



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**



ALINE COSTA FERREIRA

**DRENAGEM AGRÍCOLA COM UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA
E SISTEMAS DRENANTES**

CAMPINA GRANDE – PB

2009

ALINE COSTA FERREIRA

**DRENAGEM AGRÍCOLA COM UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA
E SISTEMAS DRENANTES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais (CTRN) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em cumprimento às exigências para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientadora: Prof^ª. Vera Lúcia Antunes de Lima

CAMPINA GRANDE – PB

2009

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

F383d

2009 Ferreira, Aline Costa.

Drenagem agrícola com utilização de diferentes tipos de água e sistemas drenantes / Aline Costa Ferreira. — Campina Grande, 2009.

69 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof.^a Dr.^a Vera Lúcia Antunes de Lima.

1. Reúso. 2. Tubos. 3. Envoltórios. 4. Água. 5. Material Alternativo. I. Título.

CDU – 628.3.033(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

ALINE COSTA FERREIRA

DRENAGEM AGRÍCOLA UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE ÁGUA E SISTEMAS
DRENANTES

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Vera Lúcia Antunes de Lima
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima – Orientadora

APROVADO

José Elias da Cunha Metri
Dr. José Elias da Cunha Metri – Examinador

APROVADO

José Geraldo Vasconcelos Baracuhy
Dr. José Geraldo Vasconcelos Baracuhy – Examinador

APROVADO

José Dantas Neto
Dr. José Dantas Neto – Examinador

APROVADO

FEVEREIRO - 2009

Dedico esta vitória de minha vida a Deus, que é o supremo maior; a meus pais, José Ferreira e Joana D'arc e a meu esposo, Josinaldo Medeiros.

AGRADECIMENTOS

... A Deus, por me dar coragem para iniciar e forças para concluir mais uma etapa da vida, tão almejada.

... Aos Professores e Orientadores Vera Lúcia Antunes de Lima e José Geraldo de Vasconcelos Baracuchy, pelo apoio, força, amizade e incentivo.

... aos bolsistas da graduação, Kalina, Tamyres, Janildo e Sileno, pela grande ajuda durante o experimento.

... A Dona Rivanilda e a todos os funcionários da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela atenção, em especial à Coordenadora, Professora Josivanda.

... Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo durante o mestrado.

... A meus pais, José Ferreira da Silva e Joana D'arc Costa Ferreira, por compartilharem com esta vitória.

... A meu esposo, Josinaldo Xavier de Medeiros, pela força, incentivo e palavras de fortaleza nos momentos de fraqueza e tristeza.

... Aos queridos sobrinhos Guilherme Lima Costa e André Costa Ferreira Filho, por compreenderem tão necessária e memorável ausência, principalmente durante a execução do experimento e dissertação dos dados.

... A minhas tias Kátia e Leu e a meu avô Milton, pelo incentivo maior de ter a primeira sobrinha e neta formada, Especialista e Mestre em Engenharia Agrícola, e aos familiares em geral, pela dedicação e força perante tantos obstáculos que tive de enfrentar durante este longo período de caminhadas.

... À minha família, irmãos, cunhado e cunhadas, pela força durante todo o período;

... À família Buzina, por mais uma vitória alcançada na minha vida, em especial a Dudu, Jéssica e Dido, por terem sido presentes.

... Aos meus AMIGOS, em especial a todos (as) que enfrentaram comigo este caminho de tantos altos e baixos, como: Kaline Dantas Travassos, Joelma Sales dos Santos, Ana Kelliane Silva do Nascimento, Silvana Silva de Medeiros, Betânia Rodrigues Silva, Soahd Arruda Rached, Maria do Socorro Formiga, Silvana Fernandes Neto, Denise de Jesus Lemos Ferreira e Riuzuani Bezerra Pedroza.

... Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
1.0 INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivos.....	03
1.1.1. Objetivo Geral.....	03
1.1.2. Objetivos Específicos.....	03
2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	04
2.1.Drenagem Agrícola.....	04
2.2. Drenagem Superficial	05
2.3. Drenagem Subterrânea.....	06
2.4. Sistemas de Drenagem.....	07
2.5. Porosidade Drenável (μ)	08
2.6. Quantidade de Água a ser Drenada.....	09
2.7. Condutividade Hidráulica Saturada ($K\theta$).....	09
2.8. Tubos Drenantes.....	11
2.9. Envoltórios.....	13
2.9.1. Sisal.....	15
2.9.2. Borracha Sintética.....	18
2.10. Solos.....	20
2.11. Água.....	22
2.11.1. Qualidade de Água para a Agricultura.....	23
2.11.2. Água Residuária.....	24
2.11.2.1. Origem e Composição das Águas Residuárias.....	24
2.11.2.2. Aspectos Sanitários do Uso de Águas Residuárias na Irrigação.....	24
2.11.2.3. Reúso de Águas.....	25
2.11.2.4. Reúso na Agricultura.....	26
3.0 MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1. Material Poroso.....	29

3.2. Montagem dos Tanques.....	31
3.3. Tubos Drenantes.....	33
3.4. Água Tratada.....	36
3.5. Água Residuária Doméstica.....	37
3.6. Tratamentos.....	38
3.7. Ensaio Realizados.....	39
3.7.1. Carga Hidráulica de Entrada (<i>he</i>).....	39
3.7.2. Fluxo (<i>q</i>).....	40
3.7.3. Resistência de Entrada (<i>re</i>).....	42
3.7.4. Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Drenagem.....	42
3.7.5. Procedimento de Análise Estatística.....	45
4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1. Carga Hidráulica de Entrada (<i>he</i>).....	46
5.0 CONCLUSÕES.....	65
6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

FERREIRA, Aline C. **Técnicas Alternativas para Drenagens Subterrâneas com Utilização de Água Residuária**. 2009, 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Campina Grande. Universidade Federal de Campina Grande.

RESUMO

Os sistemas de drenagem urbana são, essencialmente, sistemas preventivos de inundações, sobretudo nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais de cursos naturais de água; já no ambiente rural, os sistemas de drenagem têm ainda, além dessas funções o papel de controle de lençol freático, recuperação de solos salinizados e o de propiciar condições favoráveis às diversas ações razão por que se objetivou, com esta pesquisa, desenvolver e avaliar as características hidráulicas de sistemas de drenagem confeccionados utilizando-se água de abastecimento e água residuária doméstica sem tratamento, com envoltórios de raspas de borracha de sandálias e resíduo de processamento de sisal sob condições de laboratório. O experimento, realizado no Laboratório de Irrigação e Drenagem, LEID, da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, ocorreu em três etapas, em cada uma das quais eram testados três diferentes tubos e um único material envoltório através dos dois tipos de água, cada qual com três repetições. Para a montagem do experimento foram pesados 500 kg de solo seguindo este mesmo raciocínio nos 9 tanques. Na primeira etapa se avaliaram os sistemas compostos dos tubos Drenoflex, tubo de PVC liso e Kanonet usando-se como envoltório o material fibra de sisal e águas de abastecimento e residuária doméstica, enquanto na etapa seguinte os tubos foram envelopados com a raspa de borracha de sandálias utilizando-se as mesmas águas. Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial com três tipos de tubo, Drenoflex, Kanonet e tubo de PVC liso, próprio para esgoto, dois materiais envoltórios, fibra de sisal e raspas de borracha de sandália com a utilização de dois tipos de água a serem drenadas (água de abastecimento e água residuária). Os sistemas de drenagens que apresentaram maior capacidade de rebaixamento do lençol freático foi o tubo PVC liso com o envoltório de sisal e o tubo Drenoflex com o envoltório raspas de borracha.

Palavras – Chave: reúso, tubos, envoltórios, água, material alternativo

FERREIRA, Aline C. **Technical Alternatives for Groundwater drainage on use of wastewater**. 2009, 82p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Campina Grande. Federal University of Campina Grande.

ABSTRACT

The urban drainage systems are essentially systems of flood prevention, especially in lower areas of the communities subject to flooding or marginal natural water courses, while the rural environment, the drainage systems are also beyond the role of these functions control of groundwater, reclamation of salinized soils and to provide favorable conditions for various actions why is aimed, with this research, develop and evaluate the hydraulic characteristics of constructed drainage systems using the water supply and domestic wastewater without treatment , wraps with the scrapings of rubber sandals and processing of sisal waste under laboratory conditions. The experiment, conducted at the Laboratory of Irrigation and Drainage, Leiden, the Federal University of Campina Grande - UFCG, occurred in three stages in each of three different tubes were tested and a single wrap material from the two types of water, each one with three replications. For the assembly of the experiment were weighed 500 kg of soil following the same reasoning in 9 tanks. The first stage is composed of the systems evaluated Drenoflex pipes, PVC pipe and smooth Kanonet using as the material envelope of sisal fiber and water supply and domestic waste, while in the next step the tubes were enveloped with a rubber scraper to sandals using the same waters. Treatments were arranged in a factorial arrangement with three types of tube, Drenoflex, Kanonet PVC pipe and smooth, suitable for drainage, two wraps materials, sisal fiber and scrapings of rubber sandal with the use of two types of water to be drained (water supply and wastewater). The drainage systems that had greater capacity for lowering the water table was the PVC pipe with the smooth envelope of sisal and Drenoflex tube with rubber scrapings envelope.

Words - Key: reuse, tubes, wraps, water, alternative material

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Material de solo utilizado no experimento	29
Figura 02 - Dreno tubular corrugado para servir de encaixe ao tubo drenante	31
Figura 03 - Piezômetro para avaliar as cargas hidráulicas no interior e na vizinhança do sistema de drenagem	31
Figura 04 - Vista lateral do sistema com os piezômetros acoplados	32
Figura 05 - tubo PVC rígido de 0,25 m de comprimento, com tampa roscável – ponto de descarga	32
Figura 06 - Tubos Drenantes (Drenoflex, PVC liso para esgoto e Kananet) antes de colocar o envoltório	34
Figuras 07 e 08: Tubos Drenantes com o envoltório sisal e Montagem do tubo dentro do tanque depois de colocado o solo	34
Figuras 09 e 10: Montagem dos tubos nos tanques utilizando envoltório de borracha	35
Figura 11: Enchendo os tanques com água de abastecimento	37
Figura 12: enchendo os tanques com água residuária que foi previamente bombeada para a caída d'água.	38
Figuras 13 e 14: régua graduada instaladas paralelamente aos piezômetros	40
Figuras 15, (A) e (B): medições das cargas hidráulicas de entrada e total e a coleta do volume d'água em intervalos de tempo de descarga	40
Figuras 15 (C): medições das cargas hidráulicas de entrada e total e a coleta do volume d'água em intervalos de tempo de descarga	41
Figuras 16 e 17: Pesagem do volume drenado em cada tanque	41
Figura 18 - Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de sisal e água de abastecimento	53
Figura 19 - Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso com envoltório de sisal e água de abastecimento	54
Figura 20 - Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kananet com envoltório de sisal e água de abastecimento	54
Figura 21 - Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de sisal e água residuária	55
Figura 22 - Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso, envoltório sisal e água residuária	55
Figura 23 - Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kananet com envoltório sisal e água residuária	55
Figura 24 - Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de raspas de borracha provenientes de sandálias e água de abastecimento	57
Figura 25 - Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso com envoltório de raspas de borracha provenientes de sandálias e água de abastecimento	57
Figura 26 - Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kananet com envoltório de raspas de borracha provenientes de sandálias e água de abastecimento	57

Figura 27 - Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de raspas de borracha provenientes de sandálias e água residuária	58
Figura 28 - Curva da Carga hidráulica de entrada (h_e) em relação à resistência de entrada (r_e) utilizando tubo PVC liso com envoltório de raspas de borracha provenientes de sandálias e água residuária	58
Figura 29 - Curva da Carga hidráulica de entrada (h_e) em relação à resistência de entrada (r_e) utilizando tubo Kananet com envoltório de raspas de borracha provenientes de sandálias e água residuária	59
Figura 30 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório sisal e água de abastecimento	59
Figura 31 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório sisal e água de abastecimento	60
Figura 32 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kananet com o envoltório sisal e água de abastecimento	60
Figura 33 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório sisal e água residuária	61
Figura 34 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório sisal e água residuária	61
Figura 35 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kananet com o envoltório sisal e água residuária	61
Figura 36 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento..	62
Figura 37 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento	62
Figura 38 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kananet com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento	63
Figura 39 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água residuária	63
Figura 40 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água residuária	64
Figura 41 - Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kananet com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água residuária	64

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Valores típicos dos tamanhos de partículas de solo	09
TABELA 02 - Caracterização física e química das amostras do solo utilizado	30
TABELA 03 - Caracterização da água de Abastecimento	36
TABELA 04 - Caracterização do esgoto doméstico	38
TABELA 05 - Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>)	43
TABELA 06 - Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>) e da resistência de entrada (<i>re</i>)	43
TABELA 07 - Desempenho de um sistema de drenagem em função da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total (<i>he/htot</i>)	44
TABELA 08 - Resistência de entrada (<i>re</i>) e fator de resistência de entrada (α) como critérios de desempenho	44
TABELA 09 - Limites para os valores do fator de resistência de entrada (α)	45
TABELA 10 - Análise Estatística da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>)	46
TABELA 11 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>), em m, em relação aos tubos drenantes	47
TABELA 12 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>), em m, em relação aos tubos drenantes <i>versus</i> água de abastecimento e residuária	47
TABELA 13 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>), em m, em relação aos tubos drenantes <i>versus</i> envoltórios	48
TABELA 14 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (<i>he</i>), em m, em relação às águas de abastecimento e residuária <i>versus</i> envoltórios	48
TABELA 15 – Resumo da análise estatística da variável resistência de entrada (<i>re</i>)	49
TABELA 16 – Valores médios do fator resistência de entrada (<i>re</i>) em relação aos tubos drenantes, Águas de abastecimento e residuária e Envoltórios	49
TABELA 17 – Resumo da análise estatística da variável resistência de entrada (<i>re</i>) em relação a interação dos tubos drenantes <i>versus</i> águas de abastecimento e residuária	50
TABELA 18 – Resumo da análise estatística da variável resistência de entrada (<i>re</i>) em relação a interação dos tubos drenantes <i>versus</i> envoltórios	51
TABELA 19 - Resumo da análise estatística do fator fluxo (<i>q</i>)	51
TABELA 20 – Resumo da análise estatística da variável fluxo (<i>q</i>) em relação a interação dos tubos drenantes <i>versus</i> águas de abastecimento e residuária	52
TABELA 21 – Resumo da análise estatística da variável fluxo (<i>q</i>) em relação a interação dos tubos drenantes <i>versus</i> envoltórios sisal e raspas de borracha de sandálias	52

1.0 INTRODUÇÃO

A drenagem tem, por finalidade, criar um ambiente favorável ao desenvolvimento das plantas e preservar as propriedades físicas e químicas do solo (FERREIRA, 2001). A drenagem agrícola possibilita o aumento do número anual de dias favoráveis às operações agrícolas mecanizadas, além de proporcionar ambiente adequado ao desenvolvimento das raízes das culturas. Por outro lado, a drenagem excessiva é indesejável, pois reduz a quantidade de água disponível no solo para a cultura e intensifica a lixiviação de nutrientes fertilizantes, possíveis, sem dúvida, de poluir o lençol freático e os cursos d'água, além de aumentar o investimento por unidade de área.

Conforme Lamster (1980) as áreas de várzeas no Brasil abrangem o total de 30 milhões de hectares. Qualitativamente, os solos dessas áreas, devido às suas características físico-químicas e condições topográficas aliadas às técnicas de drenagem e irrigação, representam grande potencial para o incremento da produção agrícola; portanto, a técnica de drenagem pode ser utilizada por meio de drenos abertos ou drenos cobertos dependendo, sobretudo, das condições de estabilidade do solo em que cada variante tem suas vantagens e limitações específicas porém o potencial de utilização de drenos cobertos, levando-se em consideração unicamente as condições de estabilidade do solo, é muito grande, visto que, em relação aos aspectos relacionados ao desempenho, à vida útil e pouca necessidade de manutenção, os drenos cobertos ou tubulares são os mais recomendados para o controle do lençol freático. Em projetos com drenos cobertos, problemas relacionados ao entupimento dos tubos são de suma importância, uma vez que acarreta baixa eficiência de operação do sistema pois alguns autores afirmam que a maneira usual de se evitar que este fato ocorra, consiste na colocação de material de alta condutividade hidráulica entre o solo e o dreno, com funções de impedir o carreamento de partículas e facilitar a entrada de água.

Os sistemas de drenagem urbana são essencialmente sistemas preventivos de inundações principalmente nas áreas mais baixas das comunidades sujeitas a alagamentos ou marginais de cursos naturais de água; já no ambiente rural os sistemas de drenagem, além dessas funções tem, ainda, o papel de controle de lençol freático, recuperação de solos salinizados e propiciar condições favoráveis às diversas ações, como mecanização, colheita e transporte da produção agrícola, entre outras.

A experiência tem demonstrado que, nos estudos de viabilidade de implantação de projetos de irrigação, principalmente no semiárido, deve-se dar a devida importância às

técnicas de drenagem, de forma a evitar a implantação de projetos que possam causar, em função de encharcamento e salinização, prejuízos aos produtores e à economia local e regional, além de danos ao ambiente. Muitas vezes, a ausência de projeto de drenagem decorre da falta de conhecimento nesta área, dos técnicos envolvidos nos estudos e preparo do projeto. Já existe, em contrapartida, uma conscientização maior quanto à importância da drenagem subterrânea em relação aos cultivos, e à conservação dos solos e da qualidade da água da bacia hidrográfica.

O modelo de desenvolvimento econômico atual tem levado a preço de resíduos de diversas naturezas que, se não adequadamente destinados promovem impactos de elevados riscos aos recursos naturais e no ambiente, dentre os quais se destacam as raspas de borracha da indústria de calçados e fibras de processamento de sisal. Uma atividade adequada ao uso desses resíduos é a sua aplicação em um sistema de drenagem, como envoltórios, promovendo redução nos custos uma vez que esses materiais estão ao alcance do homem do campo; entretanto, seu uso prescinde de uma análise técnica para avaliar suas características, adaptabilidade e desempenho.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver e avaliar, em condições de laboratório, as características hidráulicas de sistemas de drenagem envoltos com rasps de borracha sintética provenientes de petróleo e resíduo de processamento de sisal, utilizando-se água de abastecimento e água residuária doméstica sem tratamento.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Avaliar tubos e envoltórios drenantes não convencionais em condições de laboratório utilizando-se água de abastecimento e água residuária urbana.
- b) Identificar os fatores que afetam o desempenho do material drenante, com particular interesse para os sistemas drenantes (tubo + envoltório) não convencionais.
- c) Verificar o comportamento do fluxo na zona circunvizinha aos drenos e os parâmetros típicos do sistema, tais como carga hidráulica de entrada (h_e), resistência de entrada (r_e) e fluxo (q) analisando o tipo de água, envoltório e tubo mais viáveis para a drenagem.

2.0 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Drenagem Agrícola

É comum a existência, nas áreas destinadas à agricultura, de condições desfavoráveis de drenagem natural. Nas áreas de cultivo em sequeiro, principalmente quando são baixas e formadas por solos rasos, ocorrem com frequência inundações ou encharcamento durante o período de grandes chuvas, o que pode causar perdas na produção agrícola, dificuldades de manejo do solo e até perdas materiais; já nas áreas irrigadas, além dos danos acima mencionados pode haver salinização, em especial na região semiárida, com seus efeitos danosos sobre o solo e, em consequência, sobre as culturas, o que torna a necessidade de drenagem ainda maior considerando-se que os investimentos em infra-estrutura são altamente significativos.

Portanto, a drenagem agrícola é uma prática que além de permitir a incorporação de áreas mal drenadas ao processo produtivo, evita inundações, encharcamento e salinização de solos. Desta forma, elaborou-se o presente projeto com o objetivo de garantir a instalação de um sistema de drenagem que permita manter o nível do lençol freático a uma profundidade que inibe o encharcamento da zona radicular da mamoneira eliminando o excesso de água proveniente da irrigação e das precipitações que ocorrerem na área, proporcionando plenas condições para a obtenção do máximo de produtividade da mesma.

Lima (2008), diz que a drenagem é um processo de remoção do excesso de água dos solos de modo que lhes dê condições de aeração, estruturação e resistência. Sempre que a drenagem natural não for satisfatória pode-se fazer, em complementação, drenagem artificial, cujo objetivo é retirar o excesso de água aplicada na irrigação ou proveniente das chuvas, isto é, controlar a elevação do lençol freático e possibilitar a lixiviação dos sais trazidos nas águas de irrigação evitando a salinização; antes porém, de se proceder à drenagem de uma área, é preciso avaliar cuidadosamente seus impactos ambientais, em que os principais benefícios são:

- incorporação de novas áreas à produção agrícola (principalmente nas regiões úmidas e semiúmidas – como brejos e pântanos) para torná-los agricultáveis;
- aumento da produtividade agrícola (melhor aeração, melhor atividade microbiana, melhor fixação de nitrogênio e fósforo e aumento da profundidade efetiva do sistema radicular);

- controle da salinidade;
- recuperação de solos salinos e/ou alcalinos;
- saneamento de áreas inundadas.

2.2. Drenagem Superficial

Quando a drenagem tem caráter superficial, sua função é remover o excesso de água gravitacional da superfície do solo e da zona radicular das culturas e consiste, ainda em eliminar o excesso de água presente na superfície do solo em um período de tempo compatível com a tolerância das culturas não permitindo que a produção agrícola seja prejudicada por falta de arejamento no solo.

O processo de drenagem pode ser natural ou artificial, em que esta se torna necessária quando a drenagem natural não é suficiente para escoar o excesso de água que atinge determinada área. Esta água pode ser proveniente de chuvas, escoamento superficial e subsuperficial de áreas altas, transbordamento de rios, pressão estática nas camadas mais profundas, excesso de água de irrigação e infiltrações provenientes de canais. Os fatores que contribuem para a ocorrência deste excesso de água na superfície do solo são:

- A ocorrência de precipitações intensas;
- A topografia plana da área considerada; e
- A baixa infiltração da água no solo.

A drenagem artificial visa, portanto, complementa a diferença entre a drenagem natural e aquela considerada adequada.

Os métodos de drenagem são essencialmente dois: drenagem de superfície e drenagem subterrânea. Dependendo das condições e exigências do projeto, um dos métodos poderá ser aplicado porém, em muitos casos, é necessária a combinação de ambos a fim de resolver o problema. A drenagem de superfície é realizada através de uma rede de canais abertos no terreno enquanto a drenagem subterrânea é realizada por um sistema de canais e drenos tubulares enterrados, para os quais a água se movimenta por gravidade. Em certos casos, a drenagem subterrânea é efetuada através de bombeamento de poços. A água que é recebida pelos drenos é conduzida a um sistema de saída apropriado que permite a sua retirada da área.

Ao delinear um sistema de drenagem de superfície, é necessário distinguir entre:

- Áreas planas: aquelas cuja declividade é inferior a 1%;
- Áreas inclinadas: aquelas cuja declividade é superior a 1%.

No primeiro caso, a solução do problema consiste em sistematizar o terreno e implantar sistemas com uma rede de drenagem adequada e, no segundo caso, quando a declividade é superior a 2%, a erosão do solo é um aspecto preocupante e a solução geralmente consiste na utilização de práticas para conservação do solo e da água.

2.3. Drenagem Subterrânea

A drenagem subterrânea visa à remoção do excesso de água do perfil do solo com a finalidade de propiciar, aos cultivos, condições favoráveis de umidade, aeração, manejo agrícola e de prevenir a salinização ou remover o excesso de sais. Desta forma, a drenagem interna facilita a melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, criando condições favoráveis para o aumento e a melhoria da produtividade/qualidade dos produtos.

As primeiras referências sobre drenagem subterrânea datam no ano 2 a.C., na antiga Roma, onde já era recomendada a abertura de valas preenchidas com cascalho, que atuava ao mesmo tempo com meio coletor de água do solo e seu condutor para fora da área drenada. A próxima referência data do ano de 1620, quando, pela primeira vez, foi feita, em um convento da França, a drenagem subterrânea através de tubos de barro, cuja prática depois repetida na Inglaterra, em 1810. De maneira geral, pode-se afirmar que o grande avanço da drenagem subterrânea por meio de condutos subterrâneos, ocorreu nas últimas quatro décadas. Este fato se deu devido à grande demanda de alimentos causados pela exploração demográfica considerando-se que a população do planeta dobrou nos períodos de 1500 a 1900 e de 1900 a 1950, bem como de 1950, até por volta de 1970, apesar das duas grandes guerras mundiais.

De maneira geral, os projetos de irrigação e drenagem têm sido implantados sem que se tenha feito os estudos necessários da parte relativa à drenagem subterrânea dos solos, o que tem propiciado condições favoráveis ao encharcamento e salinização de grande parte das áreas irrigadas. No presente momento a drenagem subterrânea é feita utilizando-se mais comumente, o tubo corrugado de material plástico perfurado com a finalidade de se coletar e escoar o excesso de água do subsolo.

Em regiões úmidas e muito úmidas, com precipitações médias anuais maiores que 1.000 mm, a drenagem subterrânea visa evitar o encharcamento do solo por período de tempo

prolongado, que venha a prejudicar, de maneira significativa, o rendimento econômico das plantas cultivadas. No aumento da produção de alimentos a drenagem contribui não só como fator de aumento da produtividade como, também, de incorporação de terras encharcáveis ao processo produtivo. No Brasil esta técnica tende a se expandir, principalmente em função dos trabalhos desenvolvidos pelo Programa Nacional de Aproveitamento Racional das Várzeas - PROVÁRZEAS e, também, em função da crescente salinização dos solos irrigados no nordeste brasileiro, onde a irrigação começou a ser feita, em maior escala, a partir da década de 70.

Da mesma maneira como tem ocorrido em quase todos os países, a drenagem é uma prática que vem sempre seguida da irrigação em decorrência do surgimento de problemas de encharcamento e/ou salinização. A implantação de projeto de irrigação sem que seja dada a devida atenção ao fator drenagem decorre, muitas vezes, da falta de conhecimento ou descuido, nesta área, dos técnicos envolvidos nos estudos e preparo do projeto. Felizmente, já existe uma conscientização maior quanto à importância da drenagem subterrânea em relação aos cultivos e à preservação dos solos; além disso, contribui para a diminuição da incidência de focos de mosquitos, pela ausência de água empoçada durante muito tempo na área.

2.4. Sistemas de drenagem

Um sistema de drenagem é composto de diferentes categorias de drenos dispostos de acordo com as conveniências locais, e classificados da seguinte forma:

- 1- Drenos de campo, drenos laterais ou drenos primários: são os drenos propriamente ditos, em geral dispostos paralelamente entre si, com a função de controlar a profundidade do lençol ou absorver o excesso de água da superfície do solo.
- 2- Drenos coletores: apresentam a função de coletar a água recebida pelos drenos de campo ou laterais e conduzi-la até o dreno principal;
- 3- Dreno principal: recebe toda a água da área e a transporta, rápida e eficientemente, até a saída. Eventualmente, pode-se ter mais de um dreno principal.

Analisando-se, do ponto de vista operacional, o sistema de drenagem pode ser constituído de três partes ou sistemas parciais, interdependentes:

- Sistema de coleta: constituído pelos drenos laterais e coletores;
- Sistema de remoção ou condução: constituído pelo dreno principal;

- Sistema de saída que, dependendo das características topográficas, poderá processar-se de duas maneiras: por gravidade ou por bombeamento.

2.5. Porosidade drenável (μ)

Porosidade total (P) é o nome dado à porção do solo não ocupada por sólidos; esta porção varia de 30 a 60% (0,3 a 0,6) e é determinada através da Equação 2:

$$P = V - \frac{V_s}{V} \quad \text{Eq. 2}$$

em que: V - volume total

V_s - volume de sólidos

Em geral, solos arenosos são menos porosos, embora seus poros sejam maiores. A porosidade total exerce influência sobre a retenção de água no solo, aeração e enraizamento das plantas.

Medeiros (2004) diz que a porosidade drenável (μ), ou água drenável, representa os poros de um solo que não consegue reter água contra a força da gravidade; ela expressa a diferença entre a porosidade total e a porosidade preenchida com água mesmo após a drenagem, Equação 3.

$$\mu = P - \theta_d \quad \text{Eq. 3}$$

em que: μ - porosidade drenável;

P - porosidade total

θ_d - umidade retida pelo solo após a drenagem

Para se medir a porosidade drenável torna-se necessário enviar amostra para o laboratório, Tabela 1.

TABELA 1: Valores típicos de tamanhos de partículas de solo

Solo argiloso compacto	0,001-0,02
Solo bem estruturado	0,04-0,08
Areia fina	0,15-0,20
Areia grossa	0,25-0,35

2.6. Quantidade de água a ser drenada

Medeiros (2004) afirma que o cálculo da quantidade de água que se deve eliminar, depende:

- da profundidade ótima do lençol freático;
- da perda de água por percolação;
- da lâmina de lixiviação;
- das precipitações máximas para tempo de retorno de 5 a 10 anos;
- da aplicação ou não de água para lixiviar o perfil, que dependerá das condições de salinidade;
- e da aplicação ou não de água para lixiviar o perfil, que dependerá das condições de salinidade.

2.7. Condutividade Hidráulica Saturada (K_{θ})

A condutividade hidráulica (ou constante de proporcionalidade) de um solo saturado, é o principal parâmetro que determina sua capacidade de drenagem; ela é constante para cada tipo de solo, isto é, dependerá somente da textura e da estrutura do solo (MEDEIROS, 2004).

Medeiros (2004) ainda afirma que sua determinação tem muita importância para o dimensionamento dos sistemas de drenagem. Os métodos mais comuns para a sua determinação são: o método do permeâmetro de carga constante (método de laboratório) e o método de um poço na presença do lençol freático (método de campo).

O objetivo das medições é determinar a velocidade com que o nível da água sobe no poço.

A determinação da Condutividade Hidráulica é dada pela equação 4:

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad \text{Eq. 4}$$

em que: Δh - variação do nível da água durante as medições

Δt - variação do tempo

C - fator que depende do nível da água (h), da distância entre a profundidade do poço e a profundidade do lençol freático (H), do raio do poço R e da distância entre o fundo do poço e a camada impermeável (S)

$$C = \frac{[4000r^2]}{\left[(H + 20r) \left(\frac{2-h}{H} \right) h \right]} \quad \text{Eq. 5}$$

em que: r é o raio do poço (cm)

H a distância do lençol freático até o fundo do poço, h a média entre h_0 e h_n , respectivamente na distância do lençol ao nível inicial e final de água no poço. Deve-se considerar, entretanto que $h_n > 0,75 h_0$

Medeiros et al. (2004), expressam a relação entre o fluxo e o gradiente hidráulico da água em um meio poroso constituído de areia. O coeficiente de proporcionalidade entre esses dois termos é chamado de condutividade hidráulica (K). A condutividade hidráulica é um dos mais importantes parâmetros hidráulicos para descrever o fluxo de água nos solos, visto que este parâmetro dá uma indicação da maior ou menor permeabilidade do solo refletindo diretamente no maior ou menor espaçamento entre os drenos. A equação que descreve o fluxo (q) definida por Darcy pode ser escrita como, Equação 6:

$$q = -K_{\theta} i \quad \text{Eq. 6}$$

em que: q - taxa de fluxo ($\text{m}^3 \text{dia}^{-1} \text{m}^{-1}$)

K_{θ} - condutividade hidráulica saturada ($\text{m} \cdot \text{dia}^{-1}$)

i - gradiente hidráulico (adimensional)

Os dados de condutividade hidráulica (K) são bastante significativos, estando presente em todas as equações para o cálculo do espaçamento de drenos e delineamento do sistema de drenagem (MILLAR, 1988).

Embora a condutividade hidráulica saturada (K_0) seja o parâmetro do solo de maior importância no dimensionamento de espaçamento entre drenos, ela é um dos fatores mais difíceis de se determinar (Moustafa, 2000). Frequentemente, sua variabilidade espacial é ampla vindo a dificultar a estimativa de valores mais representativos a ser utilizados nas equações para cálculo de espaçamento dos drenos e/ou manejo do solo. Assim, um grande número de medições pode ser requerido para levar em conta esta variabilidade permitindo, portanto, uma estimativa mais fidedigna da condutividade hidráulica saturada (K_0).

2.8. Tubos Drenantes

Os três materiais predominantes para a confecção de tubos de drenagem de plástico são o policloreto de vinil (PVC), o polietileno de alta densidade (PEAD) e, em menor incidência, o polipropileno (PP). Em condições de altas temperaturas os tubos de PEAD são mais afetados que os de PVC apresentando, conseqüentemente, risco maior de deformação. Por outro lado, o tubo de PVC se torna mais sensível a baixas temperaturas e frágil, quando exposto a temperatura abaixo do ponto de congelamento da água (DIELEMAN e TRAFFORD, 1976; CAVELAARS et al., 1994).

A utilização dos tubos de plástico lisos na drenagem iniciou-se em torno de 1960; esses tubos foram depois substituídos por tubos de paredes corrugadas. A principal vantagem dos tubos plásticos sobre os de cerâmica ou de concreto, é que são mais leves e isto faz com que o seu transporte e manuseio sejam mais fáceis, possibilitando altos ritmos de instalação.

A procura de técnicas e materiais capazes de reduzir os custos de implantação de sistemas de drenagem subterrânea, empregando-se drenos entubados e sem que haja perda da qualidade técnica do produto, deve constituir-se em preocupação constante dos técnicos envolvidos em trabalhos de drenagem, principalmente quando se tratar de drenagem de terras agrícolas; desta forma, os tubos usados na drenagem agrícola podem ser, na maioria das vezes, substituídos por tubos de PVC rígidos e lisos, do tipo utilizado em esgoto doméstico que são, em geral de custo inferior aos de seus concorrentes além de apresentarem facilidade de manuseio e assentamento, resultando em redução nos custos de implantação. Outro ponto positivo é a facilidade com que este material pode ser encontrado no mercado (BATISTA et al., 1984).

Batista et al. (1984) concluíram, ao estudarem, em condições de campo, o comportamento do tubo drenante constituído de PVC rígido de paredes lisas, de 50 mm de

diâmetro próprio para esgoto, com envoltórios de brita nº 1 e de manta geotextil marca bidim OP-20 associada com a brita nº 1, que o emprego desse tubo como material drenante pode ser uma das soluções para a drenagem agrícola.

Os tubos perfurados de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) para drenagem de áreas verdes, aterros e campos de futebol, entre outras aplicações e os tubos de dreno Kananet têm alta performance em captação de líquidos e são os tubos de maior tecnologia no mercado brasileiro.

Os tubos de PVC apresentam corrugações transversais com função de reforço mecânico-estrutural para resistir à ação compressiva do meio envolvente quando instalado para funcionar como dreno subterrâneo. Os tubos corrugados de drenagem subterrânea oferecem vantagens, em termos técnicos e econômicos, como custos mais baixos de aquisição e instalação; alta resistência a deformações e ataques químicos; facilidade de transporte e instalação, razão pela qual dominaram o mercado de todos os países desenvolvidos. No Brasil, a produção desse tipo de conduto teve início em 1988, propiciando grande impulso à técnica da drenagem subterrânea (BATISTA et al., 1998).

Os tubos usados na drenagem agrícola podem ser, na maioria das vezes, substituídos por tubos de PVC rígidos e lisos, do tipo utilizado em esgoto doméstico que são, comumente, de custo inferior aos de seus concorrentes além de apresentarem facilidade de manuseio e assentamento, o que resulta em redução de custo de implantação; outro ponto positivo é a facilidade com que este material pode ser encontrado no mercado (BATISTA et al., 1984).

Tipos de condutores Subterrâneos

- Cascalho ou brita
- Bambu em feixes de 15 a 25 unidades
- Telha canal, tijolos perfurados, etc.
- Manilhas de cimento
- Manilhas de barro
- Tubos de PVC liso perfurado
- Tubos corrugados de materiais plásticos

Tubos de drenagem de barro, de concreto e mesmo de material plástico liso, já tiveram seu emprego em drenagem subterrânea superado em muitos países o que, atualmente, está acontecendo também no Brasil devido à introdução de tubos corrugados para drenagem, uma

vez que cascalho ou brita empregados como condutores de águas de drenagem é prática superada e antieconômica.

O uso de bambu pode ser econômico em casos muito especiais quando então o bambu se situa na periferia da área a ser drenada e a mão-de-obra é de custo baixo. O emprego de telha canal, tijolos etc, nos sistemas de drenagem, é pouco recomendado, visto que se trata de uma prática com restrições técnicas e econômicas.

Os tubos corrugados oferecem vantagens em termos técnicos e econômicos, como custo de aquisição e instalação mais baixo, alta resistência a deformações e ao ataque químico, facilidades de transporte e instalação, razão pela qual dominaram o mercado de todos os países desenvolvidos. No Brasil a produção deste tipo de conduto teve início no ano de 1988, propiciando grande impulso à prática da drenagem subterrânea.

2.9. Envoltórios

O conceito de envoltório se dá a todo material mineral, sintético ou orgânico colocado ao redor do tubo de drenagem, com a finalidade de propiciar condições para que o gradiente hidráulico na interface solo-envoltório seja mantido baixo. Este material deve facilitar o fluxo da água do solo para o dreno e permitir que sua velocidade se mantenha baixa e a desagregação e o carreamento de partículas do solo para o interior do dreno sejam mínimos (BATISTA et al., 1998).

O fluxo da água subterrânea converge em direção ao dreno concentrando-se na direção de suas aberturas, o que acarreta em incremento pronunciado no gradiente hidráulico na vizinhança do dreno e, como consequência, o risco das partículas de solo movimentarem-se em direção ao interior do tubo é intensificado. Quando uma zona altamente permeável é introduzida ao redor do tubo, o número de poros conectados sobre o limite entre o solo e o envoltório aumentará, decrescendo o gradiente hidráulico e assim reduzindo o risco de movimento de partículas de solo. Os parâmetros de importância fundamental para os envoltórios são, portanto, sua porosidade total, distribuição do tamanho dos poros, permeabilidade e espessura (MEDEIROS et al, 2004).

De acordo com Batista (1998), o envoltório facilita a captação da água e seu fluxo para o tubo enquanto o tubo tem a função de conduzir o excesso de água para fora da área a ser drenada. A performance do envoltório depende, acentuadamente, das condições do solo. Um envoltório que funciona bem em uma situação, pode ser inadequado em outra. Além da

função de proteger o tubo, cobrindo-o totalmente, o material envoltório tem também uma função hidráulica ao reduzir a resistência de entrada da água no dreno.

Na maioria das equações de drenagem usadas para calcular o espaçamento dos drenos, assume-se a condição de um tubo ideal, isto é, um tubo cujas paredes não oferecem resistência alguma ao fluxo de água e, portanto, a resistência de entrada não é considerada; contudo, em situações práticas de drenagem esta suposição não é verdadeira. Como resultado, uma parte extra do potencial devido a uma presença da resistência de entrada pode manifestar-se em um lençol freático elevado com possível consequência inadequada para drenagem (SEKENDAR, 1984; TILIGADAS, 1988).

Datta et al. (2000) ao pesquisarem envoltórios em condições de laboratório e de campo, revelaram que o custo do envoltório variou até 30% de um projeto a outro, em função da disponibilidade local do 1º envoltório. Os fatores considerados por eles como sendo críticos foram tipo e volume do material usado. Revelaram também, que o envoltório constituído de material sintético de fabricação local auxiliou na redução dos custos e que todos os materiais testados apresentaram uma performance satisfatória.

Lima (2008), afirma que os drenos tubulares requerem, ao seu redor, a instalação ao seu redor de material envoltório. Esses materiais também são designados, por alguns autores como filtros. O material envoltório tem a finalidade de colocar, ao redor do dreno, em que o movimento de água no solo pode ser tão rápido que se torna erosivo, material permeável mas de grande resistência à erosão; outra finalidade é diminuir a perda de carga da água ao entrar no tubo. Esta perda de carga já foi estudada e é inversamente proporcional à condutividade hidráulica do material envoltório, razão pela qual, os materiais empregados devem ser materiais altamente permeáveis (condutividade hidráulica no mínimo 10 vezes a condutividade hidráulica do solo) e de grande resistência a erosão caso em que, são bons materiais os pedriscos, brita, cascalhos, areia grossa, fibra vegetal, fibra sintética etc.

O tamanho das partículas do material envoltório deve ser tal que 100% das partículas tenham tamanho inferior a 38 mm e 90% sejam menores que 20 mm. É desejável também que 85% das partículas apresentem tamanho superior a metade da largura do orifício do tubo de drenagem (sabe-se que as partículas se prendem umas às outras e que, sendo maiores que metade da largura do orifício já é suficiente para que não passem pelo orifício durante a drenagem). Segundo pesquisadores holandeses, a espessura mínima do material envoltório ao redor do tubo deve ser de 1 centímetro. O Departamento de Drenagem (USBR) dos Estados

Unidos sugere 10 cm. Na prática a recomendação atual é de que seja equivalente ao diâmetro do tubo (LIMA, 2008).

O emprego de fibra sintética é bastante questionável, haja vista que seu custo inviabiliza a aplicação de material envoltório com a espessura recomendada acima.

2.9.1. Sisal

O sisal (*Agave sisalana Perrine*), planta originária do México, há muitos anos vem sendo cultivada no Semiárido Baiano, visando principalmente explorar a fibra de suas folhas que, após processadas e beneficiadas, são utilizadas no fabrico de cordas, barbantes e tapetes, envoltórios dentre outros artefatos comercializados no Brasil e no exterior. Esta ampla utilidade promove a geração de muitos empregos em todas as etapas, desde a implantação até a colheita do cultivo, incluindo o processamento das fibras. No entanto, após a coleta das folhas restam outras partes da planta que, geralmente, não são aproveitadas pelos agricultores, como a haste da inflorescência e o bulbo central, onde se inserem as folhas. A partir dessas partes da planta é possível a confecção de artefatos artesanais de alto valor agregado (SANTOS et al., 2007).

Santos et al. (2007), ainda afirmam que em conjunto com agricultoras e agricultores organizados da comunidade de Boa Fé, a Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical vem desenvolvendo ações para fortalecer a agricultura familiar. No processo se identificou a possibilidade de aproveitar parte desse material, até então considerado resíduo, na fabricação de produtos artesanais para paisagismo e jardinagem, na forma de cachepôs, vasos, fibra para substrato agrícola, suportes para orquídeas, para bromélias e para fruteiras ornamentais; trata-se de uma nova atividade econômica na qual se aproveita a mão-de-obra familiar nos períodos de menor demanda, portanto de baixo custo de oportunidade.

Segundo Silva (1999), o potencial produtivo do sisal, relativamente ao comprimento e número de folhas, está intimamente ligado à capacidade genética da planta, condições edafoclimáticas, sanidade e tratos culturais. As folhas do sisal produzem uma fibra altamente resistente utilizada para produzir artesanatos, vassouras, sacos, bolsas, chapéus, barbantes, cordas, capachos e tapetes, tal como na fabricação de celulose com vistas à produção de papel Kraft (de alta resistência) e outros tipos de papel fino (para cigarro, filtro, papel dielétrico, absorvente higiênico, fralda etc).

Além dessas aplicações existe possibilidade de se utilizar a fibra de sisal na indústria automotiva, de móveis, de eletrodomésticos, de geotêxteis (para utilização em proteção de encostas, na agricultura e revestimento de estradas), na mistura com polipropileno, em substituição à fibra de vidro (na composição de objetos plásticos) e na construção civil (PROSSIGA, 2004; CAMPBELL, 2004).

Os subprodutos do sisal, que hoje praticamente não são aproveitados, podem ter inúmeras utilizações. Cite-se a possibilidade de utilização da mucilagem como complemento alimentar para rebanhos bovinos e caprinos; a bucha, como adubo orgânico, e o suco, que é rico em ecogenina, fármaco que serve como medicamento e pode ser utilizado como bioinseticida, no controle de lagartas (quando no primeiro instar), de nematóides e carrapatos, como sabonete e pasta cicatrizante. O substrato resultante do processamento do sisal também pode ser aproveitado para o cultivo de cogumelos comestíveis (SILVA, 2004; FAPESB, 2002b).

Alves, et. al. (2005), afirmam que a Paraíba já foi o maior produtor brasileiro de sisal nos anos 1970 perdendo, na década de 1990 para o estado da Bahia e ocupando, a partir de então, a segunda colocação. Em 1993, a produção estadual foi de 10.441 toneladas, o que representou 8,3% da produção nacional. No ano de 2002 a produção caiu para 4.776 toneladas, reduzindo para 2,8% a participação na produção brasileira; em consequência, o número de indústrias no Estado caiu de 10 para 4; hoje, todas localizadas em Bayeux, PB, e proximidades; mesmo assim a maior parte do sisal beneficiado nessas indústrias é oriunda da Bahia; hoje, 34 municípios produzem sisal no estado da Paraíba, de acordo com informações do IBGE para o ano de 2002. Nesse mesmo ano, os municípios de Picuí (1.600 toneladas), Barra de Santa Rosa (720 toneladas), Casserengue (460 toneladas) e Nova Floresta (400 toneladas) foram, juntos, responsáveis por cerca de 58% de toda a produção paraibana de sisal.

Os principais problemas por que passa o setor sisaleiro da Paraíba se referem aos custos de processamento, bastante elevados, comparativamente com os preços do produto final no mercado e, em contrapartida, à baixa remuneração do produtor. A falta de organização entre os produtores também é um problema sério no setor sisaleiro paraibano, estado em que, segundo informações de técnicos da Embrapa existem poucas associações poucas cooperativas e baixo nível de participação (ALVES et. al., 2005).

No que diz respeito ao sistema de produção, técnicos da Embrapa afirmam que, como monocultura, o sisal não apresenta sustentabilidade para o produtor paraibano. O modelo de

grande propriedade que havia em torno do sisal, já não existe, predominando atualmente as pequenas propriedades, com área média em torno de 10 hectares, produzindo cerca de 700 kg ha⁻¹ (ALVES et. al., 2005).

A despeito da queda de produção ao longo dos últimos anos e dos demais problemas que afetam o setor sisaleiro paraibano atualmente, o sisal ainda tem relativa importância na pauta de exportação da Paraíba. No ano de 2003, o Estado exportou o correspondente a US\$ 1,8 milhão, equivalendo a 1,1% de toda a pauta de sua exportação.

Na Paraíba existem aproximadamente 200 máquinas “Paraibanas”. Embora se observe a preocupação das instituições com os problemas oriundos da utilização desse equipamento, nota-se certa desarticulação em torno da problemática do sisal. Segundo relato da FAPESP (2002a), os proprietários dos campos de sisal participam indiretamente do processo produtivo, uma vez que os intermediários atuam estabelecendo relações de trabalho diretamente com os agricultores, livrando-os dos compromissos trabalhistas e do estabelecimento de um sistema de assalariamento rural; somente 2% dos trabalhadores do setor sisaleiro têm registro trabalhista.

Alves et. al. (2005), relatam que no processo de produção e desfibramento do sisal, a literatura aponta, como funções essenciais as seguintes:

- Cortador: colhe folhas nos campos, cortando-as com foice apropriada.
- Cambiteiro: utiliza jumentos e transporta as folhas do campo para o pé da máquina desfibadora “Paraibana.”
- Puxador: alimenta as máquinas com as folhas de sisal.
- Banqueiro: recolhe as fibras após o processamento, pesando-as ainda verdes.
- Bagaceiro: abastece os puxadores com folha e retira da máquina os resíduos provenientes do desfibramento.
- Lavadeiras: cuidam da lavagem e da secagem das fibras e fazem o enfeixamento.

Durante cerca de 40 anos de produção do sisal no Nordeste brasileiro, a descorticação das folhas tem sido feita com o “motor Paraibano”, cujo maior problema é provocar acidentes que resultem em graves mutilações de dedos, mãos e mesmo parte do braço, uma vez que o trabalho nessa máquina, que gira em alta velocidade, obriga que o operador já aproximar as mãos das engrenagens para introduzir as folhas do sisal e puxar as fibras já beneficiadas. (ALVES et. al., 2005).

A primeira máquina desenvolvida como alternativa à Paraibana, foi criação do paraibano José Faustino dos Santos, denominada “Faustino”; trata-se de equipamento de

grande porte, de custo elevado, de difícil deslocamento e inadequado para a pequena produção. Atualmente, existem cinco máquinas “Faustino” em funcionamento na Fazenda Mandacaru, de propriedade da Cosibra (município de Santa Luz, BA). Da mesma forma que a “Paraibana”, a “Faustino” é deslocada através dos campos de sisal, a medida em que ocorre o corte das folhas; e entretanto, enquanto a primeira é puxada por jumentos - a segunda é puxada por trator (ALVES et. al., 2005).

Na Paraíba a pesquisa com relação à desfibradora se apresenta conforme a situação algrunte.

Em 1994, pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) apresentaram um projeto de pesquisa ao Banco do Nordeste do Brasil (BNB) – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE), no qual se propuseram projetar dois modelos alternativos para a tecnologia originalmente concebida por José Faustino dos Santos.

Observa-se, assim, que ainda não há, no Brasil, um modelo de desfibradora adaptado à pequena produção, testado e validado em campo, capaz de proporcionar segurança ao operador, ao mesmo tempo em que supere a produtividade da máquina atualmente em uso (Paraibana).

Alves et. al., (2005) observaram que a atual fibra brasileira ainda apresenta baixa qualidade e produtividade fato que, em parte, está relacionado com a forma de condução em campo mas, também, com o processo arcaico de extração da fibra. A “Paraibana”, como se observou é, praticamente, a única forma de desfibramento, desde a implantação da cultura no País; ela promove um desperdício de 20 a 30% das fibras durante a raspagem, apresenta baixa capacidade operacional (produz de 150 a 200 kg de fibra secada em um turno de 10 horas), não tendo sido submetida a nenhum avanço tecnológico ao longo dos anos; além disso e diferente do que ocorre em outros países produtores, no Brasil a fibra não passa pelo processo de lavagem; segundo informações de campo, o motivo seria a escassez de água.

2.9.2. Borracha Sintética

A borracha sintética é extraída do petróleo, cujo preço tem aumentado muito elevando também o preço da borracha natural. Para atender à demanda brasileira são necessários aproximadamente 254 mil hectares, com produtividade média em torno de 1,2 toneladas por hectare. Um plantio normal utiliza o espaçamento de 8 metros entre linhas e 2,50 metros entre as plantas, totalizando 500 plantas por hectare (YAMAKAMI, 2009).

A insegurança do abastecimento da borracha natural e a política econômica decorrente de tal situação levaram pesquisadores a buscar um substituto para o produto: a borracha sintética. Durante a primeira guerra mundial os alemães lançaram a base dessa indústria, partindo do carvão como matéria-prima. Cientistas de vários países já estudavam há muito tempo a possibilidade de se produzir uma substância semelhante à borracha natural, mas para obtê-la, seria necessário conhecer sua composição química. (Disponível em: www.biomania.com.br).

Em 1826 o cientista inglês Michael Faraday comprovou que a borracha é um hidrocarboneto, isto é, um composto de hidrogênio e carbono, tal como a gasolina, o querosene e o gás natural. Em 1860, Greville Williams, obteve aquecendo a borracha natural, um líquido que continha hidrogênio e carbono, que foi denominado isopreno; a partir daí, William Tilden obteve o mesmo isopreno mas derivado da terebintina, que é outro hidrocarboneto. Obteve-se então um produto que, se não foi de todo satisfatório, era um ponto de partida.

Os técnicos continuaram estudando a borracha natural para chegar a um método que os levasse a produzir borracha sintética de boa qualidade. Um dos principais passos neste sentido foi a descoberta do modo como estão distribuídos os átomos nas moléculas de borracha natural. Descobriu-se, ainda, que várias substâncias podem ser formadas dos mesmos elementos, porém com outras propriedades em virtude da diferença de estrutura atômica de suas moléculas. Quando os átomos do carbono e do hidrogênio estão reunidos constituem, de certo modo, a gasolina, de outro o querosene e, de um terceiro modo, a borracha. Mesmo com tal conhecimento, não se conseguiu produzir uma borracha sintética exatamente igual à natural pois ainda não foi possível encontrar a maneira de reproduzir as gigantescas moléculas de borracha que as árvores produzem; no entanto, segundo os cientistas, é questão de tempo, embora, a borracha sintética tenha ocupado grande parte do espaço da borracha natural, em todas as suas aplicações; hoje, sua produção supera, em muito, a da borracha natural, e os Estados Unidos aparecem como o maior produtor mundial, seguidos de perto de outros países, como Japão, França, Alemanha e Reino Unido. O Brasil é o maior fabricante de borracha sintética da América Latina, em que a produção foi iniciada em 1962, com matéria-prima fornecida pela refinaria Duque de Caxias, no estado do Rio de Janeiro, e ficou a cargo de uma subsidiária da Petrobrás, a Fabor (fábrica de borracha sintética), hoje privatizada com o nome de Petroflex.

Considerada estratégica é, ao lado do aço e do petróleo, um dos alicerces que sustentam o progresso da humanidade; além disso, a borracha natural é um dos principais produtos utilizados na indústria do transporte, de produtos hospitalares e bélicos.

A atividade, além de fornecedora dessa importante matéria-prima, se caracteriza por um cultivo agrícola ecologicamente “limpo”, pouco consumidor de defensivos, protetor do solo e dos mananciais hídricos, empregador de mão-de-obra especializada, fornecedor de madeira de qualidade reconhecida e, finalmente, fascinante para aqueles que conhecem e convivem dia-a-dia com ele.

2.10. Solos

O solo é um corpo natural tridimensional constituído de uma mistura variável de minerais intemperizados e matéria orgânica em processo de decomposição, que cobre a superfície da terra e proporciona, quando contém as proporções adequadas de água e ar, suporte mecânico e sustento para as plantas (GUERRA, 2007).

Guerra (2007), afirma que, de acordo com o documento “*Levantamento de Solos e Classificação de Terras para Irrigação em uma Área Piloto da Zona Semiárida do Nordeste*”, publicado pela Unidade de Execução de Pesquisa da EMBRAPA/CPATSA – UEP, Recife, em setembro de 1995, as classes de terra para irrigação podem ser definidas da seguinte forma:

- Classe 1: Terras aráveis altamente adequadas para agricultura irrigada, capazes de oferecer altas produções de grande variedade de culturas climaticamente adaptáveis, a um custo razoável, não apresentando limitação alguma para sua utilização.
- Classe 2: Terras aráveis com moderada aptidão para agricultura irrigada. São adaptáveis a um número menor de culturas e têm maior custo de produção que a classe 1; podem apresentar limitações corrigíveis ou não e ligeiras a moderadas deficiências com relação à fertilidade, disponibilidade de água, profundidade, permeabilidade, topografia e drenagem.
- Classe 3: Terras aráveis de aptidão restrita para agricultura irrigada, devido a deficiências de solo, topografia e drenagem mais intensas que na classe 2; possíveis de apresentar deficiências, como fertilidade muito baixa, textura grosseira, topografia irregular, salinidade, drenagem restrita etc., passíveis de correção a alto custo ou mesmo não

corrigíveis; é um restrito seu número de culturas adaptáveis mas, com manejo adequado, podem produzir economicamente.

- Classe 4: Terras aráveis de uso especial; podem apresentar excessiva deficiência específica ou deficiência susceptível de correção a alto custo ou, ainda mostrar deficiências incorrigíveis que limitam sua utilidade para determinadas culturas muito adaptadas ou métodos específicos de irrigação. As deficiências nesta classe podem ser: pequena profundidade efetiva, topografia ondulada, excessiva pedregosidade superficial, textura grosseira, salinidade e/ou sodicidade e drenagem inadequada.

- Classe 5: Terras não aráveis nas condições naturais e que requerem estudos especiais de agronomia, economia e engenharia, para determinar sua irrigabilidade; em geral, apresentam deficiências específicas, como salinidade excessiva, drenagem inadequada (requerendo trabalhos de proteção contra inundação), topografia irregular ou posição elevada. Após estudos especiais essas terras devem passar, definitivamente, para uma classe arável ou para a *classe 6*.

- Classe 6: Terras não aráveis; incluem terras que não satisfazem os mínimos requisitos para enquadramento em outras classes e que não são adequadas para irrigação; geralmente, compreendem terras com solos muito rasos sobre embasamento rochoso ou outra formação impermeável a raízes ou água; terras influenciadas por sais e de recuperação muito difícil; terras de textura extremamente grosseira e baixa disponibilidade de água; terras dissecadas e severamente erodidas; terras muito elevadas e com topografia excessivamente declivosa ou complexa e todas as áreas obviamente não aráveis. Os riscos de degradação dos solos aumentam quando as culturas agrícolas ou pastagens são desenvolvidas em áreas impróprias para esses tipos de atividades produtivas, como é o caso da utilização de terras de capacidade de uso classe 5 e 6 ou em locais com Coeficientes de Rugosidade classe B, C ou D.

Esta situação de redução progressiva de produtividade e de utilização sustentável dos solos, também se repete quando cultivos agrícolas são realizados em áreas agroecologicamente apropriadas mas com declividade média acima de 10 ou 15%, sem o desenvolvimento de práticas conservacionistas e de manejo apropriado a essas condições de restrição, ou, ainda, quando a pecuária extensiva é desenvolvida em classes de Capacidade de Uso da Terra 5 e 6 ou com Coeficiente de Rugosidade classe D (Guerra, 2007).

O Coeficiente de Rugosidade (Ruggdeness Number – RN) é um parâmetro que direciona o Uso Potencial da Terra com relação às suas características para agricultura,

pecuária ou reflorestamento e são cada vez mais avaliados, sobretudo quando se utilizam, como Unidade de Planejamento e Intervenção Integrada, as Microbacias Hidrográficas. Os RN, comparados com o uso atual da terra, determinam as áreas de conflitos e é dado por $RN = D \times H$, donde D = densidade de drenagem de determinada Microbacia e H = declividade média desta Microbacia. O produto $D \times H$ mostra nitidamente que, quanto maior for o valor de RN maior também será o perigo de erosão na Microbacia; neste sentido, os RN são classificados em quatro categorias:

- A. Solos apropriados para agricultura (menor valor de RN)
- B. Solos apropriados para pastagens
- C. Solos apropriados para pastagens/reflorestamento
- D. Solos apropriados para reflorestamentos (maior valor de RN), (Guerra, 2007).

Guerra (2007) ainda afirma que as situações que envolvem o uso indevido da terra figuram entre os maiores responsáveis pela ampliação dos processos de erosão dos solos agricultáveis; pela intensificação dos assoreamentos, com redução das lâminas d'água dos mananciais hídricos e diminuição da capacidade de armazenamento dos reservatórios, inclusive de Barragens Hidroelétricas; pelos transbordamentos e enchentes e, em parte, pelas secas.

2.11. Água

As regiões secas do Mundo, mais especificamente a região semiárida do nordeste brasileiro, estão seriamente ameaçadas de terem sua produtividade reduzida pelos intensos processos de desertificação; o problema se agrava ainda pelo fato de ser o semiárido do Nordeste brasileiro o mais populoso do mundo com cerca de 1/3 da população nacional. A seca, apesar de relacionada com o fator climático, dado à alta evaporação potencial da região em foco (2000 mm/ano), quando associada aos processos de desertificação tem seus efeitos danosos, com proporções insuportáveis, afetando diretamente a sobrevivência da população nordestina (BARACUHY, 2001).

Garcia (1997) comenta que a diferenciação ecológica, com secas e estiagens, determina os problemas básicos da região, que atingem principalmente os trabalhadores sem terra e os minifúndios de auto consumo, provocando problemas sócioeconômicos graves com conseqüente expulsão de parte significativa da população, para outras regiões do Estado e do País.

Sabe-se que, em sua forma convencional, o uso de pequenas reservas de água, ou seja, os açudes, nos quais o espelho d'água não tem nenhuma proteção para a perda por evaporação, é um mecanismo pouco viável. Assim, o manejo de componentes ambientais que aumentem a quantidade de água no solo, procedente da precipitação atmosférica, passa a ser um caminho para abastecer/reabastecer barragens e “guarda” a água precipitada. Trabalhos técnicos têm demonstrado que uma área florestada aumenta até próximo de 100% a quantidade de água infiltrada, quando procedente da chuva (ROCHA, 1997).

Manter uma produtividade satisfatória das culturas em áreas intensamente irrigadas depende de uma drenagem adequada. A longo prazo, a sustentabilidade da atividade agrícola sem a drenagem é altamente questionável, em termos de se manter não só a integridade ambiental e o lençol freático baixo mas, também, a própria produtividade das culturas, devido aos riscos acelerados de encharcamento e salinidade na zona radicular efetiva das culturas (MANGUERRA e GARCIA, 1997).

Esses dois riscos podem ser prevenidos por um controle melhor da água, assegurando - se que todo projeto de irrigação tenha uma drenagem adequada (GARCIA et al., 1992; DATTA et al., 2000).

2.11.1. Qualidade de Águas para a Agricultura

De acordo com Ayers e Westcot (1999), a agricultura irrigada depende tanto da quantidade como da qualidade da água porém o aspecto da quantidade tem sido desprezado devido à abundância de fontes de água que no passado eram de boa qualidade e de fácil utilização; todavia, em muitos lugares esta situação vem mudando em decorrência do uso intenso, tendo-se que recorrer ao uso de águas de qualidade inferior fazendo-se necessário um planejamento efetivo que assegure o melhor uso possível das águas, de acordo com sua qualidade.

De acordo com Lima (1998) o conceito de qualidade de água se refere à sua adaptabilidade para determinado uso, isto é, se suas características físicas, químicas e biológicas são adequados à necessidade do usuário.

Segundo Philippi Júnior (2003), as águas de irrigação devem ser, de modo geral, analisadas em relação à concentração total de sais (salinidade), à proporção relativa de sódio em relação a outros cátions (permeabilidade do solo); à concentração de elementos tóxicos; à concentração de íons e ao aspecto sanitário (contaminação por bactérias patogênicas).

2.11.2. Água residuária

2.11.2.1. Origem e Composição das Águas Residuárias

Água Residuária é um termo usado para caracterizar os despejos provenientes das diversas modalidades do uso e da origem das águas, tais como as de uso doméstico, comercial, industrial, as de estabelecimentos públicos, áreas agrícolas, de superfície, de infiltração, pluviais e outros efluentes sanitários (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; JORDÃO e PESSOA, 1995; BRAGA et al., 2002).

Os esgotos domésticos provêm principalmente de residências e de edificações públicas e comerciais que concentram aparelhos sanitários, lavanderias e cozinhas. Apesar de variarem em função das condições socioeconômicas das populações, do clima e dos hábitos, os esgotos domésticos têm características bem definidas e se compõem, basicamente, das águas de banho, urina, fezes, restos de comida, sabões, detergentes e águas de lavagem (VON SPERLING, 1996; BRAGA et al., 2002).

Segundo Von Sperling (1996), as águas residuárias domésticas contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, além de micro-organismos; portanto, é devido a esta fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos.

2.11.2.2. Aspectos Sanitários do Uso de Águas Residuárias na Irrigação

A descarga de água residuária sem nenhum tratamento prévio pode contaminar o ambiente com vírus, bactérias, protozoários e helmintos, gerando grave problema para a saúde pública uma vez que propagam doenças virulentas, bacterianas e parasitárias, afetando os trabalhadores que manuseiam a terra, a população que habita próximo às áreas cultivadas e os consumidores das culturas irrigadas (LEON e CAVALLINI, 1999).

De acordo com Sousa e Leite (2003), a possibilidade de uma pessoa contrair doenças através da utilização de esgotos domésticos na irrigação depende principalmente dos seguintes fatores:

- quantidade de micro-organismos patogênicos presentes no efluente, capazes de provocar infecção;

- latência – intervalo de tempo de que o micro-organismo dispõe desde a excreção até tornar-se infectivo;
- capacidade de sobrevivência do micro-organismo no meio ambiente;
- suscetibilidade da pessoa a doença;
- capacidade de multiplicação do micro-organismo no organismo humano.

Considerando o público exposto (trabalhadores, consumidores e público), a Organização Mundial da Saúde (WHO) apresentou, em 1989, recomendações para a qualidade microbiológica das águas residuárias a serem utilizadas na agricultura. Os parâmetros usados nesta classificação destacam dois indicadores microbiológicos: número de ovos de helmintos por litro e concentração de coliformes fecais.

2.11.2.3. Reúso de Águas

Uma vez poluída, a água pode ser recuperada e reusada para fins benéficos diversos. A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação e manutenção. As possibilidades e maneiras de reúso dependem, evidentemente, de características, condições e fatores locais, tais como decisão política, esquemas institucionais, disponibilidade técnica e fatores econômicos, sociais e culturais.

Segundo Brega Filho e Mancuso (2003), o reúso de água pode ser classificada em duas grandes categorias: reúso potável e reúso não potável.

Dentre os tipos básicos de reúso não potável pode-se citar, para os seguintes: agrícola, industriais, recreacionais, domésticos, manutenção de vazões, aquicultura e recarga de aquíferos subterrâneos.

A reutilização ou o uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado em todo o mundo, há muitos anos, porém o que influenciou de forma tecnicamente correta a utilização controlada de esgotos para fins agrícolas, foram as iniciativas inglesas, quando se buscou a despoluição do rio Tâmis (PAGANINI, 2003).

Quando se reutilizam as águas residuárias, faz-se necessário um total conhecimento de suas características físicas, químicas e microbiológicas, para facilitar na escolha de atividades em que essas águas poderão ser empregadas evitando malefícios aos que dela usufruem (DUARTE, 2002).

São poucos, no Brasil, os registros do reúso de efluentes tratados em diversas atividades, principalmente na agricultura porém isto não significa que não haja a prática informal desta atividade. A falta de sistemas de tratamento de esgotos na maioria dos municípios das cidades brasileiras e de mananciais com água de boa qualidade, favorece a prática do reúso indiscriminado de águas residuárias.

Um bom planejamento na prática do reúso permite que haja continuidade das atividades exercidas pelo homem, sobretudo a agricultura, já que tal atividade vem sendo diretamente afetada pela grande escassez de água; além disso, o reúso de águas residuárias na agricultura não proporciona só o volume de água exigido pelas plantas mas também os nutrientes de que elas necessitam para se desenvolver, e proporciona economia de água podendo, assim, ser empregadas em atividades mais nobres (HESPANHOL, 2003a).

Em pesquisa desenvolvida por Duarte (2002) na qual utilizou água residuária tratada na irrigação da cultura do pimentão, a pesquisadora afirma que as águas utilizadas mostraram ser fonte adequada de nutrientes suprimindo as necessidades nutricionais da cultura.

As águas de qualidade inferior, tais como esgotos, particularmente os de origem doméstica, águas de drenagem agrícola e águas salobras devem, sempre que possível, ser consideradas fontes alternativas para os usos menos restritivos. O uso de tecnologias apropriadas para o desenvolvimento dessas fontes é hoje, junto com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, a estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água.

2.11.2.4. Reúso na Agricultura

O uso consuntivo de água para a agricultura no Brasil em grandes números, é de 70% do total consumido atualmente, com forte tendência para chegar a 80% até o final desta década; com isto, percebe-se que a agricultura depende do suprimento de água a um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem que critérios inovadores de gestão sejam estabelecidos e implementados em curto prazo (HESPANHOL, 2003a).

Ainda conforme Hespanhol (2003a) durante as duas últimas décadas o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente em razão de fatores, como dificuldades na identificação de novas fontes de água para irrigação; minimização dos riscos à

saúde pública; custos elevados dos sistemas de tratamento e aceitação sociocultural da prática do reúso agrícola, entre outros.

A aplicação de esgotos no solo não é apenas uma forma efetiva de controle da poluição mais também alternativa para aumentar a disponibilidade hídrica, em regiões áridas e semiáridas. Os maiores benefícios desta forma de reúso são os associados aos aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública.

Conforme alguns autores (Araújo, León e Cavallini 1999), o reúso de águas tratadas tem sido praticado mundialmente, em particular em regiões áridas ou semiáridas, como se pode confirmar em países como o México (Vale de Mezquital), Tunísia (Tunis), Arábia Saudita (Riyadh e Dirab), Estados Unidos (Califórnia), Chile (Santiago) e Israel. Os principais cultivos irrigados com águas residuárias nesses países, são milho, alfafa, aveia, cevada, feijão, trigo, cabaceira, pimenta, tomate, cítricos, algodão, eucalipto, árvores e sementes de vegetais, grama e árvores natalinas e forrageiras.

No Brasil, a prática planejada do reúso é pequena e se resume a algumas experiências isoladas em cidades do Rio Grande do Sul, São Paulo e Ceará; por outro lado, o Brasil não possui uma política própria de regulamentação para a prática do reúso utilizando, então, normas recomendadas por órgãos, como a WHO, ou as normas para uso, recomendadas pelo CONAMA.

Duarte (2002) irrigou pimentão com água residuária tratada porém com concentrações de ovos de helmintos superiores às recomendadas e obteve frutos com qualidade satisfatória que atenderam aos critérios exigidos pela WHO (1986). A pesquisadora atribuiu a qualidade dos frutos ao manejo adequado dispensado no momento de coleta e armazenamento do produto.

A eficiência do uso das águas residuárias na agricultura depende, basicamente, das estratégias adotadas para otimizar a qualidade e a quantidade da produção, tendo em vista uma melhoria da produtividade do solo, do ambiente e da saúde pública, em que uma combinação apropriada dos diferentes componentes permitirá o resultado ótimo para a condição específica de manejo. O requisito básico é contar com as informações sobre as características do efluente da área que se pretende utilizar e combinar os tipos de cultura, os métodos de irrigação e as práticas de manejo (LÉON e CAVALLINI, 1999).

O principal critério para se selecionar o método de irrigação é a eficiência do uso de água mas, quando se usam águas residuárias, existem outros fatores que devem ser levados em consideração, como o risco de contaminação dos trabalhadores e dos cultivos.

Para a utilização de águas residuárias é oportuno um sistema de tratamento com alta capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes, elementos esses que se deseja aproveitar como fertilizantes. A irrigação localizada é reconhecidamente o método que gera o menor risco de contaminação protegendo adequadamente a saúde dos consumidores e dos agricultores. Este método de irrigação permite uma economia considerável de água porém tem custo de implantação elevado, além de que exige uma baixa concentração de sólidos para evitar a obstrução dos emissores (gotejadores) (LÉON e CAVALLINI, 1999).

3.0 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação e Drenagem, LEID, da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, no município de Campina Grande, PB, com as seguintes coordenadas geográficas: 7°15'18'' latitude sul, 35°52'28'' de longitude oeste, com altitude média de 550 m, onde o mesmo contém um modelo físico de laboratório com 9 tanques de drenagem revestidos de argamassa e internamente impermeabilizados, cada um com aproximadamente 0,92 m de altura, 0,81 m de largura e 0,97 m de comprimento; na parede frontal da parte externa de cada tanque se instalaram três mangueiras plásticas transparentes e flexíveis, denominadas piezômetros, acopladas ao sistema de drenagem, afim de avaliar as cargas hidráulicas no interior e na vizinhança do sistema de drenagem.

Avaliaram-se nove sistemas drenantes e, por se dispor de apenas nove tanques, o experimento ocorreu em quatro etapas; em cada etapa foram testados três diferentes tubos e um único material envoltório, cada um com três repetições.

3.1. Material Poroso

Utilizaram-se 9m³ de solo nas 4 etapas do experimento, que são compostas de utilização de água de abastecimento com envoltórios de sisal e de raspas de borracha de sandália, e, também, uso da água residuária, referidos envoltórios se encontram na Figura 1.



Figura 1 Material de solo utilizado no experimento

O material do solo foi secado ao ar, passado em peneira de 4,0 mm de abertura de malha; em seguida, 5 amostras do solo foram coletadas e encaminhadas para caracterização química e física no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, através de metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

A amostra do solo foi secada ao ar, passada em peneira de 4,0 mm de abertura de malha e logo após encaminhada para caracterização química e física no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, cujos resultados se encontram na TABELA 2.

TABELA 02 - Caracterização física e química das amostras do solo utilizado

Características	Neossolo Regolítico Eutrófico
Areia Grossa (g kg ⁻¹)	364
Areia Fina (g kg ⁻¹)	435
Silte (g kg ⁻¹)	127
Argila (g kg ⁻¹)	74
Argila dispersa (g kg ⁻¹)	25
Grau de flocculação (kg dm ⁻³)	662
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,50
Densidade das partículas (g cm ⁻³)	2,61
Porosidade total	0,42
pH	5,08
Fósforo (mg dm ⁻³)	2,55
Potássio (mg dm ⁻³)	68,52
Sódio (cmol dm ⁻³)	0,17
Cálcio (cmol dm ⁻³)	0,95
Magnésio (cmol dm ⁻³)	0,50
H ⁺ +Al ²⁺ (cmol dm ⁻³)	2,48
Alumínio Al ³⁺ (cmol dm ⁻³)	0,25
MO ¹ (g kg ⁻¹)	4,50
CTC ² (cmol dm ⁻³)	4,28
SB ³ (cmol dm ⁻³)	1,80
V (%)	42,06
m (%)	12,19

¹M.O.: Matéria Orgânica; ²CTC: Capacidade de Troca Catiônica; ³SB: Soma de Bases Trocáveis

3.2. Montagem dos tanques

Na parte interna de cada tanque se instalou um dreno tubular corrugado, flexível, de PVC (DN = 55 mm), na profundidade de 0,82 m em relação à parte superior do tanque, para servir de encaixe para o tubo drenante, conforme mostra a Figura 2.



Figura 2 Dreno tubular corrugado para servir de encaixe ao tubo drenante

Na parede frontal da parte externa de cada tanque se instalaram três mangueiras plásticas transparentes e flexíveis acopladas ao sistema de drenagem, denominadas piezômetros, para avaliar as cargas hidráulicas no interior e na vizinhança do sistema de drenagem mostrado nas Figuras 3 e 4.



Figura 3 Piezômetro para avaliar as cargas hidráulicas no interior e na vizinhança do sistema de drenagem



Figura 4 Vista lateral do sistema com os piezômetros acoplados

Adaptou-se ao ponto de descarga dos drenos, um tubo de PVC rígido de 0,25 m de comprimento, com tampa roscável e se fez a vedação de uma das extremidades do tubo de drenagem, de forma a assegurar a entrada de água somente através dos orifícios do tubo, conforme a Figura 5.



Figura 5 Tubo PVC rígido de 0,25 m de comprimento, com tampa roscável – ponto de descarga

Visando à montagem do experimento, 136,5 kg de material do solo foram pesados e colocados em cada tanque, até atingir a altura do encaixe de cada tubo; em seguida, colocou-se o tubo com o envoltório de fibra de sisal disposto horizontalmente, centralizado e nivelado a 10,0 cm do fundo do tanque e encaixado; após o seu encaixe 363, 50 kg de solo foram acrescentados, cobrindo o sistema tubo + envoltório, totalizando 500 kg de solo seguindo-se este mesmo raciocínio nos 9 tanques.

Na primeira etapa se avaliaram os sistemas compostos dos tubos Drenoflex, tubo de PVC liso e Kananet, usando-se como envoltório o material fibra de sisal; na etapa seguinte os tubos foram envelopados com a raspa de borracha de sandálias.

Os tubos Drenoflex e Kananet são materiais convencionalmente usados na drenagem, sendo o Drenoflex um tubo de 65,0 mm de diâmetro nominal com corrugações paralelas, e o Kananet, um tubo de 75,0 mm de diâmetro nominal, com distribuição uniforme dos furos por todo o perímetro das corrugações, de forma helicoidal. O tubo de PVC liso com diâmetro nominal de 50,0 mm é, convencionalmente, usado para esgoto; na presente pesquisa este tipo de tubo foi utilizado como material alternativo.

Os tubos de PVC liso possuíam 729 furos distribuídos em 9 filas, distanciados um do outro em aproximadamente 12,0 mm na longitudinal, de tal forma que uma unidade métrica de tubo dispusesse de 23,0 cm² de área aberta total, para facilitar na drenagem e ficar uniformizado com os outros dois (Kananet e Drenoflex), visto que esses furos foram produzidos por meio de brocas de 2,0 mm de diâmetro, através de procedimento manual feito em condições experimentais semelhantes (MEDEIROS, 2004).

3.3. Tubos Drenantes

Utilizaram-se 3 tubos drenantes, Drenoflex, PVC liso para esgoto e Kananet, com 3 repetições cada um, Figura 6.



Figura 6 Tubos Drenantes (Drenoflex, PVC liso para esgoto e Kanonet) antes de se colocar o envoltório.

Utilizou-se, na primeira etapa do experimento, água de abastecimento e residuária com o envoltório sisal; os tubos foram cobertos com 54,60 g de fibra de sisal e cada um foi amarrado posteriormente para que a fibra de sisal não se espalhasse na montagem dos tanques, mantendo-os uniformes, conforme mostram as Figuras 7 e 8 a seguir.

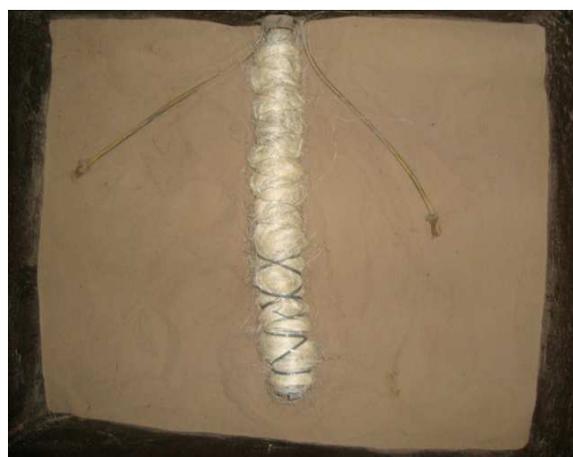


Figura 7 e Figura 8 Tubos Drenantes com o envoltório sisal e Montagem do tubo dentro do tanque, depois de colocado o solo

Na segunda etapa da pesquisa se usou água de abastecimento e residuária mudando apenas o envoltório, que foi raspa de borracha de sandálias, repetindo-se o mesmo procedimento da primeira etapa.

Na montagem do experimento foram empregadas as mesmas quantidades de solo seguindo-se, assim, a mesma linha de raciocínio da primeira etapa, mudando-se apenas na

montagem dos tubos nos tanques em que, após de colocar 136,5 Kg de solo em cada tanque conforme constatado na etapa anterior; ao atingir a altura do encaixe de cada tubo, este foi colocado, em seguida, horizontalmente, sem qualquer tipo de envoltório, centralizado e nivelado a 10,0 cm do fundo do tanque; prosseguindo, foi posto, no sistema, o envoltório raspas de borracha proveniente de sandálias, em virtude de se tratar de um material “solto em pedaços”; daí, o motivo de não se ter como prendê-lo tubos e, para se calcular a quantidade de raspas de borrachas a serem postas envolvendo cada tubo nos tanques, utilizou-se um recipiente cilíndrico a partir do qual se calculou o volume, através da Equação 7:

$$V = \pi r^2 h$$

em que: r = raio da base do cilindro

h = altura do cilindro

Obteve-se a partir daí, o volume das raspas de borracha de sandálias colocado em cada tanque, que foi $V = 8,4$ litros; portanto foi posto o mesmo volume, em todos os tratamentos, deixando-se 3 cm de borracha nas laterais do tubo e na parte superior, deixando-se esta mesma quantidade de material envoltório até que o tubo ficasse todo coberto, conforme mostram as Figuras 9 e 10, após a colocação do envoltório mais 363, 50 kg de solo foram acrescentados, cobrindo o sistema tubo + envoltório, totalizando 500 kg de solo com o mesmo raciocínio da primeira etapa, em todos os tratamentos.



Figuras 9 e 10 Montagem dos tubos nos tanques utilizando-se envoltório de borracha

3.4. Água Tratada

A água tratada utilizada nos ensaios é a que abastece o município de Campina Grande, PB, vinda do açude de Boqueirão, cuja análise está na Tabela 3.

TABELA 3 - Caracterização da água de abastecimento

pH	CE	P	K	N	Na	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	RAS
	(dS m ⁻¹)	-----mg L ⁻¹ -----									(mmol L ⁻¹) ^{0,5}
6,9	0,34	a	5,47	a	35,65	20	15,8	a	a	a	1,45

a – ausente

Com os 9 tanques montados, se iniciou carga hidráulica nos tanques com a água de abastecimento; os tanques se encontravam com os drenos fechados no intuito de se elevar o lençol freático para próximo da superfície do solo, visto que a água era distribuída nos tanques, de forma controlada, mediante um pequeno sistema hidráulico constituído de tubos de PVC de 20 mm. Cada tanque dispunha de um registro de passagem em virtude de se haver colocado um “seixo” para que, no enchimento dos tanques, a água, ao sair da torneira, não fizesse “barroca” no solo evitando sua compactação e facilitando a drenagem, conforme mostra a Figura 11. Em cada tanque se pôs uma lâmina de 0,05m de água acima da superfície do solo pois nesta atingida condição, a recarga foi suspensa e deixou em repouso durante 24 horas para que a drenagem ocorresse e, depois das 24 horas, foram feitas as leituras dos piezômetros; em seguida, o dreno foi aberto, para se fazer as leituras dos piezômetros no tratamento em que foi utilizada água de abastecimento, não foi necessário o uso de roupa de proteção, ao contrário das leituras feitas quando se utilizou água residuária conforme mostram as Figuras 15 (A), (B) e (C), procedendo-se às referidas medições a partir de 3; 5; 7; 10; 12; 15 e 17 minutos para os tempos de descarga de 39; 46; 56; 70; 89; 144 e 179 segundos.



Figura 11 Enchendo-se os tanques com água de abastecimento

Obtiveram-se as lâminas drenadas em cada um dos tratamentos através do método volumétrico direto, conforme Bernardo (1987) e estimadas a partir de equações ajustadas com os dados de vazão e tempo de drenagem. Equações do tipo exponencial foram as que melhor se ajustaram às variáveis em análise; portanto e com base nas equações obtidas, estimou-se o volume drenado durante a realização do teste calculando-se a área sobre a curva vazão versus tempo de drenagem. A lâmina de drenagem, por conseguinte, era obtida pela razão entre o volume drenado e a área superficial de cada tanque.

3.5. Água Residuária Doméstica

A água residuária utilizada na pesquisa foi de origem urbana proveniente do riacho de Bodocongó localizado em Campina Grande, PB, que não possui tratamento, fluindo por detrás das casas de vegetação da Universidade Federal de Campina Grande, de onde foi bombeada para a caixa d'água em que, a partir desta, fazia a distribuição individual em cada tanque, da mesma forma como que foi feito com a primeira etapa do experimento, conforme a Figura 12, em que a única diferença se deu nos vestimentos ao se trabalhar com água residuária, visto que foi imprescindível a utilização de capas plásticas e luvas, visando à proteção, conforme mostram as Figuras 16 e 17, seguintes.



Figura 12 enchimento dos tanques com água residuária previamente bombeada para a caída d'água.

Na TABELA 4 se encontra a caracterização da água residuária doméstica analisada no PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico) de Campina Grande, PB, segundo metodologia própria.

TABELA 4 – Caracterização do esgoto doméstico

pH	CE	P	K	N	Na	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	RAS
	(dS m ⁻¹)	-----mg L ⁻¹ -----								(mmol L ⁻¹) ^{0,5}	
8,5	1,09	4,01	31,25	33,9	182	59,2	46,4	0,02	0,08	0,001	4,53

3.6. Tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial com três tipos de tubo, Drenoflex, Kananet e tubo de PVC liso próprio para esgoto, dois materiais envoltórios, fibra de sisal e raspas de borracha de sandália e utilização de dois tipos de água a serem drenadas (água de abastecimento e água residuária).

Os 12 tratamentos são apresentados a seguir:

Tratamento 1 = Tubo Drenoflex envolvido com fibra de sisal usando-se água de abastecimento;

Tratamento 2 = Tubo PVC liso envolvido com fibra de sisal usando-se água de abastecimento;

Tratamento 3 = Tubo Kananet envolvido com fibra de sisal usando-se água de abastecimento;

Tratamento 4 = Tubo Drenoflex envolvido com fibra de sisal usando-se água residuária;

Tratamento 5 = Tubo PVC liso envolvido com fibra de sisal usando-se água residuária;

Tratamento 6 = Tubo Kananet envolvido com fibra de sisal usando-se água residuária;

Tratamento 7 = Tubo Drenoflex, envolvido com raspas de borracha de sandália usando-se água de abastecimento;

Tratamento 8 = Tubo PVC liso, envolvido com raspas de borracha de sandália usando-se água de abastecimento;

Tratamento 9 = Tubo Kananet, envolvido com raspas de borracha de sandália usando-se água de abastecimento;

Tratamento 10 = Tubo Drenoflex, envolvido com raspas de borracha de sandália usando-se água residuária;

Tratamento 11 = Tubo PVC liso, envolvido com raspas de borracha de sandália usando-se água residuária;

Tratamento 12 = Tubo Kananet, envolvido com raspas de borracha de sandália usando água residuária.

3.7 – Ensaios realizados

Realizaram-se, para cada sistema de drenagem instalado, ensaios, para as seguintes avaliações:

3.7.1 - Carga Hidráulica de Entrada (*he*)

A carga hidráulica de entrada (*he*) foi avaliada mediante uma régua graduada instalada paralelamente aos piezômetros, localizada na parte externa do modelo físico que se encontra nas Figuras 13 e 14, pois se tomou uma leitura direta do nível d'água no piezômetro inserido no sistema drenante.



Figuras 13 e 14 Réguas graduadas instaladas paralelamente aos piezômetros

3.7.2 - Fluxo (q)

O fluxo foi avaliado no ponto de descarga de cada tanque. O teste era realizado quando o material poroso se encontrava saturado, o que era constatado pelo posicionamento dos níveis hidráulicos nos piezômetros. Neste momento, o dreno era aberto, individualmente, de modo que houvesse o rebaixamento do nível freático e se fizessem as medições das cargas hidráulicas de entrada e total e a coleta do volume d'água, em intervalos de tempo de descarga como mostram as Figuras 15 (A), (B) e (C).

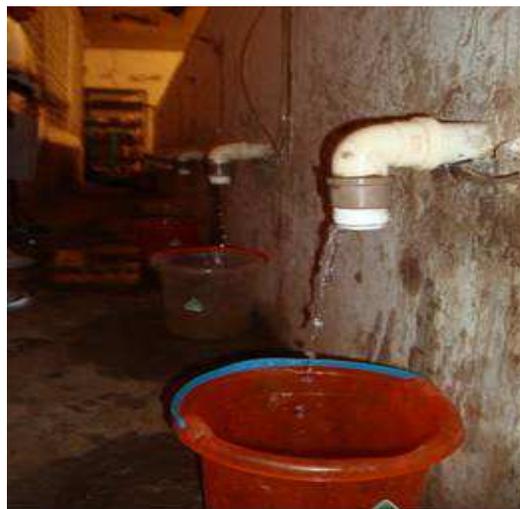
(A)



(B)



(C)



Procedeu-se desta maneira até que fosse verificada uma descarga mínima em cada sistema drenante. O tempo de descarga durou, em média, 1 hora e 30 minutos por tanque. Recipientes plásticos (baldes) foram utilizados para recolher o volume drenado, que posteriormente era pesado em uma balança manual e capacidade máxima para 100,0 kg, conforme mostram as Figuras 16 e 17, transformando-se o resultado em volume.



Figuras 16 e 17 Pesagem do volume drenado em cada tanque

O registro do tempo de descarga foi marcado com um cronômetro digital, sendo que o intervalo de tempo entre uma leitura e outra foi de 3; 5; 7; 10; 12; 15 e 17 minutos para os

tempos de descarga de 39; 46; 56; 70; 89; 144 e 179 segundos, respectivamente. Adotou-se, na determinação desta variável, a Equação 9:

$$q = 86.400 \frac{V}{t} 2 \quad \text{Eq. 9}$$

em que: q - fluxo, ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ m}^{-1}$)

V - volume de água coletado (m^3)

t - tempo de coleta do volume d'água (s)

2 - fator de ajuste, porque q é a descarga por unidade de comprimento de dreno e se considerou 0,5 m de comprimento útil do tubo drenante.

3.7.3 - Resistência de Entrada (re)

Quando se trata de avaliar o rendimento de tubo de drenagem, a componente resistência de entrada constitui um parâmetro importante como valor independente e como fração da carga hidráulica total. Esta variável foi calculada mediante a equação seguinte, sugerida por WESSELING e VAN SOMEREN (1972):

$$re = \frac{he}{qL^{-1}} \quad \text{Eq. 10}$$

em que: re - resistência de entrada (dia m^{-1})

he - carga hidráulica na entrada (m)

q - descarga do dreno ($\text{m}^3 \text{ dia}^{-1} \text{ m}^{-1}$)

L - comprimento do sistema drenante (m)

3.7.4 – Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Drenagem

A avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem, considerando-se as variáveis carga hidráulica de entrada (he) e resistência de entrada (re), foi feita com base nos critérios apresentados nas TABELAS 1, 2 e 3, propostos por WESSELING e VAN SOMEREN (1972), DIELEMAN e TRAFFORD (1976), respectivamente.

Para a avaliação do desempenho de um sistema de drenagem VAN SOMEREN e NAARDING (1965) citados por WESSELING e VAN SOMEREN (1972) propuseram os

critérios apresentados na TABELA 6, com base na carga hidráulica de entrada (he) e na resistência de entrada (re) para uma descarga de $7,0 \text{ mm.dia}^{-1}$.

TABELA 5: Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada (he)*

Classificação do Sistema	Carga hidráulica de entrada (he), em m
Muito bom	< 0,05
Bom	0,05 – 0,10
Moderado	0,10 – 0,25
Ruim	0,25 – 0,50
Intolerável	> 0,50

*Fonte: (Van Someren & Naarding, 1965)

DIELEMAN e TRAFFORD (1976) recomendam tomar em consideração os critérios propostos na TABELA 2, para avaliar o desempenho de um sistema de drenagem supondo-se a profundidade dos tubos de drenagem de 1,8 m, o espaçamento de 50,0 m, a profundidade do nível freático um a dois dias após a irrigação de 1,0 m e a descarga de $4,0 \text{ mm.dia}^{-1}$.

TABELA 6: Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada (he) e da resistência de entrada (re)*

Desempenho	Carga hidráulica de entrada	Resistência de entrada
	he (m)	re (dia m^{-1})
Bom	< 0,15	< 0,75
Regular	0,15 – 0,30	0,75 – 1,50
Ruim	0,30 – 0,45	1,50 – 2,25
Muito ruim	> 0,45	> 2,25

*Fonte: (Dieleman & Trafford, 1976)

TABELA 7: Desempenho de um sistema de drenagem em função da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total (h_e/h_{tot})*

Desempenho	Razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total (h_e/h_{tot})
Bom	< 0,20
Regular	0,20 – 0,40
Ruim	0,40 – 0,60
Muito ruim	> 0,60

*Fonte: (Dieleman & Trafford, 1976)

Segundo WESSELING e VAN SOMEREN (1972), outro critério proposto na avaliação do desempenho de sistemas drenantes leva em consideração os valores de resistência de entrada (r_e) e do fator de resistência de entrada (α), tanto para as condições de campo como para pesquisas em laboratório tendo-se como base uma descarga de $7,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ e um espaçamento entre drenos de 15,0 m. Na TABELA 4 se apresentam os valores de resistência de entrada (r_e) e do fator de resistência de entrada (α) para diferentes condutividades do solo.

TABELA 8: Resistência de entrada (r_e) e fator de resistência de entrada (α) como critérios de desempenho de drenos*

Desempenho	Resistência de entrada (r_e) (diam^{-1})	Valores máximos do fator de resistência (α) para diferentes condutividades do solo			
		K (m.dia^{-1})			
		0,25	0,50	1,00	2,00
Muito bom	< 0,475	0,12	0,24	0,48	0,92
Bom	0,475 – 0,950	0,24	0,48	0,95	1,90
Moderado	0,950 – 2,400	0,60	1,20	2,40	4,80
Ruim	2,400 – 4,750	1,20	2,40	4,80	9,60
Intolerável	> 4,750	-	-	-	-

*Fonte: (Wesseling & van Someren, 1972)

SMEDEMA e RYCROFT (1983) sugerem, como limites para valores do fator de resistência de entrada (α) aqueles indicados na TABELA 9.

TABELA 9: Limites para os valores do fator de resistência de entrada (α) *

Tipo de material drenante	Fator de resistência de entrada (α)
Argila e concreto	0,4 – 2,0
Plástico liso	0,4 – 0,6
Plástico corrugado	0,05 – 0,1

* Fonte: Smedema & Rycroft (1983)

3.7.5. Procedimento de Análise Estatística

As variáveis referentes à carga hidráulica de entrada (he), resistência de entrada (re) e fluxo (q) foram relacionadas e analisadas estatisticamente, através do software ASSISTAT Versão 7.5 beta (2008), com o objetivo de se avaliar o efeito dos tratamentos nos parâmetros hidráulicos.

O Teste de Tukey foi utilizado como complemento do teste F, pois o é, também para testar todo e qualquer contraste envolvendo duas médias de tratamentos. É um teste de amplitude fixo, cuja diferença mínima significativa é constante para dado conjunto de I médias, podendo-se testar todas as prováveis $[I(I-1)] / 2$ comparações de pares de médias.

Para que o teste seja preciso, exige-se que todas as médias tenham o mesmo número de repetições. Este teste é recomendado para análise da variância com F significativo.

4.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisaram-se os desempenhos dos sistemas de drenagem avaliados considerando-se o tipo de tubo e os diferentes envoltórios e se consideraram, na avaliação: a carga hidráulica de entrada (*he*), a resistência de entrada (*re*) e o fluxo (*q*) usados também na avaliação dos sistemas de drenagem testados.

4.1 – Carga hidráulica de entrada (*he*)

Os resumos da análise da TABELA 10 mostram que todas as fontes de variação influenciaram significativamente a nível de 1%, pelo Teste F. Observou-se, portanto, que os materiais envoltórios são alternativos promovendo destinação para os resíduos.

TABELA 10 - Análise Estatística da carga hidráulica de entrada (*he*)

FV	GL	QM
Tubo	2	0,02696 **
Água	1	0,03780 **
Envoltório	1	0,04630 **
Tubo x Água	2	0,03611 **
Tubo x Envoltório	2	0,03149 **
Água x Envoltório	1	0,02838 **
Tubo x 2 x 3	2	0,00901 **
Tratamentos	11	0,02906 **
Resíduo	72	0,00019 **
Total	83	
** significativo ao nível de 1% de probabilidade		CV% = 3.52448

Os envoltórios de Sisal e Raspas de borracha provenientes de sandália indicaram diferenças significativas. Comparando-se os resultados desta pesquisa aos obtidos por Medeiros (2004), que utilizou os envoltórios bagaço de cana-de-açúcar e raspas de pneus, cujas médias foram de 0,367 m e 0,321 m, para a variável carga hidráulica de entrada, constatou-se que os envoltórios sisal e bagaço de cana-de-açúcar obtiveram os mesmos valores para esta variável significando que ambos exercem papel semelhante como envoltórios na drenagem agrícola; já a raspa de borracha proveniente de sandália, obteve valor

superior 0,414 m que a raspa de pneus 0,321 m fato que pode ser explicado em razão do material utilizado para fabricação de raspa de borracha ter algo que facilite a passagem de água até por se tratar de um material mais macio que o pneu, ressaltado pela diferença de granulometria entre esses materiais.

Constatou-se ainda que o material envoltório raspa de borracha proveniente de sandália apresentou a maior carga hidráulica de entrada (0,414 m), conforme a TABELA 11. O coeficiente de variação foi de 3,52%, indicando uma ótima precisão experimental, FERREIRA (1991).

TABELA 11 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (he), em m, em relação aos tubos drenantes

Tubos	Águas	Envoltórios
Drenoflex 0,40486 a	Abastecimento 0,41219 a	Sisal 0,36750 b
PVC liso 0,41264 a	Residuária 0,36976 b	Borracha 0,41445 a
Kananet 0,35543 b		
DMS1 = 0,00882	DMS2 = 0,00600	DMS3 = 0,00600

Percebe-se que na interação de tubos *versus* água de abastecimento e residuária, TABELA 12, a carga hidráulica de entrada diferiu estatisticamente em todos os tubos para as águas de abastecimento e residuária; já na interação entre tubos, todos diferiram estatisticamente com a água de abastecimento e apenas o PVC liso diferiu em relação à água residuária.

TABELA 12 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (he), em m, em relação aos tubos drenantes *versus* água de abastecimento e residuária

Fator Tubo -----	Fator Água	
	Abastecimento	Residuária
Drenoflex	0.4284 bA	0.3814 aB
PVC liso	0.4686 aA	0.3567 bB
Kananet	0.3396 cB	0.3712 aA

Médias com as mesmas letras minúsculas na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si.
 DMS para colunas = 0.0125 DMS para linhas = 0.0104
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

Em relação à interação tubos *versus* envoltórios, identifica-se entre tubos que, todos diferiram com as duas águas; já entre envoltórios, o Drenoflex e o PVC liso obtiveram diferenças e apenas o tubo Kananet não diferiu com ambos os envoltórios.

TABELA 13 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (he), em m, em relação aos tubos drenantes *versus* envoltórios

Tubo x Envoltório		
Tubo-----	Envoltório	
	Sisal	Raspas de Borracha
Drenoflex	0.3431 cB	0.4666 aA
PVC liso	0.4034 aB	0.4219 bA
Kananet	0.3560 bA	0.3549 cA

DMS para colunas = 0.0125 DMS para linhas = 0.0104
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

Verifica-se, na interação para água residuária, que não houve diferença da carga hidráulica de entrada; já em relação à água de abastecimento, houve significância apenas no envoltório sisal com a água de abastecimento, não havendo significância quanto ao envoltório sisal com água residuária devido provavelmente, ao material em suspensão existente na água residuária que dificulta mais ainda a passagem da água pelo envoltório no tubo drenante; já em relação ao envoltório raspas de borracha proveniente de sandália, não se verificou diferença estatística com ambas as águas, o que pode ter ocorrido em razão do envoltório possuir granulometria de diferentes tamanhos, sendo soltas, facilitando a passagem da água no tubo drenante.

TABELA 14 – Valores médios da carga hidráulica de entrada (he), em m, em relação às águas de abastecimento e residuária *versus* envoltórios

Água x Envoltório		
Água-----	Envoltório	
	Sisal	Raspas de Borracha
Abastecimento	0.4071 aB	0.4173 aA
Residuária	0.3279 bB	0.4116 aA

DMS para colunas = 0.0085 DMS para linhas = 0.0085
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

A análise estatística da variável resistência de entrada, se encontra na TABELA 15. Observa-se que tanto os tubos drenantes como a interação entre tubos drenantes *versus* águas de abastecimento e residuária e também a interação entre tubos drenantes *versus* envoltórios, foram significativos a nível de 1% de probabilidade pelo Teste F, enquanto as águas de abastecimento e residuária, os envoltórios e a interação entre esses dois fatores, foram não significativos.

TABELA 15 – Resumo da análise estatística da variável resistência de entrada (re).

F.V.	G.L.	Q.M
Tubo	2	0.00299 **
Água	1	0.00019 ns
Envoltório	1	0.00000 ns
Int. Tubo x Água	2	0.00263 **
Int. Tubo x Envoltório	2	0.00297 **
Int. Água x Envoltório	1	0.00009 ns
Int.Tubox2x3	2	0.00110 **
Tratamentos	11	0.00179 **
Resíduo	72	0.00011
Total	83	0.02763

** Significativo a nível de 1% de probabilidade CV% = 25.75916
 ns – não significativo

Conforme a TABELA 16, os tubos Drenoflex e PVC liso não diferiram estatisticamente em relação à resistência de entrada, tal como as águas de abastecimento e residuária e os envoltórios sisal e raspas de borracha provenientes de sandálias, havendo diferença estatística apenas no tubo drenante Kanonet.

TABELA 16 – Valores médios do fator resistência de entrada (re) em relação aos tubos drenantes, águas de abastecimento e residuária e envoltórios

Tubos
Drenoflex 0,04462 a
PVC liso 0,04873 a

$$\frac{\text{Kananet } 0,02912 \text{ b}}{\text{DMS1} = 0,00673}$$

Verifica-se, através da TABELA 17, que as médias de interação do tubo *versus* água, nos tubo 1 (Drenoflex), 2 (PVC liso) e 3 (Kananet) diferiram estatisticamente com a água de abastecimento; já com relação à água residuária, apenas o tubo Drenoflex diferiu estatisticamente.

TABELA 17– Resumo da análise estatística da variável resistência de entrada (re) em relação a interação dos tubos drenantes *versus* águas de abastecimento e residuária

Tubo x Água		
Tubo	Água	
	Abastecimento	Residuária
Drenoflex	0.0379 bB	0.0513 aA
PVC liso	0.0584 aA	0.0390 bB
Kananet	0.0217 cB	0.0366 bA

DMS para colunas = 0.0095 DMS para linhas = 0.0079

A TABELA 18 indica que, na interação dos tubos *versus* envoltórios, apenas o Drenoflex e o PVC liso diferiram estatisticamente entre os tubos; os Drenoflex e Kananet com o envoltório de sisal, não diferiram e, entre o envoltório raspas de borracha provenientes de sandálias, apenas o tubo Drenoflex diferiu estatisticamente; já entre tubos apenas no PVC liso houve diferença significativa. Com relação aos envoltórios, apenas o Drenoflex e o PVC liso diferiram, pois o Kananet não diferiu em ambos os envoltórios devido o tubo Kananet ter furos maiores; logo, aumenta a quantidade de água drenada diminuindo, assim, a resistência de entrada. As médias mostram que os menores valores de resistência de entrada foram obtidos no tubo drenante Kananet com o uso dos dois envoltórios (sisal e raspas de borracha).

Wesseling e Van Someren (1972) observaram, ao estudarem o efeito da resistência de entrada em tubos de PVC de paredes lisas de diâmetro nominal de 50 mm, com e sem o uso de diferentes envoltórios em condições de campo e de laboratório, uma redução da resistência de entrada até 41 vezes, em relação ao uso do tubo sem envoltório em campo (TABELA 4). demonstrando a importância do uso de envoltório não só para evitar o carreamento de partículas de solo para o interior do tubo drenante mas, também, afim de contribuir para uma

redução considerável da resistência de entrada e uma performance adequada do sistema de drenagem.

A análise estatística do fator fluxo (q) se encontra na TABELA 19; observa-se que nos fatores tubos, águas e envoltórios, os tratamentos são quantitativos; logo, o Teste F não se aplica; já na interação de tubos *versus* água, foram significativos a nível de 1% de probabilidade e, na interação de tubos *versus* envoltórios, foram significativos a nível de 5% e na interação de águas de abastecimento e residuária *versus* envoltórios foram não significativos.

TABELA 18 – Resumo da análise estatística da variável resistência de entrada (re) em relação à interação dos tubos drenantes *versus* envoltórios

Tubo x Envoltório		
Tubo	Envoltório	
	1	2
Drenoflex	0.0349 bB	0.0544 aA
PVC liso	0.0594 aA	0.0380 bB
Kanonet	0.0276 bA	0.0307 bA
DMS para colunas = 0.0095 DMS para linhas = 0.0079		

Verifica-se, na TABELA 20, interação dos tubos drenantes *versus* águas de abastecimento e residuária em relação ao fluxo (q) em que apenas o tubo drenoflex e as duas águas diferiram estatisticamente; já os tubos PVC liso e Kanonet não obtiveram diferenças estatísticas. A utilização do tubo Drenoflex com as águas de abastecimento e residuária em relação aos tubos PVC liso e Kanonet não teve diferença significativa como pode ser visto na TABELA 19, já o tubo Kanonet foi o que obteve maior fluxo com a utilização de água de abastecimento.

TABELA 19 - Resumo da análise estatística do fator fluxo (q)

RESUMO DA ANÁLISE

F.V.	G.L.	Q.M.	F
Tubos	2	30.04819	-
Água	1	0.65943	
Envoltório	1	1.46589	
Int. Tubo x Água	2	122.55225	**

Int. Tubo x Envoltório	2	24.23050	*
Int. Água x Envoltório	1	1.47171	ns
Int. Tubox2x3	2	11.29344	ns

Tratamentos	11	34.53144	**
Resíduo	72	5.38519	

Total	83	767.57920	

** Significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* Significativo a nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$) CV% = 35.76701

A TABELA 20 mostra que só o tubo Kanonet diferiu estatisticamente com o envoltório de sisal e o PVC liso diferiu com o envoltório de raspas de borracha de sandália; já entre as águas os tubos PVC liso e Kanonet obtiveram diferença significativa.

TABELA 20 – Resumo da análise estatística da variável fluxo (q) em relação à interação dos tubos drenantes *versus* águas de abastecimento e residuária

Tubo x Água		
Tubo	Água	
	Abastecimento	Residuária
Drenoflex	5.7827 bA	5.1961 bA
PVC liso	4.3190 bB	8.5156 aA
Kanonet	9.6284 aA	5.4868 bB
DMS para colunas = 2.1004 DMS para linhas = 1.7490		

De acordo com a TABELA 21, apenas o tubo Kanonet diferiu estatisticamente entre si com o envoltório de sisal e o tubo Drenoflex diferiu estatisticamente entre si com o envoltório raspas de borracha de sandálias; entre envoltórios, apenas o PVC liso diferiu estatisticamente entre si.

TABELA 21 – Resumo da análise de variância estatística da variável fluxo (q) em relação à interação dos tubos drenantes *versus* envoltórios sisal e raspas de borracha de sandálias

Tubo x Envoltório	
Tubo	Envoltório

	Sisal	Raspas de Borracha
Drenoflex	6.1875 bA	4.7913 bA
PVC liso	5.4758 bB	7.3589 aA
Kananet	8.1974 aA	6.9179 aA

DMS para colunas = 2.1004 DMS para linhas = 1.7490
 Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

Na Figura 18, abaixo, observa-se um padrão de comportamento similar da variável resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos com o envoltório de sisal e água de abastecimento, para os tubos Drenoflex e Kananet, evidenciando que os tubos com esse tipo de envoltório se mantiveram com a mesma tendência; a Figura 19 apresenta a curva do comportamento da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos do tubo PVC liso com envoltório de sisal e água de abastecimento, apresentando um desempenho variado de ver que foi o tubo que apresentou maior resistência de entrada (0,04873 dia.m⁻¹). A curva da resistência de entrada em relação a carga hidráulica de entrada, entre os tratamentos do tubo Kananet, com o envoltório de sisal e água de abastecimento, é mostrada na Figura 20 na qual se verifica comportamento similar à curva do tubo Drenoflex enquanto o tubo Kananet mostrou uma performance altamente desejável, do ponto de vista da resistência de entrada (0,02912 dia.m⁻¹), obtendo menor resistência de entrada.

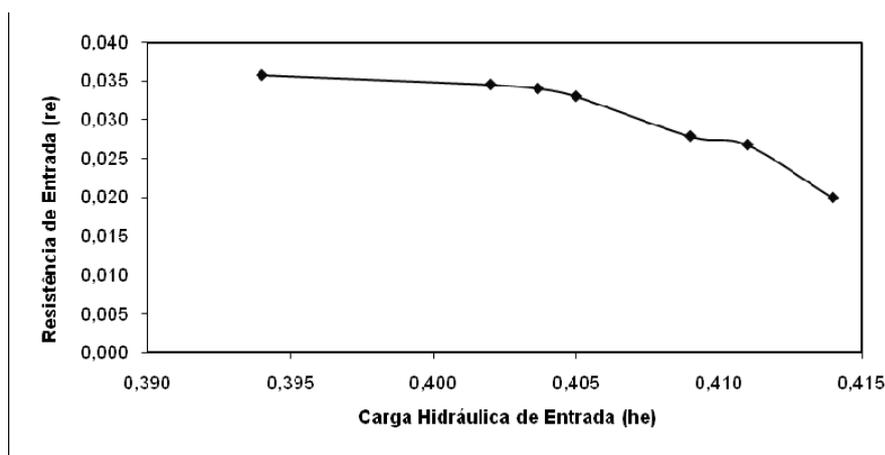


Figura 18 Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de sisal e água de abastecimento

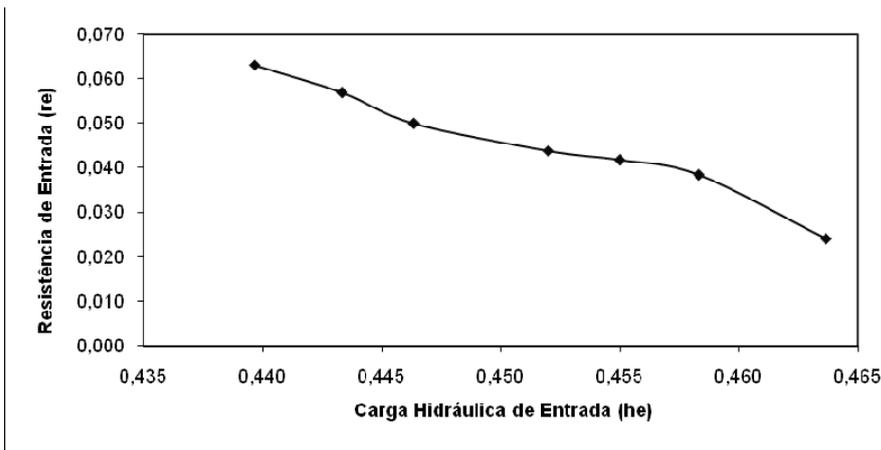


Figura 19 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso com envoltório de sisal e água de abastecimento

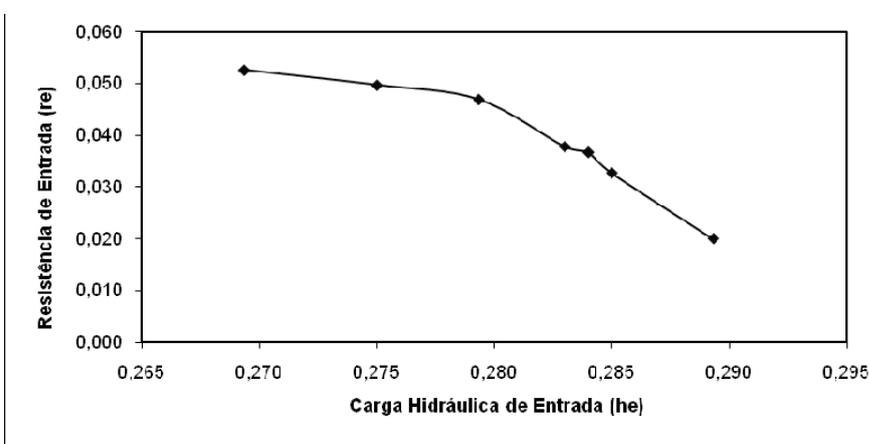


Figura 20 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kanonet com envoltório de sisal e água de abastecimento

Na Figura 21 se nota um padrão de comportamento diferente da variável resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos com o envoltório de sisal e água residuária, para o tubo Drenoflex em relação aos tubos PVC liso e Kanonet em que esses obtiveram tendência similar com o uso de água residuária, diferente do que ocorreu com os tubos, utilizando-se água de abastecimento. O tubo Kanonet com o envoltório de sisal e com ambas as águas, obteve menor resistência de entrada. A Figura 22 apresenta a curva do comportamento da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos do tubo PVC liso com envoltório de sisal e água residuária, haja vista que este apresentou desempenho semelhante ao Kanonet, que se encontra na Figura 23. O tubo Kanonet com envoltório de sisal e água residuária, que se encontra na TABELA 19, mostra que, a medida em que a resistência de entrada aumenta, conseqüentemente diminui a carga

hidráulica de entrada pois são inversamente proporcionais, logo, se a entrada de água está diminuindo é por que está aumentando a resistência.

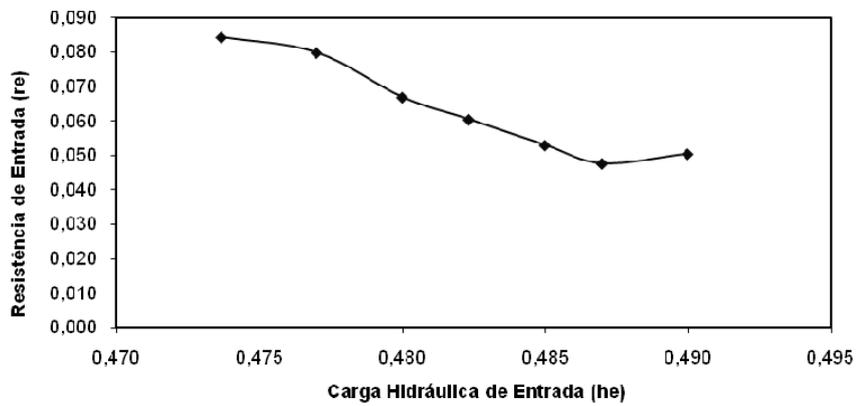


Figura 21 Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de sisal e água residuária

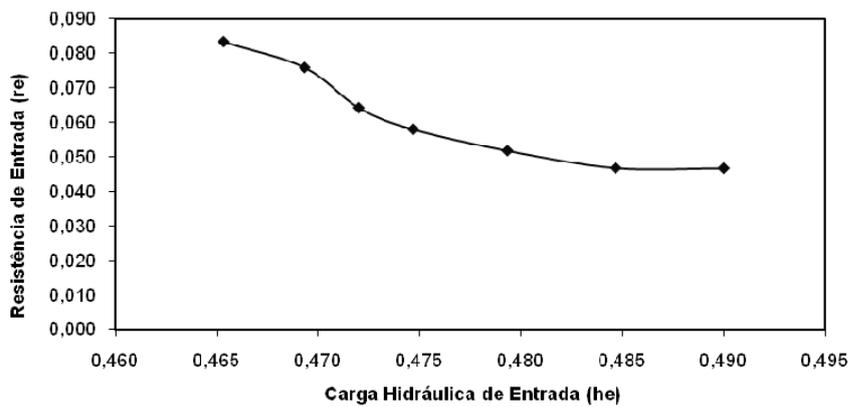


Figura 22 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso, envoltório sisal e água residuária

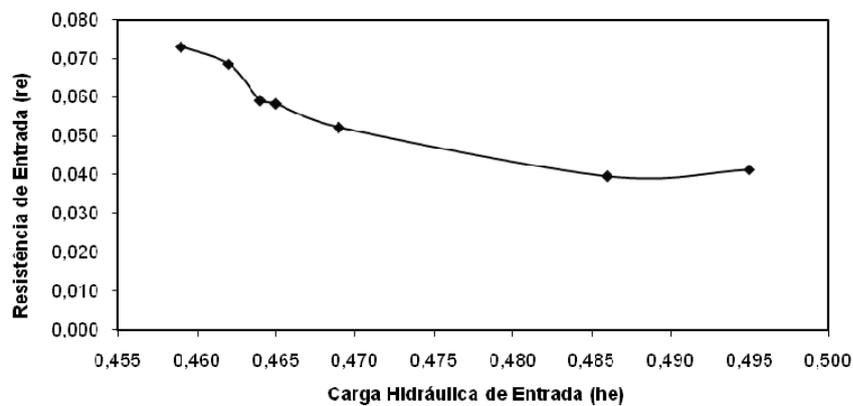


Figura 23 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kanonet com envoltório sisal e água residuária

Percebe-se, nas Figuras 24 e 25, comportamento similar da variável resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada entre os tratamentos com o envoltório de rasps de borracha de sandálias e água de abastecimento, evidenciando que os tubos com esse tipo de envoltório e água se mantiveram com a mesma tendência; já na Figura 26 se observa um padrão diferenciado das Figuras 24 e 25, em virtude do tipo de tubo que possui características semelhantes, haja vista que se identifica, na figura 25, que o tubo PVC liso foi o que apresentou maior carga hidráulica de entrada; enquanto, a curva da Carga hidráulica de entrada (h_e) em relação à resistência de entrada (r_e) utilizando tubo Kanonet com envoltório de rasps de borracha provenientes de sandálias e água de abastecimento da Figura 26, mostra que o tubo Kanonet foi o que obteve menor resistência de entrada, isso ocorre devido os furos do tubo terem tamanhos maiores facilitando, desta forma, a passagem da água e, conseqüentemente, diminuindo a resistência de entrada.

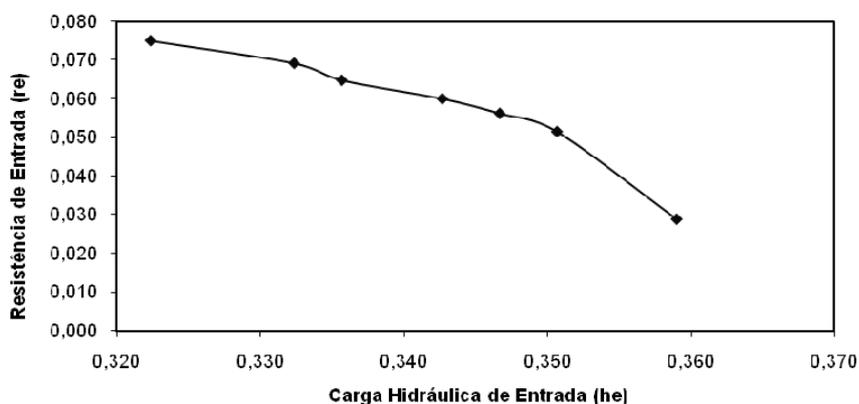


Figura 24 Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de rasps de borracha proveniente de sandália e água de abastecimento

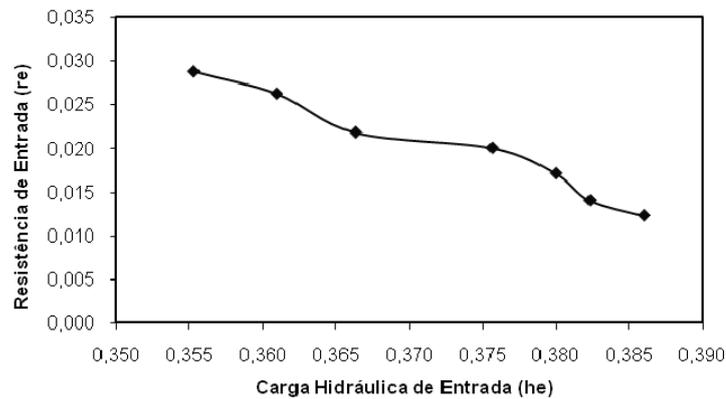


Figura 25 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso com envoltório de raspas de borracha proveniente de sandália e água de abastecimento

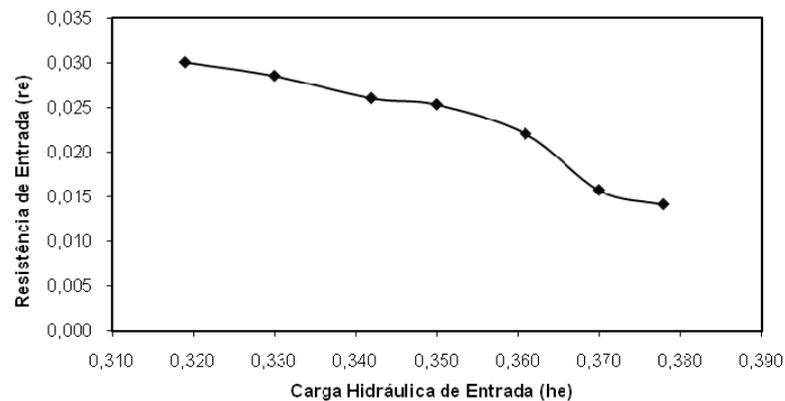


Figura 26 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kanonet com envoltório de raspas de borracha proveniente de sandália e água de abastecimento

Nas Figuras 27, 28 e 29 se encontram as curvas da carga hidráulica de entrada versus resistência de entrada, utilizando os tubos Drenoflex, PVC liso e Kanonet com envoltório de raspas de borracha e esgoto doméstico.

A carga hidráulica de entrada foi menor com a utilização de água residuária, fato este notório em virtude da quantidade de material em suspensão existente na água residuária, o que pode dificultar a entrada e passagem de água pelos tubos drenantes. O tubo PVC liso foi o que apresentou menor carga hidráulica de entrada, pois, além de ser um tubo com orifícios pequenos existe também material em suspensão presentes na água residuária. O tubo Kanonet foi o que apresentou menor resistência de entrada facilitando, então, a passagem de água e na interação de tubo x envoltório o tubo Drenoflex, utilizando envoltório de raspas de borracha e

água residuária, foi o que obteve maior resistência de entrada ($0,0544 \text{ dia.m}^{-1}$) enquanto o tubo Kanonet apresentou menor resistência de entrada significando haver uma passagem maior da água através dele.

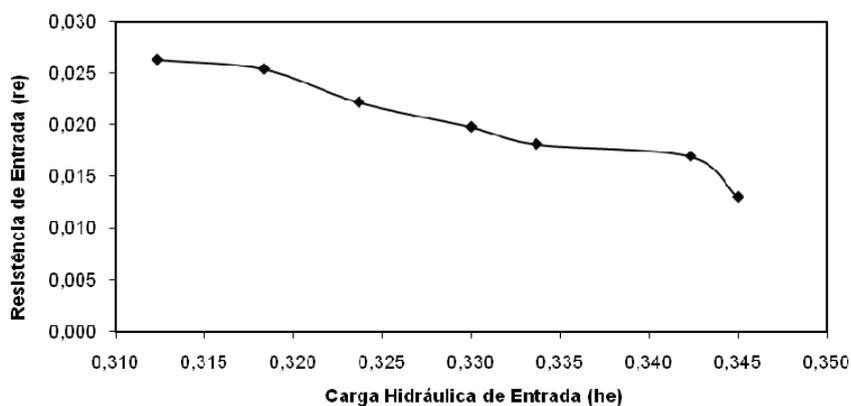


Figura 27 Curva da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para o tubo drenante Drenoflex, com envoltório de raspas de borracha proveniente de sandália e água residuária

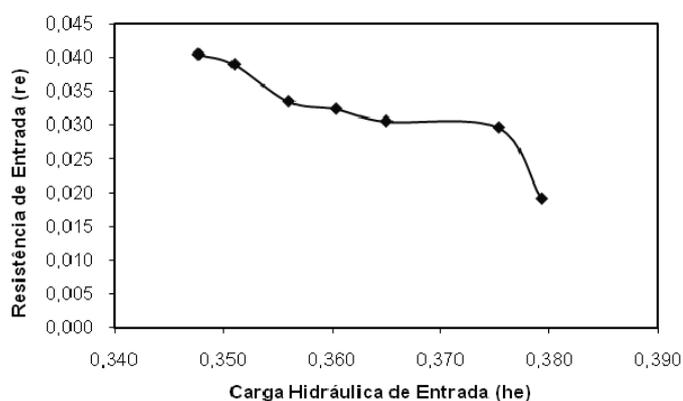


Figura 28 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo PVC liso com envoltório de raspas de borracha proveniente de sandália e água residuária

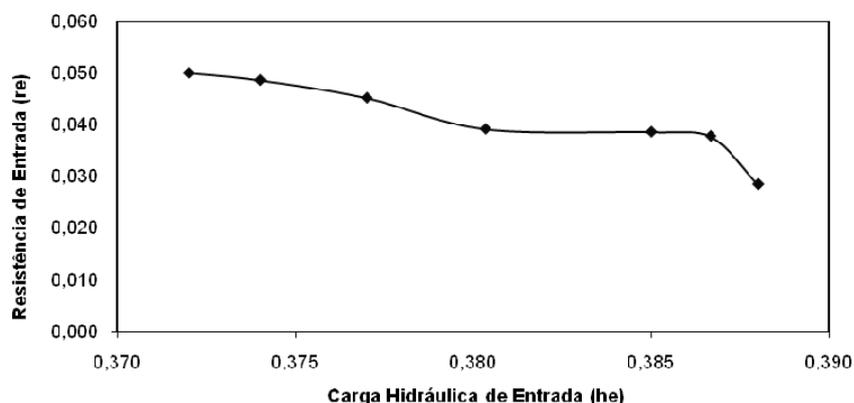


Figura 29 Curva da Carga hidráulica de entrada (he) em relação à resistência de entrada (re) utilizando tubo Kanonet com envoltório de raspas de borracha proveniente de sandália e água residuária.

Tem-se nas Figuras 30, 31 e 32, as curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os tubos Drenoflex, PVC liso e Kanonet com envoltório de raspas de borracha e água de abastecimento.

A Figura 30 apresenta a curva do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem do tubo Drenoflex com o envoltório de sisal, utilizando água de abastecimento; nela se percebe a mesma tendência da curva da Figura 31, que é do tubo PVC liso com o mesmo envoltório e água de abastecimento, evidenciando comportamentos semelhantes entre esses tubos e o envoltório sisal e água de abastecimento. O tubo kanonet mostrado na curva da Figura 32 com envoltório de sisal e água de abastecimento, foi o que contribuiu para um rebaixamento maior do lençol freático, motivo pelo qual, apresentou maior fluxo.

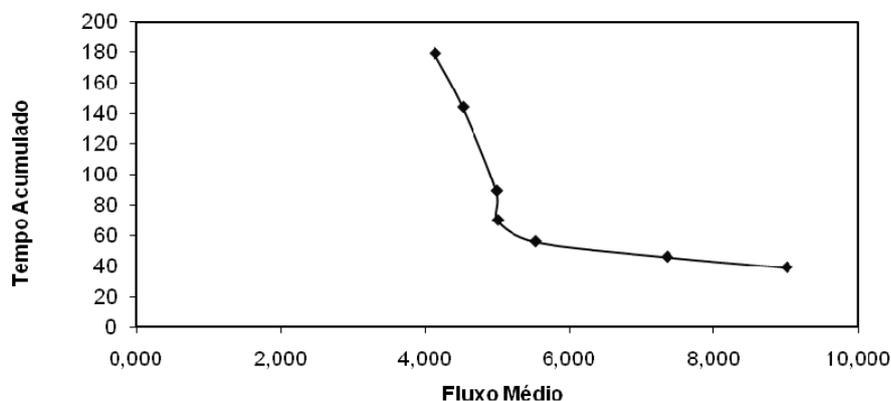


Figura 30 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório sisal e água de abastecimento

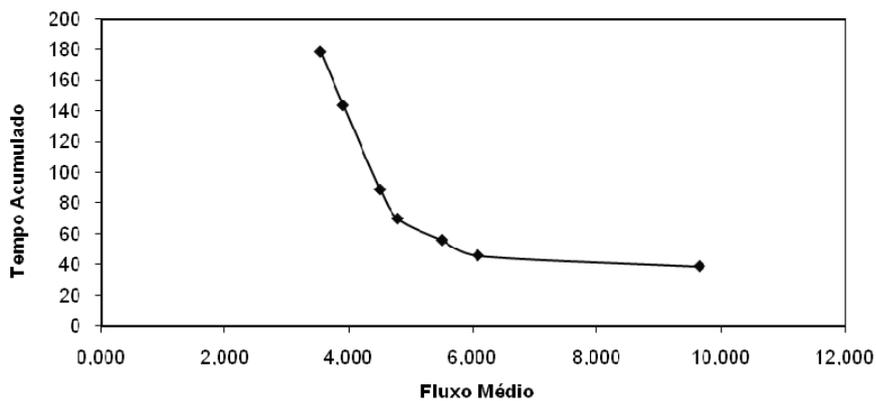


Figura 31 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório sisal e água de abastecimento

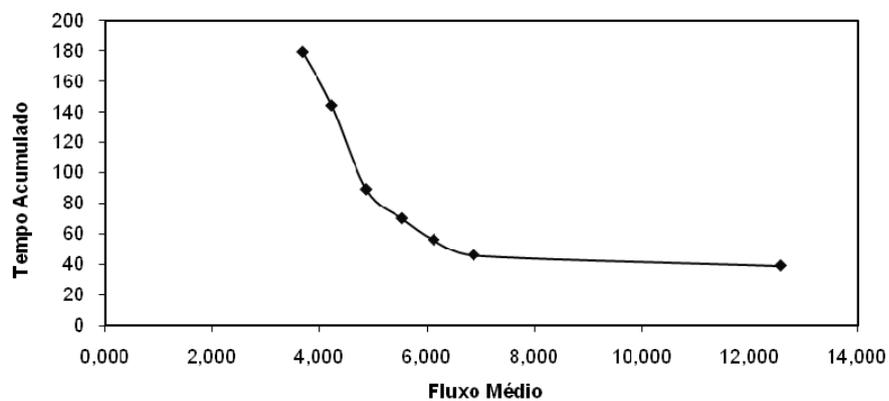


Figura 32 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kananet com o envoltório sisal e água de abastecimento

As Figuras 33 e 34 apresentam as curvas da variável fluxo, em relação ao tempo acumulado de drenagem dos tubos Drenoflex e PVC liso com o envoltório de sisal utilizando água residuária. Constata-se, nessas Figuras que, inicialmente os tubos drenoflex e PVC liso indicaram uma descarga inferior em relação ao tubo Kananet, pois este tubo mostrou melhor performance ao longo de todo o tempo, caracterizada pela maior intensidade de fluxo.

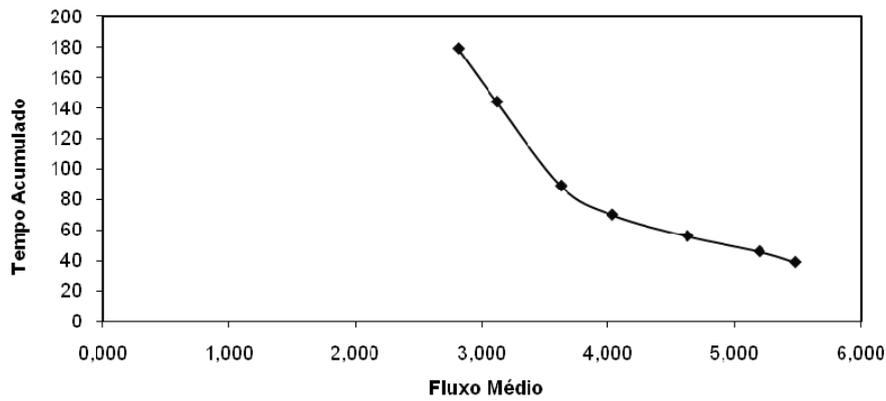


Figura 33 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório sisal e água residuária

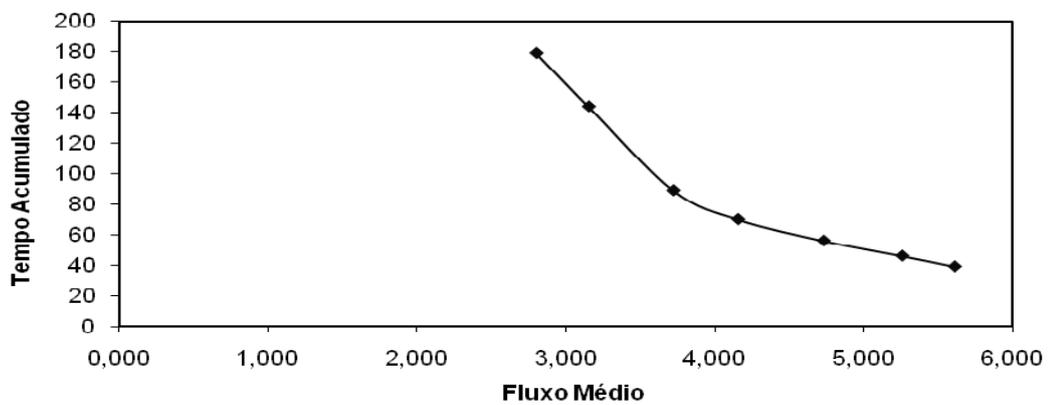


Figura 34 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório sisal e água residuária

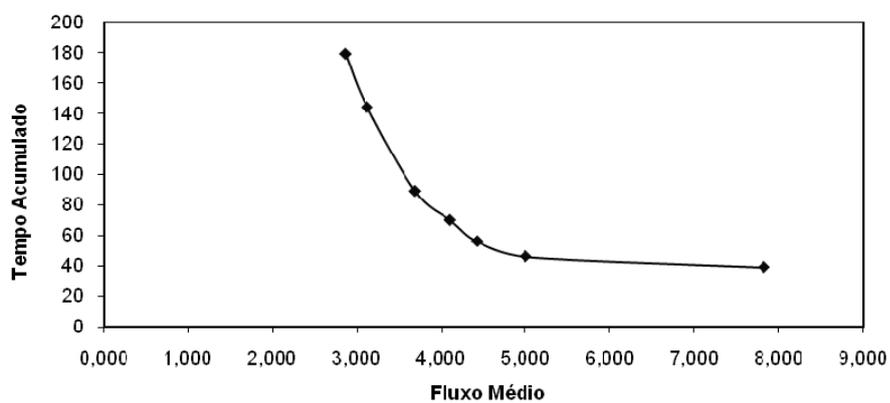


Figura 35 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kanonet com o envoltório sisal e água residuária

A Figura 36 mostra a Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento, indicando que o fluxo foi menor ($12 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) que os outros dois tubos PVC liso, da Figura 37 ($16 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) e Kananet, da Figura 38 ($17 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) porém a variação de fluxo nos 3 tubos não foi tão significativa.

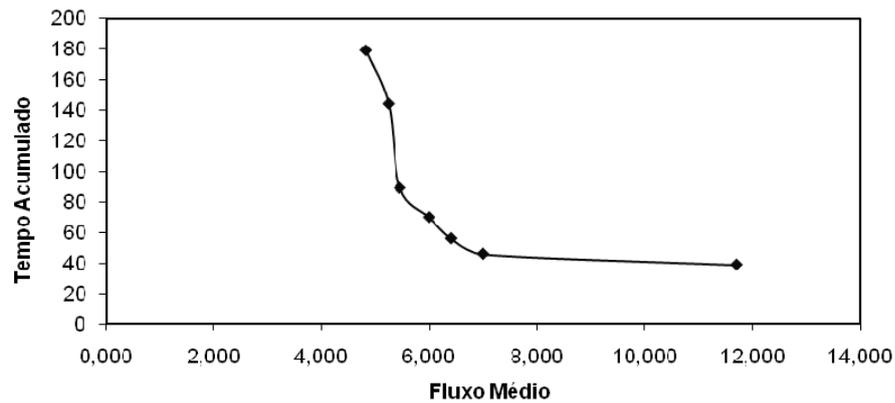


Figura 36 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento

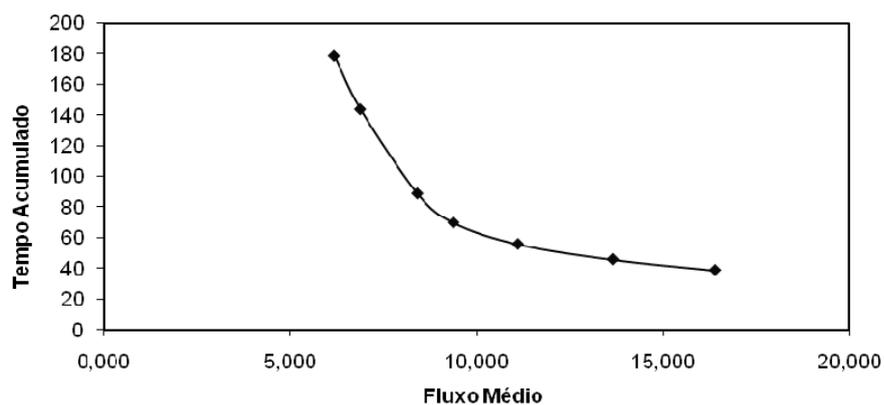


Figura 37 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento

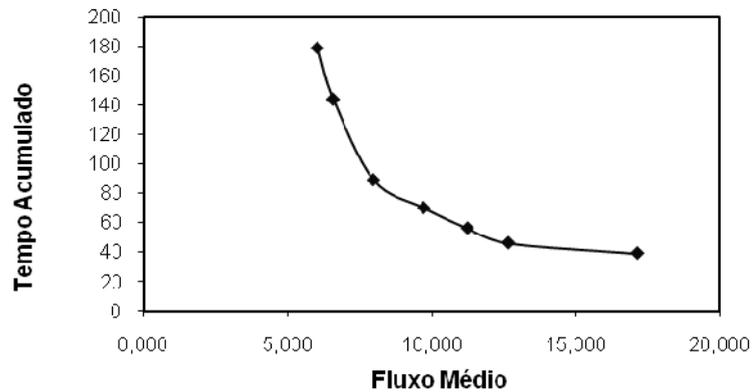


Figura 38 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kanonet com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e água de abastecimento

A Figura 39 mostra a Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha de sandálias e **água residuária** ($13,4 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$); comparando-se a Figura 36 da Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha e **água de abastecimento** ($11,7 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) constata-se que o volume drenado com a utilização do sisal se situou em posição intermediária sendo que os tubos PVC liso com o envoltório raspas de borracha de sandálias e água residuária apresentaram capacidade para produzir maior rebaixamento do lençol freático.

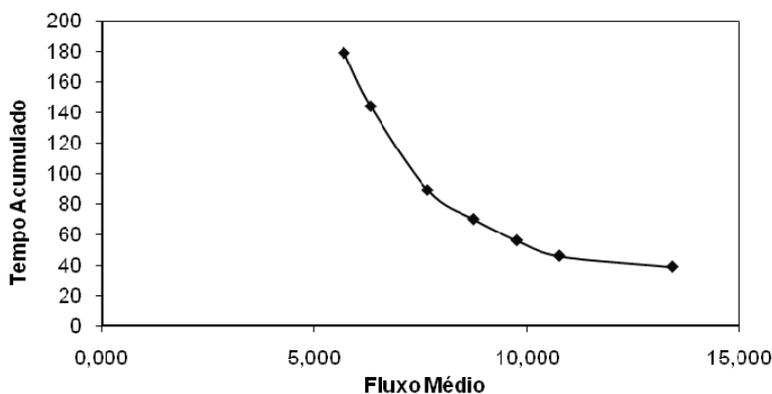


Figura 39 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Drenoflex com o envoltório de raspas de borracha de sandália e água residuária

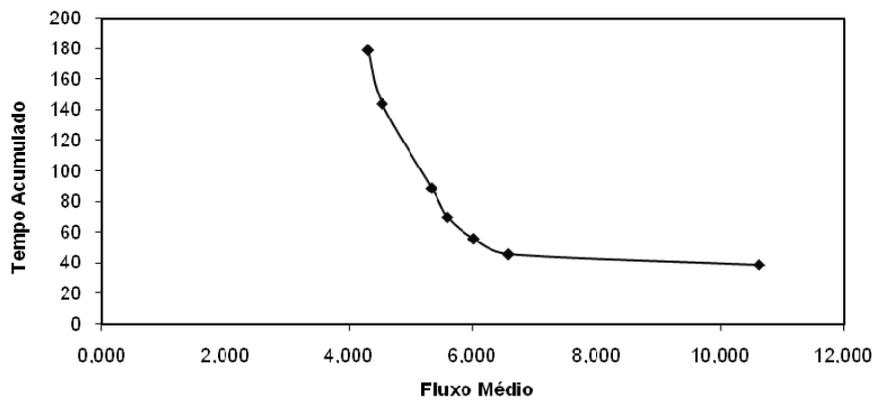


Figura 40 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo PVC liso com o envoltório de rasas de borracha de sandália e água residuária

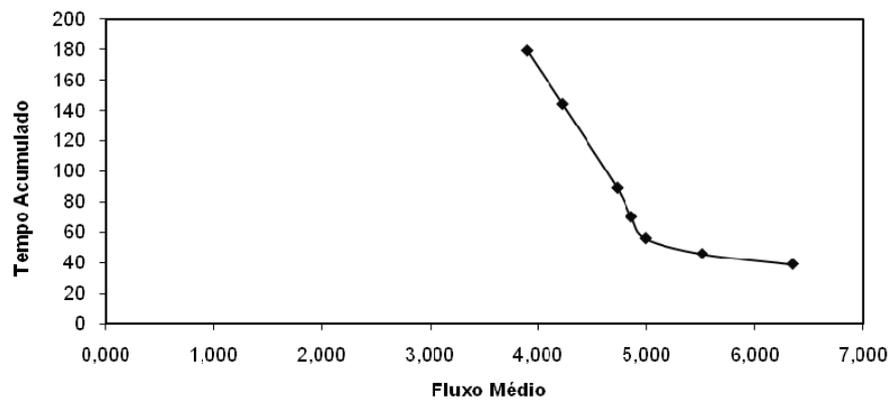


Figura 41 Curva do fluxo (q) em relação ao tempo acumulado de drenagem para o tubo Kanonet com o envoltório de rasas de borracha de sandália e água residuária

5.0 CONCLUSÕES

- O tubo PVC liso com envoltório de sisal utilizando água de abastecimento, apresentou carga hidráulica de entrada superior à dos outros dois tubos; já o tubo Drenoflex com o envoltório de borracha utilizando água residuária, obteve carga hidráulica superior à dos outros tubos;
- O sistema de drenagem que apresentou maior capacidade de rebaixamento do lençol freático foi o tubo PVC liso, com o envoltório de sisal, e o tubo Drenoflex, com o envoltório de raspas de borracha.
- O tubo Kananet apresentou maior intensidade em relação ao fluxo quando se utilizou água de abastecimento; já para água residuária doméstica, o tubo PVC liso apresentou maior drenagem.
- O tubo PVC liso, próprio para esgoto, é o mais fácil de se encontrar no mercado e, conseqüentemente, o de menor custo.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. O et. al.; SANTIAGO, E. G.; LIMA, A. R. M. Documentos do ETENE – Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – Diagnóstico Socioeconômico do Setor Sisaleiro do Nordeste Brasileiro, V. 04, 2005. 92 p.

ARAÚJO, A. L. de. Desempenho de colunas experimentais de solo irrigadas com água superficial poluída e cultivadas com alface (*Lactuca sativa*, L.). 1999. 130p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Qualidade de água na agricultura. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (FAO. Estudos de Irrigação e Drenagem, 29).

BARACUHY, J. G. de V. Manejo integrado de microbacias hidrográficas no Semiárido Nordeste: estudo de caso. Campina Grande: UFPB, 2001. 221p. Tese de Doutorado (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal da Paraíba – CAMPUS II – Campina Grande, 2001.

BATISTA, M.de J.; SILVA, C.L.da & RODRIGUES, J.D'I. *Análise técnico-econômica do comportamento de drenos entubados empregando envelope somente de cascalho e de cascalho com manta sintética*. Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília, n. 19, p. 14 - 22, 1984.

BATISTA, M.de J.; NOVAES, F.de; SANTOS, D.G. dos & SUGUINO, H.H. *Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização dos solos*. Brasília: SRH, 1998. 203 p.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P. C. S. Conceito de reúso de água. In: MANCUSO, C. S. A; SANTOS, H. F. (eds.). Reúso de água. Barueri, SP: Manole, 2003. cap. 2. p.21-36.

DATTA, K.K.; JONG, C.de & SINGH, O.P. *Reclaiming salt-affected land through drainage in Haryana, India: a financial analysis*. Agricultural Water Management, v. 46, n.1, p. 55 - 71, 2000.

DIELEMAN, P.J. & TRAFFORD, B.D. *Ensayos de drenaje*. In: Irrigation and Drainage, paper nº 28. FAO/ONU, Roma, 1976. 172 p.

DUARTE, A. de S. Desenvolvimento do pimentão irrigado com água residuária tratada. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

FAPESB. Arranjos produtivos locais: sisal I. Salvador, 2002a. Enquadramento do arranjo produtivo do sisal. Salvador, 2002b.

FERREIRA, P.A. Drenagem. In: Curso de engenharia de irrigação. Módulo XI. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. 2001. 167p.

GARCIA, L.A.; GATES, T.K.; JENSEN, M.E.; PODMORE, T.H. Management support for conjunctive irrigation and drainage. In: Drainage and water table control. Proceedings of the International Drainage Symposium, 6. ASAE. St. Joseph, 1992. p.12-19.

GARCIA, L. M. ABEAS - Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior. Ecologia e aproveitamento Sustentado dos Riachos e Lagos Temporários do semi-árido Nordeste. Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 1997.

GUERRA, H. O. C. Desenvolvimento Sustentável para o Semi-Árido Brasileiro. Recursos Edáficos do Semi-Árido do Brasil, 2007. p. 03; (65 – 66).

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, C. S. A; SANTOS, H. F. (Editores). Reúso de água. Barueri, SP: Manole, 2003 a. p.37-95.

LAMSTER, E.C. Programa nacional de aproveitamento racional de várzeas - Provárzeas Nacional. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.6, n.65, p.3-8, 1980.

LEON, S. G.; CAVALLINI, J. M. Tratamento e uso de águas residuárias. Tradução de GHERY, H. R.; KONIG, A.; CEBALLOS, B. S. O.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB. 1999. 108p.

LIMA, L. A., Drenagem de Terras Agrícolas, ENG 158/UFLA, 2008.

MANGUERRA, H.B.; GARCIA, L.A. Field strategy for agricultural drainage and water-quality management. Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE, New York, v.123, n.1, p.37-44, 1997.

MEDEIROS, 2004. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, PB. SISTEMAS DRENANTES ALTERNATIVOS NA DRENAGEM SUBTERRÂNEA - 2004.

MILLAR, A.A. *Drenagem das terras agrícolas*. Bases agronômicas. Editerra Editorial Ltda. São Paulo, 1988. 306 p.

MOUSTAFA, M.M. *A geoestatistical approach to optimize the determination of saturated hydraulic conductivity for large-scale subsurface drainage design in Egypt*. Agricultural Water Management, v. 42, n.3, p. 291 - 312, 2000.

PAGANINI, W. da S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, C. S. A; SANTOS, H. F. (Editores). Reúso de água. Barueri, SP: Manole, 2003. p.339 - 431.

PHILIPPI JÚNIOR, A. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: Mancuso, C.S.A.; Santos, H.F. (editores) Reúso de água. Barueri, SP: Manole, 2003,37-95p.

PROSSIGA. Panorama do setor de sisal no Estado da Bahia. Disponível em: <http://www5.prossiga.br/arranjos/vortais/sisal_ba_panorama1> Acesso em: 4 fev. 2004.

ROCHA, J. S. M. Manual de projetos ambientais. Santa Maria: UFSM, 1997. 446p.

SANTOS, Enéas M.; PEDREIRA, Ernani M.; CARDOSO, Carlos Estevão L.; SOUZA, Fernanda V. D.; SENA, Maria das Graças C. de. Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Rev. Bras. de Agroecologia/out. 2007 Vol.2 N^o. 2.

SEKENDAR, M.A. *Entrance resistance of enveloped drainage pipes*. Agricultural Water Management, v.8, n.4, p. 351 - 360, 1984.

SILVA, O. R. R. da. O agronegócio do sisal no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 1999.

SILVA, O. R. R. da. O agronegócio do sisal no Brasil. Brasília, DF: Embrapa, Palestra sobre manejo para a cultura do sisal. In: SEMINÁRIO DA LAVOURA DO SISAL. 2004, Conceição do Coité. Anais ... Conceição do Coité, 2004.

SOUZA, J.T.; LEITE, V. D. Tratamento e utilização de esgotos domésticos na agricultura. Capina Grande: EDUEP, 2003. 103p.

VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; JORDÃO e PESSOA, 1995; BRAGA et al., 2002.

VON SPERLING, M. Noções de qualidade de água, In: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 187p.

YAMAKAMI, J. K. Seringueira: o que estamos esperando para plantar. Nippo no campo, Nippo – Brasil, 2009.

Site disponível em:

www.biomania.com.br

Acesso em Fevereiro de 2009.