



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**



## **DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DRENANTES  
PARA FINS AGRÍCOLAS**

**JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS**

**Campina Grande - Paraíba**  
**MARÇO - 2004**

JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS

Engenheiro Agrônomo

**DESEMPENHO DE SISTEMAS DRENANTES PARA FINS AGRÍCOLAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Irrigação e Drenagem, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências do Curso para obtenção do título de Mestre em Irrigação e Drenagem.

**CAMPINA GRANDE**

Estado da Paraíba

Março - 2004

**JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS**



M488d Medeiros, Josinaldo Xavier de  
Desempenho de sistemas drenantes para fins agrícolas /  
Josinaldo Xavier de Medeiros. - Campina Grande, 2004.  
39 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -  
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências  
e Tecnologia.

1. Drenagem Subterrânea 2. Sistemas Alternativos 3.  
Drenagem - Alternativos 4. Sistemas - Subterrânea 5.  
Dissertação I. Lima, Vera Lucia Antunes de, Dra. II.  
Baracuh, José Geraldo de Vasconcelos, Dr. III.  
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande  
(PB) IV. Título

CDU 626.86(043)



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

**JOSINALDO XAVIER DE MEDEIROS**

DESEMPENHO DE SISTEMAS DRENANTES PARA FINS AGRÍCOLA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

*Vera Lúcia Antunes de Lima*  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Orientadora

APROVADO

*Baraculy*  
Dr. José Geraldo de Vasconcelos Baraculy-Orientador

APROVADO

*José Geraldo Rodrigues dos Santos*  
Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos-Examinador

APROVADO

*José Dantas Neto*  
Dr. José Dantas Neto-Examinador

APROVADO

MARÇO - 2004

*Em memória de meu irmão Joaci e de minha mãe Josefa Xavier de Medeiros, exemplos de inteligência, amor, criação e esforços, para minha formação moral e intelectual.*

**MINHA HOMENAGEM**

*A minha esposa Elaine, que de modo resignado, apoio-me nos momentos difíceis, e aos meus filhos Mitchel e Michele, a quem anseio paz, felicidade e inteligência durante o decorrer de suas vidas*

**DEDICO**

*Ao meu irmão Josemar, as minhas irmãs Joseci, Joseni, Josenete, Josineide e Joseli pelo companheirismo fraterno que nos une e a minha cunhada Silvana, a quem admiro muito sua bondade e carinho.*

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

*À Jesus pela fé que me iluminou.*

*Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande – (Área de Concentração Irrigação e Drenagem), pela transmissão dos valiosos conhecimentos durante a realização do curso.*

*Ao prof. Dr. Walter Esfrain Pereira pela realização de análises de alguns parâmetros desta pesquisa.*

*Aos orientadores Dra. Vera Lucia Antunes Lima e Dr. José Geraldo de Vasconcelos Barachuy, pelos ensinamentos ministrados durante o curso, assim como, pela compreensão, consideração, respeito e amizade.*

*Ao Professor Carlos Alberto Vieira de Azevedo pela atenção e estímulos durante o curso.*

*Aos meus amigos José Geraldo V. Barachuy, José Dantas Neto, Caio Cássio Colaço Agra, Marcos Firmino Antônio Batista, Marcos Pequeno, Hugo Orlando Cavallo Guerra., Daniel Duarte, Alamir Carvalho Filho, Anísio Luna Pequeno e tantos outros.*

*A Aline Costa Ferreira, Michele da Silva Santos e Riuzuane Michele Bezerra Pedrosa., graduandas de Engenharia Agrícola,*

*Aos colegas de curso, em especial Ridelson, Severino Pereira, Genival, Eliezer. Mário, Vanda, Magnólia, Betânia, Jorge, Sohad, José Maria, Neide, Geraldo e tantos outros, pelo proveitoso convívio, bem como pelas valiosas ajudas e incentivos constantes.*

*A Frederico Antônio Loureiro Soares pela valiosa orientação*

*A Maria Betânia. Rodrigues Silva pelo apoio e incentivo durante a pesquisa*

*A secretária da Pós-graduação, Rivanilda pela prestimosa colaboração*

*A secretária da graduação, Aldanisa pela amizade sincera*

*A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.*

*Aos componentes da banca examinadora Dr. José Dantas Neto e Dr. José Geraldo Rodrigues dos Santos, que junto com os demais contribuíram incisivamente na melhoria e engrandecimento deste trabalho.*

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SÍMBOLOS.....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>X</b>
<b>LISTA DE TABELAS .....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1 . GENERALIDADES .....	3
2.2 . FATORES QUE EXERCEM INFLUÊNCIA SOBRE A DRENAGEM .....	5
2.2.1 . <i>Geologia</i> .....	5
2.2.2 . <i>Topografia</i> .....	6
2.2.3 . <i>Níveis freáticos e a direção das correntes subterrâneas</i> .....	6
2.2.4 . <i>Quantidade de água a ser drenada</i> .....	6
2.2.5 . CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA ( $K_0$ ).....	7
2.3 . MATERIAIS USADOS NA DRENAGEM SUBTERRÂNEA .....	8
2.3.1 . <i> Tubos</i> .....	8
2.3.2 . <i>Envoltórios</i> .....	9
2.3.2.1 . <i>Avaliação da necessidade de envoltório</i> .....	10
2.4 . AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE DRENAGEM.....	11
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
3. 1 . CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EXPERIMENTAL.....	15
3.2 . MEIO POROSO .....	16
3.3 . SISTEMAS DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA.....	17
3.4 . TRATAMENTOS .....	19
3.5 . ENSAIOS REALIZADOS.....	20
3.5.1 . <i>Carga hidráulica de entrada e carga hidráulica total</i> .....	20
3.5.2 . <i>Fluxo (q)</i> .....	20

3.5.3. Resistência de entrada ( $re$ ) .....	21
3.5.4. Fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) .....	21
3.5.5. Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Drenagem .....	22
3.6 . PROCEDIMENTO DE ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	22
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>23</b>
4.1. Carga hidráulica de entrada ( $he$ ) .....	24
4.2. Razão entre as Cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ).....	25
4.3. Resistência de entrada ( $re$ ).....	25
4.4. Fluxo ( $q$ ) .....	29
4.5. Fator de Resistência de Entrada ( $\alpha$ ).....	32
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>23</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

*ABNT* – Associação Brasileira de Normas Técnicas

° C - graus Celsius

*dg* - densidade global, em  $\text{g.cm}^{-3}$

*dr* - densidade real, em  $\text{g.cm}^{-3}$

*EMBRAPA* – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

*he* - carga hidráulica de entrada, em m

*htot* - carga hidráulica total, em m

*he/htot* – razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, adimensional

*K* - condutividade hidráulica do meio poroso, em  $\text{m.dia}^{-1}$

*K<sub>θ</sub>* - condutividade hidráulica saturada, em  $\text{m.dia}^{-1}$

*l* - litro

*L* – espaçamento entre os drenos, em m

*P* - quantidade de água percolada, em mm

PEAD - polietileno de alta densidade

PP - polipropileno

PVC - policloreto de vinil

$q$  - fluxo, em  $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

$Q$  - vazão, em  $\text{m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$

RAS - relação de adsorção de sódio, em  $(\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1})^{0,5}$

$r_e$  - resistência de entrada, em  $\text{dia} \cdot \text{m}^{-1}$

$s$  - tempo, em s

$V$  - volume drenado, em  $\text{m}^3$

$\alpha$  - fator de resistência de entrada, adimensional

$\mu$  - porosidade drenável, adimensional

$\Delta H$  - variação do lençol freático, em mm

$\theta_{cc}$  - umidade volumétrica à capacidade de campo, em  $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Visão geral do experimento.....	16
Figura 2. Materiais drenantes utilizados.....	18
Figura 3. Curvas de resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de raspas de pneu usado.....	27
Figura 4. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de brita zero.....	28
Figura 5. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de bagaço de cana-de-açúcar...	29
Figura 6. Curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diferentes sistemas drenantes com o envoltório de raspas de pneu usado. ....	30
Figura 7. Curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diversos sistemas drenantes com o envoltório de brita zero.....	31
Figura 8. Curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diferentes sistemas drenantes com o envoltório de bagaço de cana-de-açúcar. ...	32

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 . Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ). .....	12
Tabela 2 . Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) e da resistência de entrada ( $r_e$ ). .....	13
Tabela 3. Desempenho de um sistema de drenagem em função da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ). .....	13
Tabela 4. Resistência de entrada ( $r_e$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) como critérios de desempenho de drenos. ....	14
Tabela 5 . Limites para os valores do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) . ....	14
Tabela 6 - Características físico-hídricas do material poroso utilizado.....	17
Tabela 7 - Características dos materiais drenantes utilizados.....	18
Tabela 8. Distribuição dos tratamentos nos tanques.....	19
Tabela 9. Resumo da análise estatística das variáveis carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ), resistência de entrada ( $r_e$ ), fluxo ( $q$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ). .....	23
Tabela 10. Valores médios da carga hidráulica na entrada ( $h_e$ ), em m, em relação aos materiais drenantes <i>versus</i> materiais envoltórios. ....	24
Tabela 11. Valores médios da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ).....	25
Tabela 12. Valores médios da resistência de entrada ( $r_e$ ), em dia.m <sup>-1</sup> , em relação aos materiais drenantes <i>versus</i> materiais envoltórios. ....	26
Tabela 13 – Valores médios do fluxo, em m <sup>3</sup> .dia <sup>-1</sup> .m <sup>-1</sup> , em relação aos tubos <i>versus</i> envoltórios.....	30
Tabela 14 – Valores médios de fator de resistência de entrada .....	33

## RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o desempenho hidráulico de diferentes sistemas de drenagem subterrânea, sob condições controladas de laboratório, usando-se um modelo físico horizontal de tanque de areia. Os sistemas drenantes foram compostos pelos seguintes materiais: tubo de PVC liso para esgoto, com diâmetro nominal de 50,0 mm e área aberta de 23,0 cm<sup>2</sup>; tubo de PVC corrugado flexível Drenoflex, com diâmetro nominal de 65,0 mm e área aberta de 23,0 cm<sup>2</sup>; tubo Kanaflex de polietileno corrugado e flexível da Kanaflex, com diâmetro nominal de 75,0 mm e área aberta de 110,0 cm<sup>2</sup>; e envoltórios constituídos de raspas de pneu usado, brita zero e bagaço de cana-de-açúcar. O arranjo estatístico utilizado foi do tipo fatorial, em que os nove tratamentos, com três repetições, cada envolveram todas as combinações entre tubos drenantes e envoltórios. A avaliação do desempenho dos sistemas drenantes baseou-se em parâmetros típicos de avaliação propostos na literatura, tais como: carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ), fluxo ( $q$ ), resistência de entrada ( $r_e$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ). Com referência à carga hidráulica de entrada, todos os tubos drenantes foram classificados como ruins. Considerando a razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, os resultados obtidos não foram satisfatórios. Em relação ao fator de resistência de entrada, constatou-se que todos os sistemas apresentaram desempenho muito bom. O envoltório raspa de pneu usado apresentou a maior resistência de entrada. Constatou-se também que, entre os sistemas avaliados, os menores valores da resistência de entrada foram obtidos com o uso do envoltório de brita zero, seguido do envoltório de bagaço de cana-de-açúcar. Para todos os sistemas drenantes, a maior e a menor descarga foram constatadas com o uso dos envoltórios de brita zero e bagaço de cana-de-açúcar, respectivamente. Em relação ao fator de resistência de entrada, o tubo de PVC liso apresentou comportamento similar para todos os envoltórios.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

**Tubos, envoltórios, fluxo, resistência de entrada, carga hidráulica de entrada**

## ABSTRACT

The purpose of this research was to evaluate the hydraulic performance of different subsurface drainage systems under laboratory controlled conditions, using a sand tank horizontal physical model. The drainage systems were composed by the following materials: smooth PVC pipe for sewage, with nominal diameter of 50.0 mm and opened area of 23,0 cm<sup>2</sup>; Drenoflex corrugated flexible PVC pipe, with nominal diameter of 65,0 mm and opened area of 23,0 cm<sup>2</sup>; Kananet corrugated flexible polyethylene pipe of high density from the Kanaflex, with nominal diameter of 75,0 mm and opened area of 110,0 cm<sup>2</sup>; and the envelopes made of old tire, zero crush and pulp of sugar-cane. The factorial statistical arrangement was used, where the nine treatments with three repetitions each, involved all combinations between drainage pipe and envelope. The evaluation of the drainage systems performance was based on typical parameters proposed in the literature. Respecting to inlet hydraulic head, all drainage systems were classified as bad. Considering the ratio between the inlet and total hydraulic head, the obtained results weren't satisfactory. Regarding the entrance resistance factor, it was verified for all drainage systems very good performance. The envelope of old tire presented larger entrance resistance. Also, it was verified that the smaller values for the entrance resistance were obtained with the use of zero crush envelope, followed by the envelope in the pulp of cane-sugar. All drainage systems the larger and smaller flow were obtained with the use of zero crush and pulp of sugar-cane, respectively.

**KEY-WORDS:** pipe, envelope, flow, entrance resistance, inlet hydraulic head.

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de aumento da produção de alimentos, requer pesquisas em áreas de estudo voltadas à otimização da produtividade de terras cultivadas, particularmente, naquelas onde o manejo da água se faz de forma inadequada. Um manejo adequado implica, entre outros aspectos, num controle do excesso de água no solo, de forma a manter em níveis satisfatórios a produção agrícola. A drenagem agrícola é uma das práticas mais importantes no manejo de água e na recuperação de terra, pois cria condições favoráveis para uma boa exploração agrícola, atuando no controle do excesso da água no solo proveniente da precipitação, irrigação e ou infiltração.

No processo de produção agrícola em regiões semi-áridas, fatores como drenagem natural dos solos deficientes, má qualidade da água de irrigação e baixa eficiência de irrigação, contribuem de maneira direta para os problemas de salinização do solo. Neste cenário, a técnica da drenagem é uma das práticas ambientais mais eficazes na manutenção de um equilíbrio econômico da produção agrícola. Na maioria das vezes os problemas de drenagem são mais acentuados em áreas irrigadas, estando a maior parte sob condições de degradação e localizadas abaixo do paralelo de 45°S, onde, se encontram as zonas mais subdesenvolvidas do planeta.

O nível de desenvolvimento da drenagem é diretamente proporcional ao nível de desenvolvimento econômico refletido pelo produto interno bruto do país. No mundo, aproximadamente 12% do solo cultivado está provido de alguma forma de drenagem artificial. A percentagem média de área drenada é de 20% nos países desenvolvidos, enquanto que naqueles em via de desenvolvimento, é de apenas 7%. O maior percentual de área drenada é de 30% a 40% ou mais, encontrando-se na Europa e América

do Norte, enquanto que o menor, inferior a 5%, localiza-se nos países menos desenvolvidos da África e do Sul da Ásia (SMEDEMA, 1995).

No Brasil, não existe informação precisa quanto ao percentual de área drenada, porém, Almeida (2001) relatou que existe na região do vale do São Francisco pelo menos 50.000 hectares com problemas de salinização, onde a instalação de drenagem é uma prática indispensável. O alto investimento inicial é o principal obstáculo na implantação de sistemas de drenagem, motivo pelo qual, a minimização de custos de materiais passa a ser fundamental.

O presente trabalho teve como objetivo principal desenvolver e avaliar as características hidráulicas de sistemas de drenagem confeccionados a partir de diferentes tubos, usando envoltórios de raspa de pneu usado, brita zero e bagaço de cana-de-açúcar sob condições de laboratório. Desta forma, objetiva-se que os resultados obtidos, quando testados em campo, possam ser extrapolados para uso corrente em projetos executivos de drenagem subterrânea. O uso desses sistemas de drenagem alternativos poderá baratear os custos de implantação de projetos de irrigação, contribuindo de forma relevante para o sucesso da agricultura irrigada.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 . Generalidades**

A população atual é estimada em torno de 6 bilhões de habitantes, sendo que a metade vive em países em desenvolvimento. A taxa média de crescimento anual da população mundial é de, aproximadamente, 2,6%. Para produzir alimento para essa crescente população, a produtividade das áreas atualmente cultivadas deve ser aumentada e mais terras devem ser cultivadas. A drenagem de terras agrícolas, é um dos mais importantes fatores na agricultura irrigada para manter ou melhorar a produtividade das culturas (BOS & BOERS, 1994).

A drenagem é uma das práticas de recuperação e de manejo de água mais importantes e de grande impacto na produtividade agrícola (BAGLEY, 1976). As perdas de água provenientes de chuvas e de irrigação para o subsolo causam uma elevação do lençol freático, que eventualmente conduzirá ao alagamento se não houver uma boa drenagem (BOUMANS, 1963) .

A prática da drenagem agrícola consiste na remoção, por meios artificiais, do excesso de água acumulado no perfil do solo ou na superfície, para torná-lo mais aproveitável, propiciando às plantas cultivadas condições satisfatórias de umidade, aeração e lixiviação de sais, bem como adequá-lo aos trabalhos agrícolas (CRUCIANI, 1980; SEKENDAR, 1984; MILLAR, 1988; BATISTA et al., 1998).

Um sistema de drenagem artificial deve permitir um escoamento da água do solo em condições hidraulicamente satisfatórias e de maneira mais eficiente do que ocorreria naturalmente. Tratando-se de drenagem para fins agrícolas, um conjunto de

critérios deve ser adotado de modo a minimizar os custos de instalação e de operação do sistema drenante.. O objetivo da instalação de um sistema de drenagem subterrânea é o controle do nível freático de modo a permitir um manejo adequado da camada superficial do solo para os mais variados fins, tais como: cultivo do solo, lixiviação de sais, controles da poluição e da contaminação de águas freáticas, e trânsito de máquinas, além da construção de obras civis, estradas e aeroportos (CRUCIANI,1997).

De acordo com RITZEMA & BRAUN (1994), os três principais objetivos da drenagem em terras agrícolas são: prevenir ou reduzir o encharcamento do solo, tornar disponível novas terras para a agricultura e controlar a salinidade sendo que os dois primeiros visam conservar ou melhorar as áreas agrícolas existentes (expansão vertical), enquanto que o terceiro objetivo leva a cultivar em novas áreas (expansão horizontal) sem o risco de acumulação excessiva de sais no solo.

Segundo FOUSS et al (1974), a remoção do excesso de água do solo pela drenagem aumenta o rendimento das culturas devido aos seguintes aspectos: a) aumenta o volume de solo que as raízes possam explorar; b) aumenta o movimento e a quantidade de ar no solo; c) melhora as condições que permitem ao solo um rápido aquecimento; d) aumenta a atividade microbiana do solo, fazendo com que a estrutura seja melhorada e os nutrientes tornem-se mais disponíveis para as plantas; e) reduz a erosão do solo, uma vez que um solo bem drenado tem mais capacidade de reter a água, resultando em menos perda por escoamento superficial; f) remove as substâncias tóxicas, tais como o sódio e outros sais solúveis que retardam o desenvolvimento das plantas quando em altas concentrações.

O desenvolvimento bem sucedido da exploração agrícola depende do uso racional dos recursos naturais, minimizando ou eliminando alguns impactos ambientais adversos pela melhoria do planejamento, dimensionamento e implementação de projetos. O uso da terra deve ser sustentável de tal maneira que, a produtividade das culturas e a fertilidade do solo não diminuam com o tempo para o bem-estar da humanidade (RITZEMA & BRAUN, 1994). Percebe-se que a drenagem é uma técnica necessária para ocupação de terras inexploradas ou para recuperação de outras seriamente prejudicadas por um manejo inadequado, do sistema solo-água planta.

FIPPS & SKAGGS (1991) a drenagem é essencial para a produção agrícola em muitas regiões úmidas do mundo, sendo usada para melhorar o rendimento das culturas e a trafegabilidade de máquinas agrícolas, pela remoção do excesso de água da zona radicular das culturas e da superfície do solo, respectivamente. Em regiões áridas e semi-áridas , a drenagem torna-se necessária para a altura do lençol freático prevenindo o

encharcamento do solo e os problemas de salinidade. A drenagem é uma prática que vem em consequência da irrigação; a primeira preocupação é irrigar, vindo em seguida, com o surgimento dos problemas de encharcamento e/ou salinização, a necessidade de implantação de sistemas de drenagem subterrânea (CRUCIANI, 1980; BATISTA et al., 1998)..

A salinidade do solo é um dos principais obstáculos ao desenvolvimento da agricultura irrigada em regiões áridas e semi-áridas do mundo. A cada ano, cerca de 10 milhões de hectares de terras tornam-se impróprias para a produção agrícola por causa do problema da salinização do solo ( SZALBALC, 1989). . Em regiões úmidas e sub-úmidas, onde existem chuvas suficientes, a preocupação com a salinidade é mínima uma vez que a chuva é suficiente para lixiviar os sais acumulados no solo. Este problema é mais severo em regiões áridas e semi-áridas, pois devido ao fato de haver necessidade de irrigação em função de ocorrer déficit hídrico na maior parte do tempo e, na maioria das vezes, dos solos serem rasos ou apresentarem camada impermeável no perfil, associado à topografia plana, a água fica sujeita aos processos de evaporação e evapotranspiração, podendo a salinidade do solo atingir com o tempo, níveis comprometedores para o crescimento e desenvolvimento das plantas ( SANTOS, 2000).

## **2.2 . Fatores que exercem influência sobre a drenagem**

Ainda que os aspectos agrícolas, sociais, legais e institucionais sejam importantes para compreender e resolver os problemas de drenagem em seu conjunto, a análise deve ser orientada a estudos que têm, principalmente, relação com fatores físicos, MILLAR (1978b)

### **2.2.1 . Geologia.**

O estudo da geologia geral de uma zona contém indicações valiosas acerca da direção das correntes da água subterrânea (THORNE & PETERSON ,1965).A maior parte dos problemas de drenagem apresenta-se em solos aluviais, onde os materiais depositados oscilam desde argila até cascalho grosso, com todas as classes de combinações possíveis. Os mapas geológicos e a descrição dos perfis geológicos constituem informações que, se bem não sejam específicas do estudo de drenagem, completam os dados necessários para se conhecer o problema ( MILLAR, 1978c)

### **2.2.2 . Topografia**

A configuração superficial do terreno, incluindo os acidentes naturais, que impedem, retardam ou facilitam a drenagem natural, e a localização das principais estruturas hidráulicas da área, é imprescindível no desenvolvimento de um projeto de drenagem.

A escala do mapa é função do nível do estudo da área envolvida e das declividades e acidentes geográficos relevantes. Nos estudos preliminares, deve-se usar a escala 1: 50.000, enquanto que em estudos de maior grau de detalhe, e em estudos especiais devem ser usadas as escalas de 1: 25.000 e 1: 5.000, respectivamente. Quanto à distância das curvas de nível, pode-se adotar entre 0,5 e 1,0 m em terrenos acidentados e em terrenos planos entre 0,2 e 0,25m ( MILLAR, 1978d).

### **2.2.3. Níveis freáticos e a direção das correntes subterrâneas**

Os níveis freáticos e as correntes subterrâneas são estudadas convenientemente por meios de piezômetros ( THORNE & PETERSON, 1965). Os piezômetros são tubos pequenos parcialmente perfurados, que são cravados no solo para permitirem medidas freqüentes da profundidade e do nível freático. Os registros de uma série de piezômetros que cobrem uma área dão informações sobre as flutuações do nível freático, o movimento subterrâneo e a declividade da área. Os estudos piezométricos também indicam a presença e magnitude da pressão artesianas da água subterrânea (MANUAL DO LABORATÓRIO DE SALINIDADE DOS EEUU, 1953).

Um segundo método consiste em adicionar materiais na água, como corantes. Um outro é a adição de grande quantidade de sais à água em um ponto, combinada com o uso de provas de condutividade com eletrodos inseridos nos aquíferos (THORNE & PETERSON, 1965).

### **2.2.4. Quantidade de água a ser drenada**

O cálculo da quantidade de água que se deve eliminar, segundo BELTRAN (1986), 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, e da aplicação ou não de água para lixiviar o perfil,

### 2.2.5 . Condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ )

Segundo BELTRAN (1986) E CHOSSAT (1987), a relação entre o fluxo e o gradiente hidráulico da água foi expressada em um meio poroso constituído de areia. O coeficiente de proporcionalidade entre estes 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 (PRASHER *et al.*, 1987; SILVA, 1989). Este parâmetro dá uma indicação da maior ou menor permeabilidade do solo, refletindo diretamente no maior ou menor espaçamento entre os drenos (COELHO *et al.*, 1986). A equação definida por Darcy para descrever o fluxo ( $q$ ) pode ser escrita da seguinte forma:

$$q = k.i.A \quad (1)$$

em que:

$q$  = taxa de fluxo, em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$K$  = condutividade hidráulica saturada, em  $m \cdot dia^{-1}$ ;

$i$  = gradiente hidráulico, adimensional;

$A$  = Área de secção transversal, em  $m^2$

Os dados de condutividade hidráulica são muito importantes e estão presentes em todas as equações para o cálculo do espaçamento de drenos e delineamento do sistema de drenagem (MILLAR, 1988). Segundo SCHWAB *et al.* (1996), a condutividade hidráulica saturada é o parâmetro do solo de maior importância no dimensionamento de espaçamento entre drenos, no entanto ela é um dos fatores mais difíceis de determinação, Normalmente, sua variabilidade espacial é ampla, vindo a dificultar a estimativa de valores mais representativos a serem 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, assim, uma estimativa mais fidedigna da condutividade hidráulica saturada .

## 2.3 . Materiais Usados na Drenagem Subterrânea

### 2.3.1 . Tubos

Na confecção de tubos de drenagem de plástico predominam três materiais: o policloreto de vinil (PVC), o polietileno de alta densidade (PEAD) e, em menor intensidade o polipropileno (PP). Em condições de altas temperaturas, os tubos de PEAD são mais afetados do que os de PVC, tendo o risco de deformação maior. Por outro lado, os tubos de PVC tornam-se mais sensíveis a baixas temperaturas, tornando-se frágeis quando expostos a temperaturas abaixo do ponto de congelamento (DIELEMAN & TRAFFORD, 1976; CAVELAARS et al., 1994).

Nos Estados Unidos e Canadá, o polietileno de alta densidade tem revelado um custo inferior ao do policloreto de vinil, enquanto que na Europa verificou-se o oposto. O PVC apresenta maior resistência mecânica do que o PEAD, no entanto, revela uma tendência de se tornar frágil a temperaturas próximas a 0 °C. O PEAD reduz, consideravelmente, sua resistência mecânica com o aumento da temperatura, podendo sofrer distensões durante a instalação. Vale salientar que esses tubos, quando expostos à radiação solar direta, podem atingir temperaturas superiores a 40 °C (FOUSS, 1974).

Os tubos plásticos corrugados de polietileno de alta densidade são condutos leves e relativamente flexíveis, usados principalmente nos Estados Unidos e Canadá, enquanto que os de policloreto de vinil (PVC), são usados nos países da Europa. Os tubos de PVC apresentam corrugações transversais, como 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 dominam o mercado de todos os países desenvolvidos por oferecem vantagens em termos técnicos e econômicos, a saber: custos mais baixos de aquisição e instalação; alta resistência à deformações e à ataques químicos; facilidade de transporte e instalação; razão pela qual dominaram o mercado de todos os países desenvolvidos. Por esta razão, no Brasil, a produção desse tipo de conduto teve início no ano de 1988, propiciando um grande impulso à técnica da drenagem subterrânea (BATISTA et al., 1998)..

Técnicas e materiais capazes de reduzirem os custos de implantação de sistemas de drenagem subterrânea empregando drenos entubados, sem que haja perda da qualidade técnica do produto, devem constituir-se em preocupação constante dos técnicos

envolvidos em trabalhos de drenagem, principalmente quando se tratar de drenagem de terras agrícolas. Assim, 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, geralmente, de custo inferior aos de seus concorrentes, além de apresentarem facilidade de manuseio e assentamento, o que resulta em redução de custo de implantação aliado ao fato de ser adquirido no mercado com maior facilidade. (BATISTA et al., 1984).

### 2.3.2 . Envoltórios

Envoltório é 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, permitindo que sua velocidade se mantenha baixa e que a desagregação e o carreamento de partículas do solo para o interior do dreno sejam mínimos (BATISTA et al., 1998).

Segundo DIERIKX & YUNCUOGLU (1982), em solos de baixa ou nula estabilidade estrutural, o carreamento de partículas do solo, pela água para o interior do tubo drenante pode redundar no colapso do sistema, devendo ser evitado com o emprego de envoltório apropriado. Por isso, alguns cuidados devem ser tomados visando impedir a entrada do mínimo possível de partícula de solo no interior dos tubos, evitando a obstrução dos mesmos.. Todo tipo de material permeável, tais como cascalho, areia, fibra de coco, fibra sintética, serragem, etc, podem ser usados como materiais envoltórios, mas somente alguns desses protegem eficientemente os drenos em solos franco-arenosos e franco-siltosos (SEKENDAR, 1984).

O fluxo da água subterrânea converge em direção ao dreno, concentrando-se na direção de suas aberturas. Isto acarreta um incremento pronunciado no gradiente hidráulico na vizinhança do dreno, tendo como risco o movimento intenso de partículas de solo em direção ao interior do tubo. Quando uma zona altamente permeável é introduzida ao redor do tubo, o número de poros na zona 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, a porosidade total, a distribuição do tamanho dos poros, a permeabilidade e a espessura (KNOPS & DIERICKX, 1979).

De acordo com BATISTA (1998), o envoltório facilita a captação da água e seu fluxo para o tubo, enquanto que o tubo tem a função de conduzir o excesso de água para fora da área a ser drenada. A performance do envoltório depende, fundamentalmente das condições do solo. Um envoltório que funciona bem em uma dada situação pode ser inadequado em outra (DIERICKX & YUNCUOGLU, 1982). Além da função de proteger o tubo, o material envoltório tem também a função hidráulica de 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 em que suas paredes não oferecem resistência nenhuma ao fluxo de água, não sendo considerada, a resistência de entrada. Contudo, em situações práticas de drenagem esta suposição não é verdadeira, pois, uma parte extra do potencial devido à resistência de entrada pode proporcionar um lençol freático elevado, com possível consequência inadequada para a drenagem (SEKENDAR, 1984; TILIGADAS, 1988).

WESSELING & van SOMEREN (1972), ao estudarem o efeito do fator resistência de entrada ( $\alpha$ ) 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, observaram uma redução no fator de resistência de até 54 vezes em relação ao uso do material drenante sem envoltório.

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 para outro em função da disponibilidade local do material, tendo sido considerados como fatores críticos o tipo e o 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.

### **2.3.2.1 . Avaliação da necessidade de envoltório**

Uma das decisões mais importantes a ser tomada durante a fase de planejamento de um projeto de drenagem subterrânea diz respeito à necessidade ou não do uso de envoltórios para os drenos e, em caso de uso, que material deve ser usado para os diversos tipos de tubos e de solos. Vários problemas têm sido associados ao uso de materiais naturais inorgânicos, tais como cascalho e areia grossa, principalmente em relação ao alto custo de transporte e escassez desses materiais. Apesar de serem

considerados ideais par envoltórios do ponto de vista de sua vida útil , estes materiais são pesados e volumosos, dificultando seu manuseio durante a instalação dos sistemas de drenagem. Os materiais orgânicos, embora mais leves e menos volumosos, são biodegradáveis e, conseqüentemente, podem ter uma vida útil curta sob certas condições de intempérie (SALEM & WILLARDSON, 1992).

Embora os materiais envoltórios aumentem a performance da drenagem na circunvizinhança dos drenos, ao reduzir consideravelmente a resistência de entrada para os drenos, são, na maioria das vezes, usados para prevenir a invasão de partículas de solo e evitar a obstrução do tubo. Solos argilosos e bem estruturados não requerem a utilização de materiais envoltórios. A necessidade de envoltórios depende da coesão e estabilidade estrutural do solo (NIEUWENHUIS & WESSELING, 1979; DIERICKX, 1982; DIERICKX & YUNCUOGLU, 1982).

#### **2.4. Avaliação de Desempenho de Sistema de Drenagem**

De acordo com FIPPS & SKAGGS (1991), a água entra nos drenos através de pequenas aberturas em suas paredes, havendo uma resistência de entrada da água que contribui para as linhas de fluxo convergirem para o dreno, podendo resultar em um lençol freático fixo a uma altura um pouco acima do dreno. Experiências têm mostrado, que em solos de condutividade hidráulica relativamente baixa, o efeito da resistência de entrada é considerável. Se o tubo for instalado sob condições úmidas de solo poderá ocorrer uma sedimentação no dreno acompanhada de uma alta resistência de entrada (CAVELAARS *et al.*, 1994).

WESSELING & HOMMA (1967), em experimentos com diferentes tipos de envoltórios, demonstram que um decréscimo na resistência de entrada pode ser obtido mais facilmente aumentando-se a espessura do envoltório, em vez de aumentar o diâmetro do tubo ou das perfurações. Na opinião desses pesquisadores, em condições de igualdade das propriedades hidrológicas e de gradiente hidráulico, é melhor usar drenos de menor diâmetro com envoltório do que drenos com maior diâmetro sem envoltório.

A migração de partículas finas do solo para dentro do dreno pode alterar as condições do solo na vizinhança ao dreno, resultando em um decréscimo na resistência ao fluxo. Por outro lado, de acordo com BENTLEY & SKAGGS (1993), no processo de migração, as partículas podem vir a alojar-se em pequenos poros do solo, da interface solo-dreno ou do envoltório e aumentar a resistência ao fluxo. ALMEIDA (1999), ao estudar o

comportamento de diversos envoltórios em condições de laboratório, entre eles a brita nº 1 e vários tipos de mantas sintéticas, verificou que os envoltórios constituídos de brita nº 1 com 15 cm de espessura e a manta sintética de bidim OP-20 apresentaram os melhores desempenhos quanto à resistência de entrada. Segundo ALMEIDA (2001), o tubo de PVC liso com envoltório de espuma apresentou resistência de entrada elevada quando utilizado com os envoltórios de bidim OP 20 e de brita zero.

Na investigação da resistência de entrada, somente a diferença de nível dos piezômetros localizados no interior do tubo drenante e adjacentes a esse é o indicativo da perda de carga do sistema de drenagem. A medida da perda de carga não corresponde somente à resistência do material envoltório e das aberturas do tubo, mas inclui também a resistência da parte inferior do solo. O fluxo eliminado pelo sistema de drenagem não deve ser considerado isoladamente, devendo-se considerar os fatores que o influenciam, em especial a carga hidráulica existente nas imediações dos tubos (WESSELING & van SOMEREN (1972). Portanto, declarar como bom o rendimento do material drenante considerando somente a descarga dos drenos, sem relacioná-la com as condições de solo e do nível freático, pode incorrer em erro (DIELEMAN & TRAFFORD, 1976).

Para a avaliação do desempenho de um sistema de drenagem van SOMEREN & NAARDING (1965) citados por WESSELING & van SOMEREN (1972) propuseram os critérios apresentados na Tabela 1, baseados na carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) para uma descarga de  $7,0 \text{ mm.dia}^{-1}$ .

**Tabela 1 . Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ).**

Classificação do Sistema	Carga hidráulica de entrada ( $h_e$ )
	(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 & TRAFFORD (1976) recomendam tomar em consideração os critérios propostos na Tabela 2 para avaliar o desempenho de um sistema de drenagem,

supondo 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 mm.dia<sup>-1</sup>. Vale salientar que também tomaram como base a carga hidráulica de entrada e a resistência de entrada.

**Tabela 2 . Desempenho de um sistema de drenagem em função da carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) e da resistência de entrada ( $r_e$ ).**

<b>Desempenho</b>	<b>Carga hidráulica de entrada, <math>h_e</math> (m)</b>	<b>Resistência de entrada, <math>r_e</math> (dia.m<sup>-1</sup>)</b>
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)

Ainda, segundo DIELEMAN & TRAFFORD (1976), para avaliação de um sistema de drenagem, recomenda-se tomar em consideração os valores constantes da Tabela 3, correspondentes à razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total.

**Tabela 3. Desempenho de um sistema de drenagem em função da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $h_e/h_{tot}$ ).**

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

Fonte: Dieleman & Trafford (1976)

Segundo WESSELING & van SOMEREN (1972), outro critério proposto na avaliação do desempenho de sistemas drenantes leva em consideração os valores de

resistência de entrada ( $re$ ) e do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ), tanto para as condições de campo como para pesquisas em laboratório, tendo como base uma descarga de 7,0 mm.dia<sup>-1</sup> e um espaçamento entre drenos de 15,0 m. Na Tabela 4 são apresentados os valores de resistência de entrada ( $re$ ) e do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) para diferentes condutividades hidráulicas do solo.

**Tabela 4. Resistência de entrada ( $re$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) como critérios de desempenho de drenos.**

Desempenho	Resistência de entrada ( $re$ ), (dia.m <sup>-1</sup> )	Valores máximos do fator de resistência ( $\alpha$ ) para diferentes condutividades hidráulicas do solo (K) (m.dia <sup>-1</sup> )			
		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	-	-	-	-

Wesseliing & van Someren(1972)

Smedema & Rycroft (1983) sugerem como limites para valores do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) aqueles indicados na Tabela 5.

**Tabela 5. Limites para os valores do fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ).**

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

Fonte: Smedema & Rycroft (1983).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 . Caracterização do Sistema Experimental**

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem da Universidade Federal de Campina Grande (Campus I, DEAg-CCT), usando-se um sistema experimental composto de nove tanques construídos de alvenaria e impermeabilizados internamente . Cada tanque com dimensões de 0,8 m de comprimento, 1,0 m de largura e 0,9 m de altura, foi construído baseado no modelo usado por BROUGHTON et al (1987), aplicável a uma condição de fluxo bidimensional tal como a condição mais usual de campo. Na parede externa de cada tanque, foram instaladas três mangueiras plásticas transparentes e flexíveis (piezômetros), acopladas ao sistema de drenagem, para avaliar as cargas hidráulicas no interior e na vizinhança do sistema de drenagem.os tanques eram abastecidos por um reservatório de cimento amianto com capacidade de 1000 litros, com bóia para manter constante o nível da água no reservatório. A água era distribuída aos tanques mediante um pequeno sistema hidráulico constituído de tubos de PVC de 20 mm. Cada tanque dispunha de um registro de passagem.



Figura 1. Visão geral do experimento

### 3.2 . Meio Poroso

O material poroso utilizado nos ensaios constituiu-se de areia seca ao ar, cossada em uma peneira de malha com abertura de 2,0 mm, pesada e distribuída nos tanques aleatoriamente até a obtenção de um volume de 0,32 m<sup>3</sup> por tanque e uma espessura de 0,4 m. A condutividade hidráulica do material poroso usado no experimento foi de 26,78 m.dia<sup>-1</sup>, determinada em laboratório através da Equação 1 sob condições de regime permanente.

Para a determinação da porosidade drenável desta variável utilizou-se a equação baseada na densidade global, densidade das partículas e umidade volumétrica à capacidade de campo, conforme equação abaixo:

$$\mu = \left(1 - \frac{dg}{dr}\right) - \theta_{cc} \quad (2)$$

em que:

$\mu$  = porosidade drenável, adimensional;

$dg$  = densidade global, em g.cm<sup>-3</sup>;

$dr$  = densidade real, em g. cm<sup>-3</sup>;

$\theta_{cc}$  = teor de umidade do solo na capacidade de campo, em cm<sup>3</sup>.cm<sup>-3</sup>.

Na Tabela 6 encontra-se os valores das características físico-hídricas do material poroso utilizado determinadas pelos Laboratórios de Mecânica dos Solos e de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, adotando-se as metodologias descritas pela Embrapa (1979) e as normas da ABNT (1995).

**Tabela 6 - Características físico-hídricas do material poroso utilizado.**

Areia grossa ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	210,00
Areia fina ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	750,00
Silte ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	20,00
Argila ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	20,00
Classificação textural	Areia
Densidade global ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	1,40
Densidade real ( $\text{g.cm}^{-3}$ )	2,60
Porosidade total (%)	46,15
Capacidade de campo – 10 kPa ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	24,10
Ponto de murcha – 1.519,9kPa ( $\text{g.kg}^{-1}$ )	16,50
Porosidade drenável (%)	42,78
Condutividade hidráulica ( $\text{m.dia}^{-1}$ )	26,78

Fontes: Laboratórios de Mecânica dos Solos e de Irrigação e Salinidade (UFCG).

### 3.3. Sistemas de Drenagem Subterrânea

Os sistemas de drenagem foram confeccionados utilizando-se tubo de comprimento de 0,6m e envoltórios. Cada sistema era disposto horizontalmente, centralizado e nivelado a 10,0cm do fundo do tanque. Foram avaliados nove sistemas drenantes em três etapas devido a existência de apenas nove tanques. O experimento ocorreu em três etapas, onde em cada etapa eram testados três diferentes tubos e um único material envoltório, com três repetições.

Na primeira etapa, avaliou-se os sistemas compostos pelos tubos Drenoflex, tubo de PVC liso e Kanonet, usando como envoltório o material raspa de pneu usado. Na etapa seguinte, os tubos foram envelopados com a brita zero e, na última etapa, utilizou-se como envoltório o bagaço de cana.

Os tubos Drenoflex e Kanonet são materiais convencionalmente usados na drenagem, sendo o Drenoflex um tubo de PVC flexível de 65,0 mm de diâmetro nominal com corrugações paralelas e o Kanonet um tubo de polietileno corrugado flexível 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, normalmente usado para esgoto, tendo sido utilizado como material alternativo.

Nos tubos de PVC liso, foram feitos 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 cm<sup>2</sup> de área aberta total. Os furos foram produzidos por meio de brocas de 2,0 mm de diâmetro, utilizando-se um procedimento manual (Foto 2). Na Tabela 7, encontram-se as especificações dos materiais drenantes.

**Tabela 7 - Características dos materiais drenantes utilizados.**

<b>Materiais drenantes</b>	<b>Diâmetro Nominal (mm)</b>	<b>Área de entrada (cm<sup>2</sup>)</b>
Drenoflex	65,0	23,0
PVC liso	50,0	23,0
Kanonet	75,0	110,0

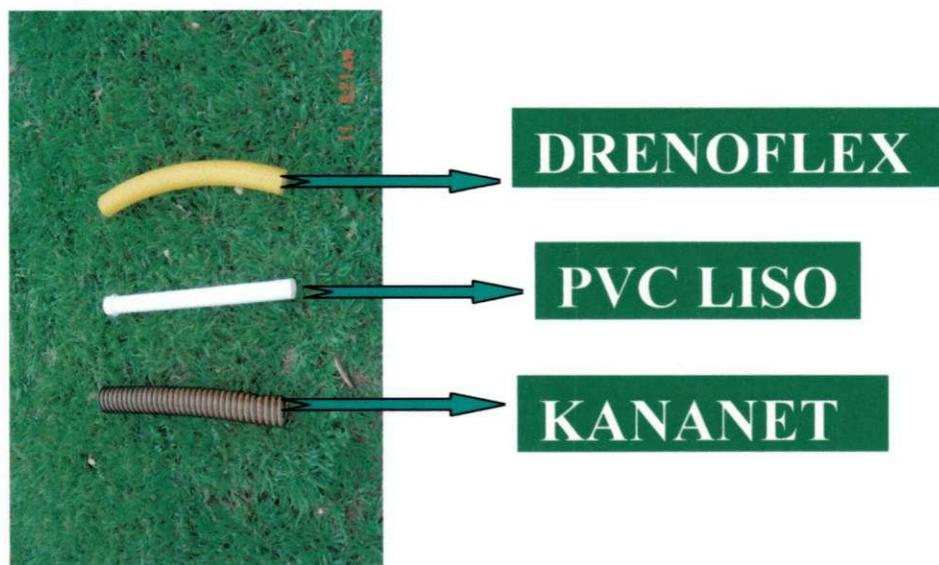


Figura 2. Materiais drenantes utilizados.

Na colocação dos materiais envoltórios, raspa de pneu usado, brita zero e bagaço de cana, foram utilizadas duas placas de Duraplac com dimensões 0,76 x 0,35 x 0,03 m, distanciadas a 0,10 m a partir do tubo drenante, para servirem de gabarito na

colocação destes envoltórios. Todos os tratamentos receberam um volume de 0.050 m<sup>3</sup> de envoltório, ficando este com uma espessura de 0,10 m, envolvendo todo o tubo drenante. Após atingir a espessura predeterminada, o gabarito foi, cuidadosamente, retirado e completou-se o volume com o material poroso.

### 3.4. Tratamentos

Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial com três tipos de tubos, (Drenoflex, Kananet e tubo de PVC liso próprio para Esgoto) e três materiais envoltórios (raspas de pneu usado, brita zero e bagaço de cana). Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. Os nove tratamentos são apresentados a seguir:

Tratamento 1 = Tubo Drenoflex envolvido com raspas de pneu usado

Tratamento 2 = Tubo de PVC liso envolvido com raspas de pneu usado

Tratamento 3 = Tubo Kananet envolvido com raspas de pneu usado

Tratamento 4 = Tubo Drenoflex envolvido com brita zero

Tratamento 5 = Tubo de PVC liso envolvido com brita zero

Tratamento 6 = Tubo Kananet envolvido com brita zero

Tratamento 7 = Tubo Drenoflex envolvido com bagaço de cana

Tratamento 8 = Tubo de PVC liso envolvido com bagaço de cana

Tratamento 9 = Tubo Kananet envolvido com bagaço de cana

Cada tratamento foi disposto de maneira aleatória. A Tabela 8 mostra a distribuição dos tratamentos nos tanques em suas respectivas etapas.

**Tabela 8. Distribuição dos tratamentos nos tanques.**

Etapas	Tanques de drenagem								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Primeira – Raspas de Pneu usado	T3	T2	T1	T3	T3	T1	T2	T1	T2
Segunda- Brita zero	T5	T6	T4	T5	T6	T4	T5	T4	T6
Terceira – Bagaço de cana	T8	T7	T8	T9	T7	T9	T7	T8	T8

### 3.5. Ensaio Realizados

Para cada sistema de drenagem instalado, foram realizados ensaios para as seguintes avaliações:

#### 3.5.1 . Carga hidráulica de entrada e carga hidráulica total

A carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) e a carga hidráulica total ( $h_{tot}$ ) foram avaliadas mediante uma régua graduada instalada paralelamente aos piezômetros, localizada na parte externa do modelo físico. Para a carga hidráulica de entrada ( $h_e$ ) tomou-se uma leitura direta do nível d'água no piezômetro inserido no sistema drenante. Para a carga hidráulica total ( $h_{tot}$ ) foi tomada a média das leituras nos piezômetros localizados nas laterais do sistema drenante. A razão entre as referidas cargas é dada pela seguinte equação:

$$h_e / h_{tot} = \frac{h_e}{h_{tot}} \quad (3)$$

em que:

$h_e/h_{tot}$  = razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, adimensional;

$h_e$  = carga hidráulica de entrada, em m;

$h_{tot}$  = carga hidráulica total, em m.

#### 3.5.2 . Fluxo ( $q$ )

O fluxo foi avaliado no ponto de descarga de cada tanque. O teste era realizado quando o material poroso encontrava-se saturado, o qual 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 fossem feitas as medições das cargas hidráulicas de entrada e total e a coleta do volume d'água em intervalos de tempo de descarga. Procedeu-se desta maneira até que fosse verificada uma descarga mínima em cada sistema drenante. O tempo de descarga por tanque durou, em média, 1 hora e 30 minutos. Recipientes plásticos (baldes) foram utilizados para recolher o volumes drenado sendo posteriormente pesados em uma balança eletrônica (FILIZOLA) com resolução de 5,0g e capacidade máxima para 30,0 kg, sendo os valores transformados em volume. 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. Na determinação desta variável adotou-se a seguinte equação:

$$q = 86.400 \frac{V}{t} * 2 \quad (4)$$

em que:

$q$  = fluxo, em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$V$  = volume de água coletado, em  $m^3$ ;

$t$  = tempo de coleta do volume d'água, em s;

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

### 3.5.3. 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 seguinte equação, sugerida por Wesseling e van Someren (1972) :

$$re = \frac{he}{q * L^{-1}} \quad (5)$$

em que:

$re$  = resistência de entrada, em  $dia \cdot m^{-1}$ ;

$he$  = carga hidráulica na entrada, em m;

$q$  = descarga do dreno, em  $m^3 \cdot dia^{-1} \cdot m^{-1}$ ;

$L$  = comprimento do sistema drenante, em m.

### 3.5.4. Fator de resistência de entrada ( $\alpha$ )

Para a determinação desta variável adotou-se a seguinte equação, conforme sugestão de Wesseling & van Someren (1972).

$$\alpha = re * K \quad (6)$$

em que:

$\alpha$  = fator de resistência de entrada, adimensional;

$re$  = resistência de entrada, em dia.m<sup>-1</sup>;

$K$  = condutividade hidráulica do meio poroso, em m.dia<sup>-1</sup>.

### 3.5.5. Avaliação do Desempenho dos Sistemas de Drenagem

A avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem, considerando as variáveis carga hidráulica de entrada ( $he$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ) e resistência de entrada ( $re$ ), foi feita com base nos critérios apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3, propostos por Wesseling & van Someren (1972) e Dieleman & Trafford (1976), respectivamente.

### 3.6 . Procedimento de Análise Estatística

Os efeitos de diferentes tubos e envoltórios nos parâmetros hidráulicos de sistemas de drenagem foram avaliados através de métodos normais de análise de variância (Teste F), adotando-se o Teste de Tukey para a comparação das médias ( PIMENTEL GOMES, 1978 ). Para a determinação dos valores, foi utilizado o software ASSISTAT versão 6.2 beta (SILVA, 2000).

Com relação ao comportamento da variável resistência de entrada em relação a carga hidráulica de entrada e fluxo em relação ao tempo acumulado, para todos os tratamentos adotou-se o modelo polinomial de primeiro, segundo e terceiro graus.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística das variáveis carga hidráulica de entrada ( $he$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ), fluxo ( $q$ ), resistência de entrada ( $re$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ) estão reunidas na Tabela 9. Observa-se que os efeitos dos envoltórios sobre todas as variáveis estudadas foram positivos ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F, enquanto que os tipos de tubos só influenciaram significativamente na razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total, ao nível de 5% de probabilidade. O efeito da interação tubos x envoltórios só foi significativo no fator de resistência de entrada, ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 9. Resumo da análise estatística das variáveis carga hidráulica de entrada ( $he$ ), razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ), resistência de entrada ( $re$ ), fluxo ( $q$ ) e fator de resistência de entrada ( $\alpha$ ).**

Causas de variação	Variáveis				
	$he (m)$	$he/htot$	$re (dia.m^{-1})$	$q (m^3.dia^{-1}.m^{-1})$	$\alpha$
	Teste F				
Tipos de tubos	0,807 ns	4,44 *	1,67 ns	1,85 ns	1,41 ns
Envoltórios	8,102 **	11,87 **	39,21 **	54,35 **	46,15 **
Tubos x Envoltórios	0,591 ns	1,89 ns	2,75 ns	2,75 ns	3,51 *
Q M do Resíduo	0,001	0,002	0,00	11,97	0,0003
Coefficiente de variação (%)	8,483	4,38	12,99	11,20	12,11

(\*) significativo a 5% e (\*\*) a 1% de probabilidade; (ns) não significativo.

#### 4.1. Carga hidráulica de entrada (*he*)

Os resultados da análise estatística da Tabela 9 mostram que a carga hidráulica de entrada não foi influenciada significativamente pelos 3 tipos de tubos utilizados, no entanto sofrem efeitos significativos dos envoltórios ao nível de 1% de probabilidade, pelo Teste F. O coeficiente de variação foi de 8,48%, indicando uma ótima precisão experimental, segundo FERREIRA (1991). O efeito da interação tubos x envoltórios não foi significativo. Com esse resultado, constata-se que o tubo de PVC liso nesta pesquisa mostrou-se viável como tubo para drenagem.

O teste de comparação da média (Tabela 10) mostra que as médias da referida variável não apresentaram diferenças significativas para os 3 tipos de tubos, enquanto que para os envoltórios o tratamento com bagaço de cana apresentou média superior estatisticamente as médias proporcionadas pelo pneu usado e brita zero.

Os materiais envoltórios raspa de pneu usado e brita zero apresentaram valores bastante próximos e estatisticamente iguais, colocando o resíduo pneu, nas mesmas condições de uso da brita zero que é um envoltório amplamente usado.

Comparando os resultados desta pesquisa com relação ao envoltório brita zero, aos resultados obtidos por Almeida (2001), cuja média foi de 0,2860 m, para a variável carga hidráulica de entrada, constatou-se um valor superior, 0,3185 m. Isso pode ser explicado pelo fato de que Almeida (2001) utilizou uma camada de solo de espessura duas vezes a utilizada nesta pesquisa.

**Tabela 10. Valores médios da carga hidráulica na entrada (*he*), em m, em relação aos materiais drenantes versus materiais envoltórios.**

Fator 1 = Tubos (drenoflex , PVC liso , kananet )			
Fator 2 = Envoltório (pneu usado , brita zero, bagaço de cana )			
Material drenante		envoltório	
Drenoflex	0,34500 a	Pneu usado	0,32156 b
PVC liso	0,32833 a	Brita zero	0,31856 b
kananet	0,33356 a	Bagaço de cana	0,36678 a

#### 4.2. Razão entre as Cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ )

Os resultados da análise de variância da Tabela 9 mostram que a razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total sofreram efeitos significativos dos tipos de tubos e envoltórios, aos níveis de 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. O efeito da interação tubos x envoltórios não foi significativo. O coeficiente de variação de 4,38% indica uma ótima precisão na determinação, segundo FERREIRA(1991).

Constatou-se que os valores médios da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ), foram todos próximos da unidade (Tabela 11). As médias da referida variável proporcionadas pelos tubos drenoflex e PVC liso diferiram significativamente entre si, pelo Teste de Tukey, acontecendo o mesmo com as proporcionadas pelos envoltórios brita zero e bagaço de cana.

Os critérios propostos por Dieleman & Trafford (1976), para avaliar a razão entre as cargas hidráulica de entrada e total (Tabela 3) indicam que os resultados não foram satisfatórios. No entanto, os critérios dos referidos pesquisadores diferem da situação em que foram submetidos os sistemas drenantes nesta avaliação, onde os sistemas foram avaliados em um meio poroso (areia) com elevada condutividade hidráulica ( $26,78 \text{ m.dia}^{-1}$ ) e espaçados de 1,0 m.

**Tabela 11. Valores médios da razão entre as cargas hidráulicas de entrada e total ( $he/htot$ ).**

Fator 1 = Tubos (drenoflex 1, PVC liso 2, kananet 3)			
Fator 2 = Envoltório (pneu usado 1, brita zero 2, bagaço de cana 3)			
Médias do fator 1		Médias do fator 2	
1	0.95111 a	1	0.89444 b
2	0.89889 b	2	0.91667 b
3	0.94556 ab	3	0.98444 a

#### 4.3. Resistência de entrada ( $re$ )

Os resultados da análise de variância da Tabela 9 mostram que a resistência de entrada não sofreu influência significativa dos tipos de tubos utilizados, no entanto, sofreu efeitos significativos dos envoltórios ao nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

O efeito da interação tubos x envoltórios não foi significativo. O teste de comparação das médias (Tabela 12) mostra que as médias da referida variável não apresentam diferenças significativas para os 3 tipos de tubos, enquanto que para os envoltórios, todas as médias se diferenciam pelo Teste de Tukey.. Observa-se que, o envoltório raspa de pneu usado obteve a maior resistência de entrada ( $0,00702 \text{ dia.m}^{-1}$ ). A resistência de entrada do envoltório brita zero ( $0,00400 \text{ dia.m}^{-1}$ ) foi praticamente a metade da resistência oferecida pelo raspa de pneu usado. Isto pode ser devido a granulometria uniforme e poros relativamente grandes do envoltório brita zero. A Tabela 12 mostra que o menor valor de resistência de entrada foi obtido com o uso do envoltório brita zero, seguido do envoltório de bagaço de cana ( $0,00598 \text{ dia.m}^{-1}$ ), que teve uma performance desejável do ponto de vista da resistência de entrada.

**Tabela 12. Valores médios da resistência de entrada ( $re$ ), em  $\text{dia.m}^{-1}$ , em relação aos materiais drenantes versus materiais envoltórios.**

Médias do fator 1		Médias do fator 2	
1	0,00598 a	1	0,00702 a
2	0,00567 a	2	0,00400 c
3	0 00534 a	3	0,00598 b

Na Figura 1, observa-se um padrão de comportamento similar da variável resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os tratamentos com o envoltório de raspa de pneu usado, evidenciando que os tubos drenoflex e kananet com esse tipo de envoltório mantiveram-se com mesma tendência, enquanto que o tubo de PVC liso, apresentou uma performance bastante desejável, uma vez que o ideal para a resistência de entrada é que apresente o menor valor possível.

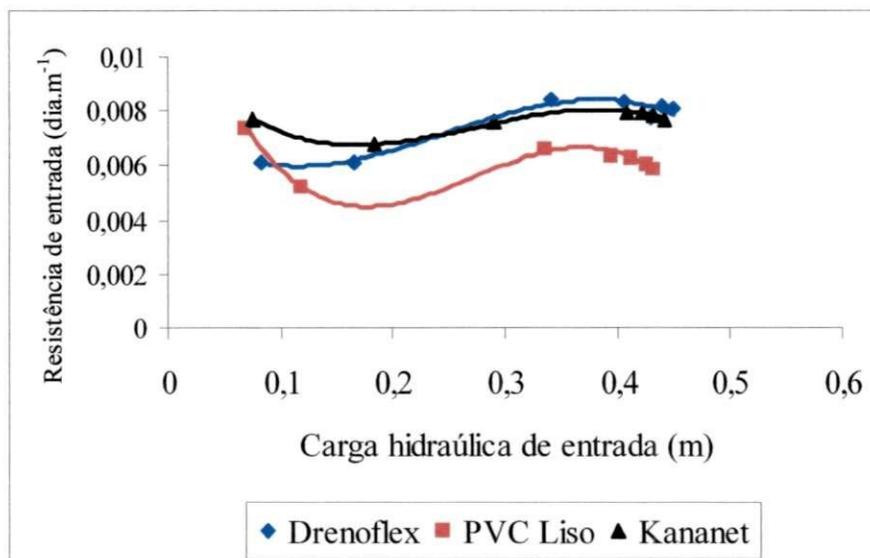


Figura 3. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de raspas de pneu usado.

As equações de ajuste para a resistência de entrada seguiram o modelo polinomial do terceiro grau com coeficientes de determinação variando entre 0,95 e 0,98. Os elevados valores dos coeficientes indicam que a resistência de entrada ( $re$ ) pode ser estimada, com precisão, a partir da carga hidráulica de entrada.

Drenoflex	$Y = -0,2544x^3 + 0,19x^2 - 0,0336x + 0,0077$	$R^2 = 0,95$
PVC liso	$Y = -0,6264x^3 + 0,5131x^2 - 0,123x + 0,0137$	$R^2 = 0,97$
Kananet	$Y = -0,2553x^3 + 0,211x^2 - 0,0492x + 0,0103$	$R^2 = 0,98$

A Figura 2 apresenta as curvas do comportamento da resistência de entrada em relação a carga hidráulica de entrada para os tratamentos com envoltório de brita zero. Verifica-se que os tubos drenoflex e PVC liso tiveram suas curvas praticamente superpostas e com valores superiores aos da curva do tubo kananet.

As equações de ajuste para a resistência de entrada em relação a carga hidráulica seguiram o modelo polinomial do segundo grau com coeficientes de 0,97 e 0,82 para os tubos drenoflex e PVC liso, respectivamente, e 0,33 (não significativo) para o tubo kananet.

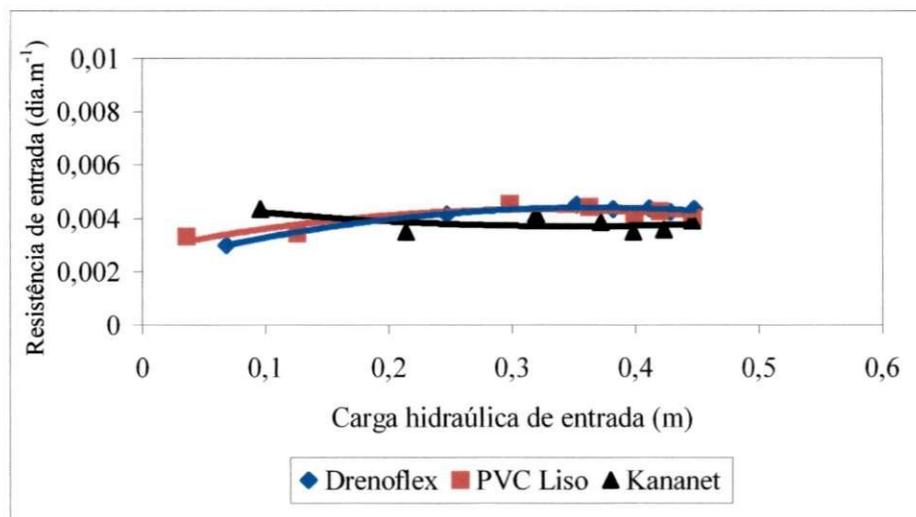


Figura 4. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de brita zero.

Drenoflex	$Y = -0,0161x^2 + 0,0117x + 0,0023$	$R^2 = 0,97$
PVC liso	$Y = -0,0146x^2 + 0,0094x + 0,0028$	$R^2 = 0,82$

As curvas da resistência de entrada em relação a carga hidráulica de entrada, para os tratamentos com o envoltório de bagaço de cana são mostradas na Figura 3. Verifica-se um comportamento não significativo para o tubo drenoflex ( $R^2=0,36$ ), enquanto o tubo kananet apresentou uma performance altamente desejável do ponto de vista da resistência de entrada em relação a carga hidráulica de entrada.

As equações de ajuste seguiram o modelo polinomial do segundo grau com coeficientes 0,97 e 0,99 para os tubos PVC liso e kananet, respectivamente, indicando ajustes adequados dessas variáveis.

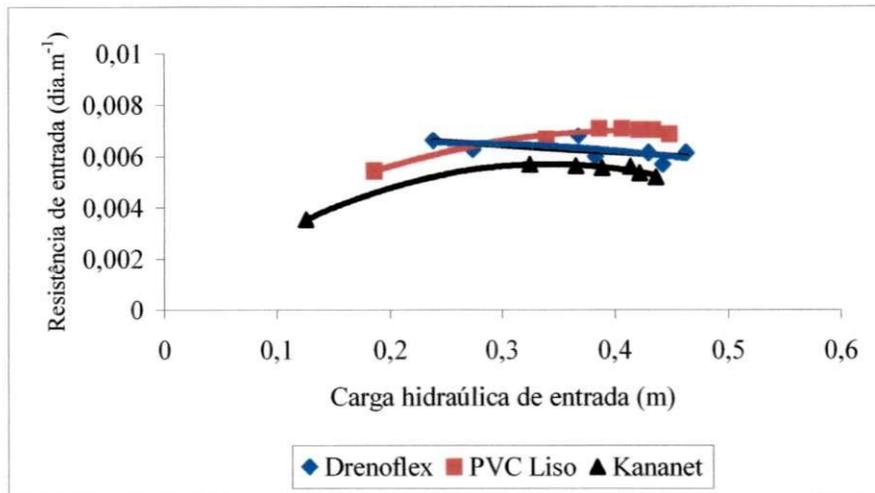


Figura 5. Curvas da resistência de entrada em relação à carga hidráulica de entrada para os diferentes sistemas drenantes com envoltório de bagaço de cana-de-açúcar.

PVC liso	$Y = -0,0288x^2 + 0,0241x + 0,0019$	$R^2 = 0,97$
Kananet	$Y = -0,0468x^2 + 0,0318x + 0,0003$	$R^2 = 0,99$

#### 4.4. Fluxo ( $q$ )

Os resultados da análise de variância da Tabela 9 mostram que o fluxo não sofreu efeito significativo dos tipos de tubos utilizados, entretanto, foi afetado significativamente pelos envoltórios, ao nível de 1% de probabilidade, pelo Teste F. O efeito da interação tubos x envoltórios não foi significativo. A comparação de médias da referida variável (Tabela 13) não evidencia diferenças significativas para os 3 tipos de tubos utilizados, no entanto, para os envoltórios, todas as médias apresentam diferenças significativas pelo Teste de Tukey. Os valores das médias, observa-se que a média relativa ao envoltório raspas de pneu usado apresentou o menor fluxo (22,57 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>) enquanto que o envoltório brita zero destacou-se com o fluxo de maior intensidade (39,57 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-1</sup>) sendo, conseqüentemente o de melhor performance.

**Tabela 13 – Valores médios do fluxo, em  $\text{m}^3.\text{dia}^{-1}.\text{m}^{-1}$ , em relação aos tubos versus envoltórios.**

Médias do fator 1		Médias do fator 2	
1	30,38 a	1	22,57 c
2	29,65 a	2	39,57 a
3	32,65 a	3	30,54 b

A Figura 4 mostra as curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diferentes tubos com o envoltório de raspas de pneu usado, onde verifica-se um comportamento similar entre os tubos drenoflex e kananet, e uma melhor performance para o tubo PVC liso. As equações de ajuste para o fluxo em relação ao tempo acumulado seguiram o modelo linear, com coeficientes de determinação de 0,97 para todos os tubos, indicando ajustes adequados dessas variáveis.

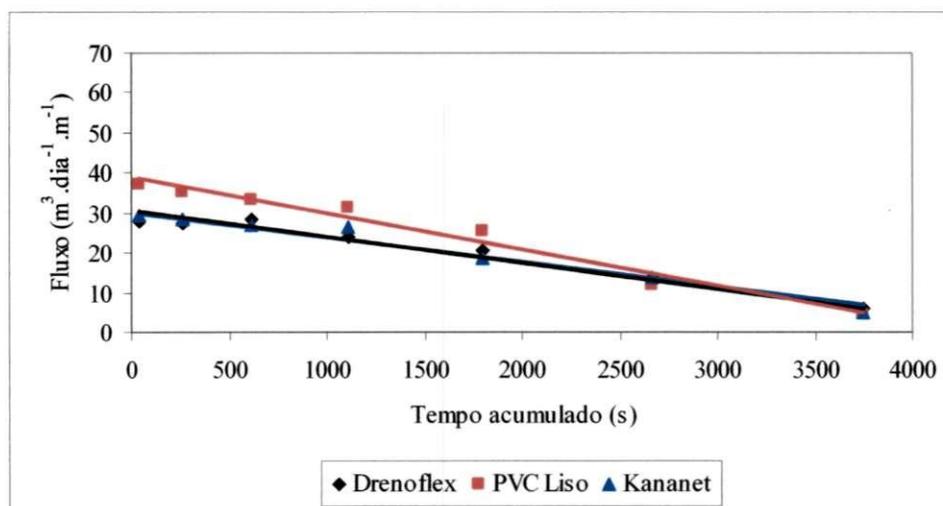


Figura 6. Curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diferentes sistemas drenantes com o envoltório de raspas de pneu usado.

Drenoflex com raspa de pneu usado  $Y = -0,0062x + 30,15$   $R^2 = 0,97$

PVC liso com raspa de pneu usado  $Y = -0,0091x + 38,82$   $R^2 = 0,97$

Kananet com raspa de pneu usado  $Y = -0,0066x + 30,83$   $R^2 = 0,97$

Na Figura 5, têm-se as curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os tubos com o envoltório de brita zero. Percebe-se que as curvas dos tubos drenoflex e PVC liso encontram-se superpostas, evidenciando comportamentos semelhantes entre estes tubos com o envoltório brita zero. O tubo kananet foi o que contribuiu para um maior rebaixamento do lençol freático, pois, apresentou maior fluxo. As equações de ajuste para o fluxo em relação ao tempo acumulado utilizando-se o envoltório brita zero, seguiram o modelo linear, com coeficientes de determinação variando de 0,96 a 0,98, demonstrando assim ajustes adequados.

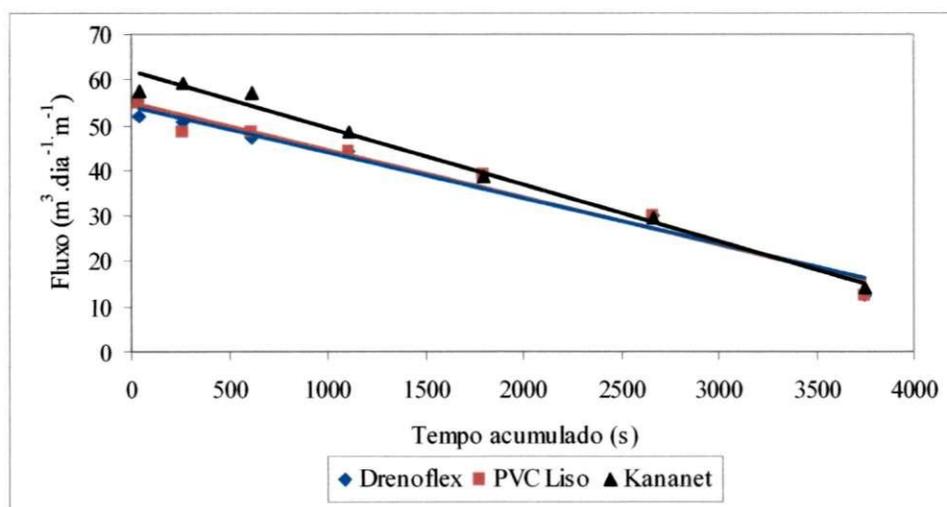


Figura 7. Curvas do fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diversos sistemas drenantes com o envoltório de brita zero.

Drenoflex com brita zero	$Y = -0,0101x + 54,249$	$R^2 = 0,96$
PVC liso com brita zero	$Y = -0,0104x + 55,055$	$R^2 = 0,96$
Kananet com brita zero	$Y = -0,0125x + 61,73$	$R^2 = 0,98$

A Figura 6 apresenta as curvas da variável fluxo em relação ao tempo acumulado de drenagem para os diferentes tubos com o envoltório de bagaço de cana-de-açúcar. Constata-se que, inicialmente os tubos drenoflex e kananet, apresentaram uma descarga superior em relação ao tubo PVC liso. O tubo kananet apresentou melhor performance ao longo de todo o tempo, caracterizada pela maior intensidade de fluxo.

entanto, sofreu influência significativa dos envoltórios, ao nível de 1% de probabilidade, pelo Teste F. O efeito da interação tubos x envoltórios foi significativo ao nível de 5% de probabilidade, concluindo que o efeito significativo dos envoltórios está na dependência do tipo de tubo utilizado. Todos os envoltórios são recomendáveis para a referida variável, no entanto, a interação mais recomendável é o tubo kananet com o envoltório de brita zero.

O coeficiente de variação foi de 12,11% indicando uma boa precisão experimental, segundo Ferreira (1991). Os valores médios correspondentes ao parâmetro fator de resistência de entrada são apresentados na tabela 14.

**Tabela 14 – Valores médios de fator de resistência de entrada**

Fator 1 = Tubos

Fator 2 = Envoltórios

#### MÉDIAS DOS FATORES

##### Médias do fator1

1	0.15778 a
2	0.15111 a
3	0.14333 a

##### Médias do fator2

1	0.18667 a
2	0.10556 c
3	0.16000 b

#### MÉDIAS DE INTERAÇÃO

	Pneu usado	brita zero	bagaco de cana
drenoflex	0.2033 aA	0.1067 aC	0.1633 abB
PVC liso	0.1633 bA	0.1100 aB	0.1800 aA
kananet	0.1933 abA	0.1000 aB	0.1367 bB

Comparando os valores do fator de resistência de entrada encontrados neste trabalho com os valores propostos por Wesseling & van Someren (1972), verifica-se que o tubo de PVC liso e os tubos convencionais (drenoflex e kananet), para todos os tipos de envoltórios avaliados, são considerados como muito bons.

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- O tubo de PVC liso próprio para esgoto doméstico mostrou-se viável como tubo alternativo para a drenagem agrícola em condições de laboratório;
- O desempenho dos envoltórios apresentaram resistência de entrada classificada como muito boa;
- Os tubos convencionais (Drenoflex e Kananet) com envoltório de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram resistência de entrada inferior ao envoltório de raspas de pneu usado e superior ao envoltório de brita zero;
- Os envoltórios de raspas de pneu usado, brita zero e bagaço de cana-de-açúcar inibiram, a entrada de partículas do material poroso para o interior dos tubos Drenoflex, PVC liso e Kananet;
- O sistema de drenagem que apresentou maior capacidade de rebaixamento do lençol freático foi o tubo Kananet com envoltório de brita zero;
- O desempenho do envoltório de bagaço de cana-de-açúcar no rebaixamento do lençol freático foi superior e inferior, respectivamente, aos desempenhos dos envoltórios de raspas de pneu usado e de brita zero, para os diferentes tubos utilizados;
- Recomenda-se testar o tubo de PVC liso e os envoltórios de bagaço de cana-de-açúcar e de raspas de pneu usado em sistemas drenantes, em condições de campo.
- Que se estude a viabilidade econômica do uso de raspas de pneu usado como envoltório comparado a brita zero.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F. P. *Avaliação de sistemas drenantes alternativos na drenagem subterrânea. Campina Grande: UFCG, 2000, 83p.* (Dissertação de Mestrado).

ALMEIDA, D.M.de. *Análise comparativa de envoltórios para drenos tubulares em condições de fluxo não-permanente.* Fortaleza: UFC, 1999. 56 p. (Dissertação de Mestrado).

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. *A qualidade da água na irrigação.* Campina Grande – PB: UFPB. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damaceno, F. A. V., 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29.Revisado).

BAGLEY, G. R. *Drainage for increased crop production and a quality environment.* In: Third National symposium. Chicago: American Society of agricultural Engineers, ASAE, 1976.

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.

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, n. 19, p. 14 - 22, 1984.

BELTRAN, J.M. *Drenaje agrícola*. Madrid: Editora, 1986. 239 p.

BENTLEY, W.J. & SKAGGS, R.W. *Changes in entrance resistance of subsurface drains*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v.119, n.3, p. 584 - 599, 1993.

BOS, M.G. & BOERS, Th. M. *Land drainage: Why and how?* In: RITZEMA, H.P. (ed). Drainage Principles and Applications. Wageningen: ILRI. 1994. p. 23-31. (Publication 16).

BROUGHTON, R.S., CHIRADA, K.E. & BONNELL, R.B. *Test of drain tubes with pin holes and small slots*. In: Drainage Design and Management. Michigan: ASAE, 1987. p. 362 - 371. (Publication 16)

CAVELAARS, J.C.; VLOTMAN, W.F. & SPOOR, G. *Subsurface drainage systems*. In: RITZEMA, H.P. (ed.). Drainage Principles and Applications. Wageningen: ILRI, 1994. p. 827 - 929 (Publication 16).

CHOSSAT, J.C. *Relation between hydraulic conductivity and drainable porosity*. In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. St. Joseph: ASAE, 1987. p. 92 - 100.

COELHO, E. F; EUCLIDES, H.P.& CAMPOS NETO, S. Engenharia de drenagem na agricultura. Informe Agropequário, V. 12,139,p. 68-80, 1986 .

CRUCIANI, D. E. *Drenagem Agrícola para Recuperação dos solos afetados por sais*. In: XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – Manejo e Controle da Salinidade na Agricultura Irrigada, 1997. Campina Grande Anais. Campina Grande Pb UFPB/SBEA, 1997.

CRUCIANI, D.E. *A drenagem na agricultura*. São Paulo: Nobel, 1980. 333 p.

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. Roma: FAO/ONU, 1976. p. 172.

DIERICKX, W. & YUNCUOGLU, H. *Factors affecting the performance of drainage envelope materials in structurally unstable soils*. Agricultural Water Management, v.5, n.3, p. 215 - 225, 1982..

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos* (Rio de Janeiro). Manual de métodos de análise de solos. Rio de Janeiro, 1979.

FERREIRA, P.V. *Estatística Experimental Aplicada à Agronomia*. Maceió: EDUFAL, 1991. 437 p.

FIPPS, G. & SKAGGS, W. *Simple methods for predicting flow to drains*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 117, n.6, p. 881- 896, 1991.

FOUSS, J.L. *Drain tube materials and installation*. In: van SCHILFGAARDE, J. (ed.). Drainage for Agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p. 147-177.(Agronomy 17).

KNOPS, J.C.A. & DIERICKX, W. *Drainage Materials*. In: (ed.). WESSELING, J. Proceedings of the International Drainage Workshop. Wageningen, ILRI, 1979. p. 14 - 38 (Publication, 25).

LAMSAL, K.; PAUDYAL, G.N. & SAEED, M. *Model for assessing impact of salinity on soil water availability and crop yield*. Agricultural Water Management, v.41, n.1, p.57 - 70, 1999.

LIMA, V.L.de. *Efeitos da qualidade da água de irrigação e da fração de lixiviação sobre a cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) em condições de lisímetro de drenagem. Viçosa: UFV,199., 87p.(Tese de Doutorado).*

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

MILLAR, A. A. *Drenagem das terras agrícolas:bases agronômicas.*(b): pp-2, (c):pp-72, (d):pp-76, (e):pp-74.São Paulo .1978, 276p.

MOUSTAFA, M.M. *A geostatistical 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.

NIEUWENHUIS, G.J.A. & WESSELING, J. Effect of perforation and filter material on entrance resistance and effective diameter of plastic drain pipes. Agricultural Water Management, v.2, n.1, p. 1 - 9, 1979.

PRASHER, S.O.; KABIRI, M.; BROUGHTON, R.S. & MEMON, N.A. *Measurement of the unsaturated hydraulic conductivity function on long cores.* In: Drainage Design and Management. Proceedings of the Fifth National Drainage Symposium. St. Joseph: ASAE, 1987. p. 101 - 108.

RITZEMA, H.P. & BRAUN, H.M.H. *Environmental aspects of drainage.* In: Drainage Principles and Applications, Wageningen: ILRI, 1994. p. 1041 - 1065.

SALEM, H.EL-S. & WILLARDSON, L.S. *Comparison of the performance of thick and thin envelope materials.* In: Drainage and Water Table Control. Proceedings of the Sixth International Drainage Symposium. St. Joseph: 1992. p. 411 - 418.

SCHWAB, G.O; FREVERT,R.K; BARNES,K.K. & EDMINSTER,T.W. *Elementary Soil and water Engineering.*2ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 316p.

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

SILVA, A.R.da. *Condutividade hidráulica e sua relação com a análise granulométrica do solo em relação a drenagem*. Irrigação e Tecnologia Moderna, n.39, p. 7, 1989..

SMEDEMA, L. K. *Estado de desarrollo Del drenaje en el mundo*. Oxfordshire, n° 6, p. 9-10, 1995.

SMEDEMA,L. & RYCROFT, D.W. *Land Drainage: planning and design of agricultural drainage systems*. Bastford, London: 1983, 376p.

STUYT, L.C.P.M. *Effect of drain envelopes on the water acceptance of wrapped subsurface drains*. In: Drainage and Water Table Control. Proceedings of the Sixth International Drainage Symposium. St. Joseph: ASAE, 1992. p. 257 - 263.

THORNE, D. W. & PETERSON, H. B. *Técnica del Riego Fertilidad y Exploración de los suelos*.1965

TILIGADAS, E. *Effect of different parameters on entrance resistance of corrugated plastic drains*. Agricultural Water Management, v.13, p. 225 – 233.

VLOTMAN, W.F. *Drain envelopes*.In: Anual Report. Wageningen:ILRI , 1998.p.10-29.

WESSELING, J. & van SOMEREN, C.L. *Drainage Materials. Provisional Report of the experience gained in the Netherlands*. In: Irrigation and drainage Paper. Washington:FAO/ONU, 1972. p. 55 - 83.