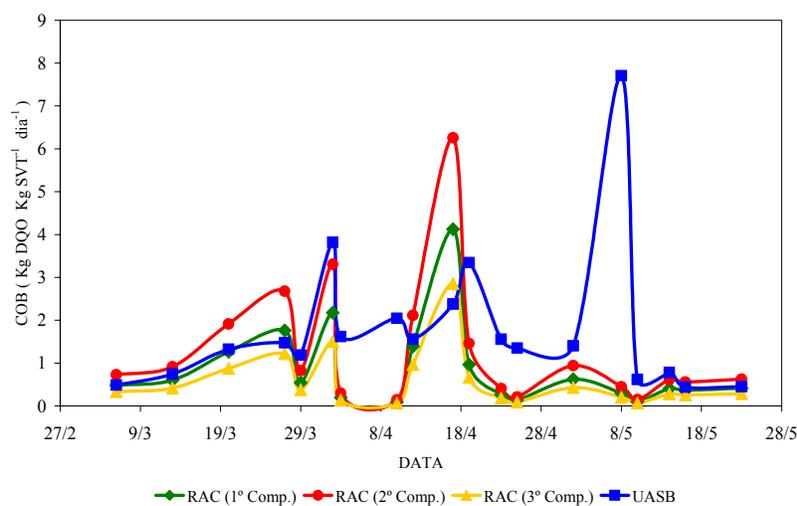


FIGURA 33 Variação da COB, em termos de DQO, nos compartimentos do RAC e no reator UASB

4.1.4 Volume estimado de metano

Os valores estimados de metano nos reatores RAC e UASB foram baseados no item 3.4.3.3, em que foram apresentados os critérios teóricos da produção de metano. O gráfico da Figura 34 mostra que o reator RAC, por ter sofrido maiores choques de carga, apresentou picos de produção, especialmente nos dias 12 de abril e 2 de maio. O reator UASB, por sua vez,

mostrou produção homogênea, devido à amortização das cargas pelo reator RAC.

Os valores médios de produção de metano neste experimento foram de 0,672 e 0,241 m³, nos reatores RAC e UASB, respectivamente. Santana & Oliveira (2005) obtiveram produções médias de 0,223 m³ de metano em um sistema composto por dois reatores UASB seqüenciais. Fernandes & Oliveira (2006) obtiveram produção de até 0,755 m³ do referido gás no tratamento de dejetos de suinocultura em um sistema composto de um reator RAC e um UASB na seqüência. Isso nos faz inferir que, apesar de ter sofrido maiores choques de carga e, conseqüentemente, maior oscilação na produção do gás, o reator do tipo RAC produziu quantidades satisfatórias de metano. O reator UASB apresentou uma produção média de, aproximadamente, 36% da quantidade de metano produzida no RAC e uma produção muito semelhante à média obtida por Santana & Oliveira (2005).

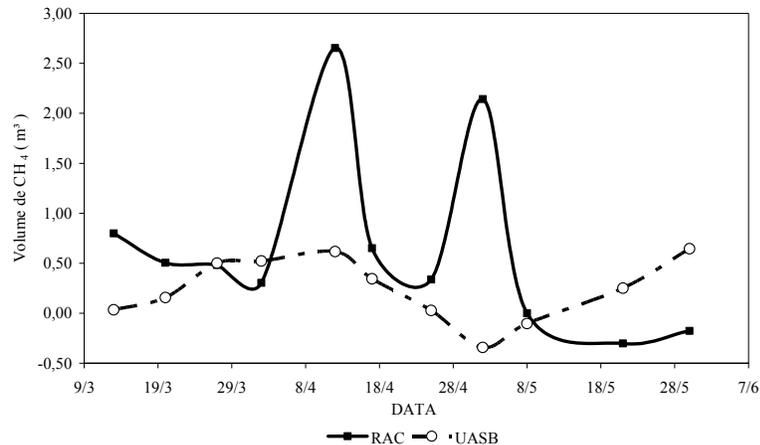


FIGURA 34 Volume estimado de metano nos reatores RAC e UASB

4.1.5 Tempo de detenção hidráulica

Na Figura 35 estão mostrados, os tempos de detenção hidráulica (TDH) para o reator RAC, considerando todo o seu volume e, ao mesmo tempo, para cada um dos seus compartimentos e, ainda, o TDH do reator UASB. Nota-se que o RAC teve TDH total em torno de 53 horas, enquanto o UASB em torno de 33 horas, demonstrando que o RAC possuía TDH 62% maior que a do reator UASB. Isso se torna indispensável devido à necessidade de se equalizar e acidificar o afluente no RAC para, posteriormente, facilitar a etapa de metanificação no reator UASB.

Neste experimento, o TDH do primeiro reator foi 1,6 vez maior do que no segundo, conseguindo-se produções satisfatórias de metano se comparado aos experimentos conduzidos por Santana & Oliveira (2005) e Fernandes & Oliveira (2006). Estes autores estudaram os mesmos tipos de sistemas de tratamento (dois reatores em série), entretanto, com um TDH médio no primeiro reator em torno de 4,5 vezes maior que no segundo. Isso nos levar a afirmar que, nesta tese, conseguiu-se boa eficiência na produção de metano com um TDH bem menor que nos estudos citados.

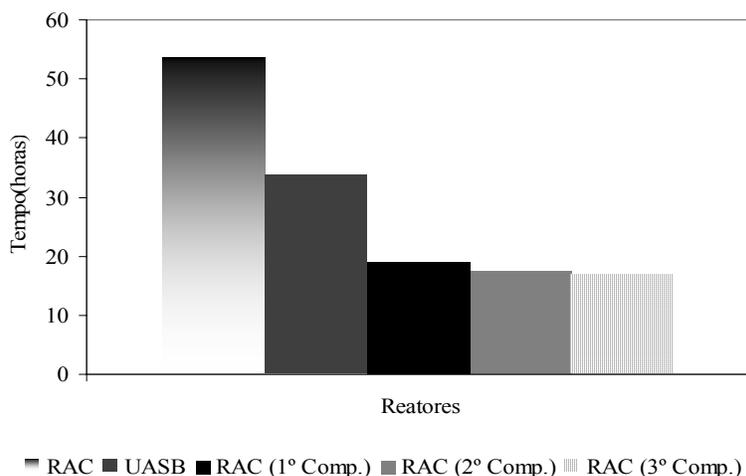


FIGURA 35 Tempo de detenção hidráulica (TDH) nos reatores tipo UASB e RAC.

4.1.6 Carga hidráulica

A carga hidráulica (CH), equivalente à vazão por volume útil do reator, é o inverso do tempo de detenção hidráulica (TDH), conforme pode ser observado pela Figura 36.

Pode-se observar que o maior valor de CH obtido (em torno de $1,4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ dia}^{-1}$) foi no terceiro compartimento do RAC. Esse valor está bem abaixo do limite máximo recomendado por Chernicharo (1997), que é de $5,0 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3} \text{ dia}^{-1}$. Isso reduziu as perdas de biomassa do sistema e aumentou o grau de estabilização dos sólidos. Em outras palavras, a CH dos reatores se mostrou perfeitamente adequada.

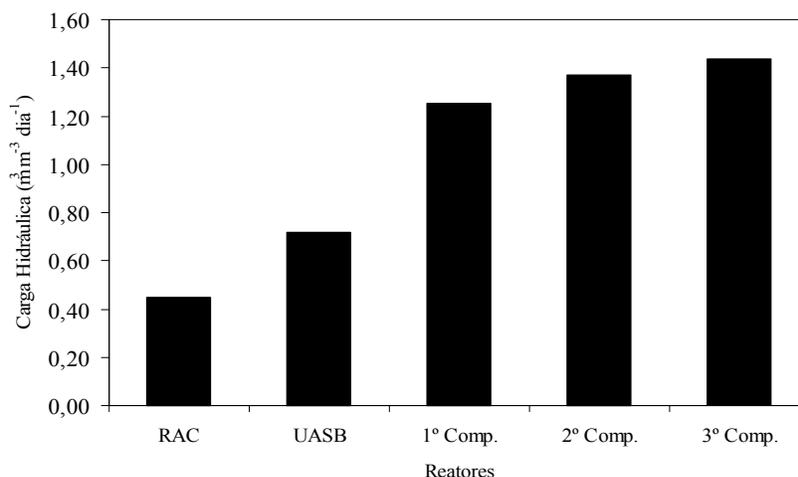


FIGURA 36 Carga hidráulica ($1/\text{TDH}$) nos reatores tipo UASB e RAC.

4.1.7 Velocidade ascendente

As velocidades ascendentes no RAC e em seus compartimentos, bem como no reator UASB, mostradas na Figura 37, possuem, apesar de serem parâmetros operacionais distintos, valores idênticos aos valores correspondentes às cargas superficiais mostradas na Figura 38, porém, com diferentes unidades.

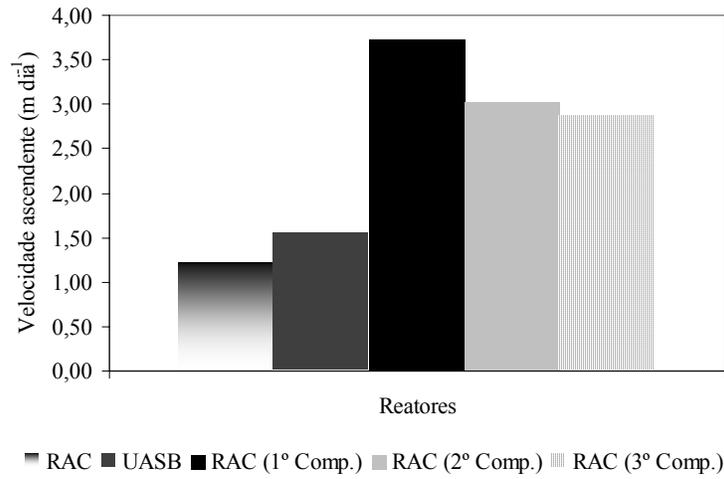


FIGURA 37 Velocidades ascendentes (VA) dos reatores do tipo RAC e UASB

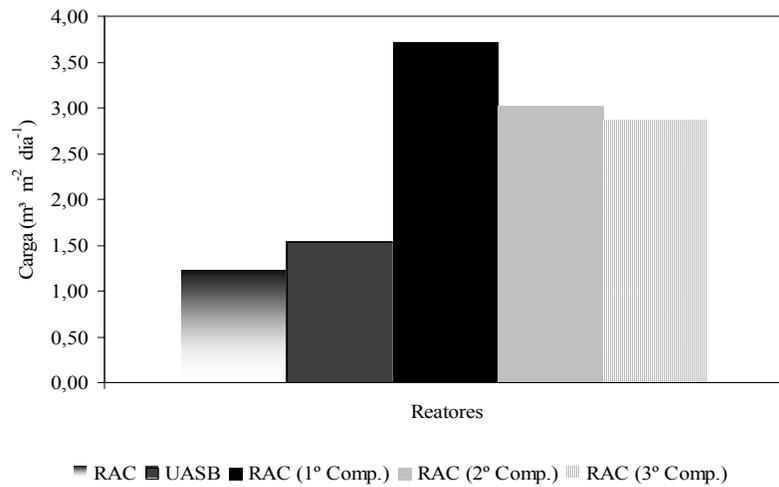


FIGURA 38 Carga hidráulica (CH) dos reatores do tipo RAC e UASB.

4.1.8 Eficiência na remoção de matéria orgânica das diversas unidades do sistema

A metodologia para determinação das eficiências está explicitada no item 3.4.3.1.7.4.

4.1.8.1 Peneira estática

A eficiência na remoção da DBO_5 na peneira estática se mostrou em torno de 20% (aos 88 DAS); o segundo valor negativo, em torno de -20% (aos 95 DAS) e o terceiro, em torno de 75% (aos 100 DAS), mostram grande variação nos valores de DBO_5 nas unidades amostradas (Figura 39). O valor da eficiência negativa sugere que foram obtidos mais sólidos no efluente do que no afluente durante a amostragem, condições adversas que, com certeza, não acontecem com elevada frequência, uma vez que se sabe que uma peneira estática remove a DBO_5 apenas fisicamente. O terceiro valor, 75%, está bastante elevado, devido ao processo de amostragem, demonstrando que mais análises deverão ser realizadas com a finalidade de caracterizar a remoção física de DBO_5 nessa unidade.

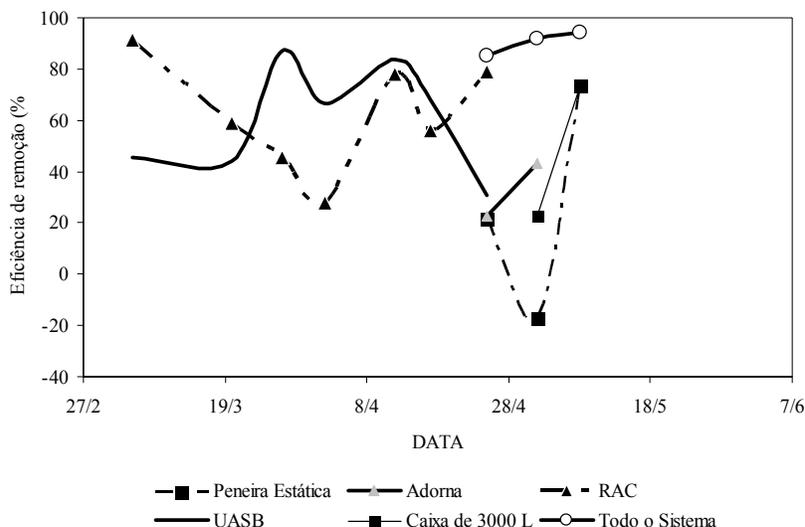


FIGURA 39 Eficiência na remoção (%) de DBO_5 , em diversas unidades de tratamento

A separação inicial foi importante porque, além de facilitar a operação das unidades de tratamento, reduzindo os riscos de entupimento das tubulações de recalque e dos tubos gotejadores, devido aos altos teores de sólidos presentes, evitou ainda, o assoreamento das unidades de tratamento, provocando diminuição do tempo de detenção hidráulica (TDH) e queda na eficiência de remoção.

Além disso, o peneiramento pode ter colaborado intensamente no sentido de impedir a redução da atividade metanogênica do lodo, corroborando com as afirmações de Ramirez (2005).

4.1.8.2 Dorna

A eficiência de remoção da DBO_5 na dorna, reservatório destinado a receber o efluente da peneira estática e do poço de recolhimento do tanque de estocagem do percolado proveniente do leito de dreno, foi de 20% a 40%, ou seja, de 100 mg L^{-1} que chegavam na dorna de 60 a 80 mg L^{-1} passavam para a unidade seguinte do tratamento (RAC). Tal eficiência ocorreu devido à baixa taxa da carga superficial, fazendo com que os sólidos mais grosseiros que passaram na peneira decantem e sejam removidos. Certamente, essa remoção tem de ser contabilizada como parte da remoção do sistema (Figura 39).

4.1.8.3 Reator anaeróbio compartimentado e reator UASB

O reator anaeróbio compartimentado (RAC) mostrou, inicialmente, uma elevada eficiência na remoção de DBO_5 , devido, principalmente, ao efeito de decantação de sólidos, em função da baixa carga superficial aplicada ao mesmo. Posteriormente a eficiência chegou até o valor mínimo, aproximadamente 23%, para, mais tarde, se elevar até 80% novamente. O reator UASB, ao contrário do RAC, demonstrou eficiência em torno de 45% durante o início do experimento. Em seguida, porém, manteve certa estabilidade com eficiência aproximada de 80%, para posterior queda (inferior a 40%). Um dos motivos da queda, possivelmente, está relacionado com a temperatura ambiente.

4.1.8.4 Sistema de tratamento

A eficiência de todo o sistema, conforme pode ser visto na Figura 39, foi de aproximadamente 98% e demonstra uma curva ascendente. Isso indica que uma boa aclimatização aconteceu nessa primeira fase, devendo ocorrer ainda uma melhoria considerável à medida que o lodo for aumentando, por meio do cultivo, sua capacidade de sedimentabilidade e atividade metanogênica, especialmente no RAC e no UASB.

4.1.9 Variáveis analisadas nas unidades de tratamento

A capacidade de tamponamento das unidades pode ser visualizada na correspondência da acidez média de cada uma das unidades e suas respectivas alcalinidades médias (Figuras 40 e 41). Isso mostra que, nas unidades em que se aferiram maiores valores de acidez, as mesmas apresentaram maior alcalinidade, como, por exemplo, a caixa de 3.000 litros e a dorna. Quando se trata de alcalinidade bicarbonato (HCO_3^-), valores acima de 500 mg L^{-1} possuem grau de restrição severo para uso na irrigação (Ayers & Westcot, 1985).

A alcalinidade média do afluente do UASB (que é o efluente do RAC), foi de 1.016 mg L^{-1} . Esse valor é ligeiramente inferior ao estabelecido por Pereira-Ramirez et al. (2004), que foi de 1.500 mg L^{-1} , tratando o mesmo tipo de dejetos, com a maior eficiência na remoção de DQO solúvel (85%).

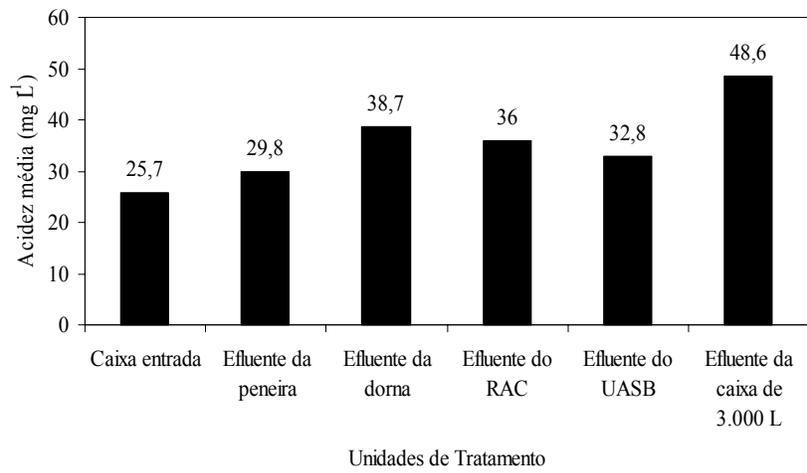


FIGURA 40 Valores médios de acidez em cada uma das unidades de tratamento.

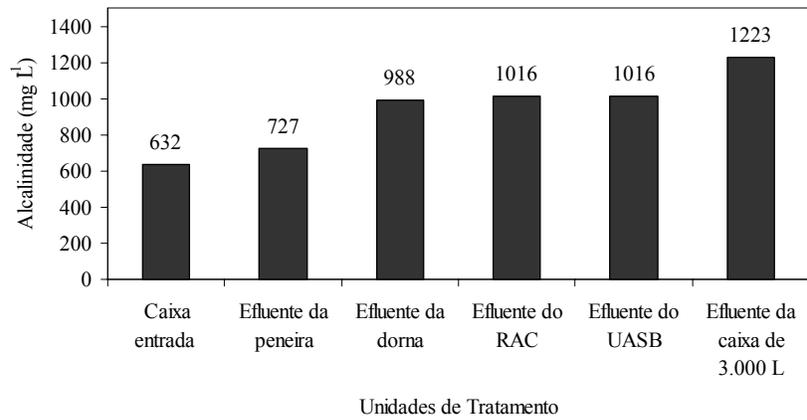


FIGURA 41 Valores médios de alcalinidade em cada uma das unidades de tratamento.

4.1.9.1 pH

Quanto aos valores de pH para cada uma das unidades, mostrados na Figura 42, observa-se que eles estão, na maioria, com exceção do efluente da dorna, dentro da faixa das bactérias metanogênicas, capazes de retirar do meio a matéria carbonácea, produzindo CH₄ e CO₂ (biogás) (Chernicharo, 1997). Nessa faixa de pH, não há efeitos adversos sobre a maioria das culturas.

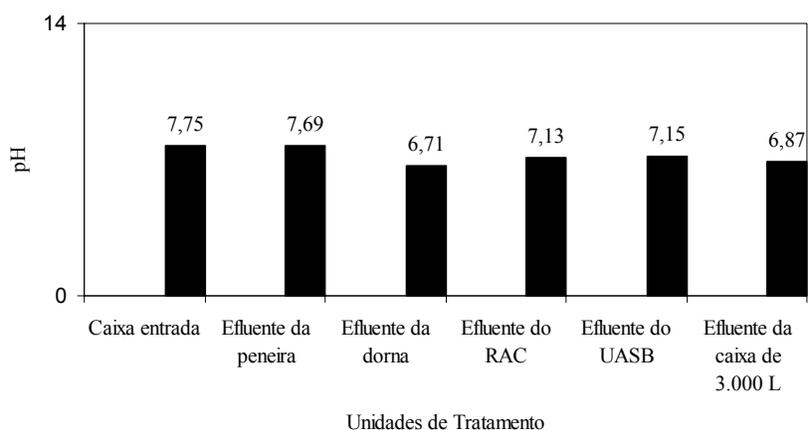


FIGURA 42 Valores médios de pH nas unidades de tratamento

4.1.9.2 Nitrogênio total Kjeldahl

Os dejetos de suínos são constituídos de proteínas, carboidratos e lipídios. Como as proteínas e os carboidratos são ricos em nitrogênio, nota-se que ocorrem grandes concentrações de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), principalmente quando os sólidos provenientes dos dejetos se encontram em fase inicial de degradação, efluentes da peneira e da dorna (Figura 43). Os valores de nitrogênio acima de 30 mg L⁻¹ podem oferecer efeito diverso com respeito a certas cultivares específicas (Metcalf & Eddy, 2003).

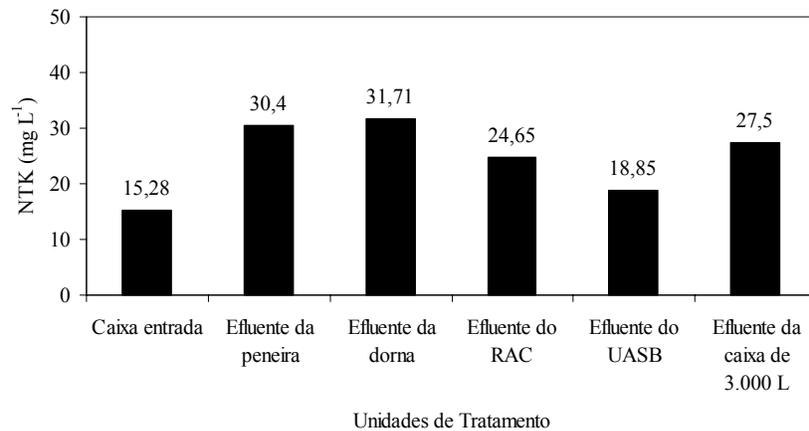


FIGURA 43 Valores médios de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) nas unidades do sistema.

4.1.9.3 Fósforo total

De acordo com Von Sperling (1996), os valores encontrados de fósforo (Figura 44), apresentando média de $1,35 \text{ mg L}^{-1}$, já poderiam representar um alto risco de causar eutrofização. Isso porque os valores representados ultrapassam em muito o limite ($P < 0,05 \text{ mg L}^{-1}$) para lançamento em ambientes lênticos e classe 3, conforme Resolução CONAMA 357/2005 (Conoma Nacional do Meio Ambiente, CONAMA (2007)).

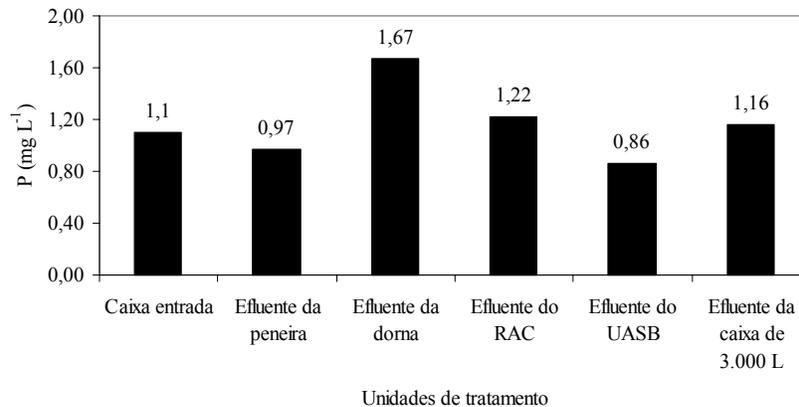


FIGURA 44 Valores médios de fósforo total (PT) nas unidades do sistema.

4.1.9.4 Sólidos totais, fixos e voláteis

Os sólidos totais, fixos e voláteis, mostrados nas Figuras 45, 46 e 47, mostram que o efluente da dorna possui a maior concentração desses sólidos, levando a crer que a dorna funcionou como um equalizador de carga para o sistema.

Analisando-se os valores de sólidos totais (ST), constata-se que o reator UASB conseguiu eficiência de remoção de ST da ordem de 48% com um TDH de 33 horas. Esses valores são bem semelhantes aos obtidos por Campos et al. (2005a), os quais adotaram um TDH de 30 horas e obtiveram uma eficiência na remoção de ST em torno de 58%. Essa diferença percentual pode ser atribuída, dentre outros fatores, à temperatura, haja vista que, no experimento de Campos et al. (2005a), ela foi mantida constante (30°C), dentro da faixa ótima de atuação das bactérias mesofílicas (Lettinga et al., 1996). No caso desta tese, o experimento realizado foi em escala piloto, o que dificulta um pouco mais o “controle” das variáveis ambientais, como, por exemplo, a temperatura (Campos, 1990).

Aisse et al. (2000) obtiveram eficiência média de remoção de ST no reator UASB da ordem de 39,3% e, no reator RAC, 33,3%. Nesse caso, deve-se ressaltar que o efluente tratado foi o doméstico. Quando

confrontados os resultados desta tese, no que diz respeito à eficiência de remoção de ST, com os dois trabalhos anteriormente citados, deve-se levar em conta que, no caso desta tese, o sistema de tratamento de dejetos ainda não havia chegado ao estado de equilíbrio.

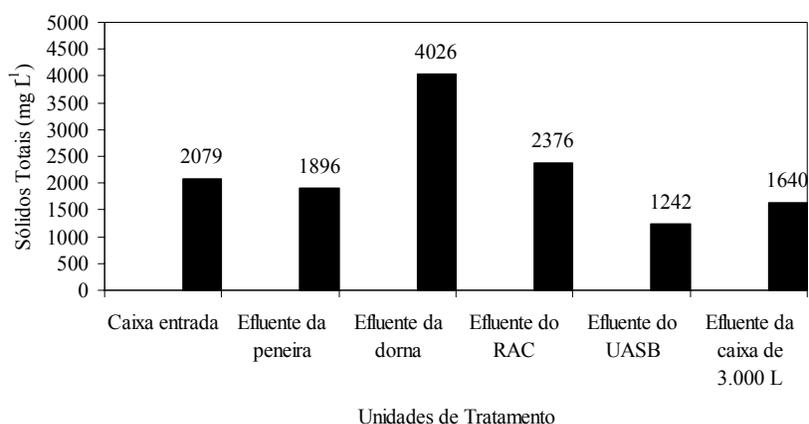


FIGURA 45 Valores médios de sólidos totais nas unidades de tratamento

No que diz respeito à remoção de sólidos fixos, que correspondem à fração inorgânica dos dejetos, o reator UASB teve uma eficiência média de 40% neste experimento. Isso representa uma eficiência 60% maior que a obtida por Campos et al. (2005a) tratando o mesmo tipo de dejetos.

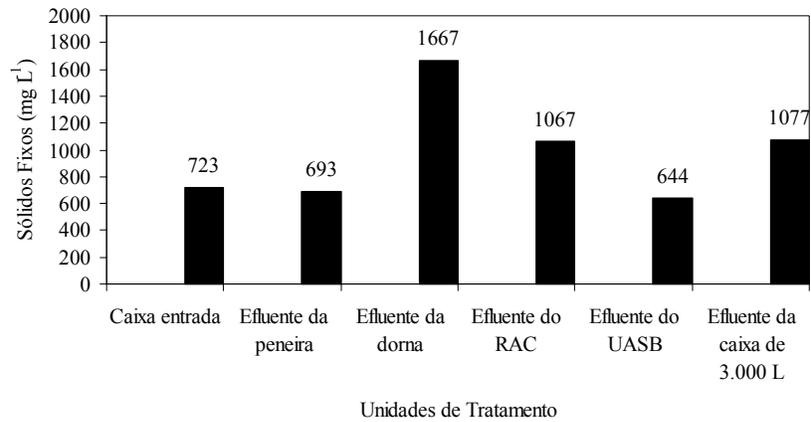


FIGURA 46 Valores médios de sólidos fixos nas unidades de tratamento

A eficiência média de remoção de sólidos voláteis (SV) foi de 57%, valor bem inferior ao obtido por Campos et al. (2005a) e Campos et al. (2006), que foi de, aproximadamente, 70%. Esse fato se deve, provavelmente, ao estágio em que se encontrava o sistema, ou seja, ainda em processo de estabilização.

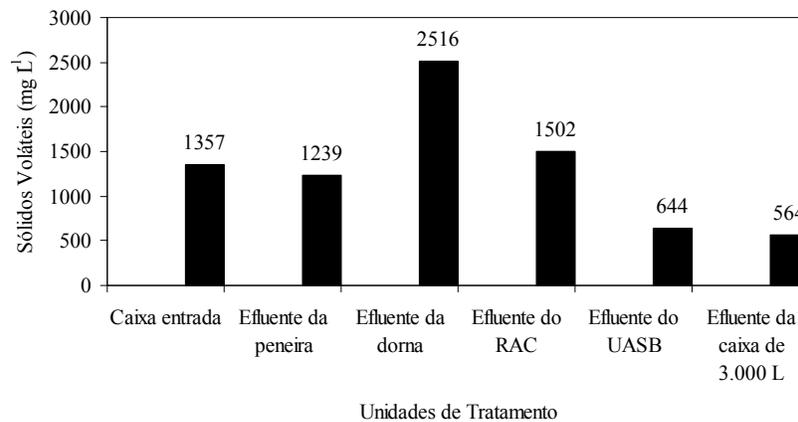


FIGURA 47 Valores médios de sólidos voláteis nas unidades de tratamento.

4.1.9.5 Produção de biogás

A produção média de biogás foi de $0,155 \text{ m}^3$. Nos primeiros 29 dias de leitura do gasômetro, obtiveram-se $0,510 \text{ m}^3$ de gás, o que representou o ínfimo percentual de 6,7% do total produzido nos 49 dias de medição. Nos 9 dias seguintes, a produção de gás apresentou valores bem mais expressivos ($4,030 \text{ m}^3$), representando mais da metade (53%) de todo o biogás produzido nos 49 dias. No terceiro período analisado (de 8 a 14 junho) a produção de biogás representou 40% do total.

O gráfico da Figura 48 mostra a produção do referido biogás, podendo-se observar variações na produção de metano, inclusive com valores iguais a zero. Isso se deveu aos vazamentos no equalizador de pressão e perdas de carga no queimador, ocorrendo acumulação de biogás dentro do sistema trifásico, interno ao reator UASB, provocando escapamento de biogás para a região superior do reator correspondente ao volume de decantação e daí para a atmosfera.

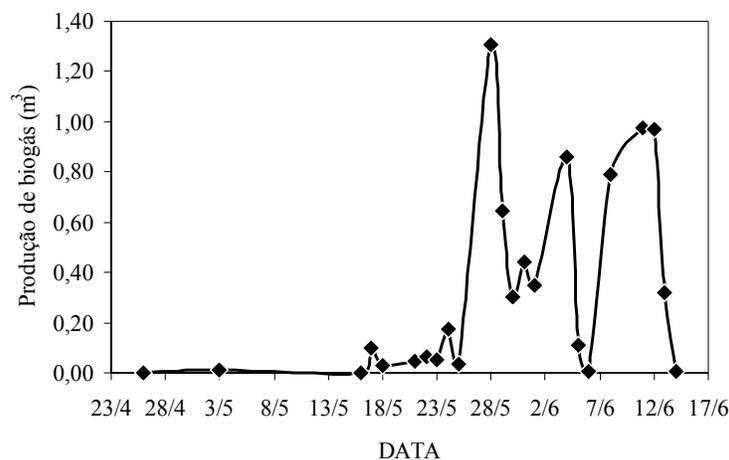


FIGURA 48 Produção de biogás no reator UASB, conforme indicado pelo gasômetro.

4.2 Fertirrigação em cultivo protegido

4.2.1 Nitrogênio total Kjeldahl

Pelo gráfico da Figura 49 pode-se constatar que o monitoramento de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) na caixa de 3.000 litros começou a ocorrer somente por volta dos 62 DAT. Na verdade, a aplicação dos dejetos começou logo no início do experimento, mas algumas análises (dentre elas NTK e fósforo) tiveram seu início mais tardiamente nessa unidade em especial (efluente da caixa de 3.000 litros). As mesmas observações servem para o monitoramento de fósforo total (PT) no efluente da caixa de 3.000 litros.

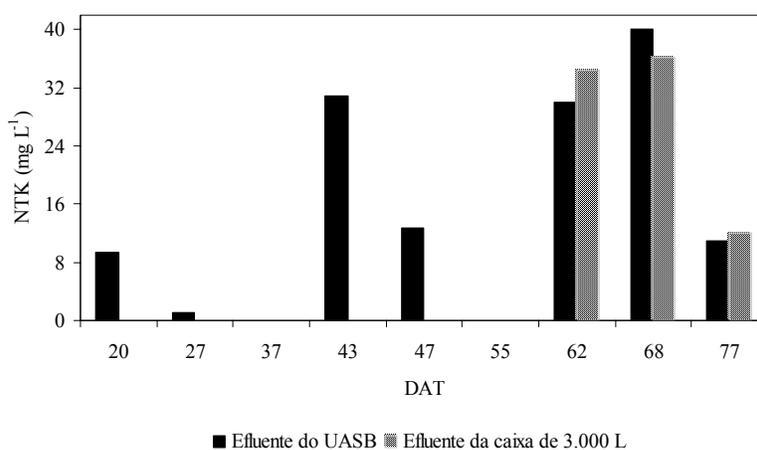


FIGURA 49 Concentração de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) presente em amostras de dois pontos na estação piloto da suinocultura.

Segundo Von Sperling (1996), pelos valores encontrados de nitrogênio (Figura 64), pode-se afirmar que nesses níveis os efluentes estarão fora dos padrões de lançamento em corpos receptores, conforme resolução pertinente CONAMA 357/2005 (CONAMA, 2007).

Quanto à aplicação desses dejetos tratados no solo, via tubos gotejadores, pode-se inferir que, a princípio, não houve problemas, tendo em

vista a grande absorção desse elemento químico pelo feijão-vagem e a volatilização de uma parcela desse nutriente em forma de amônia e a alta capacidade de troca catiônica (Tabela 6) desse solo em específico.

4.2.2 Fósforo total

O gráfico da Figura 50 mostra as concentrações de fósforo total (PT) presentes no efluente do reator UASB e no efluente da caixa de 3.000 litros. Os valores máximos deste elemento químico chegam a 2 mg L^{-1} , os quais são bastante baixos quando se pensa em adubação do feijão-vagem (Malavolta, 1990).

No que diz respeito à aplicação do fósforo no solo, via irrigação, e tendo em vista que um terço do mesmo está na forma mineral e prontamente assimilável pelas culturas (Gomes Filho et al., 2001), chega-se à conclusão de que esse elemento, provavelmente, não representará problemas.

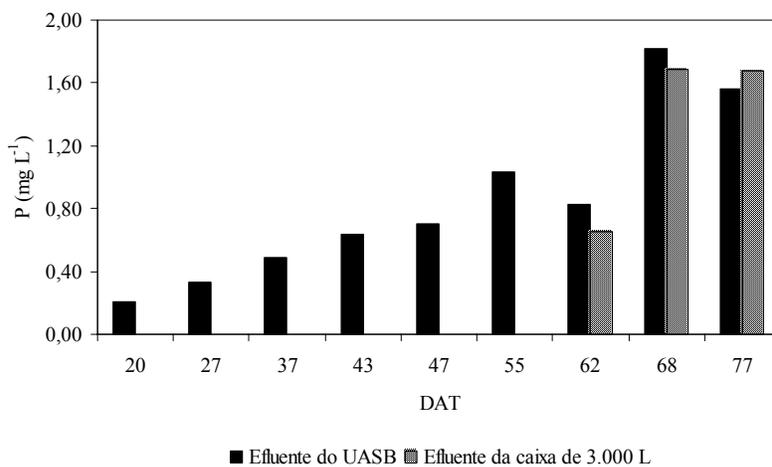


FIGURA 50 Concentração de fósforo total presente em amostras de dois pontos na estação de tratamento piloto da suinocultura.

4.2.3 Potássio

O monitoramento dos teores de potássio (Figura 51) foi realizado somente no efluente da caixa de 1.000 litros. Por meio do gráfico da Figura 51 pode-se observar uma oscilação no teor de potássio (K), dos dejetos da caixa de 1.000 litros, ao longo dos dias analisados. O valor médio de K aplicado ao longo do experimento foi de $15,8 \text{ mg L}^{-1}$, apresentando picos de $28,5$ e $23,5 \text{ mg L}^{-1}$ por volta dos 48 a 50 DAT. Essa oscilação se deveu, provavelmente, ao fato de os afluentes do sistema se apresentarem bem heterogêneos na sua composição química diária, apesar das equalizações proporcionadas pela dorna e pelo RAC.

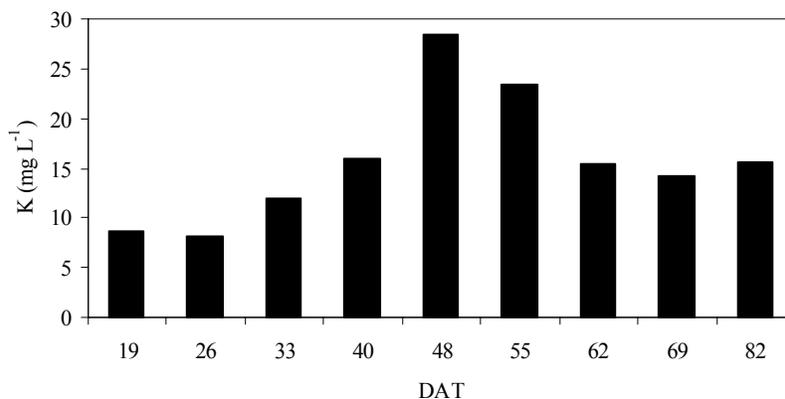


FIGURA 51 Teores de potássio em amostras de dejetos de suínos da caixa de 1.000 litros.

4.2.4 Quantificação dos teores médios de NPK aplicados no solo via fertirrigação

Por meio dos gráficos das Figuras 49, 50 e 51 chega-se aos valores médios de nitrogênio, fósforo e potássio aplicados ao solo (via dejetos tratados) ao longo do período experimental. Esses valores foram de $27,5$; $1,34$ e $15,8 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente; convertidos para a área de 40m^2 (que foi a área cultivada com as plantas que receberam adubação orgânica), são de 123 g , 6 g e 71g .

Na adubação mineral de cobertura, os valores médios dos nutrientes NPK aplicados foram 110; 120 e 30 kg ha⁻¹, o que representa, nos 40 m² em que se utilizou adubação mineral, 440 g, 480 g e 120 g dos nutrientes.

Ao se analisarem os teores dos nutrientes NPK (Figura 52), pode-se observar que as quantidades desses três macronutrientes, aplicados via fertirrigação (dejetos tratados), foram bastante inferiores quando comparados aos fertilizantes minerais.

As produtividades obtidas com as duas fontes de nutrientes foram bem semelhantes, tanto que na análise de variância a fonte de nutrientes não apresentou diferença significativa. Além disso, nenhuma planta apresentou sinal de deficiências desses nutrientes. Considerando esses fatores, pode-se inferir que, apesar de fornecidos em quantidades bem menores, os nutrientes NPK, quando aplicados por meio dos dejetos tratados de suinocultura, foram mais facilmente assimilados pelas plantas, comparados aos fertilizantes minerais, o que corrobora as afirmações de Scherer et al. (1995) e Gomes Filho et al. (2001).

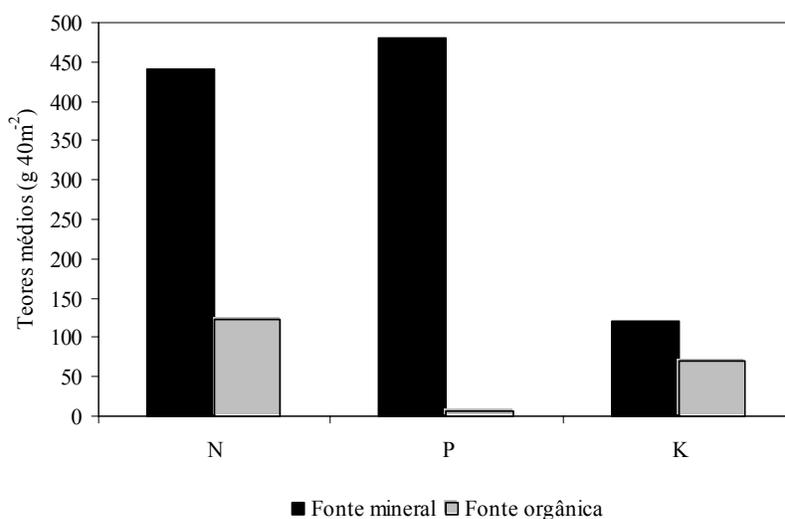


FIGURA 52 Teores médios de NPK aplicados na cultura de feijão-vagem, ao longo do experimento.

4.2.5 Condutividade elétrica do efluente

Os valores de condutividade elétrica e dos sólidos dissolvidos totais (Figuras 53 e 54) fornecem parâmetros da qualidade da água residuária de suínos para ser utilizada em irrigação. Quanto à salinização do solo, os valores acima de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ e sólidos dissolvidos totais acima da faixa 450 a 2.000 mg L^{-1} apresentam grau de restrição para uso na irrigação de leve a moderado. Pode-se observar que todas as unidades de tratamento do sistema piloto encontram-se dentro dessa faixa, com exceção dos efluentes do reator UASB e da caixa de 3.000 litros, que estão acima desses valores, oferecendo grau de restrição severo quanto a problemas potenciais de salinidade.

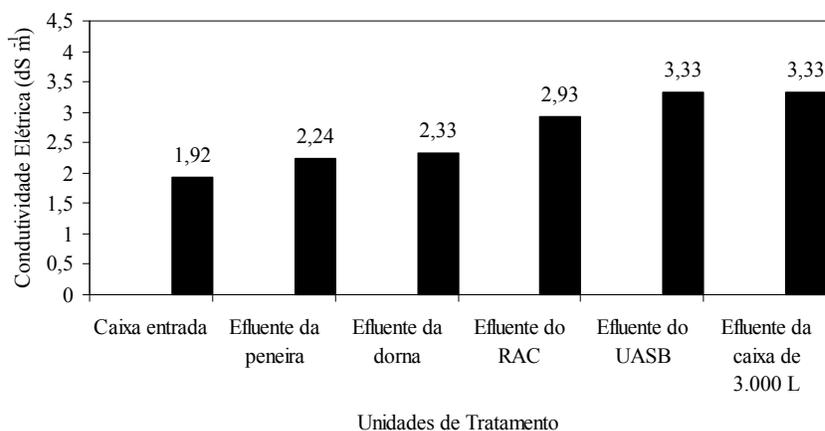


FIGURA 53 Valores médios de condutividade elétrica das unidades de tratamento.

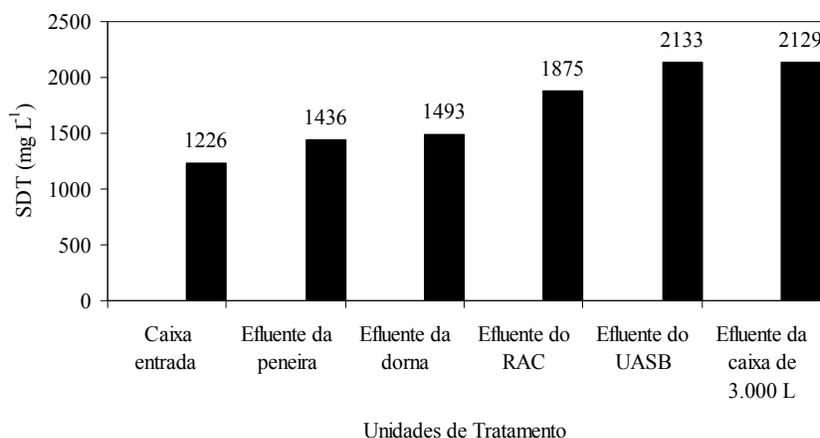


FIGURA 54 Valores médios de sólidos dissolvidos totais nas unidades de tratamento

O gráfico da Figura 55 representa a condutividade elétrica do efluente da caixa de 3.000 litros que era bombeado até a caixa de 1.000 litros (reservatório usado para abastecer as linhas de irrigação).

No período de quinze dias explicitado na Figura 55, a CE média foi de 3,00 dS m⁻¹, o que propicia em torno de 2.000 mg L⁻¹ de SDT, estimado pela Equação de Richards (1954), citado por Pizarro (1996), Bernardo (1996) e Botelho (1999). Esse valor é considerado alto para a maioria das olerícolas (Nakayama & Bucks, 1986), podendo trazer problemas de salinização do solo da casa de vegetação, inclusive, caso o uso desse efluente nessas condições seja contínuo e não haja redução na aplicação do efluente, ou, pelo menos, promova a diluição do mesmo com água de menor salinidade e ou se faça rotação de culturas que sejam mais tolerantes à salinidade e que possam ser cultivadas em casa de vegetação.

Uma outra opção seria a aplicação de grandes lâminas de água de menor salinidade para promover a lixiviação dos sais, o que poderia ser feito ao final do ciclo das culturas anuais (Ayers & Westcot, 1991).

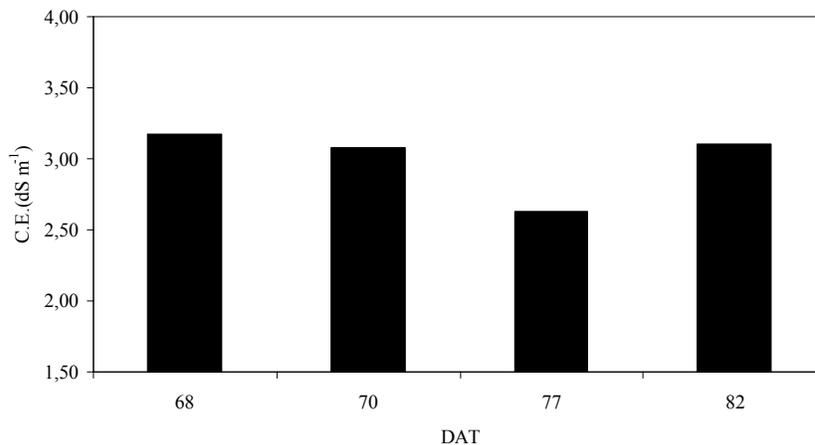


FIGURA 55 Monitoramento da condutividade elétrica (CE) (dS m⁻¹) do efluente da caixa de 3.000 litros

No que diz respeito a uma possível alteração significativa do pH do solo da área experimental pela aplicação dos dejetos de suínos tratados, tudo leva a crer que essa ocorrência é pouco provável. Isso, principalmente, tratando-se de solos altamente tamponados, como se pode constatar pela Tabela 6, em que a variação de pH no meio foi mínima em outras duas análises realizadas em épocas diferentes (Scherer et al., 1995).

Pelo gráfico da Figura 56, pode-se verificar uma oscilação do pH do efluente do UASB de 6,18 a 8,02, com uma média de 7,1. Esse valor se aproxima daqueles encontrados por Fernandes & Oliveira (2006), que obtiveram média de 7,4 nos seus três ensaios (três TDH diferentes), operando também um sistema RAC-UASB (nesse caso em escala laboratorial). Em outro estudo, Campos et al. (2005b) encontraram um valor de 7,3 para o pH médio afluente e efluente do reator UASB com TDH médio de 30 horas.

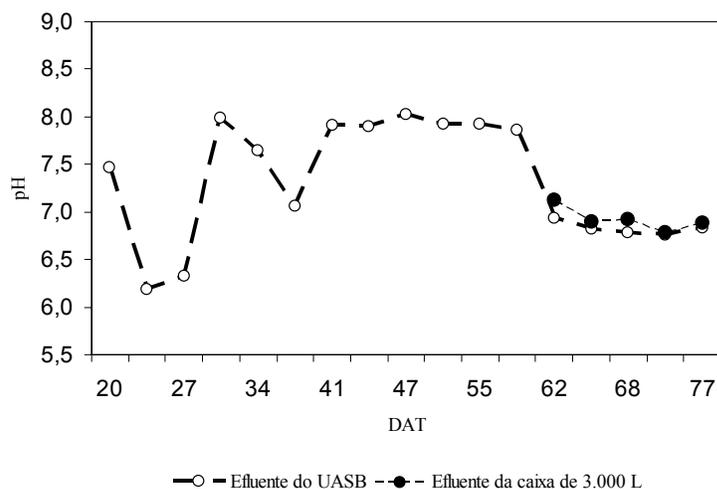


FIGURA 56 pH presente em amostras de dois pontos na Estação de tratamento piloto da suinocultura.

4.2.6 Demanda bioquímica de oxigênio

Pela Figura 57, verifica-se uma oscilação da DBO do efluente do UASB de 82 a 680 mg L⁻¹, com média de 381 mg L⁻¹. Esse valor foi 120% maior que a média encontrada por Campos et al. (2005b) e por Carmo et al. (2004) com TDH de 30 horas. O tempo de detenção hidráulica adotado foi muito semelhante ao presente trabalho (por volta de 33 horas). Todavia, o sistema, por estar na fase instável (partida), sem inoculação, apresentou tamanha variação, inclusive da carga, uma vez que não há, em campo, tanque de equalização, conforme existia no experimento de bancada (Campos et al., 2005a).

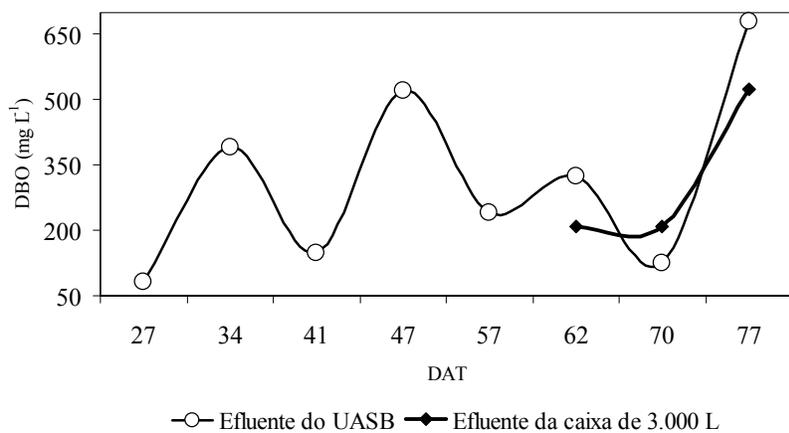


FIGURA 57 Demanda bioquímica de oxigênio em amostras de dois pontos na estação de tratamento piloto da suinocultura.

4.2.7 Demanda química de oxigênio

Pelo gráfico da Figura 58, verifica-se uma oscilação da DQO do efluente do UASB de 707 a 3.087 mg L⁻¹. O valor médio de 1.897 mg L⁻¹, foi muito semelhante ao encontrado por Campos et al. (2005b) em trabalho realizado com dejetos de suinocultura em escala laboratorial (1.755 mg L⁻¹). Fernandes & Oliveira (2006) encontraram valores de DQO total por volta de 500 mg L⁻¹ para o efluente do UASB e com o TDH de 13 horas. No caso do presente trabalho, o TDH ficou por volta de 33 horas, o que nos fazer inferir que o sistema ainda estava em aclimação.

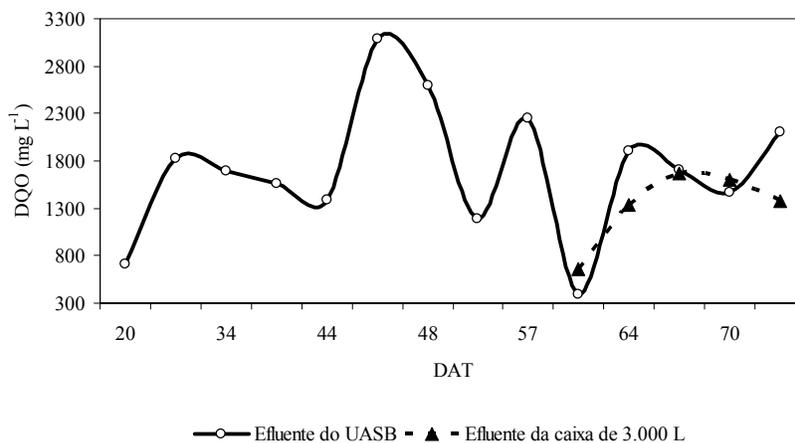


FIGURA 58 Demanda química de oxigênio em amostras de dois pontos na E.T.E. da suinocultura.

Deve-se ressaltar que a partida (“start up”) do sistema de tratamento RAC-UASB foi dada por volta de quatro dias antes da primeira análise do efluente do UASB, o que representa pouco tempo para se esperar alta eficiência.

4.2.8 Sodicidade das águas

Pela classificação de Richards (1954), levando-se em conta unicamente os valores de razão de adsorção de sódio não corrigida (RAS) (Figura 59), pode-se classificar a água residuária após o tratamento no sistema RAC-UASB como “água de baixa sodicidade ou com baixa concentração de sódio”. Ela pode ser usada para irrigação na maioria dos solos, com pouca probabilidade de se atingir níveis perigosos de sódio trocável (Botelho, 1999).

Não se utilizou a RAS corrigida (RAS^o) devido à impossibilidade da análise de bicarbonatos pelo método colorimétrico (titulométrico), em razão da intensa cor do efluente. Os valores de bicarbonato (HCO₃⁻) são essenciais

para se corrigir a RAS em RAS corrigida (Suarez, 1981 citado por Gleyi et al., 1997).

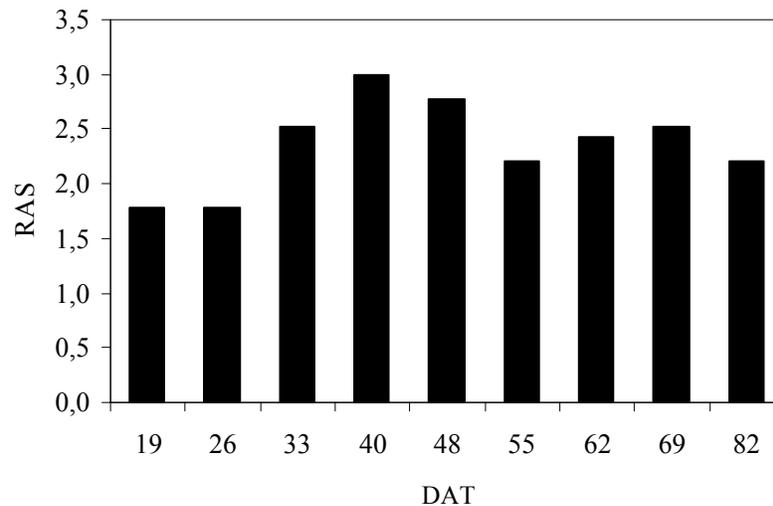


FIGURA 59 Razão de adsorção de sódio não corrigida (RAS) do efluente da caixa de 3.000 litros usado na irrigação.

4.2.9 Características climáticas (temperatura interna e externa)

A variação das temperaturas máximas, médias e mínimas no ambiente protegido encontra-se na Figura 60, cujas respectivas médias são: 28,5°C 21,2°C e 16,0°C. Evidentemente, o sistema de tratamento de dejetos sofreu redução de eficiência quando houve queda na temperatura, já que as bactérias anaeróbias trabalham com maior eficiência na faixa mesofílica, isto é, em uma temperatura média de 32,5°C (Lettinga et al., 1996)

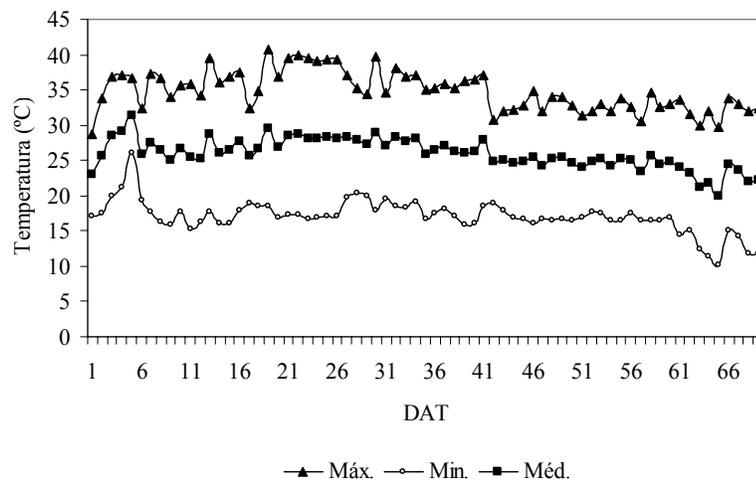


FIGURA 60 Temperaturas máximas, mínimas e médias no interior da casa de vegetação, durante o cultivo de feijão-vagem.

No interior da casa de vegetação, os limites superior e inferior de temperatura (18°C a 30°C) considerada ótima para o cultivo do feijão-vagem (Filgueira, 2000) foram superados praticamente em todo o ciclo da cultura (isto se forem observados os valores de temperatura máxima). Por outro lado, analisando-se os dados de temperatura média, chegar-se-á ao valor de 26,1°C e ao desvio padrão de 2,1, para todos os 82 dias em que as plantas estiveram na casa de vegetação.

Isso leva a inferir que, analisando-se todo o ciclo da cultura, a mesma se desenvolveu dentro da faixa considerada ótima (18°C a 30°C). Um fator que deve ser salientado é que, pelo fato de não se ter usado termo-higrógrafo e sim um termo-higrômetro, fica impossível dizer se as temperaturas máximas perduraram por um tempo que pudessem comprometer a polinização e o pegamento de flores, refletindo na produção de vagens (Dickson & Petzoldt, 1987; Weaver & Timm, 1988; Monterroso & Wien, 1990; Agtunong et al., 1992; Shonnard & Gepts, 1994).

A temperatura média durante todos os 82 dias de cultivo do feijão-vagem foi de 26°C e a máxima média foi de 34,8°C.

Por outro lado, analisando-se o estágio III, que representa o período reprodutivo, observa-se que as temperaturas média e máxima média foram de 28°C e 37,7°C, respectivamente. Temperaturas na faixa entre 30°C e 40°C já trazem sérios problemas de produção, devido ao abortamento de flores e botões florais (Monterroso & Wien, 1990; Agtunong et al., 1992 e Shonnard & Gepts, 1994).

Nesse cenário, pode-se dizer que as plantas passaram por períodos de estresse térmico, pelo menos no estágio III. Mesmo se for analisada a temperatura média do referido estágio (28°C), constata-se que esse valor fica bem próximo ao limite superior considerado ótimo para a cultura, que é de 30°C (Filgueira, 2000) e ultrapassa a que é considerada limite por Omae et al. (2007), que é de 27°C. Esse pode ser um dos fatores que prejudicaram a produtividade de ambas as cultivares.

A variação das temperaturas máximas, médias e mínimas no ambiente externo está representada no gráfico da Figura 61.

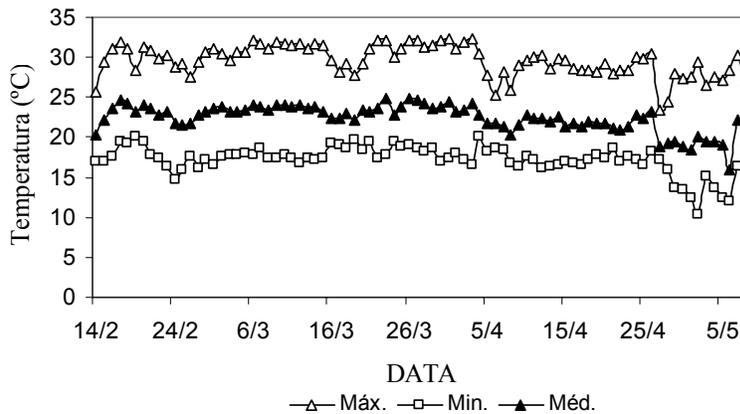


FIGURA 61 Variação das temperaturas máximas, médias e mínimas medidas na Estação Meteorológica da UFLA, durante o período de monitoramento da estação piloto da suinocultura

4.2.10 Desempenho do sistema de irrigação

O coeficiente de variação das vazões aplicadas dos tubos gotejadores foi de 5,47%, o que os classifica, segundo Solomon (1979), como bons e a uniformidade de emissão obtida foi de 83,3%. No final do experimento (82 DAT), a redução da vazão dos tubos gotejadores foi da ordem de 10,31% para aqueles que usaram água potável e de 13,35% para os outros que utilizaram a água residuária. No caso dos tubos gotejadores usados com água potável, houve redução de vazão de 0,56% por hora de funcionamento. Para os tubos gotejadores utilizados com água residuária, essa redução foi de 0,72% por hora de funcionamento.

Isso nos leva a crer que a utilização da água residuária de suinocultura tratada pelo sistema teve pequeno impacto na redução de vazão (entupimento), tendo em vista que, na testemunha, a redução de vazão foi somente 3% menor. Seria de se esperar maior diferença percentual, haja vista que a testemunha usou água potável (tratada pela estação de tratamento de água da UFLA) e a mesma não utilizou fertirrigação mineral.

O sistema de irrigação funcionou 1.109min (± 18 horas) para cada tipo de água (potável ou residuária), ou seja, 2.218min (± 36 horas) no total. Esse foi o tempo necessário para se aplicarem as lâminas de irrigação estimadas a partir do minitanque.

No da Figura 62, os gotejadores identificados com as letras de A a D recebiam água potável e irrigavam a cultivar Atibaia. As vazões médias inicial e final foram, respectivamente, 1,52 e 1,39 L h⁻¹. Aqueles identificados com as letras de E a H recebiam água potável e irrigavam a cultivar Brasília. As vazões médias inicial e final foram, respectivamente, de 1,53 e 1,35 L h⁻¹. Os identificados com as letras de N a Q recebiam água residuária (adubo orgânico) e irrigavam a cultivar Atibaia. As vazões médias inicial e final foram, respectivamente, de 1,52 e 1,30 L h⁻¹ e os gotejadores identificados com as letras de I a M recebiam água residuária (adubo orgânico) e irrigavam a cultivar Brasília. As vazões médias inicial e final foram, respectivamente, de 1,51 e 1,32 L h⁻¹.

As linhas de tubos gotejadores que receberam água potável apresentaram uma vazão relativa média (VR) de 89,95% e aquelas que receberam adubação orgânica apresentaram valor médio de 86,50% para esse parâmetro, enfatizando-se que VR é a relação entre a vazão final e a vazão inicial dos emissores. As vazões nominal, inicial, final e relativa dos gotejadores dos emissores podem ser analisadas pelo gráfico da Figura 62.

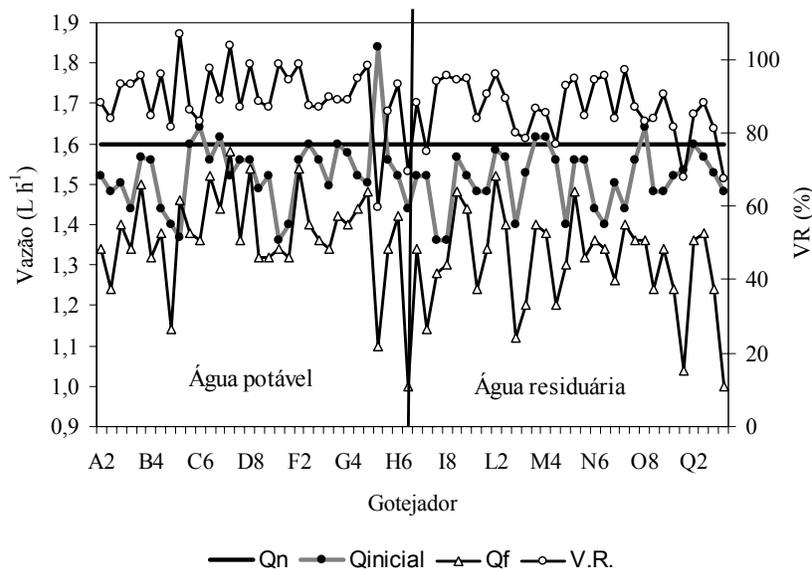


FIGURA 62 Vazão nominal, inicial, final e relativa dos gotejadores.

No gráfico da Figura 62, Qn representa a vazão nominal dos emissores; Q inicial, a vazão inicial; Qf, a vazão final e VR representa a vazão relativas dos emissores. Por meio do mesmo gráfico, pode-se constatar que, nas linhas de tubos gotejadores em que se utilizou água residuária, um maior número de emissores apresentou vazão final baixa, comparados aos emissores que utilizaram água potável.

Esse maior percentual de redução de vazão dos emissores que utilizaram água residuária pode ser creditado à presença de lodos bacterianos que causaram algum entupimento (Nakayama & Bucks, 1986), haja vista que

nenhum outro parâmetro analisado se mostrou fora dos valores considerados adequados para gotejamento.

4.2.11 Consumo de água pela cultura

Comparativamente com os estádios fenológicos II, III e IV, no que diz respeito à aplicação de água para as plantas, pode-se constatar, pela Figura 63, que foi aplicada, no estádio I, uma lâmina de água por volta de 27 mm. Essa fase vai desde a emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo (Marouelli et al., 1996). No estádio I, a cultura ficou 17 dias na bandeja de 128 células e 9 dias na casa de vegetação. Tentou-se garantir, nesse estádio, que o teor de água no solo estivesse sempre muito próximo à capacidade de campo do mesmo, evitando-se, com isso, desuniformidade do pegamento e um estresse hídrico, por menor que fosse, para as plantas ainda num estádio de desenvolvimento bastante vulnerável.

No estádio IV, foi fornecida às plantas uma lâmina de 37,32 mm e, no estádio III, que, via de regra, corresponde ao período de maior demanda hídrica das culturas, foram fornecidos 34,18 mm de água. Essa pequena diferença se deve ao fato de a fase 3 ter durado 18 dias e a fase 4, 35 dias. Se for calculada a média diária de água fornecida às plantas nas duas fases em questão, encontram-se os seguintes valores: no estádio III, 1,90 mm dia⁻¹ e no IV, 1,06 mm dia⁻¹.

No estádio IV, as plantas receberam, em média, 56% da lâmina aplicada no estádio III, concordando com a abordagem feita por Doorenbos & Pruitt (1977) e Doorenbos & Kassan (1979).

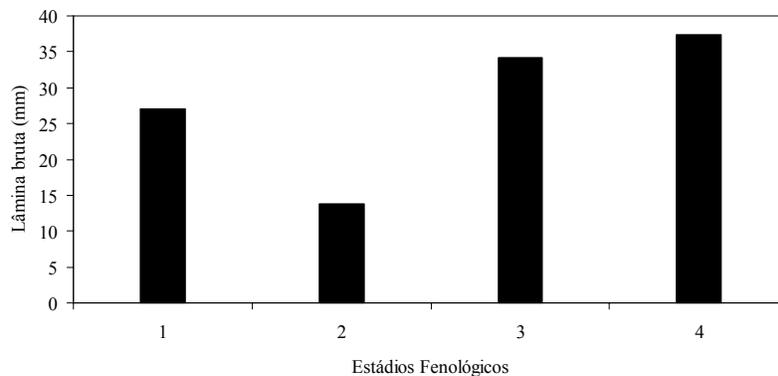


FIGURA 63 Lâmina bruta de água (mm) aplicada em relação às fases fenológicas da cultura.

Pelo gráfico da Figura 64, podem-se visualizar as lâminas brutas acumuladas fornecidas à cultura, totalizando somente 112,3 mm, que representa em torno de 45% do consumo médio relatado por Fahl (1998) para ambiente externo (mesmo considerando-se que o solo estava com elevada umidade no momento do transplante). Essa quantidade de água fornecida às plantas é muito baixa. Pensando no consumo de água pela cultura durante todo o seu ciclo, que durou 100 dias (desde a semeadura até o final do estágio IV), verifica-se que o fornecimento médio diário de água para as plantas foi inferior a 2mm. Em função desses aspectos, tudo leva a crer que a cultura foi submetida a um déficit hídrico durante parte de seu ciclo, o que refletiu de maneira negativa na sua produtividade, fazendo com que a cultura apresentasse produtividades semelhantes a aquelas obtidas a céu aberto. Em ambiente protegido, seria de se esperar maiores produtividades em relação àquelas que foram obtidas neste experimento (Fahl et al., 1998).

Um fator que pode ter contribuído decisivamente para o estresse hídrico da cultura foram os coeficientes (de cultivo, de localização e de tanque) utilizados (Marouelli et al., 1996) para determinar as lâminas de irrigação que seriam aplicadas. Pode-se dizer que esses coeficientes, muito

provavelmente, subestimaram a evapotranspiração da cultura, contribuindo, assim, para a aplicação de lâminas de irrigação abaixo das quantidades adequadas, propiciando, com isso, uma redução gradativa do teor de água disponível no solo.

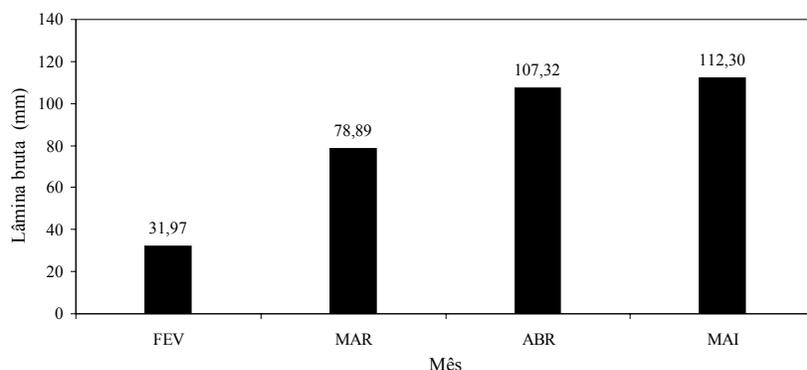


FIGURA 64 Lâmina bruta acumulada aplicada à cultura ao longo dos meses de cultivo.

4.2.12 Crescimento da planta

O transplântio de todas as mudas foi feito no dia 14 de fevereiro de 2007. Durante o desenvolvimento das plantas, ambas as cultivares apresentaram estiolamento (Figura 65). Logo no início da formação das gavinhas, constatou-se a formação de internódios muito exagerados em seu comprimento, independente da cultivar.

No caso da formação das gavinhas, a cultivar Brasília começou a formá-las em torno dos 10 DAT, enquanto a cultivar Atibaia iniciou a formação das primeiras gavinhas em torno dos 20 DAT. Essa defasagem pode ser creditada às características próprias de cada cultivar.

Aos 27 DAT, todas as plantas das duas cultivares já apresentavam 2,30 m de altura, que foi o tamanho mantido no tutoramento das plantas.

Um dos fatores que, muito provavelmente, colaboraram para a ocorrência desse distúrbio fisiológico (estiolamento) foi a opacidade do plástico que cobria a casa de vegetação, causada pela deposição de poeira sobre o mesmo. Isso corrobora os trabalhos de Davis et al. (1988), Hartman et al. (1990) e Maynard & Bassuk (1996).

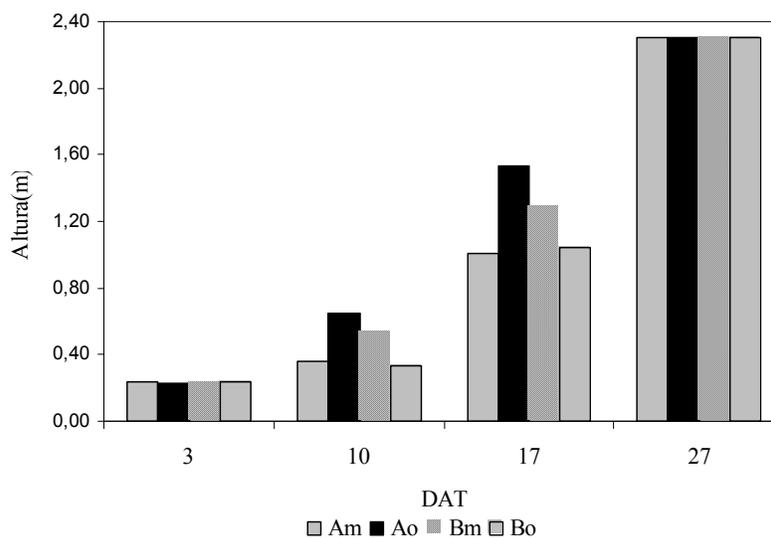


FIGURA 65 Altura média (m) atingida pelas plantas nos diferentes tratamentos em relação aos dias após transplante (DAT).

Por meio da Figura 65 pode-se constatar que a cultivar Brasília com adubação mineral (Bm) apresentou estiçamento mais acentuado do que a cultivar Atibaia (Am), com a mesma fonte de adubação (principalmente dos 10 DAT para os 17 DAT). Já quando se analisa a fonte de adubação orgânica, ocorre o inverso, ou seja, a cultivar que apresentou maior problema de estiçamento foi a 'Atibaia'.

Um fato que chamou a atenção foi o de que a cultivar Atibaia apresentou folíolos muito maiores e mais viçosos, quando comparados aos

da cultivar Brasília, independentemente da fonte de nutrientes utilizada (mineral ou orgânica). Isso pode ser creditado a características fenotípicas próprias de cada uma das cultivares.

4.2.13 Análise de variância

A análise de variância dos dados foi realizada utilizando-se o software SAS e está representada na Tabela 12.

4.2.13.1 Produção média de vagens por planta

Analisando-se os dados da Tabela 12, sobre o comportamento dessa variável (produção média de vagens por planta), pode-se constatar que houve significância para cultivar, época e para as interações cultivar x época e fonte x época.

A representação gráfica para o desdobramento da interação cultivar Atibaia e época de colheita (em dias após semeadura) encontra-se na Figura 66.

A época que apresentou maiores valores de massa média de vagens para a cultivar Atibaia foi por volta dos 85 DAS.

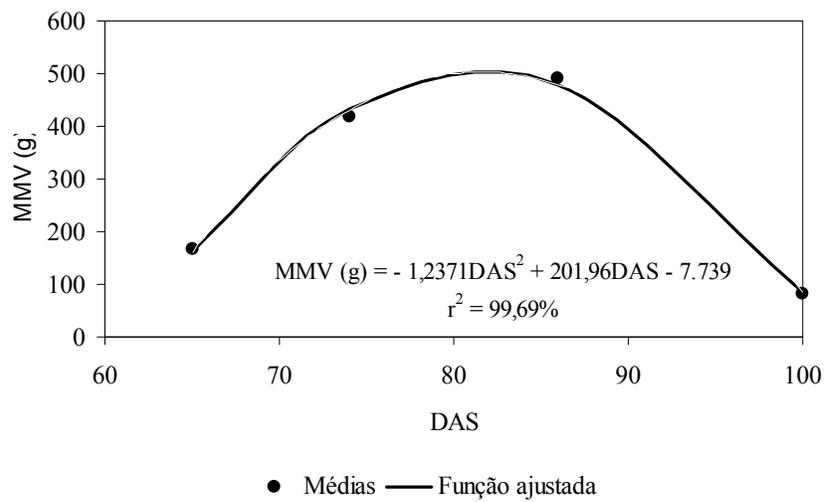


FIGURA 66 Massa média de vagens por planta (g) cv. Atibaia ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

TABELA 12 Resumo da análise de variância pelo método dos quadrados médios.

FV	GL	Quadrados médios (Q.M.)								
		MMV	D	C	NM	MMU	MSV	MSP	UMV	P
C	1	29,6360*	1,3572 ^{ns}	32,9763**	7,6783**	0,0210 ^{ns}	0,0269 ^{ns}	108,7849**	1,5129 ^{ns}	592,7195*
F	1	0,1716 ^{ns}	2,3486*	0,1425 ^{ns}	0,2061 ^{ns}	0,0092 ^{ns}	2,4238 ^{ns}	4,7306 ^{ns}	2,4258 ^{ns}	3,4330 ^{ns}
C*F	1	7,4176 ^{ns}	0,2233 ^{ns}	0,2070 ^{ns}	0,8228 ^{ns}	0,0007 ^{ns}	1,5073 ^{ns}	2,8730 ^{ns}	0,0256 ^{ns}	148,3522 ^{ns}
Erro (a)	12	5,5014	0,3242	1,5990	0,3929	0,0058	4,9426	9,1260	4,9417	110,0271
E	3	420,4765**	6,4519**	9,0885**	44,3482**	0,0183**	154,8240**	-	154,8662**	8409,5301**
C*E	3	58,4539**	0,3823 ^{ns}	2,4571**	5,3770**	0,0010 ^{ns}	0,5630 ^{ns}	-	1,4977 ^{ns}	1169,0779**
F*E	3	14,9429**	0,0523 ^{ns}	0,1741 ^{ns}	1,1913*	0,0002 ^{ns}	4,5631 ^{ns}	-	4,5761 ^{ns}	298,8575**
C*F*E	3	3,7213 ^{ns}	0,1668 ^{ns}	0,4532 ^{ns}	0,6699 ^{ns}	0,0006 ^{ns}	1,4968 ^{ns}	-	0,5618 ^{ns}	74,4252 ^{ns}
Erro(b)	36	3,4118	0,2299	0,5048	0,3286	0,0020	2,5345	-	2,5359	68,2354
cv (a)-%		15,16	5,40	8,25	12,76	7,01	22,24	16,16	2,47	15,16
cv (b)-%		11,94	4,54	4,63	11,67	4,07	15,92	-	1,77	11,94

NOTA: Variáveis: massa média de vagens por planta -MMV (g); diâmetro-D (mm) das vagens por planta; comprimento (C) das vagens por planta (cm); número médio (NM) de vagens por planta; massa média unitária- MMU(g) (uma vagem); matéria seca das vagens- MSV (%), matéria seca das plantas- MSP (%) e umidade média das vagens- UMV (%) e produtividade-P (kg m⁻²). OBS: * Significativo, a 5% de probabilidade, pelo teste F; **Significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F; ns: não significativo; C= cultivar; F= fonte; E= época; cv= coeficiente de variação; FV= fontes de variação; GL= graus de liberdade.

A época que apresentou maiores valores de massa média de vagens para a cultivar Brasília foi, da mesma forma que para a cultivar Atibaia, por volta dos 85 DAS.

A representação gráfica para o desdobramento da interação cultivar Brasília e época de colheita (em dias após semeadura) está indicada na Figura 67.

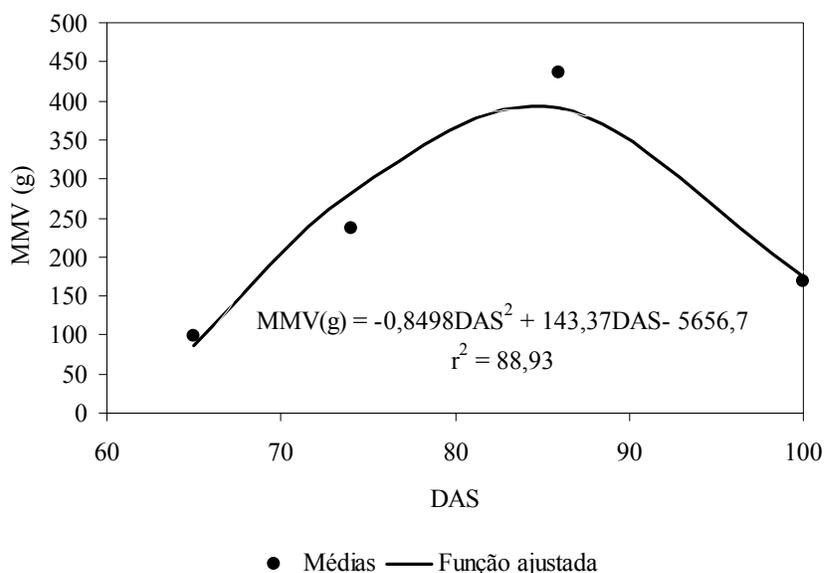


FIGURA 67 Massa média de vagens por planta (g) cv. Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

O segundo desdobramento a ser efetuado é o referente à interação fonte x época. Estudando época dentro de cada nível de fonte, encontrou-se significância a 1%.

A representação gráfica para o desdobramento da interação fonte mineral de adubação e época de colheita (em dias após semeadura) encontra-se na Figura 68.

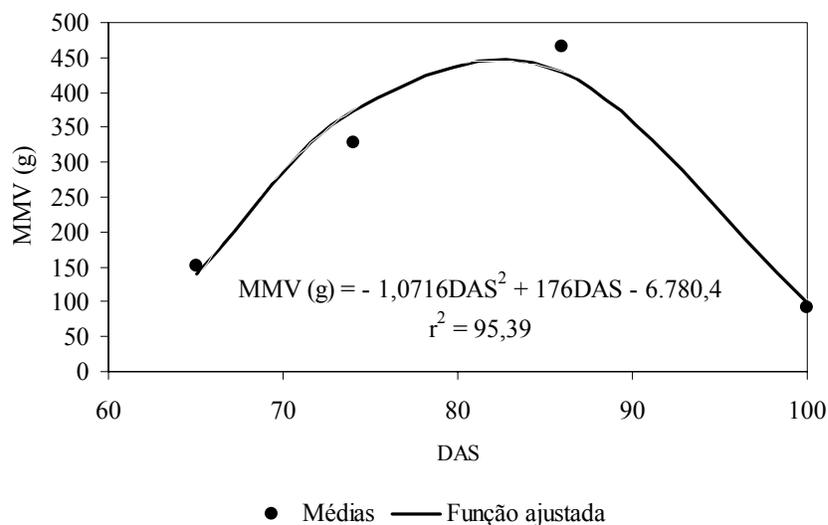


FIGURA 68 Massa média de vagens por planta (g) utilizando-se adubo mineral, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Para a fonte orgânica de adubação (dejetos), chegou-se à representação gráfica para o desdobramento dessa fonte de variação e época de colheita (em dias após semeadura), como indicado pela Figura 69.

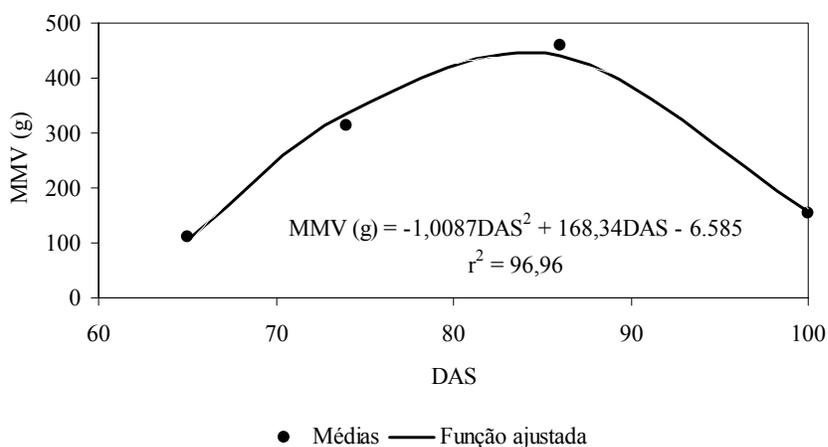


FIGURA 69 Massa média de vagens por planta (g) utilizando-se adubo orgânico, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Pode-se verificar, pelos gráficos das Figuras 66 a 69, que, para a variável “massa média de vagens por planta”, a cultivar Atibaia sobressaiu-se em relação à cultivar Brasília. A época de maior produtividade foi ao redor dos 85 DAS.

Em relação à fonte de adubação não houve diferença significativa para ambas (mineral e orgânica), ou seja, nenhuma das fontes de adubação se sobressaiu quando analisou-se a massa média de vagens por planta. As maiores produtividades também se encontraram por volta dos 85 DAS.

4.2.13.2 Diâmetro das vagens por planta

Observando-se, pela análise de variância, o comportamento da variável “diâmetro das vagens”, pode-se constatar que houve significância para fonte e para época, não havendo quaisquer interações.

As vagens produzidas a partir de adubação mineral apresentaram um diâmetro médio de 10,74 mm; para aquelas produzidas com adubação orgânica, a média foi de 10,36 mm. A partir de teste t, a 5% de probabilidade, verificou-se que essas médias são estatisticamente diferentes e que os maiores diâmetros de vagens foram obtidos na quarta época de colheita (100 DAS). O comportamento dessa variável pode ser constatado pela Equação 15:

$$D \text{ (mm)} = 0,00386 \text{ DAS}^2 - 0,62528\text{DAS} + 35,17818 \quad (15)$$
$$r^2 = 99,35\%$$

4.2.13.3 Comprimento das vagens por planta

Analisando-se, na Tabela 12, o comportamento dessa variável, pode-se constatar que houve significância para cultivar, época e para a interação cultivar x época.

Pela Figura 70 pode-se verificar que o comprimento médio das vagens da cultivar Atibaia foi decrescendo à medida que as colheitas eram realizadas, apresentando vagens maiores na primeira colheita (65 DAS).

A representação gráfica para o desdobramento da interação cultivar Atibaia e época de colheita (DAS) está indicada a seguir na Figura 70.

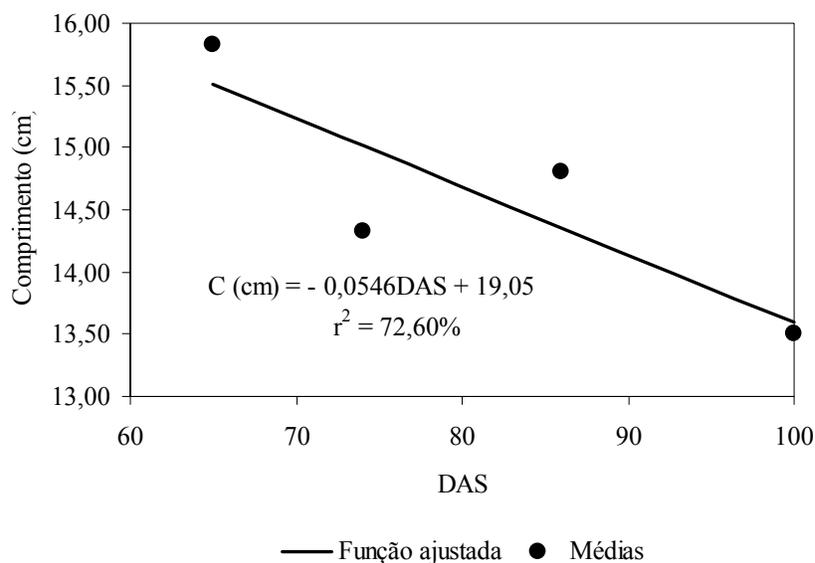


FIGURA 70 Comprimento médio das vagens por planta (cm), cultivar Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

A cultivar Brasília apresentou um comportamento distinto da cultivar Atibaia, no que diz respeito ao comprimento das vagens. As vagens com maior comprimento foram obtidas por volta dos 80 DAS. As vagens com menor comprimento médio foram obtidas na quarta colheita (100 DAS).

Isso pode ser creditado, entre outras coisas, à presença de oídio, que prejudicou o desenvolvimento normal das plantas dessa cultivar, além de as mesmas já apresentarem sinais nítidos de senescência.

Para comprimento de vagens, (Figuras 70 e 71) a cultivar Brasília apresentou valores maiores que a cultivar Atibaia. Essa diferença significativa foi mais pronunciada na terceira época de colheita (por volta dos 80 DAS).

Para a cultivar Brasília, chegou-se à representação gráfica da Figura 71 para comprimento médio de vagens por planta.

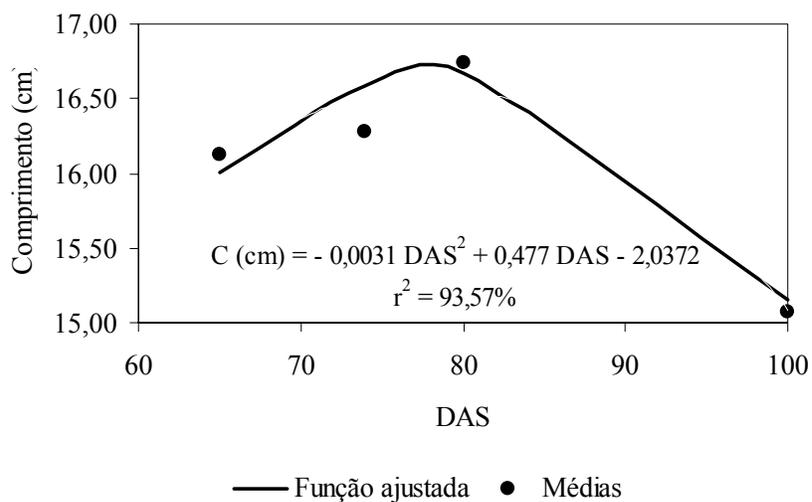


FIGURA 71 Comprimento médio das vagens por planta (cm), cultivar Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

4.2.13.4 Número médio de vagens por planta

Pelos dados da Tabela 12, pode-se constatar que houve diferenças significâncias para cultivar, época e para as interações cultivar x época e fonte x época.

O comportamento da variável “número médio de vagens por planta (NM)” para a cultivar Atibaia pode ser observado na Figura 72.

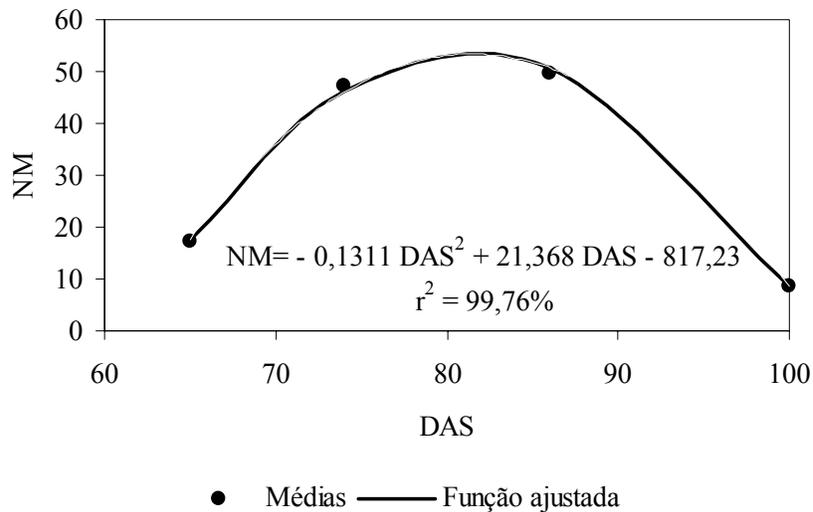


FIGURA 72 Número médio de vagens por planta cv. Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Analisando-se essa variável (número médio de vagens por plantas) para a cultivar Atibaia, pode-se observar que a melhor época foi por volta dos 80 DAS. O número médio de vagens obtido em cada colheita foi de, aproximadamente, 30 unidades por planta.

Para a cultivar Brasília (Figura 73), pode-se observar que a melhor época foi por volta dos 85 DAS e o número médio de vagens obtido em cada colheita foi de, aproximadamente, 22 unidades por planta.

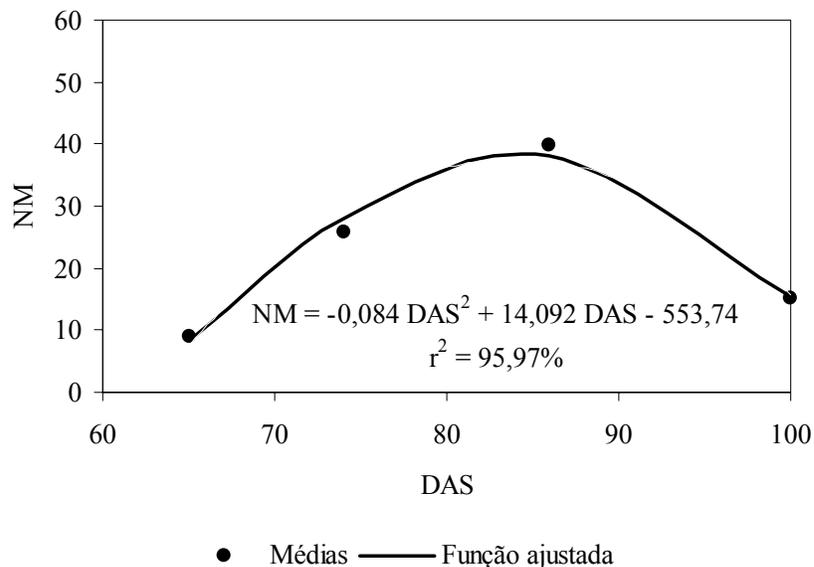


FIGURA 73 Número médio de vagens por planta cv. Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas

Desdobramento da interação fonte e época, estudando época dentro de cada nível de fonte (encontrou-se significância a 1%).

Analisando-se a fonte de adubação mineral, pode-se observar que a época que proporcionou o maior número de vagens por planta foi por volta dos 80 DAS. O número médio de vagens obtido em cada colheita foi de, aproximadamente, 26 unidades por planta.

A fonte de adubação orgânica, por sua vez, proporcionou a produção do maior número de vagens por planta por volta dos 85 DAS. O número médio de vagens obtido em cada colheita foi de, aproximadamente, 26 unidades por planta, igualmente ao obtido na utilização da fonte mineral de adubação, conforme se pode verificar nas Figuras 74 e 75.

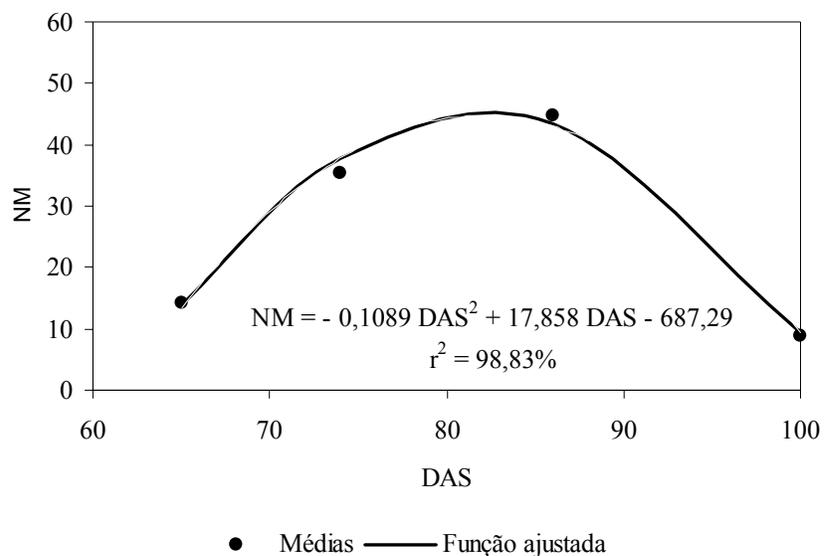


FIGURA 74 Número médio de vagens por planta usando-se adubo mineral, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

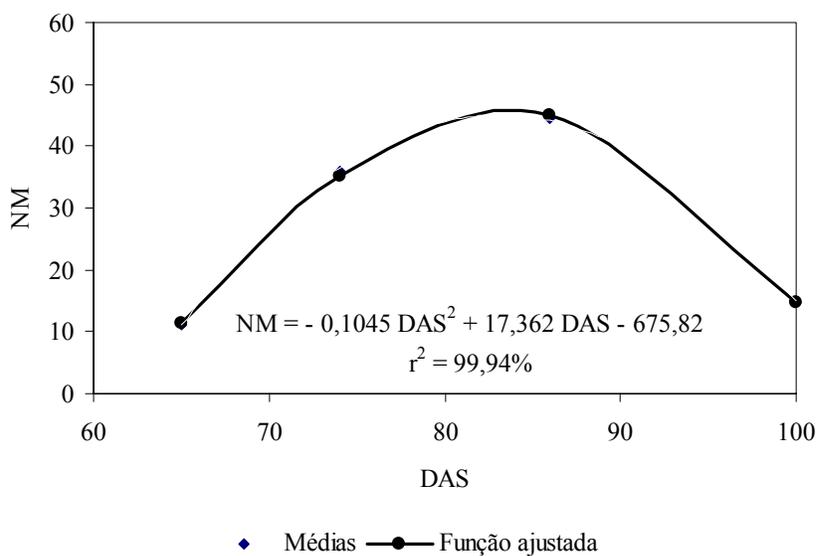


FIGURA 75 Número médio de vagens por planta usando-se adubo orgânico, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Os resultados obtidos para o número médio de vagens por planta não diferem muito daqueles observados por Oliveira, A., et al. (2001), Pereira et al. (2003) e Oliveira et al. (2005), que obtiveram 30, 20 e 22 vagens por planta por colheita, respectivamente. Há diferenças significativas quando se comparam os resultados obtidos nesta tese com aqueles observados por Peixoto et al. (2002) que contabilizaram, em média, 57 vagens por planta, estudando também cultivares de crescimento indeterminado.

Nesta pesquisa, os maiores valores para número médio de vagens ocorreram na terceira colheita (86 DAS), o que vem a confirmar os estudos realizados por Lopes et al. (1983), que obtiveram os maiores números de vagens por planta aos 84 DAS.

4.2.13.5 Massa média unitária de vagem

As médias desta variável apresentaram diferenças significativas somente para época de colheita. Nenhuma das interações ocorreu, conforme nota-se na Tabela 12. Além disso, o melhor coeficiente de determinação ajustado pelo software SAS foi inferior a 50% (Equação 16):

Regressão para época:

$$\text{MMU (g)} = 0,0432\text{DAS} + 8,7859 \quad (16)$$

A massa média de uma vagem foi de, aproximadamente, 12 g. Esse valor é 50% maior que aquele obtido por Oliveira, A., et al. (2001) e Pereira et al. (2003), que obtiveram o valor de 8 g.

4.2.13.6 Produtividade de vagens

Para a variável produtividade, foram elaborados gráficos e equações de regressão para a representação em kg m^{-2} e kg ha^{-1} .

Pelos dados da Tabela 12 observa-se o comportamento dessa variável, podendo-se constatar que houve significância para cultivar, época e para as interações cultivar x época e fonte x época.

No primeiro desdobramento de interação, para a cultivar Atibaia (Figuras 76 e 77), chegou-se à seguinte equação de regressão para produtividade, em quilogramas por metro quadrado e quilogramas por hectare, respectivamente:

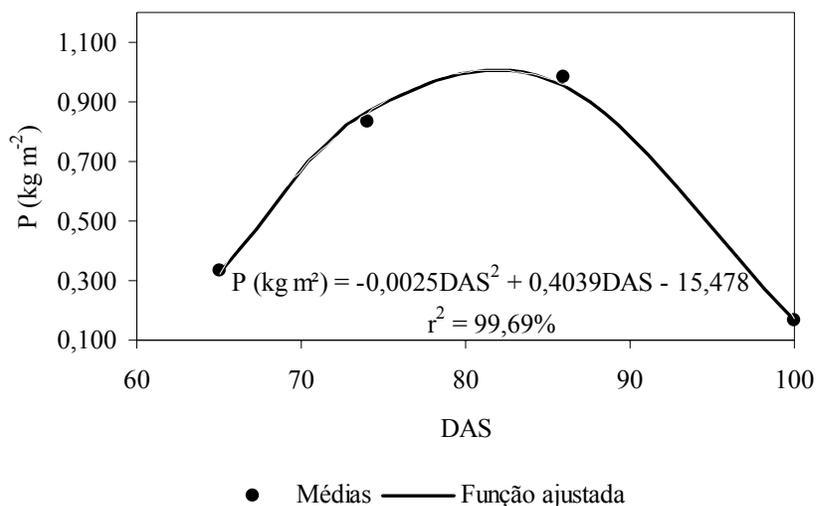
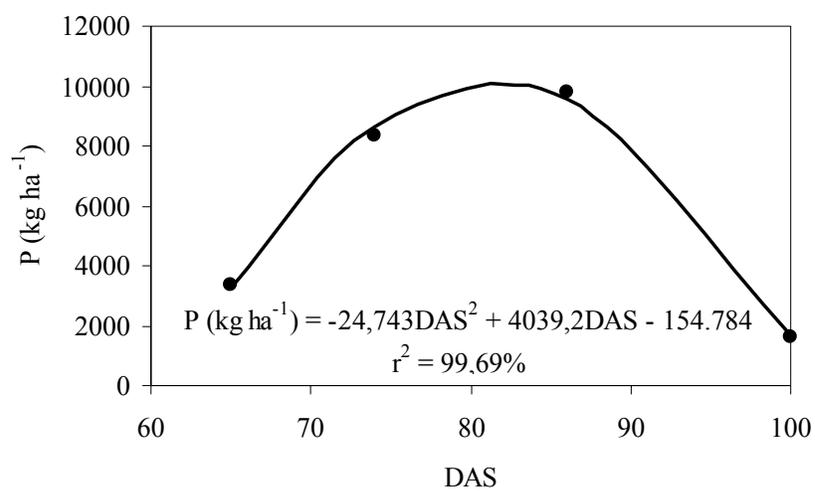


FIGURA 76 Produtividade (kg m⁻²), cultivar Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.



● Médias — Função ajustada

FIGURA 77 Produtividade (kg ha⁻¹), cultivar Atibaia, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Para a cultivar Brasília (Figuras 78 e 79), chegou-se à equação de regressão expressa na Figura 78 para produtividade, em quilogramas por metro quadrado e por hectare, respectivamente:

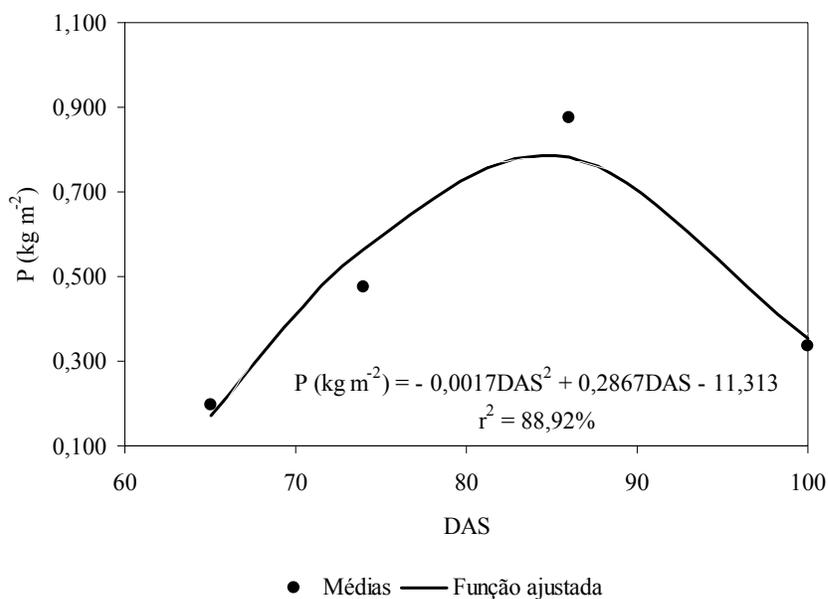


FIGURA 78 Produtividade (kg m⁻²), cultivar Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

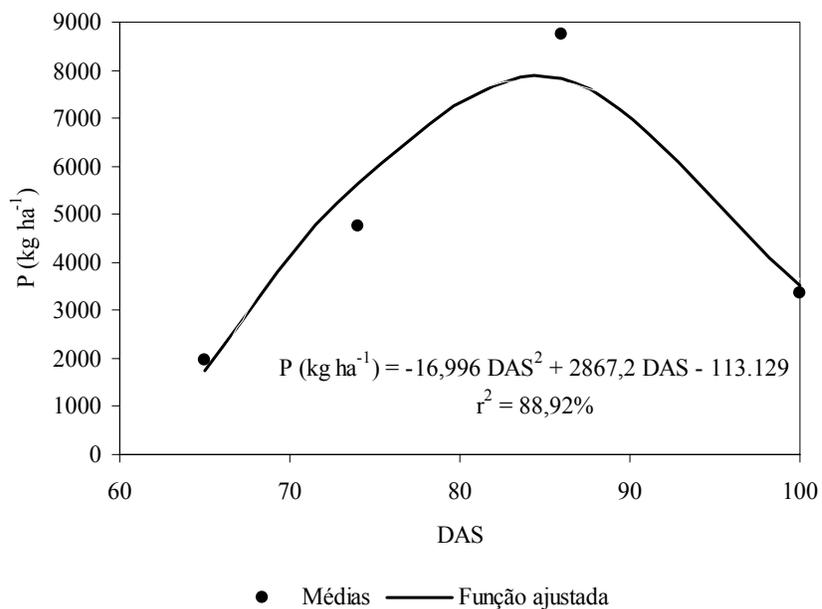


FIGURA 79 Produtividade (kg ha⁻¹), cultivar Brasília, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

O segundo desdobramento a ser efetuado é o referente à interação fonte x época. Estudando época dentro de cada nível de fonte, encontrou-se significância a 1%.

Para a fonte mineral de adubação (Figuras 80 e 81), chegou-se à equação de regressão expressa na Figura 80.

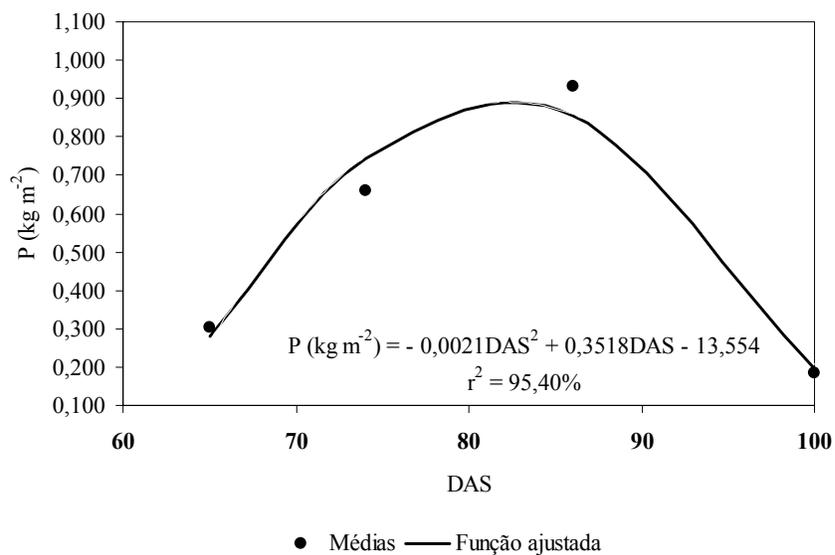


FIGURA 80 Produtividade (kg m⁻²), adubação mineral, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

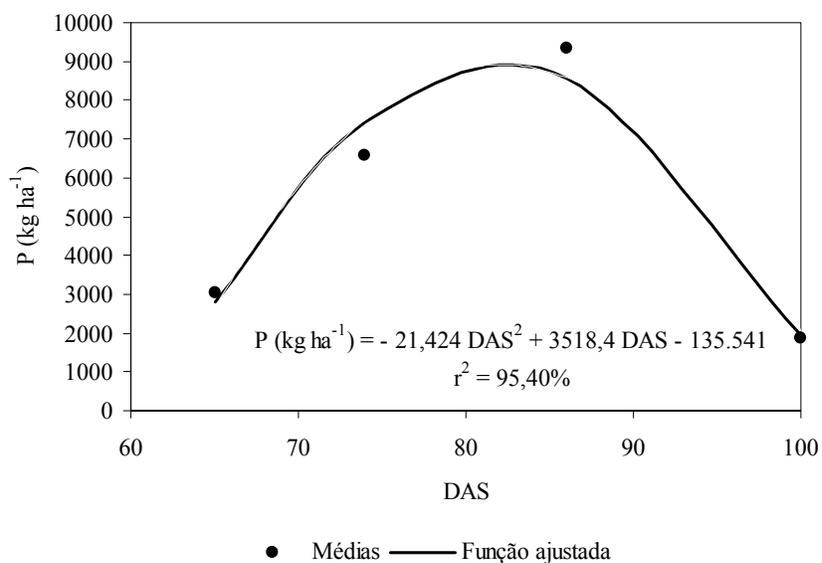


FIGURA 81 Produtividade (kg ha^{-1}), adubação mineral, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Para a fonte orgânica de adubação (Figuras 82 e 83), chegou-se aos resultados expressos na Figura 82.

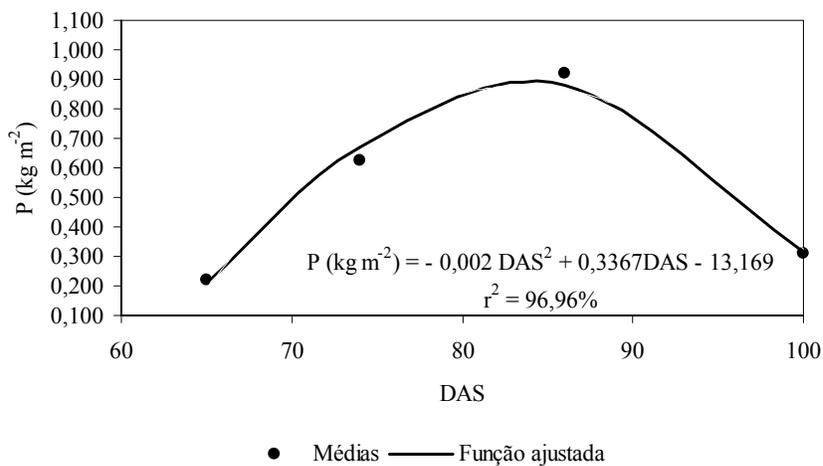


FIGURA 82 Produtividade (kg m^{-2}), adubação orgânica, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

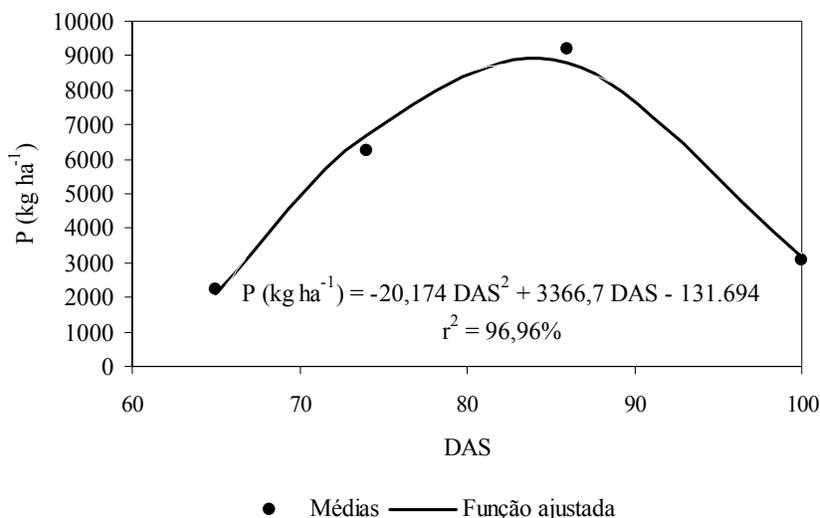


FIGURA 83 Produtividade (kg ha^{-1}), adubação orgânica, ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

No que diz respeito à produtividade, pode-se afirmar que a cultivar mais produtiva foi a Atibaia, o que ocorreu por volta dos 86 DAS.

Neste experimento, especificamente, a melhor combinação fonte de adubação *versus* época (ou seja, que proporcionou maior produtividade) foi a adubação orgânica, por volta dos 86 DAS.

Nas condições do estudo realizado, as representações gráficas e as equações nos levam a inferir que as maiores produtividades, seja com adubo orgânico ou mineral, seja da cultivar Brasília ou Atibaia, ocorreram nas colheitas entre os 78° DAS e o 85° DAS (15 de abril a 22 de abril de 2007).

Todas as produtividades médias observadas estiveram acima de 20 Mg ha^{-1} (2 kg m^{-2}), exceto a cultivar Brasília, que apresentou produtividade média de 18,8 Mg ha^{-1} . Esses valores estão bem próximos àqueles encontrados por Tessarioli Neto & Groppo (1992), Blanco (1997) e Oliveira et al. (2006), porém, bem distantes daqueles obtidos por Vieira et al. (1998) que conseguiram produtividade de quase 48 Mg ha^{-1} .

Analisando-se os resultados de produtividade de ambas as cultivares e de ambas as fontes de adubação, observou-se uma nodulação ínfima nas raízes de todas as plantas coletadas (usadas na determinação de matéria seca das mesmas) ao final do experimento. Segundo estudos de Hernandez-Armenta et al. (1989) e Ramos et al. (1995), a deficiência hídrica e a ocorrência de altas temperaturas no solo (acima de 30°C) durante o ciclo do feijoeiro tem efeito negativo em diferentes etapas do processo de nodulação e na atividade nodular, além de afetar a sobrevivência das bactérias do gênero *Rhizobium* no solo, o que reflete diretamente na redução da simbiose entre bactérias e planta e, conseqüentemente, na produtividade da cultura. Apesar de não ter havido monitoramento da temperatura do solo, tudo leva a crer que esses aspectos, muito provavelmente, ocorreram no ambiente protegido, contribuindo, dentre outros fatores, para a baixa produtividade do feijão-vagem, se for levada em conta a produtividade esperada para esse tipo de ambiente, que é, via de regra, maior que a céu aberto (Steola et al., 2000).

4.2.13.7 Matéria seca das vagens

Essa variável (MSV) apresentou significância somente para época. A cultivar utilizada e ou a fonte de nutrientes não influenciaram significativamente a matéria seca das vagens. Nenhuma das interações ocorreu, conforme se observa pelos dados da Tabela 12. O valor médio de MSV ao longo das quatro colheitas foi de 10%, tendo o maior valor sido encontrado na quarta colheita (14,2 %), ou seja, aos 100 DAS.

Essa variável apresentou um comportamento linear e crescente (Figura 84), o que leva à conclusão de que, com o início da formação de vagens, o dreno metabólico preferencial mudou para essa parte da planta de forma definitiva e mais acentuada e foi se intensificando à medida que as colheitas iam ocorrendo, culminando com a quarta colheita. Essas observações corroboram os estudos de Lopes et al. (1983) e Silva (2003).

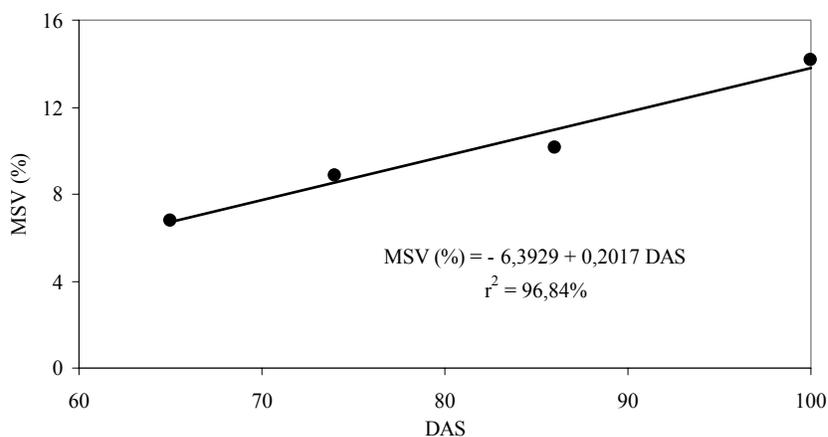


FIGURA 84 Matéria seca das vagens (MSV), ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

4.2.13.8 Matéria seca das plantas

No final do experimento, foi arrancada uma planta em cada fileira (totalizando 16 plantas), com o objetivo principal de se determinar a matéria seca (MS) das mesmas.

O comportamento desse parâmetro pode ser observado no gráfico da Figura 85, em que se nota que os valores de matéria seca das plantas foi maior para a cultivar Brasília.

Deve-se ressaltar que os valores de matéria seca das plantas foram obtidos no final do experimento, após terem ocorrido oito podas apicais e desprezando-se o sistema radicular.

No que diz respeito aos maiores valores de MS para a cultivar Brasília (Figura 85), pode-se creditar esse acontecimento ao fato de essa cultivar ter demonstrado, durante todo o seu ciclo, menor enfolhamento, folhas menos viçosas e tenras, quando comparada à cultivar Atibaia. Esta, por sua vez, sempre mostrou um desenvolvimento foliar mais vigoroso e folhas mais tenras (maior umidade), o que refletiu na sua matéria seca, tendo em vista que, na determinação da matéria seca (Figueiredo et al., 2004),

quanto mais úmido estiver o material vegetal, menor será sua matéria seca, fato que ocorreu com a cultivar Atibaia.

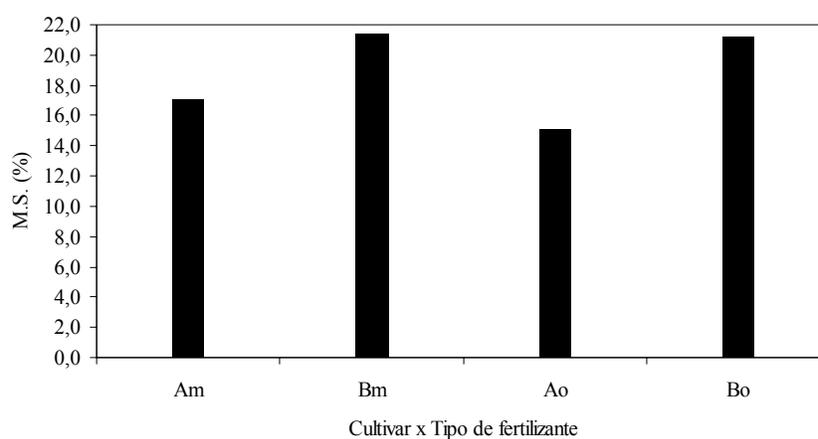


FIGURA 85 Matéria seca média das plantas (%) ao final do experimento, em que Am, Bm, Ao e Bo representam as duas cultivares (Atibaia e Brasília), com as duas fontes de adubação (mineral e orgânica).

4.2.13.9 Umidade média das vagens

A variação de umidade das vagens ao longo das quatro colheitas realizadas pode ser vista no gráfico da Figura 86.

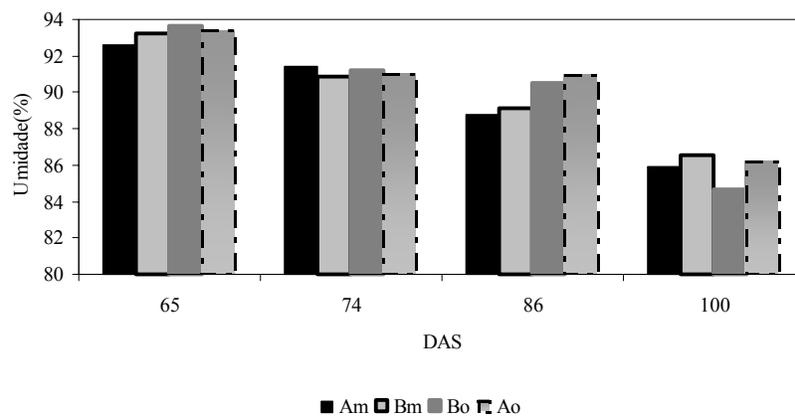


FIGURA 86 Umidade média das vagens (%) nas quatro épocas de colheita, em que Am, Bm, Ao e Bo representam as duas cultivares (Atibaia e Brasília), com as duas fontes de adubação (mineral e orgânica).

Pela análise de variância, constatou-se que a umidade média das vagens foi influenciada somente pela fonte de variação “época de colheita”, sendo significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F. Nesse caso, procedeu-se a uma regressão, que é apresentada na Figura 87.

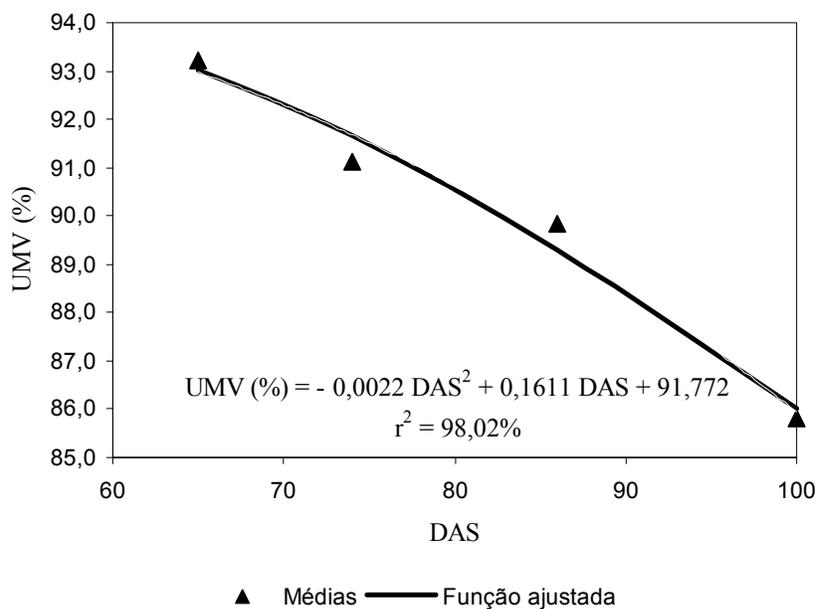


FIGURA 87 Umidade média das vagens (%) ao longo das quatro épocas de colheitas realizadas.

Ocorreu uma considerável redução de umidade das vagens na última colheita, tendo-se em vista que as plantas já apresentavam sinais de senescência, em outras palavras, já estavam no final do ciclo e o processo de translocação de nutrientes e água para os frutos já não se apresentava tão eficiente como no início do ciclo da cultura (Lopes et al., 1983; Konning, 1994; Heuvelink, 1996 e Andriolo & Falcão, 2000).

4.2.14 Condutividade elétrica do solo

A condutividade elétrica do estrato de saturação (CE_{ES}) do solo nos tratamentos, quando se utilizaram adubos químicos, foi de $0,82 \text{ dS m}^{-1}$ e, nos locais onde foram utilizados adubos orgânicos (dejetos da suinocultura após tratamento anaeróbio), a CE_{ES} foi de $0,95 \text{ dS m}^{-1}$, conforme análises realizadas no Laboratório do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Esses valores estão um pouco abaixo do limite estabelecido por Ayers & Westcot (1985), de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$, para que a espécie *Phaseolus vulgaris* L. (Feijoeiro comum) apresente 100% do seu potencial de produção.

5 CONCLUSÕES

1. O sistema de tratamento piloto, incluindo o tratamento preliminar (peneiramento), a dorna de acumulação, que também agiu como um tanque de sedimentação, as duas unidades anaeróbias (RAC e UASB), bem como a caixa de 3.000 litros do efluente final, se mostrou apto quanto à eficiência na remoção de sólidos, permitindo que o sistema de irrigação por gotejamento trabalhasse, dentro do proposto, sem entupimento.

2. O experimento na estação piloto demonstrou, nitidamente, aumento progressivo tanto da condutividade elétrica (CE) como dos sólidos dissolvidos totais (SDT) à medida que a água residuária de suínos passava de uma unidade à outra. Os parâmetros CE e SDT variaram de 1,92 a 3,33 dS.m^{-1} e de 1.226 a 2.133 mg.L^{-1} , respectivamente, demonstrando que, durante o tratamento, os sólidos presentes migraram para sólidos dissolvidos especialmente, devido à instabilidade do sistema em operação.

3. Uma vez que o efluente final utilizado na fertirrigação atingiu $\text{CE} > 3,0 \text{ dS.m}^{-1}$ e $\text{SDT} > 2000 \text{ mg.L}^{-1}$, cujo grau de restrição situa-se na faixa de elevado para severo, conclui-se que deve-se dar continuidade ao tratamento, a fim de que o sistema passe da condição de instabilidade advinda da partida “start-up” para a condição de estabilidade “steady-state”, capaz de permitir um efluente final com parâmetros mais adequados à fertirrigação.

4. A cultivar Macarrão Atibaia apresentou maior produtividade do que a cultivar Brasília, independentemente da fonte de nutrientes (mineral ou orgânica).

5. A fonte orgânica de nutrientes apresentou, estatisticamente, maior produtividade somente na última colheita realizada (100 DAS).

6. O período que apresentou maior produtividade, para ambas as cultivares, foi do 74º ao 86º DAS.

7. O solo não apresentou problemas, ao final do experimento, no aspecto de salinidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- a) O uso dos efluentes de suinocultura na irrigação se mostrou bastante promissor, necessitando maiores estudos sobre seu impacto a longo prazo.

- b) Quanto ao espaçamento adotado para a cultura, que foi de 1,0 m entre linha e 0,5 m entre plantas, este se mostrou inadequado, devido à formação muito intensa de folhas. Sugere-se que, em outros estudos, em casa de vegetação, utilize-se um espaçamento de 1,0 m x 1,0 m ou até mais, caso venha a se trabalhar com cultivares de crescimento indeterminado.

- c) O estiolamento ocorrido em ambas as cultivares pode ser creditado a dois fatores principais: poeira aderida ao plástico da cobertura da casa de vegetação e a proximidade de uma estrada de terra, além do tempo de exposição do plástico que já estava instalado há, mais ou menos, 24 meses. Sugere-se que se faça limpeza periódica na cobertura da casa de vegetação para se minimizar o estiolamento, principalmente nos períodos secos do ano.

- d) O efluente que ficava armazenado em um reservatório de 1.000 litros após o bombeamento do dejetado tratado da caixa de 3.000 litros foi analisado no final do experimento para se verificar a presença de ovos de helmintos e cistos de protozoários. Os resultados das análises foram negativos para ambos. Deve-se ressaltar que o ideal seria a realização dessas análises com maior frequência, durante a condução da cultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGTUNONG, T.P. et al. Genotypic variation in response to high temperature at flowering in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Collingwood, v.32, p.1135-40, 1992.
- AISSE, M.M.; LOBATO, M.B.; BONA, A.; GARBOSSA, L.H.P. Estudo comparativo do reator UASB e do reator anaeróbico compartimentado seqüencial no tratamento de esgoto sanitário. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - AIDIS, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2000. 9p.
- ALVES, D.R.B.; REZENDE, F.C.; FURLAN, R.A.; PASSOS, K.; FOLEGATTI, M.V. Evaporation measured by reduced pan and atmometer inside greenhouses. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 3., 1999, Estoril. **Abstracts...** Estoril, 1999. p.74.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20thed. New York, 1998.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS (ASAE/EP-405.1). **Standards: engineering practices**. Saint Joseph, 1994. 819p.
- ANDRADE, M.J.B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1998. p.99-122.
- ANDREI, E. **Compêndio de defensivos agrícolas**. 7.ed. São Paulo: Editora Andrei, 2005. 1141p.
- ANDRIOLO, J.L.; FALCÃO, L.L. Efeito da poda de folhas sobre a acumulação de matéria seca e sua repartição para os frutos do tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.75-83, 2000.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nation, 1985. 174p. (Revised).
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Campina Grande: UFPB, 1991. 218p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

BARBER, W.P.; STUCKEY, D. Metal bioavailability and trivalent chromium removal in ABR. **Journal of Environmental Engineering**, v.7, n.126, p.649-656, 2000.

BARBOSA, T.C.; TANIGUCHI, G.C.; PENTEADO, D.C.S.; SILVA, D.J.H. Ambiente protegido: olericultura, citricultura e floricultura. Viçosa: UFV: Empresa Júnior de Agronomia, 2006. 194p.

BARROS, L.S.S.; AMARAL, L.A.; JÚNIOR, J.L. Monitoramento sanitário de um sistema integrado de tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Revista Panamericana de Salud Publica**, v.14 n.6, p.385-393, 2003.

BEEKMAN, G.B. Qualidade e conservação da água. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 1996, Brasília. **Conferências...** Brasília: Associação Brasileira das Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1996.

BERNARDES, R.S. Estabilização de poluentes por disposição no solo. **Revista DAE**, São Paulo, v.46, n.145, p.129-148, 1986.

BERNARDI, C.C.B. **Reuso de água para irrigação**. 2003. 52p. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) - Fundação Getúlio Vargas. ISEA, Brasília.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6.ed. Viçosa, MG: UFV, 1996. 657p.

BLANCO, M.C.S.G.; GROppo, G.A.; TESSARIOLI NETO, J. **Feijão-vagem (Phaseolus vulgaris L.)**. Campinas: IAC, 1997. p.63-65. (Manual Técnico das Culturas, 8).

BLEY JÚNIOR, C. **A suinocultura e o meio ambiente**. 2003. Disponível em: <
www.suino.com.br/meioambiente/noticia.asp?pf_id=11350&dept_id=8>. Acesso em: 13 jun. 2007.

BOHRSON, L.T. Livestock effluent. Irrigation branch-Saskatchewan agriculture. **Saskatchewan**, v.85, n.4, p.20-21, 1985.

BOOPATHY, R. Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactor. **Bioresource Technology**, Kidlington, v.64, n.1, p.1-6, 1998.

BOTELHO, C.G. **Qualidade da água para irrigação: sistemas pressurizados de irrigação**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1999. v.1, 96p.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais**. São Paulo: CETESB, 1993. p.583-640.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução - RDC n.12**, de 2 janeiro de 2001. Regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Conceito de reuso de água. In: SANCHES MANCUSO, P.C.; SANTOS, H.F. dos. **Reuso de água**. São Paulo: Universidade de São Paulo. Faculdade de Saúde Pública/Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002.

BROWN, L. **Escassez de água contribui para déficit na colheita mundial**. Universidade Livre da Mata Atlântica, 2002. Disponível em: <www.wwiuma.org.br/lb_graos.htm>. Acesso em: 23 nov. 2002.

CALHEIROS, R.O. Desenvolvimento de tecnologia de destino ecológico da água residuária da suinocultura. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDUCAÇÃO AMBIENTAL NA AGRICULTURA, 5., 2006, Campinas. **Anais...** Campinas, SP: IAC, 2006.

CAMACHO, M.J.; ASSIS, F.N.; MARTINS, S.R.; MENDEZ, M.E.G. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.19-24, 1995.

CAMPOS, C.M.M. **Physical aspects affecting granulations in UASB Reactors**. 1990. 459p. Thesis (PhD) - University of Newcastle upon Tyne, Newcastle.

CAMPOS, C.M.M. **Estudo da tratabilidade de dejetos suínos**: relatório técnico final. Lavras: Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais, 2007. 115p. (TEC 1550/03).

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

CAMPOS, C.M.M.; DAMASCENO, L.H. S.; MOCHIZUKI, E.T.; BOTELHO, C.G. Avaliação do desempenho do reator anaeróbio de manta de lodo(UASB) em escala laboratorial na remoção da carga orgânica de águas residuárias da suinocultura. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.2, p.390-399, mar./abr. 2005a.

CAMPOS, C.M.M.; MOCHIZUKI, E.T.; DAMASCENO, L.H.S.; BOTELHO, C.G. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo(UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.29, n.4, p.848-856, jul./ago. 2005b.

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

CARON, B.O.; HEEDWEIN, A.B. Consumo d'água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.19-25, 2000.

CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REUSO DE ÁGUA. **Reuso de água**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2002. Disponível em: <www.usp.br/cirra/reuso>. Acesso em: 10 jan. 2003.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**: reatores anaeróbios. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1997. v.5, 245p.

CHERNICHARO, C.A. de L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG/Projeto PROSAB, 2001. 544p.

CLANTON, C.J.; SLACK, D.C. Hydraulic properties of soils as affected by surface application of wastewater. **Transactions of the ASAE**, St.Joseph, v.30, n.3, p-683-687, 1987.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357**, 17 de março de 2005. Disponível em: <www.aguasdoimperador.com.br/legislacoes/Resolucao357CONAMA/CONAMA3571703205Classificacaodoscorposdeagua.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2007.

COSTA, C.C. **Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de ferro**. 2000. 85p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

DALMAGO, G.A.; HELDWEIN, A.B.; NIED, A.H. et al. Relação entre a evaporação medida com minitanques no interior de estufas plásticas e na estação meteorológica. In: JORNADA INTEGRADA DE PESQUISA ENSINO E EXTENSÃO, 4., 1997, Santa Maria. **Anais ...** Santa Maria, RS: Universidade Federal de Santa Maria/PRPGP, 1997.

DAVIS, T.D.; HAISSIG, B.E.; SANKHLA, N. (Ed.). **Adventitious root formation in cuttings**. Portland: Dicorides, 1988. 315p. (Advances in Plant Sciences Series, 2).

DEBOUCK, D.G.; HIDALGO, R. Morfologia de uma planta de feijão comum. In: LOPEZ, M.; FERNANDEZ, F.; VAN SCHOONHOVEN, A. **Feijão**: investigação e produção. Cali: CIAT, 1985. p.61-78

DEPROOST, P.; ELSEN, F.; GEYPENS, M. High yields of mechanically harvested snap beans as induced by moderate water stress during flowering. **Acta Horticulturae**, n.664, p.205-212, 664, ISHS. (INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 4., 2004). Disponível em: <http://www.actahort.org/books/664/664_23.htm> Acesso em: 18 maio 2007.

DIAS, N.S.; DUARTE, S.N.; TELES FILHO, J.F.; YOSHINAGA, R.T. Salinização do solo por aplicação de fertilizantes em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v.12, n.1, p.135-143, jan./mar. 2007.

DICKSON, M.H.; PETZOLDT, R. Inheritance of low temperature tolerance in beans at several growth stages. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.22, n.3, p.481-483, 1987.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A.H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 193p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179p. (Irrigation and Drainage Paper, 24).

EL-OKSH, I.I.; EL-BEHAIRY, U.A.; EL-SHINAWY, M.Z.; SADEK, I.I. Response of snap bean plants to irrigation regimes. **Egyptian Journal of Horticulture**, Cairo, Egypt, v.29, n.3/4, p.473-485. 2002.

FAHL, J.I.; CAMARGO, M.B.P. de; PIZZINATTO, M.A.; BETTI, J.A.; MELO, A.M.T. de; DEMARIA, I.C.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6.ed. Campinas: IAC, 1998. 396p. (IAC. Boletim, 200).

FARIA, M.A.; SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.311-348. (Manejo de Irrigação).

FARIA, R.T.; COSTA, A.C.S. da. **Tensiômetro**: construção, instalação e utilização. Londrina: IAPAR, 1987. 24p. (IAPAR.Circular, 56).

FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p.17-22, 1994.

FERNANDES, A.L.T.; TESTEZLAF, L.C.D.; DRUMOND, G.F.; SANTOS, W.O. Utilização de mini-tanque evaporimétrico para controle da irrigação da cultura do melão cultivado em estufa plástica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Piracicaba: SBEA, 2001. v.1, p.505-524.

FERNANDES, G.F.R.; OLIVEIRA, R.A. Desempenho de processo anaeróbio em dois estágios (Reator compartimentado seguido de reator UASB) para tratamento de águas residuárias de suinocultura- **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.1, p.243-256, jan./abr. 2006.

FERREIRA, P.V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3.ed. Maceió: Edufal, 2000. 422p.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção de hortaliças. Viçosa: UFV, 2000. 402p.

FIGUEIREDO, M.P.; SOUSA, S.A.; MOREIRA, G.R. Determinação do teor de matéria seca do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), em três estádios de maturidade fisiológica, pelo forno de microondas. **Magistra**, Cruz das Almas, BA, v.16, n.2, p.113-119, jul./dez. 2004.

FOLEGATTI, M.V. **Fertirrigação**: citrus, flores, hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. 460p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATION. **Wastewater treatment and use in agriculture**. Rome: FAO, 1992. 125p. (Irrigation and Drainage Paper, 47).

FORESTI, E. Fundamentos do processo de digestão anaeróbia. In: TALLERY SEMINARIO LATINOAMERICANO TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES, 3., 1994, Montevidéo. **Anais...** Montevidéo, Uruguay, 1994. p.97-110.

FURLAN, R.A.; BOTREL, T.A.; DA SILVA PAZ, V.P. Consumo de água, pela cultura do crisântemo envasado sob condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.1, p.52-55, 1998.

GLEYSI, H.R.; QUEIROZ, V.E.; MEDEIROS, J.F. (Org.). **Manejo e controle de fertilidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB. 1997. 303 p.

GOMES, L.A.A.; SILVA, E.C. da; FAQUIN, V. Recomendações de adubação em ambientes protegidos In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação**. Viçosa, 1999. 80p.

GOMES FILHO, R.R.; MATOS, A.T.; SILVA, D.D.; MARTINEZ, H.E.P. Remoção de carga orgânica e produtividade da aveia forrageira em cultivo hidropônico com águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.131-134, 2001.

HAANDEL, A.C.; Van LETTINGA, G. **Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate**. Chichester: J. Wiley, 1994. 226p.

HARTMAN, H.T.; KESTER, D.E.; DAVIES, F.T. **Plant propagation: principles and practices**. Englewood Cliffs: Prentise-Hall, 1990.

HELDWEIN, A.B.; NIED, A.H.; SAGGIN, S.L.; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, M. Evaporação d'água em estufas plásticas e sua relação com o ambiente externo: 2- efeito da espécie cultivada e da época do ano nos valores obtidos com minitanques. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p.43-49, 2001.

HERNANDEZ-ARMENTA, R.; WIEN, H.C.; EAGLESHAM, A.R.J. Maximum temperature for nitrogen fixation in common bean. **Crop Science**, Madison, v.29, p.1260-1265, 1989.

HESPANHOL, I. Água e saneamento básico - uma visão realista. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Coord.). **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: Escrituras, 1999.

HEUVELINK, E. **Tomato growth and yield: quantitative analysis and synthesis**. 1996. 326p. Thesis (Doctor) - Wageningen Agricultural University, Wageningen.

HORTEC. **Manual de informações técnicas**. Indaiatuba: Hortec. Tecnologia de Sementes, 2006. 96p.

HUAYNATE, R.A.R.; THOMAZ, M.C.; KRONKA, R.N.; FRAGA, A.L.; SCANDOLERA, A.J.; BUDIÑO, F.E.L. Uso de prebióticos em dietas de suínos: incidência de diarreia, desempenho zootécnico e digestibilidade e rações. **Brazilian Journal Veterinary Animal Science**, São Paulo, v.43, n.5, p.664-673, 2006.

HUSSAR, G.J.; PARADELA, A.L.; BASTOS, M.C.; BASTOS REIS, T.K.; JONAS, T.C.; SERRA, W.; GOMES, J.P. Efeito do uso do efluente de reator anaeróbico compartimentado na fertirrigação da beterraba. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v.2, n.1, p.035-045, 2005.

INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE. **Global Water Outlook to 2025: averting an impending crises: Relatório**. Washington, 2002. Disponível em: <<http://archives.ces.fau.edu/fontedagua.html>>. Acesso em: 22 nov. 2002.

ISHIMURA, I.; FEITOSA, C.T.; LISBÃO, R.S.; PASSOS, F.A.; FORNASIER, J.B.; NODA, M. Diferentes doses de N,P,K na produção do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 23., 1983, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SOB, 1983.

KANWAR, R.S.; BAKER, J.L.; LAFLEN, J.M. Nitrate movement through the soil profile in relation to tillage system and fertilizer application method. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.28, n.6, p-1802-1807, 1985.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v.17, p.678-684, 1974.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133p.

KETELAARS, J.J.M.; VAN DER MEER, H.G. Perspective for improving efficiency of nutrient use in livestock production in the Netherlands. In: MATSUNAKA, T. (Ed.). **Environmental friendly management of farm animal waste**. Sapporo: Kikashi Insantsu, 1998. p.159-164.

KHALLEL, R.; FOSTER, G.R.; REDDY, K.R. et al. A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes: III. A conceptual model for sediment and manure transport. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.6, p-1353-1361, 1979.

KONNING, A.N.M. **Development and dry matter distribution in glasshouse tomato: a quantitative approach**. 1994. 326p. Thesis (Doctor) - Wageningen Agricultural University, Wageningen.

KOZEN, E.A. **Manejo e utilização de dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1983. 32p. (EMBRAPA. CNPSA. Circular Técnica, 6).

LAVRADOR FILHO, J. **Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil.** 1987. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEON SUEMASTU, G.; CAVALLINI, J.M. **Curso de tratamiento y uso de aguas residuales.** Guanacaste, Costa Rica: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. OPS/CEPIS/96.17(RAA/TAR), 1996. 150p.

LETTINGA, G.; HULSHOFF-POL, L.W. UASB- Process design for various types of wastewaters. **Water Science and Technology**, Kidlington, v.24, n.8, p.87-107, 1991.

LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L.W.; ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment:** Part I: anaerobic wastewater treatment. Lecture Notes: Wageningen Agricultural University, 1996.

LETTINGA, G.; Van VELSEN, A.F.M.; HOBMA, S.M.; ZEEUW, W.; KLAPWIJIC, A. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater especially anaerobic treatment. **Biotechnology and Bioengineering**, New York, v.22, n.4, p.699-734, 1980.

LIER, J.B. Van TILCHE, A.; AHRING, B.K.; MACARIE, R.; DOHANYOS, M.; HULSHOFF-POL, L.W.; LENS, P.; VERSTRAETE, W. New perspectives in anaerobic digestion. **Water Science Technology**. Kidlington, v.43, n.1, p.1-18, 2001.

LIMA, J.A. de F. **Suinocultura.** Lavras, MG: ESAL/FAEPE, 1991. 161p.

LOPES, N.F. et al. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade do fluxo radiante. **Revista Ceres**, v.30, n.172, p.451-465, 1983.

LOURENÇO, A.M.P. **Desempenho de um sistema composto de reator UASB, filtro anaeróbico e lagoa aerada facultativa para o tratamento das águas residuárias da suinocultura.** 2006. 129p. Dissertação(Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MALAVOLTA, E. Pesquisa com nitrogênio no Brasil passado, presente e perspectivas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE NITROGÊNIO EM PLANTAS. 1., 1990, Itaguaí. **Anais...** Itaguaí: SBFV, 1990. p.89-177.

MARQUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C.; SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças.** 5.ed. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1996. 72p.

MARTINS, S.R.; GONZALES, J.F. Evapotranspiração e respostas fisiológicas do feijão-vagem cultivado em substrato em estufa com sistema de ventilação/calefação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.31-37, 1995.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N. Riscos potenciais ao ambiente pela aplicação de dejetos líquidos de suínos ou compostos orgânicos no solo. In: SEMINARIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZACAO DE DEJETOS DE SUINOS, 1., 1995, Ponte Nova. **Anais...** Ponte Nova, MG: EPAMIG/EMATER/UFV/ASSUVAP, 1995. p.35-44.

MATOS, A.T.; SEDIYAMA, M.A.N.; VIDIGAL, S.M. Compostos orgânicos contendo dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio: I-dinâmica da compostagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1998, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: SBSCS, 1998. p.663-665.

MATOS, A.T.; LEMOS, A.F.; BARROS, F.M. Mobilidade de nitrato em solos de rampas de tratamento de águas residuárias por escoamento superficial. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.12, n.1, p.57-65, jan./mar. 2004.

MAYNARD, B.K.; BASSUK, N.L. Stock plant etiolation, banding and shading effects on the histology of adventitious rooting in stems of *Carpinus betulus* L. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.121, n.5, p.853-860, 1996.

MEDEIROS, J.F.; PEREIRA, F.A.C.; FOLEGATTI, M.V.; PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A. Comparação entre evaporação de tanque classe A padrão e em mini-tanque instalados em estufa e estação meteorológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 228-230.

MERRIAN, J.L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. New York: McGraw-Hill, 1991. 1334p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering treatment disposal reuse**. 4.ed. New York: McGraw - Hill Book, 2003. 1815p.

MILLAR, A.A. **Manejo racional da irrigação: uso de informações básicas sobre diferentes culturas**. Brasília: IICA. 1984. 51p. (IICA. Publicações Miscelâneas, 461).

MONTERROSO, V.A.; WIEN, H.C. Flower and pod abscission due to heat stress in beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.115, n.4, p.631-634, 1990.

MOURA, A.O.B. **Avaliação do pH e da CE da água de irrigação submetida a diferentes doses e tipos de adubos**. 1994. 92p. Monografia. (Graduação em Agronomia) - Escola Superior de Agronomia de Mossoró, Mossoró.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production: design, operation and management**. New York: Elsevier, 1986. 383p.

NETAFIM- Dripnet PC 17350: pressure compensated dripperlines. Catalogue. 2007. Disponível em: <www.netafim.com.ar/495/>. Acesso em: 1 maio 2007.

OLIVEIRA, A.P.; CARDOSO, M.O.; BARBOSA, L.J.N. et al. Resposta do feijão-vagem a P₂O₅ em solo arenoso com baixo teor de fósforo. **Horticultura Brasileira**, Lavras, v.23, n.1, p.128-132, jan./mar. 2005.

OLIVEIRA, A.P.; PEIXOTO, N. ; VALADARES, W.A. et al. Avaliação de linhagens e cultivares arbustivas de feijão-vagem nas condições de Areia-PB. **Agropecuária Técnica**, v.22, n.1/2, p.21-25, 2001.

OLIVEIRA, A.P.; TAVARES SOBRINHO, J.; SOUZA, A.P. Característica e rendimento do feijão-vagem em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.3, p.714-720, maio/jun. 2003.

OLIVEIRA, C.A.F.; GERMANO, P.M.L. Estudo da ocorrência de enteroparasitas em hortaliças comercializadas na região metropolitana de São Paulo - SP, Brasil. II - Pesquisa de protozoários intestinais. **Revista de Saúde Pública**, S. Paulo, v.26, n.5, p.332-335, 1992.

OLIVEIRA, C.R. de. **Cultivo em ambiente protegido**. Campinas: CATI, 1997b. 31p (Boletim Técnico, 232).

OLIVEIRA, F.J. ; BASTOS,G.Q.; CARNEIRO, F.W.O. Teor de fibra em genótipos de feijão-vagem. **Revista Ecosystema**, v.26, n.1, p.65-67, 2001.

OLIVEIRA, N.G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G. Feijão-vagem semeado sobre cobertura viva perene de gramínea e leguminosa e em solo mobilizado, com adubação orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.9, p.1361-1367, set. 2006.

OLIVEIRA, P.A.V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concordia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p. (Documento, 27).

OLIVEIRA, R.A. de. **Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluente no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura.** 1997a. 359f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.

OMAE, H.; KUMAR, A.; KASHIWABA, K. ; SHONO, M. Influence of temperature shift after flowering on dry matter partitioning in two cultivars of snap beans (*Phaseolus vulgaris*) that differ in heat tolerance. **Plant Production Science**, n.10, v.1, p.14-19, 2007.

ONYANGO, E. Re: oferta de água em 2025. In: INTERNATIONAL FOOD POLICY RESEARCH INSTITUTE. **Global Water Outlook to 2025: averting an impending crises: Relatório.** Washington, 2002. Disponível em <<http://archives.ces.fau.edu/fontedagua.html>>. Acesso 20 Nov. 2002.

PAIN, B. Environmentally friendly management of farm animal wastes- an overview. In: MATSUNAKA, T. (Ed.). **Environmental friendly management of farm animal waste.** Sapporo: Kikashi Insantsu, 1998. p.259-268.

PASTORINI, L.H.; BACARIN, M.A.; LOPES, N.F.; LIMA, M.G.S. Crescimento inicial de feijoeiro submetido a diferentes doses de fósforo em solução nutritiva. **Revista Ceres**, Viçosa, v.47, n.270, p.219-228, 2000.

PEIXOTO, N.; THUNG, M.D.T.; SILVA, L.O. de; FARIAS, J.G.; OLIVEIRA, E.B. de; BARBEDO, A.S.C.; SANTOS, Q. **Avaliação de cultivares arbustivas de feijão-vagem, em diferentes ambientes do Estado de Goiás.** Goiânia: EMATER-GO. Assessoria de Comunicação Social, 1997 (Boletim de Pesquisa, 1).

PEIXOTO, N.; BRAZ, L.T.; BANZATTO, D.A. et. al. Resposta de feijão-vagem a diferentes níveis de fertilidade. **Horticultura Brasileira**. v. 20, n.4, p.593-596, dez. 2002.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G.J.M.M.; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DA SUINOCULTURA, 9., 2001, Gramado. **Anais...** Gramado: Embrapa Suínos e Aves, 2001. p.11-17.

PEREIRA, A.V.; OTTO, R.F.; REGHIN, M. Y. Respostas do feijão-vagem cultivado sob proteção com agrotêxtil em duas densidades de plantas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, p.564-569, jul./set. 2003.

PEREIRA, E.R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reuso no ambiente agrícola.** 2006. 130p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

PEREIRA-RAMIREZ, O.; QUADRO, M.S.; ANTUNES, R.M.; KOTZ, P.R. Influência da recirculação e da alcalinidade no desempenho de um reator UASB no tratamento de efluente de suinocultura. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.10, n.1, p.103-110, jan./mar. 2004.

PESCOD, M.B. **Wastewater treatment and use in agriculture.** Rome: FAO, 1992. 125p. (Paper, 47).

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia:** goteo, microaspersión, exudación. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513p.

PRELA, A.; ARRUDA RIBEIRO, A.M. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.83-86, 2002.

QUEIROGA, J. L.; ROMANO, E.D.U.; SOUZA, J.R.P.; MIGUORANZA, E. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.64-68, mar. 2003.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.

RAMIRES, R.D. **Produção de metano e remoção de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos patogênicos em reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura.** 2005. 136p. Dissertação (Mestrado em microbiologia agropecuária) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. UNESP, Jaboticabal, SP.

RAMOS, M.L.G.; PARSONS, P.; JAMES, E.K.; SPRENT, J.I. Effect of water stress on nitrogen-fixation of two cultivars of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: TIKONOVICH, I.A.; PROVOROV, N.A.; NEWTON, W.E. (Ed.). **Nitrogen fixation: fundamentals and applications.** Dordrecht: Kluwer, 1995. p.728.

REZENDE, F.C.; ALVES, D.R.B.; FURLAN, R.A.; PASSOS, K.S.; FRIZZONE, J.A.; FOLEGATTI, M.V. Determinação da evaporação em casa de vegetação utilizando tanque reduzido e Atmômetro. **Irriga**, Botucatu, v.9, n.3, p.282-288, set./dez. 2004.

RICHARDS, L.A. (Ed.). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington, DC: USDA, 1954. 160 p. (USDA. Handbook, 60).

ROBERTS, R.J.; CLANTON, C.J. Plugging effects from livestock waste application on infiltration and runoff. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.35, n.2, p-515-522, 1992.

ROBERTSON, L.J.; GJERDE, B. Occurrence of parasites on fruits and vegetables in Norway. **Journal of Food Protection**, v.64, p.1793-1798, 2001.

ROCHA, R.E.M.; PIMENTEL, M.S.; ZAGO, V.C.P.; RUMJANEK, N.G.; DE-POLLI, H. Avaliação de biossólido de águas servidas domiciliares como adubo em couve. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.12, p.1435-1441, 2003.

SALEH, B.B. **Parâmetros cinéticos de reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB) operando com efluentes líquidos agroindustriais**. 2004. 66p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SANTANA, A.M.; OLIVEIRA, R.A. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.817-830, set./dez. 2005.

SANTOS, J.G.R. dos. **A salinidade na agricultura irrigada: teoria e prática**. Campina Grande: [s.n.], 2000. 171p.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT™ SAS user's guide for Windows environment 6**. 11.ed. Cary, 1995.

SCALOPPI, E.J.; BAPTISTELLA, J.R. Considerações sobre a aplicação de efluentes ao solo. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 7., 1986, Brasília. **Anais...** Brasília, 1986. p.1049-1066.

SCHERER, E.E.; BALDISSERA, I.I.; ROSSO, A. Utilização dos dejetos suínos como fertilizantes. In: _____. **Aspectos práticos do manejo de dejetos suínos**. Florianópolis: EPAGRI/EMBRAPA-CNPSA, 1995. 106p.

SEGHEZZO, L.; ZEEMAN, G.; LIER, J.B.; VAN; HAMELERS, H.V.M.; LETTINGA, G. A review: the anaerobic treatment of sewage in UASB and EGSB reactors. **Biorresource Technology**, Kidlington, v.65, n.1, p.175-190, 1998.

SHONNARD, G.C.; GEPTS, P. Genetics of heat tolerance during reproductive development in common bean. **Crop Science**, Madison, v.34, p.1168-1175, 1994.

SHUVAL, H.; LAMPERT Y, ; FATTAL, B.; RAWITZ, E.; YEKUTIEL, P. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture. **Water Science and Technology**, Oxford, v.35, n.11-12, p.15-20, 1997.

SILVA, J.F. **Monitoramento de um sistema piloto de tratamento de água residuária do café produzido por via úmida**. 2007. 133p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, A.C.T.F. **Avaliação de cultivares de feijão-vagem dentro e fora de casa de vegetação, utilizando análise de crescimento**. 2003. 59f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

SINGH, B. Irrigation water management for bush snap bean production. **Hortscience**, Virginia, v.24, n.1, p.69-70, Feb. 1989.

SOARES, B.; CANTOS, G.A. Detecção de estruturas parasitárias em hortaliças comercializadas na cidade de Florianópolis, SC, Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**. Florianópolis, v.42, n.3, p.455-460, jul./set. 2006.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.22, n.5, p.1034-1038 1979.

SOUZA, J.T.; CEBALLOS, B.S.O.; HENRIQUE, I.N.; DANTAS, J.P.; LIMA, S.M.S. Reuso de água residuária na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n.1, mar. 2006.

STEOLA, A.G.; MAZO, M.S.; OLIVEIRA, J.C.C.; MALUF, W.R. **Construa você mesmo sua estufa tipo arco**. Lavras: UFLA, 2000. 6p. (Boletim Técnico de Hortaliças, 55).

TESSARIOLI NETO, J.; GROppo, G.A. **A cultura do feijão-vagem**. Campinas: CATI, 1992. p.1-12. (Boletim Técnico CATI, 212).

TOBIAS, A.C.T. **Tratamento de resíduos da suinocultura: uso de reatores anaeróbios seqüenciais seguidos de leitos cultivados**. 2002. 146p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

- URACH, F.L. **Estimativa da retenção de águas em solos para fins de irrigação.** 2007. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgoto:** um manual para regiões de clima quente. Campina Grande, PB: Epgraf, 1994.
- VARGAS, G.; OBRECÁNNÉ, K.M. Irrigation peculiarities of Spring and Summer snap beans. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n.220, p.371-375, 1987.
- VAZOLLER, R.F. **Microbiologia e saneamento ambiental.** Disponível em: <<http://www.bat.fat.org.br>>. Acesso em: 4 fev. 2002.
- VAZOLLER, R.F. **Biodiversidade:** perspectivas e oportunidades tecnológicas, microbiológicas e saneamento ambiental. Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/publicações/padct/bio/cap.o/3/rossbio.html>>. Acesso em: 5 jun. 2006.
- VIANNA, M.D.B. **Contribuição ao estudo da cloração de água potável.** 1976. 188p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP.
- VEIRA, A.R.R.; SCHNEIDER, L.; MARQUES JÚNIOR, S. et al. Caracterização térmica e hídrica da cultura do feijão-de-vagem na região da grande Florianópolis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.6, p.929-936, 1998.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 2.ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996. v.1, 243p.
- WEAVER, M.L.; TIMM, H. Influence of temperature and plant water status on pollen viability in beans. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.113, n.1, p.31-35, 1988.
- WESTERHOFF, G. P. An update of research needs for water reuse. In: WATER REUSE SYMPOSIUM. 3., 1984, San Diego. **Proceedings...** San Diego, Califórnia, 1984.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents:** methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts. Geneva, 1973. (Technical Report Series, 517).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Geneva, 1989. (World Health Organization Technical Report Series, 778).

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world.** Geneva, 1997.

ANEXOS

ANEXO A

FIGURA 1A	Curva de desempenho da bomba Nemo responsável pela alimentação do sistema piloto de tratamento.....	172
FIGURA 2A	Umidade relativa (%) máxima, mínima e média, medida no interior da casa de vegetação durante o cultivo de feijão-vagem.....	172
TABELA 1A	Concentração de cálcio (Ca^0) contido na água do solo, próxima à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO_3/Ca e CEa	173
TABELA 2A	Resultados analíticos - Fertilidade do solo (14 dias após o final do experimento com feijão-vagem).....	174

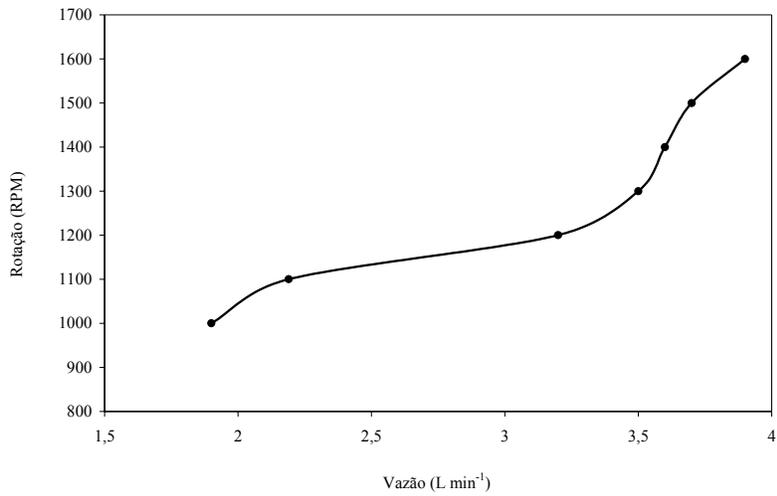


FIGURA 1A Curva de desempenho da bomba Nemo responsável pela alimentação do sistema piloto de tratamento

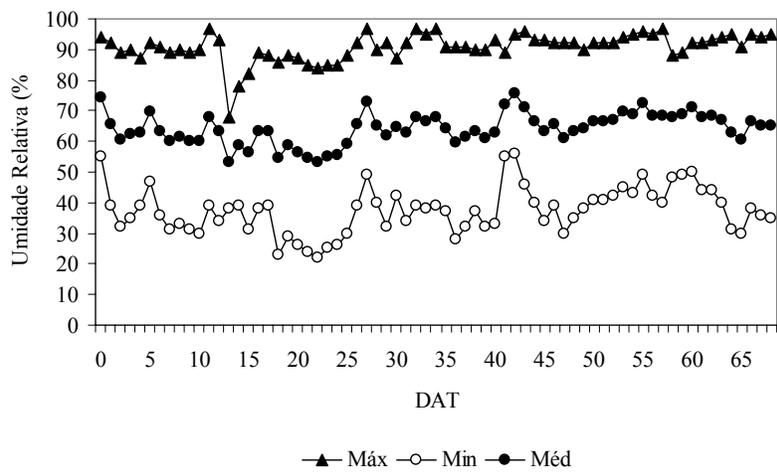


FIGURA 2A Umidade relativa (%) máxima, mínima e média medida no interior da casa de vegetação, durante o cultivo de feijão-vagem.

TABELA 1A Concentração de cálcio (Ca^0) contido na água do solo, próxima à superfície, que resultaria da irrigação com água de determinada relação HCO_3/Ca e CEa.

Valor de HCO_3/Ca	Salinidade da água aplicada (CEa) dS m^{-1}									
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0
0,05	13,2	13,6	13,9	14,4	14,79	15,2	15,91	16,4	17,2	17,9
0,10	8,31	8,57	8,77	9,07	9,31	9,62	10,02	10,3	10,8	11,3
0,15	6,34	6,54	6,69	6,92	7,11	7,34	7,65	7,90	8,31	8,64
0,20	5,24	5,40	5,52	5,71	5,87	6,06	6,31	6,52	6,86	7,13
0,25	4,51	4,65	4,76	4,92	5,06	5,22	5,44	5,62	5,91	6,15
0,30	4,00	4,12	4,21	4,36	4,48	4,62	4,82	4,98	5,24	5,44
0,35	3,61	3,72	3,80	3,94	4,04	4,17	4,35	4,49	4,72	4,91
0,40	3,30	3,40	3,48	3,60	3,70	3,82	3,98	4,11	4,32	4,49
0,45	3,05	3,14	3,22	3,33	3,42	3,53	3,68	3,80	4,00	4,15
0,50	2,84	2,93	3,00	3,10	3,19	3,29	3,43	3,54	3,72	3,87
0,75	2,17	2,24	2,29	2,37	2,43	2,51	2,62	2,70	2,84	2,95
1,00	1,79	1,85	1,89	1,96	2,01	2,09	2,16	2,23	2,35	2,44
10,0	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,45	0,47	0,48	0,51	0,53
20,0	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33
30,0	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25

Ca^0 e HCO_3/Ca são expressos em mmol/l
 Adaptado de Suarez (1981) citado por Gleyi et al. (1997).

TABELA 2A Resultados analíticos - fertilidade do solo (14 dias após o final do experimento com feijão-vagem-21/05/2007).

Ponto	Descrição					pH		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
						H ₂ O		mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³			
I	Canteiros com adubação química					6,3	-	49,8	259	-	9,0	1,1	0,0	1,2
II	Canteiros com adubação orgânica (suínos)					6,5	-	49,8	178	-	9,0	1,1	0,0	1,2

Ponto	SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	cmolc dm ⁻³			%		dag	kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					
I	10,8	10,8	12,0	90,0	0	-	3,1	8,5	-	-	-	-	-	-
II	10,6	10,6	11,8	89,8	0	-	2,7	8,5	-	-	-	-	-	-

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5

P - Na - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator. KCl - 1 mol L⁻¹

H + Al - extrator: SMP

B - extrator água quente

S - extrator - fosfato monocálcico em ácido acético

SB = soma de bases trocáveis

CTC (t) - capacidade de troca catiônica efetiva

CTC (T) - capacidade de troca catiônica a pH 7,0

V = índice de saturação de bases

m = índice de saturação de alumínio

ISNa - índice de saturação de sódio

Mat. Org. (MO) - oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem = fósforo remanescente