

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA – CAMPUS II  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

REDUÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA POR PERCOLAÇÃO  
EM CANAIS DE TERRA UTILIZANDO A VINHAÇA

LÍGIA SAMPAIO REIS

CAMPINA GRANDE

1993

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**Redução das perdas de água por percolação em canais de terra  
utilizando a vinhaça**

**DIGITALIZAÇÃO:  
SISTEMOTECA - UFCG**

**Campina Grande - BP  
Agosto - 1993**

## **DEDICATÓRIA**

**Aos meus pais pelo sentido que deram  
a minha vida**

**À minha irmã Rosa pela sua  
luminosidade**

## Agradecimentos

Aos

Meus pais, minhas irmãs e meu esposo, pelo apoio e estímulo, nos momentos mais difíceis.

Ao

Professor Hugo Carvallo Guerra pela orientação.

À

Usina Coruripe que, através de apoio financeiro, possibilitou a realização da presente pesquisa.

Aos

Agrônomos Pedro Pontes Carnaúba e Cícero Augusto Bastos de Almeida, pelo apoio técnico.

À

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

**Redução das perdas de água por percolação em canais de terra utilizando a vinhaça**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, Campus II - Campina Grande, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Hugo Carvalho Guerra

Co-orientador: Prof. Carlos Brancildes Monte Calheiros

Campina Grande - BP  
Agosto - 1993

**Dissertação Aprovada em 27/08/1993**

**HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA - PhD**  
Orientador

**CARLOS BRANCILDES MONTE CALHEIROS - Msc.**  
Examinador

**CARLOS ALBERTO VIEIRA DE ZEVEDO**  
Examinador

Campina Grande - Paraíba  
Agosto - 1993

## RESUMO

Visando estudar o efeito da aplicação de vinhaça sobre a percolação da água através do perfil do solo, um ensaio foi conduzido em canais de irrigação recém construídos na Usina Coruripe, estado de Alagoas. Inicialmente determinou-se a percolação de vinhaça, água de lavagem e água de irrigação em canais sem pré-tratamento e posteriormente determinou-se a percolação desses fluidos após um pré-tratamento dos canais com vinhaça.

As perdas no solo virgem, ou seja, antes do pré-tratamento, da água de irrigação, água de lavagem e vinhaça foram de 0,23; 0,14 e 0,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, respectivamente, sendo que o grau de percolação foi principalmente função das características dos fluidos. O pré-tratamento dos canais com vinhaça aumentou a densidade global do solo e conseqüentemente diminuiu a porosidade deste, responsável pela percolação. No entanto, a percolação dos fluidos após o pré-tratamento com vinhaça dependeu principalmente das características físico-químicas deles.

## ABSTRACT

To study the effect of the vinasse application on water seepage, an experiment was conducted on static irrigation channels at the Coruripe Sugarnills, in the State of Alagoas. Seepage of vinasse, residual water and irrigation water was determined on non pre-treated and vinasse pre-treated irrigation channels.

On the non-pretreated channels, the degree of seepage depended on the fluid characteristics.

The vinasse pre-treatment increased the global density of the soil and therefore their porosity, responsible for the seepage, decreased. The seepage of fluids after the pre-treatment depended on the characteristics of these. High doses of vinasse eliminated the probable dispersant effect caused by the first application of vinasse.

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	01
2. Revisão Bibliográfica.....	02
2.1. Perdas de água nos canais de irrigação.....	02
2.2. O processo de infiltração.....	03
2.3. Fatores que afetam a taxa de infiltração em canais de terra.....	04
2.3.1. Permeabilidade.....	04
2.3.2. Umidade inicial do solo.....	04
2.3.3. Perímetro molhado.....	05
2.3.4. Profundidade do lençol freático.....	05
2.3.5. Sedimentos.....	05
2.3.6. Tempo de uso do canal.....	06
2.3.7. Velocidade do fluxo.....	06
2.3.8. Temperatura do solo e da água.....	06
2.3.9. Ar do solo.....	07
2.4. Determinação da Infiltração.....	07
2.4.1. Métodos de Campo.....	07
2.4.2. Métodos de Laboratório.....	07
2.4.3. Métodos Empíricos.....	08
2.5. Alternativas para diminuir a infiltração da água nos canais.....	09
2.5.1. Revestimentos.....	09
2.5.2. Uso de Argamassas.....	09
2.5.3. Selantes.....	09
2.6. Uso da vinhaça de cana-de-açúcar.....	10
2.6.1. Características gerais da Vinhaça.....	10
2.6.2. Efeito da vinhaça sobre as propriedades físicas do solo.....	12
3. Material e Método.....	13
3.1. Caracterização do solo da área.....	13
3.2. Características dos Canais.....	13
3.3. Medição da percolação.....	15
3.4. Tratamentos.....	15
3.4.1. Procedimento e aplicação.....	16
3.5. Delineamento Experimental.....	16
4. Resultados e Discussão.....	19
4.1. Precipitação e Evaporação.....	19
4.2. Perdas por Percolação.....	20
4.2.1. Influência das Propriedades Físico-químicas dos Fluidos na Percolação.....	20
4.2.2. Efeito do Pré-tratamento com Vinhaça.....	22
4.2.2.1. Variação da Porosidade no Fundo dos Canais.....	23
4.2.2.2. Variação da Porosidade nas paredes dos Canais.....	23
4.3. Análises Estatísticas dos Resultados.....	24
5. Conclusões e Recomendações.....	25
5.1. Conclusões.....	25
5.2. Recomendações.....	25
6. Referências Bibliográficas.....	26
7. Apêndice	
7.1. Quadros	
Quadro 1 - Composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Estado de Alagoas.....	10
Quadro 2 - Evaporação e Precipitação total observada durante o período experimental.....	19
Quadro 3 - Média das perdas por percolação em cada tratamento.....	20
Quadro 4 - Análise granulométrica do solo estudado.....	21
Quadro 5 - Composição química da vinhaça da Usina Coruripe no Estado de Alagoas.....	21
Quadro 6 - Variação da densidade global e da porosidade total com os tratamentos, no fundo do canal.....	22
Quadro 7 - Variação da densidade global e porosidade total com os tratamentos, nas paredes do canal.....	22

**Redução das perdas de água por percolação em canais de terra utilizando a vinhaça**

Quadro 8 - Resultados da análise de variância de acordo com o delineamento adotado.....	24
Quadro 9 - Comparação das médias dos tratamentos.....	24
7.2. Figuras.....	
Figura 1. Esquema de uma Usina de Açúcar com Distribuição Anexa .....	11
Figura 2. Layout do Sistema de Condução e Distribuição.....	13
Figura 3. Detalhes da Seção Transversal e Longitudinal de um canal.....	14
Figura 4. Vista parcial da Retroescavadeira abrindo os canais .....	14
Figura 5. Vista parcial de um canal Recém Escavado.....	17
Figura 6. Comportas utilizadas para conseguir o estancamento do fluido nos canais.....	17
Figura 7. Régua usada no controle do volume e no declínio do fluido no canal.....	18
7.3. Tabelas	
Tabela 1. Determinação das perdas de água por infiltração.....	20



## 1. INTRODUÇÃO

Nas regiões canavieiras, onde canais de terra são largamente utilizados na condução e distribuição da água de irrigação, as grandes perdas de água que ocorrem por percolação além de ocasionar uma baixa eficiência de condução, podem elevar o lençol freático provocando problemas de salinização.

Vários estudos têm sido desenvolvidos visando alternativas para reduzir a percolação e os resultados sempre apontam para o uso de revestimentos de canais a um alto custo. O desenvolvimento de uma técnica de baixo custo que permita diminuir as perdas de água por percolação nos canais de irrigação é assim muito importante ao visar racionalizar o uso da água sem inviabilizar economicamente o projeto. Isto adquire ainda maior importância quando a água de irrigação é escassa como no caso do semi-árido no Nordeste do Brasil.

A produção de álcool através de um processo de fermentação biológica, produz um resíduo final líquido, denominado de vinhaça. A vinhaça vem se constituindo há muito um grave problema social face ao seu alto poder poluente, ocasionado pelo elevado conteúdo orgânico. Segundo Glória (1977), o enfoque que tem sido dado ao problema da vinhaça visa eliminar ou atenuar os efeitos de sua poluição sobre os rios das regiões canavieiras.

Apesar de constituir, como já foi provado, forte poluente das águas, a vinhaça pode ser utilizada como fertilizante orgânico-mineral. Sua composição varia de acordo com a origem da matéria-prima. A proporção dos constituintes da vinhaça é no entanto, muito variável, o que faz com que seus efeitos no solo também variem.

A determinação das propriedades físico-químicas dos fluidos em estudo como também as propriedades físicas do solo de canais construídos para irrigação, e análises estatísticas darão uma resposta dos efeitos da vinhaça no solo.

O presente trabalho visa quantificar as perdas por percolação nos canais de condução de líquidos para irrigação ou fertirrigação, a fim de reduzir estas perdas com a utilização da vinhaça *in natura*, elevando a eficiência de condução.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PERDAS DE ÁGUA NOS CANAIS DE IRRIGAÇÃO

Em qualquer método de irrigação a água tem que ser conduzida da captação até a parcela irrigada. Sendo assim, observa-se a importância da condução de água nos sistemas de irrigação. Inúmeros projetos de irrigação não chegaram a atingir os objetivos preestabelecidos por causa de problemas na condução de água.

Em geral, os principais problemas na condução de água são falhas estruturais, perdas por percolação excessiva e dimensionamentos inadequados (BERNARDO, 1987).

De acordo com HUMBERT (1974), a condução da água pode ser realizada em condutos abertos ou fechados, sendo o mais comum, canais escavados em terra. Os primeiros canais de terra conhecidos na América Latina para a condução da água de irrigação foram construídos pelos Incas no Peru, norte do Chile e norte da Argentina.

Os canais de terra para a condução de água para irrigação, sem nenhum revestimento artificial no fundo e nas paredes, são os mais utilizados, como afirma ISRAELSEN e HANSEN (1976), tendo como maior vantagem o baixo custo inicial. No Brasil e especificamente na região canavieira os canais de terra largamente utilizados na condução e distribuição de água resíduos industriais da cana-de-açúcar.

O melhoramento da eficiência de condução e conseqüentemente a diminuição das perdas por percolação da água para irrigação é de vital importância. VARSHNEY et alli (1979), verificaram que na Índia, somente 28 a 29% da água de irrigação chega até às culturas, o resto se perde ao longo do canal, por percolação e/ou por evaporação. LAURITZEN & TERREL (1967) citam um estudo do BUREAU OF RECLAMATION (1967), indicando que em 46 projetos de irrigação nos EUA que utilizam canais de terra não revestidos apresentam perdas em torno de 40%.

Alguns autores (ISRAELSEN, 1965; LAURITZEN E TERREL, 1967; HUMBERT, 1974) afirmam que a infiltração é a principal causa de perdas de água em sistemas de condução. GRASSI (1968) explica que as perdas por evaporação e por transpiração não tem maior importância nos canais, dado a pequena área de superfície evaporante representa quando comparada com a área de superfície do canal em que a água está em contato. Para LAURITZEN & TERREL (1967) e para o Bureau of Reclamation (1976), estas perdas representam em torno de 1%.

Dados utilizados por LINSLEY e FRANZINI, revelam que em solos argilosos as perdas de água estão em torno de ¼ daquelas ocorridas em canais construídos sobre leitos arenosos. LIMA (1987) trabalhando com um latosolo vermelho escuro de cerrado (LVE), constatou que, embora esses solos sejam argilosos, apenas 15% dos agregados presente são menores do que as partículas de areia fina. Assim, ele encontrou que as perdas de água por percolação em canais de terra construídos em LVE assemelham-se as perdas ocorridas naqueles construídos em solos arenosos com estimativa de que essas perdas possam chegar até 4.000l/m<sup>2</sup>/dia. LAURITZEN e TERREL (1967) indicam que na maioria dos casos grande parte das perdas

ocorrem em pontos localizados ao longo do canal, e não em toda a extensão do mesmo, sendo necessária a identificação desses pontos para se proceder a redução das perdas.

No Brasil, um estudo feito por LIMA (1970) em solos de cerrado, apresentou perdas de água em canais não revestidos, que atingiram valores médios de 1434,8l/m<sup>2</sup>/dia.

## 2.2. O PROCESSO DE INFILTRAÇÃO

O termo infiltração é aplicado ao processo pelo qual a água entra no solo, através de sua superfície. HILLEL (1970) entende que o fluxo que atravessa a superfície do solo em escoamento capilar vertical, é o regime de infiltração e, que a infiltrabilidade do solo, é o fluxo máximo que o solo pode permitir através de sua superfície, quando a água é aplicada sob a pressão atmosférica.

O processo de infiltração ocorre no sentido horizontal e vertical, este último sofrendo a influência da força gravitacional. Algumas equações desenvolvidas para descrever o processo de infiltração tiveram como base considerações físicas ou puramente medições de campo (equações empíricas), tais equações são válidas somente em um solo, homogêneo e que permanece homogêneo durante o processo. HARR (1962) estudando o processo de infiltração em canais, afirma que a quantidade de água que se infiltra numa determinada seção do canal ou dique pode ser dado por  $q = k(B + 2H)$ , onde  $H$  é a profundidade máxima do canal;  $B$  a largura do canal;  $K$  a condutividade hidráulica.

Vários autores (HILLEL, 1970; LIBARDI, 1983; e RICHARDT, 1985) porém, utilizando a equação de Darcy, que é de certa forma uma derivação da lei de conservação da energia, que estabelece que o fluxo correspondente ao produto da condutibilidade pelo gradiente hidráulico, em combinação com a equação da continuidade obtiveram

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{D \partial w}{\partial z} \right) - \frac{\partial K}{\partial z}$$

onde  $\omega$  é a variação do conteúdo de água no solo no tempo  $t$ ,  $Z$  a distância vertical a partir da superfície do solo e  $K$  a condutibilidade hidráulica. No caso da infiltração horizontal, o termo da direita desaparece. HILLEL (1970), observou que a infiltração cumulativa ( $I$ ) e a distância até a frente de umedecimento são proporcionais à raiz quadrada do tempo; e sua derivada, ( $i$ ) o regime de infiltração, é portanto inversamente proporcional a raiz quadrada do tempo. Onde a solução desta equação mostra que a infiltração cumulativa depende do tempo na seguinte forma:

$$I = st^{1/2} + at + \dots$$

$$q = i = \frac{dI}{dt} = \frac{1}{2} st^{-1/2} + a$$

onde  $I$  é a infiltração cumulativa,  $s$  o coeficiente de sortividade,  $a$  o coeficiente que representa o efeito da gravidade, e  $t$  o tempo.

Entretanto, é importante lembrar que existe uma forte influência da anisotropia no movimento da água do solo. De acordo com **IRYDA** (1986), as fórmulas empíricas usadas, sempre supõem que o material do canal é homogêneo e isotrópico. Este último foge da realidade, pois o processo construtivo do canal o faz mais permeável no sentido horizontal do que no vertical.

### **2.3. FATORES QUE AFETAM A TAXA DE INFILTRAÇÃO EM CANAIS DE TERRA**

Evidentemente a taxa de infiltração sofre interferência de diversos fatores. Entretanto, estes, se encontram estreitamente relacionados, tornando-se difícil separá-los. Alguns autores como **HILLEL** (1970); **TAYLOR** (1972) e **KRAATZ** (1977) preferem apresentá-los em grupos. Entre os fatores que afetam a taxa de infiltração estão a permeabilidade, conteúdo de umidade inicial, perímetro molhado, altura da água no canal, profundidade da água subterrânea, quantidade de sedimentos na água, velocidade de fluxo e tempo de uso do canal, temperatura do solo e da água e o ar do solo. O **ICID** (1967) cita ainda outros fatores tais como a tensão capilar do solo, pressão barométrica, intensidade da drenagem artificial e a localização dos canais.

#### **2.3.1. Permeabilidade**

A permeabilidade do canal é função do seu material de construção. Depende da natureza do espaço poroso, segundo **HILLEL** (1970). A crosta superficial reduz o tamanho dos poros e atua como uma barreira hidráulica, **HILLEL** (1970) faz uma comparação com solos de estrutura e textura diversas, verificando que as camadas de argila ou areia podiam apresentar o mesmo efeito, embora por motivos opostos.

A camada de argila dificulta o escoamento devido a sua menor condutividade em estado de saturação, enquanto que a camada areia retarda o avanço da frente de umedecimento, em presença de condições de não saturação devido a menor condutividade da areia quando não saturada.

Quando a superfície do solo se encontra compactada estando o perfil coberto por uma crosta de baixa condutividade, a taxa de infiltração é melhor do que a de um solo uniforme.

Segundo alguns autores como, **LAURITZEN & TERREL** (1967), **IRYDA** (1986) e **PAIVA & VILELA** (1988), quanto maior o raio hidráulico maiores serão as perdas d'água. Este aumento torna-se mais acentuado quanto maior for a permeabilidade do material do canal.

#### **2.3.2. Umidade inicial do solo**

Existe uma forte correlação entre o conteúdo inicial de umidade do solo e a infiltração. Quando a infiltração ocorre em um solo inicialmente seco, os gradientes de sucção apresentam-se muito mais elevados que o gradiente gravitacional e infiltração horizontal é semelhante a infiltração vertical, como pode ser visto no trabalho de **PHILIP** (1957) e **GAVANDE** (1979). Contudo, à medida que o conteúdo de umidade do solo aumenta os gradientes de sucção perdem importância, tornando-se desprezíveis com o tempo.

Sob condições de encharcamento, em qualquer momento durante a infiltração, a superfície de um solo uniforme encontra-se saturada. Imediatamente abaixo desta zona de saturação apresenta-se uma zona quase saturada cujo comprimento aumenta continuamente, com um suposto conteúdo de água uniforme. Além desta zona o conteúdo de água diminui com a profundidade de maneira muito acentuada até ser atingida a frente de umedecimento onde o gradiente é muito íngreme. **HILLEL** (1970), explica que a grande inclinação do gradiente é devida a diminuição do conteúdo de água fazendo com que a condutividade hidráulica diminua exponencialmente. Uma vez que o fluxo é o produto do gradiente pela condutividade, para obter-se certo fluxo no solo, o gradiente tem que aumentar, quando a condutividade decresce.

**HOLMES et alli** (1967), observando a taxa de infiltração vertical da água no solo, verificaram que essa é igual à condutividade hidráulica quando o solo estava saturado a uma altura considerada suficiente, para ter-se um gradiente gravitacional predominante.

### 2.3.3. Perímetro Molhado

**BOWER** em 1969 (cf. **KRAATZ**, 1977) indica que as perdas de água por percolação aumentam com a altura da água no canal. Assim ele reporta que a maior percolação é encontrada na união da lateral com o fundo do canal.

**FREYBERG et alli** (1980) mostram que a variação rápida da altura de água no canal afeta a velocidade de infiltração vertical. Quando a altura da água diminui rapidamente o declínio de infiltração é substancialmente diferente a quando a altura permanece constante.

**TROUT** em 1983 constatou que a medida de perdas de água nas laterais de canais não revestidos no Estado do Colorado e Novo México têm mostrado uma estreita relação entre a taxa de perda e a lâmina de água. As causas desta relação está em função do aumento da área molhada com o aumento da lâmina de água, o aumento da pressão hidrostática na interface água-solo com o aumento da lâmina de água e um aumento da permeabilidade do solo das laterais comparado com o solo do fundo do canal, em virtude da ausência de sedimentação e de uma porosidade extremamente elevada causada por buracos de roedores e insetos e apodrecimento das raízes.

### 2.3.4. Profundidade do Lençol Freático

**BOWER** em 1969 (cf. **KRAATZ**, 1977) afirma que as perdas de água por infiltração aumentam quando aumenta a diferença entre o nível da água no canal e o nível do lençol freático. O **BUREAU OF RECLAMATION** (1976) por sua vez indica que a profundidade do lençol freático controla o gradiente hidráulico e este por sua vez, a infiltração. **KRAATZ** (1977) recomenda a construção de canais largos e pouco profundos em áreas com o lençol freático raso e estreitos e fundos em áreas com o nível freático profundo.

### 2.3.5. Sedimentos

Os sedimentos carregados na água vão penetrando nos poros do solo, formando uma fina camada, que impede a infiltração da água. A diminuição desta vai depender da quantidade destes sedimentos. Segundo **ZIMMERMAN** (1966) num canal de 17 Km construído na

França as perdas de água por infiltração foram reduzidas em 80% no final de cinco anos, devido a obstrução natural produzida pelo carreamento de limo. O **BUREAU OF RECLAMATION** (1976) reforça essa observação, acrescentando que a deposição de silte no leito do canal é um dos fatores que altera essas perdas, e quanto mais fino o grau de sedimentos, maior o selamento dos poros.

### 2.3.6. Tempo de Uso do Canal

Na maioria dos canais, em particular aqueles provenientes de rios em solo aluviais, é observado que as perdas de água por infiltração diminuem à medida que aumenta o tempo de uso do canal. Isto é consequência do selamento natural da área. Como indicado por **ZIMMERMAN** (1966) no estudo realizado na França com o canal de 17 Km de extensão após 5 anos a redução das perdas foram de 80%.

### 2.3.7. Velocidade de Fluxo

A redução da velocidade do fluxo facilita a sedimentação do material existente na água, contribuindo para redução da infiltração.

Em diversos projetos onde utilizam canais não revestidos, em uso estacional, a taxa de infiltração é alta nos primeiros meses e diminui gradativamente à medida que se aproxima o final desta. Por outro lado **BOWER et alli** (1963) verificaram que existe um efeito da velocidade na erosão, perímetro molhado e sedimentação, afetando de modo indireto à infiltração.

### 2.3.8. Temperatura do Solo e da Água

A temperatura da água e do solo são fatores que afetam consideravelmente as perdas de água por infiltração em canais de terra. Segundo consideram diversos autores, como **GRASSI** (1968), **HILLEL** (1970) e **BUREAU OF RECLAMATION** (1976).

Se houver gradiente de temperatura haverá uma indução termal sobre o fluxo de água. Com o aumento da temperatura global a taxa de infiltração aumenta, sendo este aumento atribuído a mudança da viscosidade e tensão superficial como indicado por **TAYLOR** (1972).

Existe transferência de água na fase vapor até as camadas mais profundas do solo quando a superfície está mais fria, **BAVER et alli** (1975) afirma que em condições de temperatura uniforme o fluxo de água é comandado pelas forças matriciais, pois estas predominam nas primeiras etapas da entrada de água no solo.

### 2.3.9. Ar do Solo

Em muitos estudos o efeito do ar existente no solo, é considerado desprezível, entretanto esta afirmativa pode ser prematura. **NOBLANC & MOREL-SEYTOUX** (1974) em ampla revisão, encontraram que não havia evidências experimentais para tal afirmação. Estes autores afirmam que o movimento do ar no solo é importante e afeta a infiltração, porém existem poucos dados experimentais que avaliem estes efeitos. **NOBLANC &**

MOREL-SEYTOUX (1974), citam trabalhos realizados por HORTON em 1940, WILSON LUTHIN em 1940 e KURAZ & KUTLER em 1970, onde estes encontraram que a infiltração chega a sofrer redução de até 1/3, e em alguns casos a compressão do ar chega a impedir completamente a infiltração.

## 2.4. Determinação da Infiltração

Os métodos para a determinar a infiltração em canais podem ser classificados em métodos de campo, de laboratório e empíricos. A eleição do método mais adequado depende da profundidade do lençol freático e da velocidade do fluxo, da capacidade de drenagem do canal, do material de construção e da velocidade de infiltração (ISRAELSEN E HANSEN, 1973).

### 2.4.1. Métodos de Campo

Os métodos de campo mais usados em canais de terra são: Entrada e Saída, Estancamento e Infiltrômetro.

Cada método oferece suas vantagens e limitações. O método de Entrada e Saída consiste na medição da água que entra no trecho do canal de irrigação e a água que sai do mesmo, sendo atribuído à infiltração a diferença entre as quantidades de água. De acordo com KRAATZ (1977) neste método é importante se levar em consideração a evaporação e as precipitações para que estes não influam nesta medição. As medições podem ser realizadas utilizando um molinete hidrométrico, saltos de água, vertedores e orifícios.

O método de estancamento referido por vários autores (ISRAELSEN & HANSEN, 1975; KRAATZ, 1977; LINSLEY & FRANZINI, 1978; BERNARDO, 1982.) como o mais preciso e simples consiste em barrar um trecho de canal, elevando o nível do líquido até certas alturas, e medir a queda desse nível após 24 horas.

O método do infiltrômetro consiste na utilização de medidores de infiltração que é um modelo modificado do permeâmetro de carga constante e desenhado para ser utilizado debaixo da água. Estes medidores são instrumentos adequados para determinar as taxas de infiltração local nos canais. São especialmente úteis para localizar trechos curtos de canal, onde a infiltração é excessiva.

### 2.4.2. Métodos de Laboratório

A quantidade de água perdida por percolação pode ser medida determinando-se a condutividade hidráulica do solo em amostras do material indeformada ou deformada. De acordo com KRAATZ (1977) as amostras podem ser retiradas com anel de Kopeck. A condutividade hidráulica é obtida utilizando-se a seguinte fórmula:

$$K = 864 \frac{L}{h+L} \times \frac{Q}{F} \times \frac{\eta t}{\eta^{10}}$$

onde  $K$  = condutividade hidráulica (m/24 horas)

$L$  = espessor da amostra do solo (cm)

$h$  = carga hidrostática sobre a amostra (cm)

$Q$  = descarga (cm<sup>3</sup>/s)

$F$  = seção transversal interior do cilindro (cm<sup>2</sup>)

$\eta_t$  = viscosidade da água utilizada (poises)

$\eta^{10}$  = viscosidade da água a 10°C

### 2.4.3. Métodos Empíricos

Entre as diversas fórmulas encontram-se:

#### a) Modelo de DAVIS & WILSON

$$SL = 0,45 \times C \times \frac{Pw \times L}{4 \times 10^6 + 3650 V^{1/2}} \times (Hw)^{1/3}$$

Onde

$SL$  = perdas por infiltração (m<sup>3</sup> por m de comprimento de canal por dia)

$L$  = comprimento do canal (m)

$Pw$  = perímetro molhado (m)

$Hw$  = altura de água no canal (m)

$V$  = velocidade de água no canal (m/s)

$C$  = constante depende do revestimento

#### b) Modelo de MORITZ

$$S = 0,2 \times C \times \frac{Q^{1/2}}{V}$$

Onde

$S$  = perdas por infiltração (pés<sup>3</sup>/s/milha de canal)

$Q$  = vazão (pés<sup>3</sup>/s)

$C$  = constante depende do tipo de solo

#### c) Na Índia se utiliza a seguinte fórmula:

$$S = c.a.d$$

Onde

$S$  = perda total (pés<sup>3</sup>/s)

$a$  = área do perímetro molhado (milhões pés<sup>2</sup>)

$d$  = altura da água no canal (pés)

$c$  = constante (1,1 a 1,8)

d) Na U.R.S.S. se utiliza a seguinte fórmula:

$$S = \frac{1,16}{Q} \times K \times qr$$

Onde

**S** = perda em porcentagem de água por Km de comprimento do canal.

**Q** = vazão do canal (m<sup>3</sup>/s)

**K** = permeabilidade saturada (m/dia)

**qr** = perda por infiltração específica reduzida,

isto é relação entre a velocidade de infiltração e a permeabilidade saturada do material do leito do canal.

## 2.5. ALTERNATIVAS PARA DIMINUIR A INFILTRAÇÃO DA ÁGUA NOS CANAIS

### 2.5.1. Revestimentos

De acordo com os UNITED STATES, DEPARTMENT OF INTERIOR (1962), os revestimentos são classificados como:

**2.5.1.1 Superfícies resistentes:** Onde são utilizados materiais como concreto, concreto asfáltico, pré-fabricado, pedras, solo-cimento e bloco.

**2.5.1.2. Membranas enterradas:** Que consiste na utilização de asfalto espalhado, asfalto pré-fabricado, plástico e betonita.

**2.5.1.3. Revestimentos de terra:** Utilizam-se para esta prática terra solta, terra compactada e terra com processo de sedimentação.

### 2.5.2. Uso de Argamassas

Argamassa de asfalto emulsionado ou líquido quente e cimento Portland são injetados nas rachaduras e juntas de canais feitos com rochas, pedras ou materiais arenosos grossos. De acordo com o ICID (1967), o uso dessa metodologia não tem sido empregado em canais feitos com materiais finos por ser economicamente inviável.

### 2.5.3. Selantes

Os materiais naturais ou elaborados artificialmente que podem achar-se na água corrente ou parada, pulverizam-se sobre o terreno ou injetam-se no subsolo para reduzir as perdas por infiltração nos canais. Aproveitando o fenômeno de obstrução dos poros se tem empregado certos materiais como: limo, argila natural betonita, polímeros resinosos, emulsões a base de petróleo, emulsões a base de asfalto catiônico, cloreto sódico, carbonato sódico (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), pirofosfato sódico (Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) e outras substâncias tais

como, a vinhaça, que surge como um possível selante do solo (INTERAMINENSE, A.E., et alli, 1975).

## 2.6. USO DA VINHAÇA DE CANA-DE-AÇÚCAR

### 2.6.1. Características Gerais da Vinhaça

A vinhaça é o principal resíduo da destilaria de álcool, conforme o esquema abaixo, sendo produzido na proporção de 13 a 15 litros de vinhaça por litro de álcool destilado. A composição química da vinhaça é variável, depende principalmente da composição do mosto submetido a destilação, que por sua vez está correlacionada com outros fatores, tais como matéria-prima e seu processamento.

CALDAS (cf. SILVA E ORLANDO, 1981) indica que a composição da vinhaça varia de região para região e de destilaria para destilaria, em função dos constituintes do melaço, da concentração do mosto e de outros fatores.

Em trabalhos conduzidos no Estado de Alagoas (safra 78/79), VASCONCELOS & OLIVEIRA (1979), constataram a heterogeneidade desse resíduo, como se observa no Quadro 1.

**QUADRO 1 - Composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Estado de Alagoas.**

ELEMENTOS	TIPO DE VINHAÇA		
	MOSTO DE MELAÇO	MOSTO MISTO	MOSTO DE CALDA
	-----	----- Kg/m <sup>3</sup> -----	-----
N	0,37 - 1,30	0,12 - 0,80	0,10 - 0,60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11 - 1,53	0,19 - 1,51	0,10 - 1,24
K <sub>2</sub> O	3,00 - 15,00	1,44 - 7,50	0,75 - 3,75
CaO	0,35 - 6,30	0,28 - 1,40	0,12
MgO	0,63 - 3,13	0,20 - 1,25	0,20 - 1,04
SO <sub>4</sub>	0,16 - 2,79	0,10 - 8,55	0,20 - 6,80
M.O.	33,9 - 85,91	16,85 - 59,27	18,81 - 35,30
	-----	----- ppm-----	-----
CCu	0,50 - 10,00	0,50 - 6,20	3,50 - 3,75
Fe	17,55 - 137,50	15,03 - 100,00	30,06 - 83,30
Zn	0,62 - 10,0	0,62 - 10,00	0,62 - 4,37
Mn	1,25 - 15,5	1,25 - 15,50	3,75 - 7,50
pH	3,90 - 5,20	3,55 - 4,40	3,45 - 3,80

Adaptado de VASCONCELOS & OLIVEIRA (1979).

M.O.: Matéria Orgânica

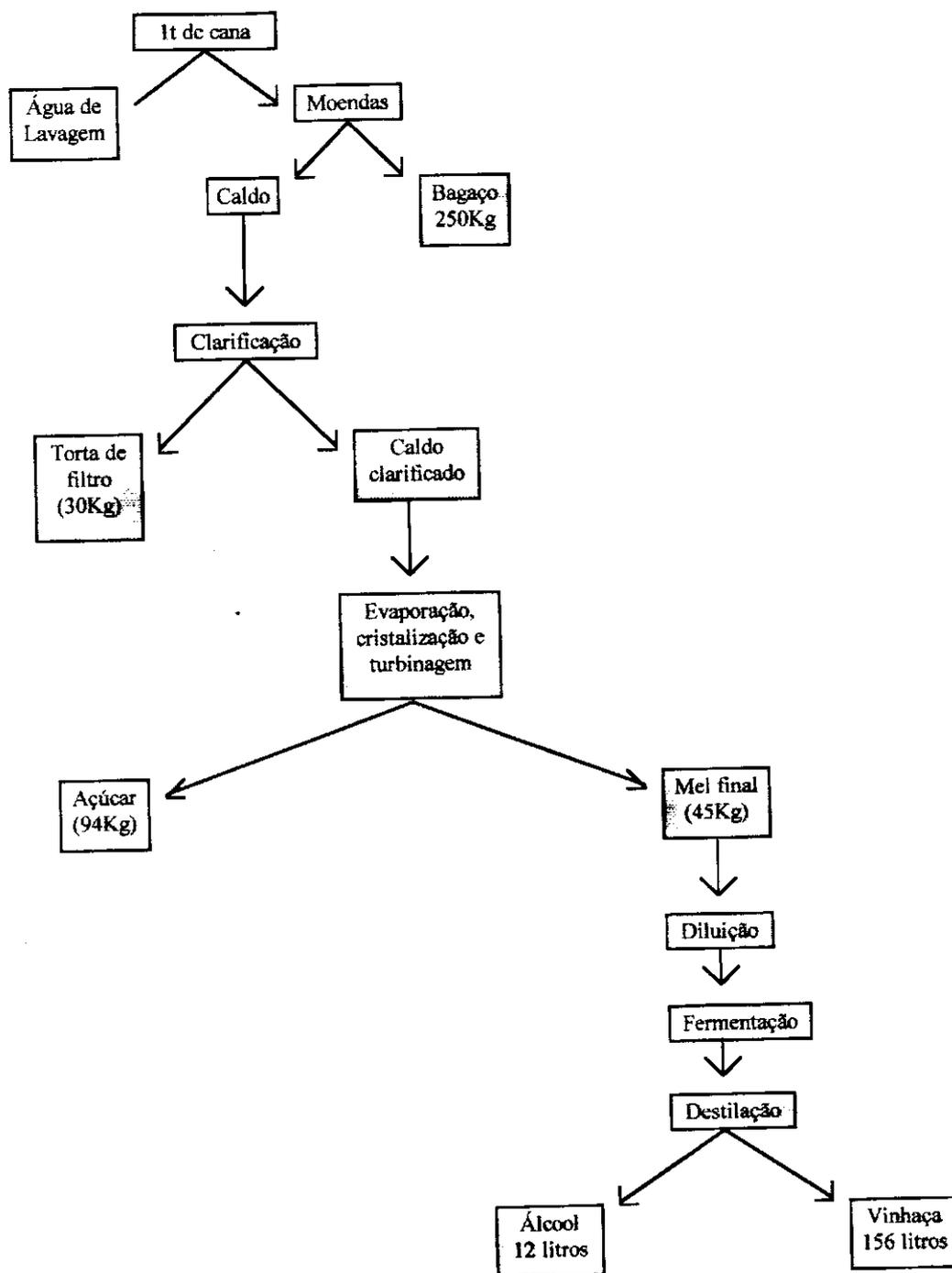


Figura 1 - Esquema de uma Usina de Açúcar com Distribuição Anexa

## 2.6.2. Efeito da Vinhaça Sobre as Propriedades Físicas do Solo

Uma condição normal de uma suspensão coloidal é sua completa dispersão; isto é, as partículas repelem-se entre si, permitindo a cada uma delas agir em completa independência das outras. É promovida pelas cargas negativas e pela hidratação, que aumenta pelo enxame de cátions hidratados ao redor da micela. A dispersão é intensificada por valores elevados de pH, em que a eletronegatividade se encontra no máximo. Quanto aos cátions presentes em maiores concentrações, seu efeito na dispersão ou floculação dos colóides do solo, varia conforme sua valência, raio hidratado e concentração. No que se refere aos efeitos da vinhaça sobre as propriedades físicas do solo, são poucas as informações disponíveis (REZENDE 1984).

Embora exista um número reduzido de dados experimentais, suponha-se normalmente que a vinhaça tenha efeito dispersante sobre a argila do solo, o que pode resultar na compactação, deste. RIBEIRO (1983), avaliou o efeito de duas vinhaças com diferentes composições químicas sobre a dispersão da fração argila em Latossolos, encontrando que as vinhaças atuam como floculante nos solos de textura argilosa e como dispersante nos solos de textura média. A vinhaça com maior concentração de cátions apresentou menor efeito de dispersão em todos os solos. Esses resultados confirmam o modelo de BAVER et alli (1973) que diz que a floculação ou dispersão de argila no solo depende da concentração e do balanço de cátions na vinhaça, além da natureza da fração argila.

A concentração de cátions na vinhaça e na natureza da fração argila, além da dosagem aplicada são fatores que ocasionam a floculação ou dispersão de argila em Latossolos como apresenta RIBEIRO & SENGIK (1982), em trabalhos com várias doses de vinhaça, chegando até 180 m<sup>3</sup>/ha, dose esta que promoveu a dispersão do Latossolo Vermelho-Amarelo e alterações semelhantes porém menos consistentes em Latossolos Vermelho-Escuro. Ensaio de laboratório aplicando doses até de 400m<sup>3</sup> de vinhaça por hectare, não apresentaram 4 meses após alterações nas propriedades físicas do solo (RAMOS, 1981).

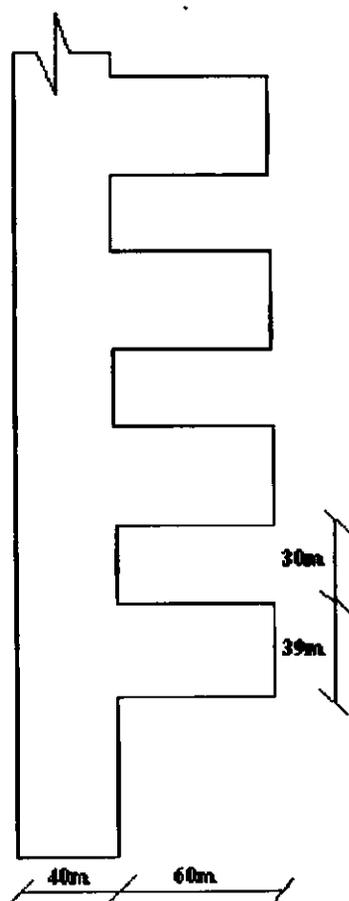
Em um solo franco-argilo-arenoso submetido à aplicação de vinhaça em doses que variavam de 60 a 420 m<sup>3</sup>/ha, não foram verificadas mudanças no estado de floculação, 120 dias após a aplicação. Como pode-se observar no trabalho de REZENDE (1979) citado por RIBEIRO (1982).

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOLO DA ÁREA

O experimento de campo foi conduzido no período de novembro a dezembro de 1992 na Unidade Produtora de Cana, Açúcar e Álcool (UPCAA), da Usina Coruripe localizado no município de Coruripe, no Estado de Alagoas. O solo estudado foi um Podzólico Amarelo plano, moderadamente drenado. Algumas características físicas são apresentadas no **Quadro 2**.

#### 3.2. CARACTERÍSTICAS DOS CANAIS



Os canais foram construídos com 6 metros de comprimento, um talude de 1:1 e uma base, profundidade e declividade de 0,5m, 1,7m e 1% respectivamente. Foram escavados um total de 28 canais numa área de 4.000m<sup>2</sup>.

Foi construído um dreno coletor, com uma declividade de 5% interligando todos os canais, para permitir a drenagem da vinhaça após o tratamento. A **Figura 2** mostra o layout do sistema de condução e distribuição.

Detalhes da seção transversal e longitudinal de um canal são mostrados na **Figura 3**.

As **Figuras 4 e 5** apresentam uma vista parcial da retroescavadeira abrindo os canais e de um canal já construído.

**Figura 2** - Layout do Sistema de Condução e Distribuição

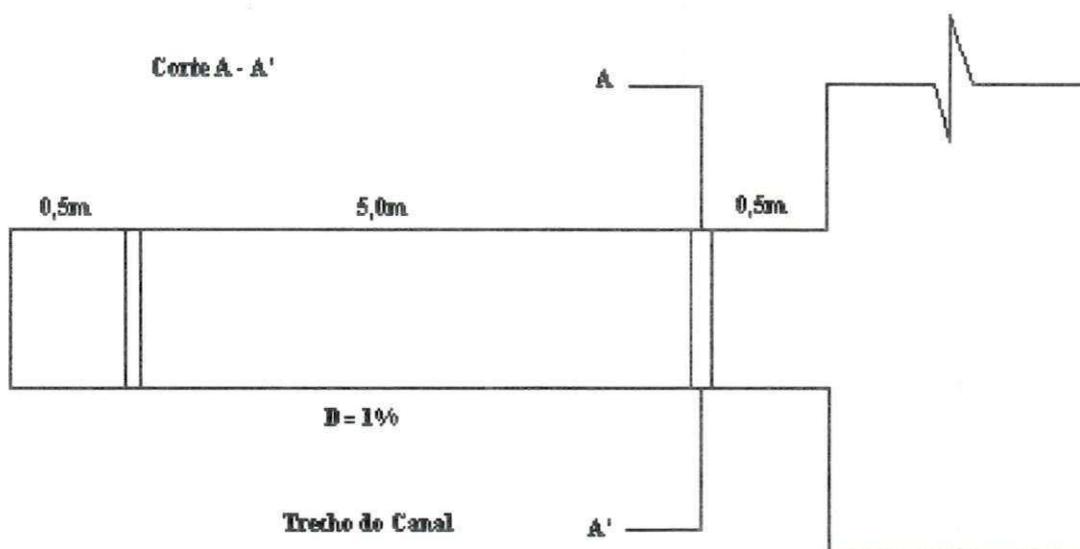


Figura 3 - Detalhes da Seção Transversal e Longitudinal de um Canal



Figura 4 - Vista Parcial da Retroscavadeira abrindo os canais.

### 3.3. MEDIÇÃO DA PERCOLAÇÃO

As perdas de água por percolação nos canais foram medidas através do método de Estancamento, descrito por **BERNARDO** (1982). Esse método, considerado o mais simples e de alta precisão consistiu em isolar um trecho de 5 m de extensão onde as perdas são determinadas após 24 horas do início do processo de infiltração.

Para obter-se o estancamento, foram colocadas duas comportas nos canais, como mostrado na **Figura 6**.

A evaporação e a precipitação neste trecho foram estimadas, respectivamente, através de dados de evaporação de um tanque **Classe A** e de um pluviômetro, existentes próximo aos canais.

A taxa de infiltração foi obtida relacionando-se o volume infiltrado nas 24 horas ( **$W(d_1-d_2)L$** ), e a área molhada do trecho do canal ( **$PL$** ), de acordo com a equação apresentada por **KRAATZ** (1977).

$$S = \frac{W(d_1 - d_2)L}{PL}$$

onde  **$S$**  é a infiltração média ao longo do comprimento do trecho  **$L$**  em  $m^3/m^2/dia$ ;  **$W$**  é a largura média da superfície do fluido no trecho estancado;  **$d_1$**  e  **$d_2$**  as alturas das lâminas de água nos tempos 0 e 24 h, e  **$P$**  o perímetro molhado médio.

### 3.4. Tratamentos

Para estudar o desempenho da vinhaça como elemento redutor da infiltração, aplicou-se esta nos canais de irrigação estáticos e posteriormente mediu-se a infiltração quando colocou-se no canal vinhaça, água de lavagem de cana e água de irrigação.

A infiltração ocorrida foi comparada com aquelas determinada em canais testemunhas (sem aplicação do elemento redutor).

Assim tem-se os seguintes tratamentos:

**$A_2B_1$** : Vinhaça

**$A_2B_2$** : Água de lavagem de cana

$A_2B_3$ : Água de irrigação

$A_1B_1$ : Vinhaça + Vinhaça

$A_1B_2$ : Vinhaça + Água de lavagem da cana

$A_1B_3$ : Vinhaça + Água de irrigação

A vinhaça in natura utilizada no trabalho foi proveniente de mosto misto da própria usina. A composição química desta é apresentada no **Quadro 3**. Cada tratamento foi repetido 4 vezes. A duração total do experimento de campo foi de 120 dias. A primeira etapa do trabalho, iniciada em dezembro de 1991, foi interrompida em função das fortes chuvas, sendo instalado novamente em novembro do ano seguinte, onde a primeira fase foi dedicada à abertura dos canais e da trincheira para descrição do perfil do solo.

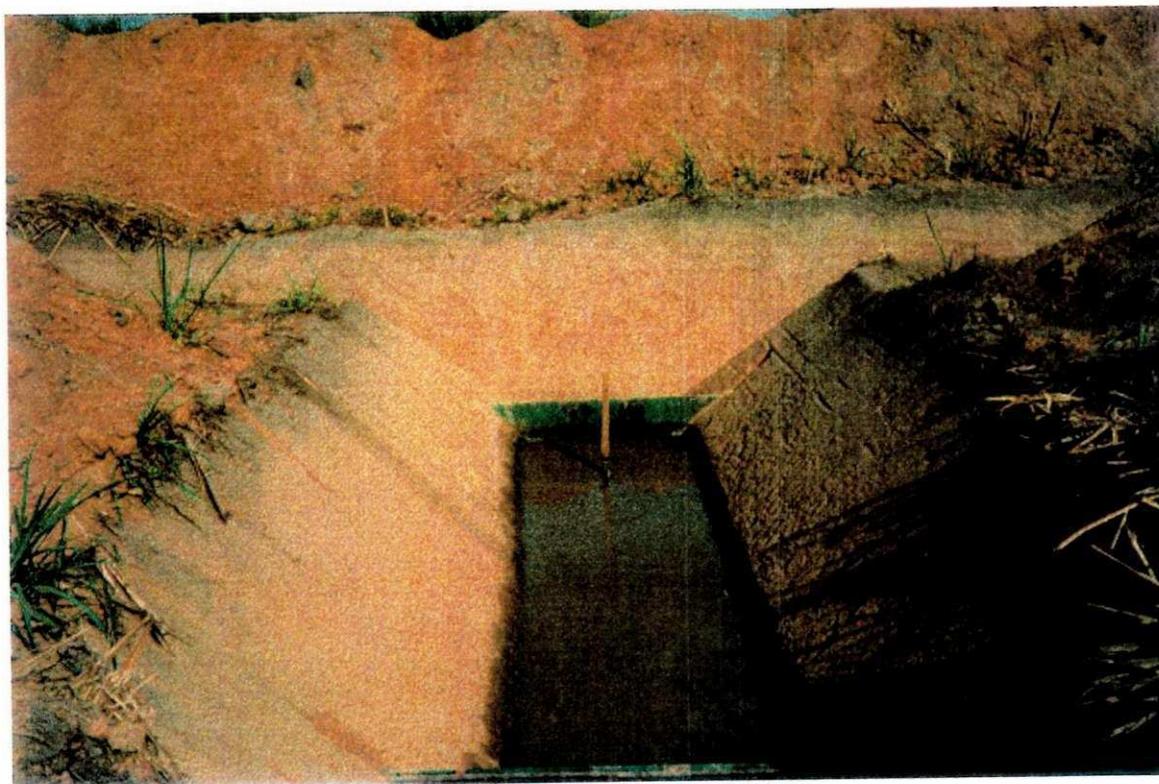
### 3.4.1. Procedimento e Aplicação

A derivação da vinhaça para cada um dos canais pré-tratados com vinhaça foi feita através de tubos de irrigação. Manteve-se durante 24 horas uma lâmina constante de 40cm. Transcorridas as 24 horas, a vinhaça era conduzida para o dreno coletor e evacuada da área experimental. O canal era deixado vazio durante 3 dias e posteriormente aplicava-se novamente vinhaça, água de lavagem e água de irrigação dependendo do tratamento. O volume aplicado foi medido com réguas fixadas no fundo do canal, as quais serviriam ainda para medir a infiltração (**Figura 7**). Para reduzir a erosão no fundo do canal pela aplicação da vinhaça e dos demais tratamentos colocou-se uma lona de plástico sob o mangote, que ao terminar a derivação era retirada.

As perdas de vinhaça, água de lavagem e água de irrigação foram avaliadas antes e após o pré-tratamento com vinhaça. Amostras de solo do talude e do fundo do canal foram obtidas inicialmente, após o pré-tratamento com vinhaça e após a aplicação dos tratamentos para estudar o efeito destes sobre as propriedades do solo e tentar explicar seu efeito sobre a infiltração de água nos canais. As amostras do solo foram levadas para o laboratório da Usina Coruripe e determinadas a densidade aparente e a porosidade total pelos métodos do cilindro e de venocil, respectivamente (**BLAKE, 1965**).

### 3.5. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

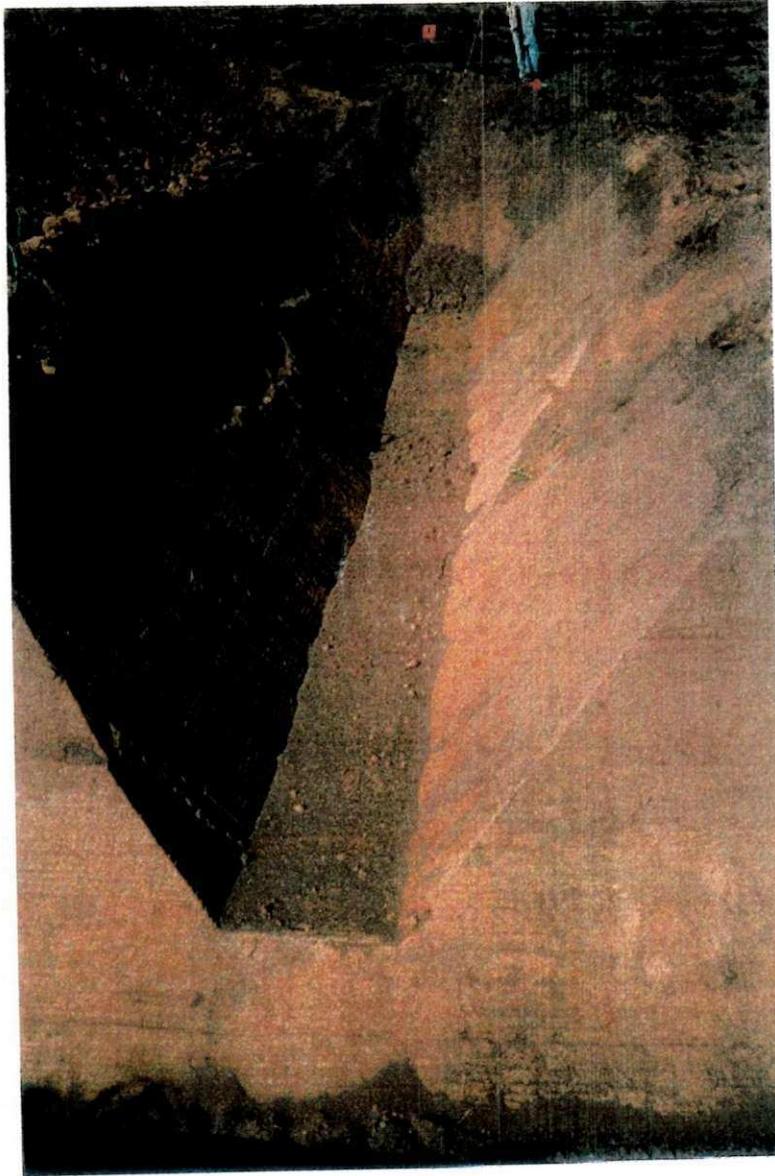
O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados com seis tratamentos e quatro repetições. A análise de variância e a comparação entre as médias dos tratamentos foram feitas de acordo com as recomendações de **COCRHAN E COX (1957)**.



**Figura 5 -** Vista Parcial de um canal Recém Escavado.



**Figura 6 -** Comportas utilizadas para conseguir o estancamento do fluido nos canais.



**Figura 7-** Régua usada no controle de volume e no declínio do fluido no canal.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - PRECIPITAÇÃO E EVAPORAÇÃO

O Quadro 2 apresenta a precipitação e a evaporação diária ocorrida durante o período experimental na área em estudo. Observa-se que não houve precipitação significativa no período, desse modo as perdas por percolação do fluido foram corrigidas apenas no tocante a evaporação. Essa correção foi feita pela subtração do valor da evaporação, corrigida no dia da aplicação do tratamento, do volume percolado em cada canal estudado. A Tabela 1 demonstra os cálculos das perdas de água por percolação totais e corrigidas para os diferentes tratamentos.

**QUADRO 2 - Evaporação e Precipitação total observada durante o período experimental.**

DATA	PRECIPITAÇÃO (mm)	EVAPORAÇÃO (mm)
11/11	-	8.00
12	-	8.00
13	-	8.40
14	-	7.00
15	-	7.40
16	-	7.40
17	-	8.30
18	-	8.30
19	0.3	8.30
20	0.3	8.20
21	2.6	2.48
22	0.8	8.29
23	3.6	8.20
24	2.4	6.00
25	-	7.60
26	-	8.40
27	-	6.00
28	-	10.00
29	4.1	4.00
30	3.1	0.65
1/12	-	8.00
2	-	6.50
3	-	8.70
4	-	9.00
5	-	8.20
6	-	7.10
7	-	10.50
8	-	7.40

TABELA 1. Determinação das perdas de água por infiltração.

BLOCOS	Tratamento	DI (d <sub>1</sub> -d <sub>2</sub> ) (metros)	Evaporação diária (mm)	DJ - E (metros)	W (metros)	P (m <sup>2</sup> )	S (%)
I	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	0.100	6.0	0.094	1.39	1,6314	0.080
	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	0.050		0.044	1.37		0.037
	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	0.400		0.394	1.38		0.333
	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0.120		0.114	1.38		0.096
	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	0.180		0.174	1.40		0.149
	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	0.250		0.244	1.34		0.200
II	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	0.255	8.0	0.247	1.40		0.212
	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	0.130		0.122	1.39		0.104
	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	0.370		0.362	1.41		0.313
	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0.280		0.272	1.40		0.233
	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	0.030		0.022	1.36		0.018
	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	0.340		0.332	1.37		0.279
III	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	0.090	8.3	0.0817	1.39		0.069
	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	0.105		0.0967	1.36		0.081
	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	0.190		0.1817	1.39		0.155
	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0.180		0.1717	1.42		0.149
	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	0.125		0.1167	1.36		0.097
	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	0.160		0.1517	1.36		0.126
IV	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	0.050	7.4	0.0426	1.35		0.035
	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	0.080		0.0726	1.33		0.059
	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	0.390		0.3826	1.36		0.319
	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	0.040		0.0326	1.36		0.027
	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	0.220		0.2126	1.39		0.181
	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	0.400		0.3926	1.38		0.332

A<sub>1</sub> - com redutor de infiltração (vinhaça "in natura") A<sub>2</sub> - sem redutor de infiltração B<sub>1</sub> - vinhaça B<sub>2</sub> - água de lavagem  
B<sub>3</sub> - água de irrigação

#### 4.2 PERDAS POR PERCOLAÇÃO

O Quadro 3 mostra a média das perdas por percolação de cada tratamento ocorridas durante as primeiras 24 horas de fluxo nos canais, subtraindo-se as perdas por evaporação.

Quadro 3 - Média das perdas por percolação em cada tratamento.

TRATAMENTO	Percolação (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /dia) <sup>1</sup>
Vinhaça	0,120 a
Água de lavagem	0,140 a
Água de irrigação	0,230 b
Vinhaça + Vinhaça	0,100 a
Vinhaça + água de lavagem	0,070 c
Vinhaça + água de irrigação	0,280 b

<sup>1</sup> As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Duncan, ao nível de 1% de probabilidade.

##### 4.2.1 INFLUÊNCIA DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS FLUIDOS NA PERCOLAÇÃO

Conforme os resultados apresentados no Quadro 3, verifica-se que quando os canais de irrigação não tiverem um pré-tratamento com vinhaça que corresponde aos três primeiros tratamentos, a água de irrigação apresentou uma percolação de 0,23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, maior que as de água de lavagem e vinhaça que foram respectivamente: 0,14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia e 0,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia. Conforme quadro 4, e lembrando ainda que o canal teve uma profundidade de

1,7m (Figura 1), esses resultados confirmam a variação de perdas por percolação em solos de textura argilosa apresentada por Lislely e Franzini (cf. LIMA, 1987) que foi de 0,073 a 0,23 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia.

A infiltração de qualquer fluido no solo é função das características deste e do fluido em análise. Como o solo é o mesmo em qualquer dos tratamentos, então a infiltração deverá ser função principalmente das características dos fluidos. Dentre estas características, a densidade e a viscosidade tem maior importância. As perdas por percolação da água de irrigação foram as maiores, seguramente devida a sua baixa densidade e viscosidade que foram respectivamente 0,99708 g/m<sup>3</sup>, 0,8937 10<sup>-2</sup>. g/cm.s. Isso favorece a sua movimentação através do perfil do solo. Os materiais em suspensão contidos na água de lavagem devem ter contribuído, provavelmente, para um certo grau de selamento dos poros do solo, diminuindo a permeabilidade do solo e conseqüentemente sua percolação. As perdas de vinhaça, embora estatisticamente iguais às perdas de água de lavagem, devem ter sido as menores, devido a alta densidade (1,045 g/m<sup>3</sup> a 15°C), viscosidade (1,5 10<sup>-2</sup>g/cm.s. e características químicas, conforme Quadro 5.

Quadro 4 - Análise granulométrica do solo estudado.

Prof. (cm)	Granulometria				Densidade (g/cm <sup>3</sup> )		Classificação textural <sup>1</sup>
	areia(%)				Global	das Partículas	
	Grossa	Fina	Silte	Argila			
0 - 19	51	34	6	9	1,65	2,83	areia franca
19 - 40	51	37	4	8	1,65	2,68	areia franca
40 - 60	40	34	8	18	1,57	2,58	barro arenoso
60 - 147	26	22	4	48	1,41	2,70	argilo arenoso
147 - 160	22	17	4	57	1,35	2,70	argila

<sup>1</sup> Classificação segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

Quadro 5 - Composição química da vinhaça da Usina Coruripe no Estado de Alagoas.

ELEMENTO	TIPO
	VINHAÇA
	-----%-----
N	0,041
P205	0,020
K20	0,280
CaO	0,065
MgO	0,033
Na	0,017
	----- ppm -----
Cu	1,6
Fe	46,0
Zn	1,4
Mn	4,0
pH	4,6

#### 4.2.2. EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO COM VINHAÇA

Conforme o Quadro 3 os canais receberam pré-tratamento com vinhaça apresentaram perdas por percolação na ordem de 0,10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, 0,07 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia e 0,28 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia para vinhaça, água de lavagem e água de irrigação, respectivamente.

**Quadro 6 - Variação da densidade global e da porosidade total com os tratamentos, no fundo do canal.**

Parâmetros Amostra	Solo Virgem		após pré-tratamento		Após aplicação dos tratamentos		
	D <sub>g</sub> <sup>1</sup>	P <sub>t</sub> <sup>2</sup>	D <sub>g</sub>	P <sub>t</sub>	Tratamento	D <sub>g</sub>	P <sub>t</sub>
Canal 1	1.32	48.52	-	-	Vinhaça	1.63	48.52
Canal 2	1.45	43.20	1.63	36.38	Vinhaça	1.44	52.05
Canal 3	1.32	51.97	-	-	Ág.de Lavagem	1.33	55.41
Canal 4	1.37	47.44	1.50	43.16	Ág.de Lavagem	1.61	44.48
Canal 5	1.70	38.89	-	-	Ág.de Irrigação	1.15	37.25
Canal 6	1.28	57.06	1.39	45.71	Ág.de Irrigação	1.45	40.00

<sup>1</sup>D<sub>g</sub> = Densidade global (g/cm<sup>3</sup>)

<sup>2</sup>P<sub>t</sub> = Porosidade total (%)

**Quadro 7 - Variação da densidade global e porosidade total com os tratamentos, nas paredes do canal.**

Amostra	D <sub>g</sub> <sup>1</sup>	P <sub>t</sub> <sup>2</sup>	D <sub>g</sub>	P <sub>t</sub>	Tratamento	D <sub>g</sub>	P <sub>t</sub>
Canal 1	1.28	55.13	-	-	Vinhaça	1.28	52.19
Canal 2	1.21	52.61	1.43	45.13	Vinhaça	1.41	44.89
Canal 3	1.46	47.44	-	-	Ág.de Lavagem	1.35	52.18
Canal 4	1.16	54.12	1.57	38.89	Ág.de Lavagem	1.54	42.33
Canal 5	1.23	54.38	-	-	Ág.de Irrigação	1.47	44.03
Canal 6	1.27	48.00	1.43	42.69	Ág.de Irrigação	1.42	43.88

<sup>1</sup>D<sub>g</sub> = Densidade global (g/cm<sup>3</sup>)

<sup>2</sup>P<sub>t</sub> = Porosidade total (%)

A porosidade no canal 6 sofreu uma redução na ordem de 5,31% após aplicação da vinhaça em pré-tratamento e leve oscilação, 1,19% para mais, após o tratamento com água de irrigação.

Analisando os Quadros 6 e 7 distinguiu-se que pequenas variações ocorreram quando se tratava de um solo mais arenoso, como o das paredes do canal e aquele que constituía o fundo dos canais que se apresentou mais argiloso.

O tratamento apresentou reduções na percolação dos tratamentos com vinhaça e água de lavagem, e vinhaça com redução na porosidade de 5,54% e 10,19% respectivamente.

Pelos dados obtidos nota-se que a aplicação da vinhaça em pré-tratamento reduziu também a porosidade dos canais que receberam água de irrigação, apesar da percolação ter se mantido superior aos outros tratamentos.

A avaliação para a porosidade nas paredes dos canais, apresenta uma redução semelhante à que ocorreu no solo do fundo dos canais quando na aplicação do pré-tratamento com vinhaça. Segundo LINSLEY e FRANZINI cf. LIMA (1987), dispersante ou floculação da vinhaça dependerá da natureza da argila, da concentração de cátions na vinhaça, além da dosagem aplicada.

#### 4.2.2.1 - Variação da Porosidade no Fundo dos Canais

Quando se observam os dados de porosidade do fundo (Quadro 6), nos três canais que receberam aplicação da vinhaça como pré-tratamento, a porosidade total sofreu redução de 6,82%, 4,44% e 11,35% para os canais 2, 4, 6 respectivamente.

Os canais que receberam vinhaça como tratamento tiveram: redução de porosidade de 9% para o canal sem pré-tratamento e aumento de 1,2% no canal com pré-tratamento. Aparentemente, após a primeira aplicação de vinhaça teria acontecido uma dispersão das argilas do solo, fato que teria regredido quando da segunda aplicação de vinhaça.

Importante é mencionar que o volume total de vinhaça aplicado no canal 2 foi de 6.800 m<sup>3</sup>/h de vinhaça. A regra de SHULT e HARD (Rose, 1965), indica que agentes dispersantes quando aplicados em altas doses pode se transformar em agentes floculantes.

#### 4.2.2.2 - Variação da Porosidade nas Paredes dos Canais

Nas paredes dos canais que receberam o pré-tratamento houve reduções nos valores de porosidade de 7,48% para o canal 2, 15,23% para o canal 4, e 5,31% para o canal 6.

Os canais que receberam tratamento de vinhaça apresentaram redução na porosidade de 2,94% no canal sem pré-tratamento (canal 1) e 0,53% no canal com pré-tratamento (canal 2).

O quadro 7 mostra que para o tratamento água de lavagem, houve um aumento na porosidade das paredes de 7,72% no canal sem pré-tratamento e 3,4% no canal com pré-tratamento.

Verifica-se uma redução na porosidade das paredes do canal, após aplicação da água de irrigação, de 10,35% para o canal 5 e aumento da mesma quando aplicado o tratamento no canal 6, com pré-tratamento, de 1,19%.

Analisando os Quadros 6 e 7 distingui-se que pequenas variações ocorreram quando se tratava de um solo mais arenoso, como o das paredes do canal e aquele que constituía o fundo dos canais, que se apresentou mais argiloso.

Segundo LINSLEY e FRANZINI cf. LIMA (1987), a dispersão ou floculação da vinhaça dependerá da natureza da argila, da concentração de cátions na vinhaça, além da dosagem aplicada.

### 4.3 - ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

No Quadro 8 encontram-se os resultados da análise de variância de acordo com o delineamento adotado

**Quadro 8 - Análise de variância.**

Causa da Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	5	0.0197	0.0066	1.18 <sup>ns</sup>
Tratamento	3	0.1398	0.0279	4.98**
Resíduo	15	0.0843	0.0056	-
Total	23	0.2438		-

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

<sup>ns</sup> Não significativo

Os Quadros 8 e 9 mostram como já mencionado, a análise da variância e o teste dos comportamentos das médias de tratamento. Observa-se que o teste F. apresenta uma diferença significativa para os tratamentos, comprovada com o teste de comparação das médias (Teste de Ducan).

**Quadro 9 - Comparação das médias dos tratamentos.**

#### Teste de Ducan

$$S_x = 0,0234$$

valor de p	2	3	4	5	6
SSR	4,17	4,37	4,50	4,58	4,64
LSR	0,098	0,102	0,105	0,107	0,109
A1B	A1B1	A2B2	A2B1	A2B3	A1B3
3,020	3,092	3,164	3,164	3,424	3,527

## 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos levam às seguintes conclusões:

- 1 - As perdas de água em canais recém-construídos de irrigação, água de lavagem e vinhaça foram 0,23; 0,14 e 0,12 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dia, respectivamente. As características físico-químicas do fluido influenciaram no grau de percolação.
- 2 - O pré-tratamento dos canais de irrigação com vinhaça aumentou a densidade global e conseqüentemente diminuiu a porosidade total do solo, responsável pela percolação.
- 3 - Após o pré-tratamento com vinhaça a percolação variou em função da textura e do fluido aplicado.
- 4 - Quando aplicou-se água de lavagem, houve uma diferença significativa a nível de 1% de probabilidade na percolação

### 5.2. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se repetir o ensaio de campo analisando-se detalhadamente o efeito que a vinhaça possa ter sobre os fenômenos de floculação e dispersão das argilas do solo.

Estudar o efeito redutor da vinhaça para diferentes características físico-químicas.

Estudar de forma mais judiciosa o efeito das propriedades físico-químicas dos fluidos.

Desenvolver esse estudo para canais com diferentes condições de uso.

Estudar o efeito temporal da vinhaça nas propriedades físicas do solo.

Estudo para desenvolver estratégias de manejo da aplicação da vinhaça.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAVER, L.D.; GARDNER, H.W. e GARDNER, R.W. **Física de Suelos**. El agua del suelo. Regimen de humedad del campo. p.385-391. U.I.E.H.A. México. Bueno Aires. 1975.
- BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Part. 1. Agronomy nº 9, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, Madison, Wisconsin. 1965, . p. 61.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Impr. Univ. UFV, Viçosa-MG. 1982. p. 112.
- BOWER, H.; MYERS, L.E. e RICE, R.C. Effect of Velocity on seepage and its Measurement, **Transactions American Society of CivilEngineers**, n 3475, vol. III. 1963.
- BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**, 6ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1983. p. 109-113.
- COCHRAN, W.G. & COX, G.M. **Experimental design**. John Wiley & Sons., 2a Ed. 1957. p.148-181.
- FREYBERG, L.D.; REEDER, J.W.; FRANZINI, J.B.; REMSON, I. Aplicacion of the GREEN-AMPT model to infiltration under time- dependent surface water dephts. **Water resources research**, vol. 16, n3. p.517-528. jun./1980.
- GAVANDE, A.S. **Física de Suelos**, Principios y Aplicaciones, ed.Limusa, Mexico, 1979. p.199-207.
- GRASSI, J.C. Estimación de los usos consuntivos de agua y requerimento de riego con fines de formulacion y diseño de proyectos, criterios, procedimientos. **CIDIAT**. Merida. Venezuela 53p. enero/1968.
- HARR, E.M. **Groudwater and Seepages. Seepage from canals and ditches**. McGraw-Hill Book. Company, New York. 1962.. p.231-246.
- HILLEL, D. **Soil and Water**:. physycal principles and processes Academia press, New York. 1970.
- HOLMES, J.W.; TAYLOR, S.A. e RICHARDS, S.J. Measurement of soil water. In: HAGAN, R.H. et alii.. Irrigation of Agricultural Lands. n.11. **American Society of Agronomy**, Madison Wisconsin, USA, 1967. p.297-298.
- HUMBERT, R.P.. **El cultivo de la caña de azúcar**. Continental. México, 1974. p.
- ICID. Controlling Seepage losses from Irrigation cannals. World-Wide Survey, 1967.
- IRYDA.. Diseño y Construcción de Pequeños Embalses. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. **Manuales técnicos**. 2. 1986. p. 108-124.

- ISRAELSEN, O.W. & HANSEN, V.E.. **Princípios y aplicaciones del riego**. Edt. Reverté S.A., Barcelona, 1973. p. 83-84.
- INTERAMINENSE, A.E.; LOUREIRO, B.T.; SILVA, J.S. e SILVA, T.C.A. **Impermeabilização de canais de terra com substâncias químicas para fins de irrigação**. In: Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem. 3., Fortaleza, 1975. Anais s.l, DNOCS, s.d., p.302-17.
- KRAATZ, D.B.. **Revestimento de canales de riego**. FAO, Roma, 1977. p. 1-54.
- LAURITZEN, C.W. & TERREL, P.W.. Reducing water losses in conveyance and storage. In: HAGAN et alii.. Irrigation of Agricultural Lands, n.11. **American Society of Agronomy**. Madison Wisconsin, 1967. p. 1105.
- LIBARDI, P.L.. **Dinâmica da água no sistema solo-planta-atmosfera**. Piracicaba - SP, jun. 1984. p. 163-183.
- LIMA, L.A.. Polietileno, compactação e tratamento químico na redução das perdas de água por infiltração em canais de irrigação. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília (DF), 22(11/12): 1201-1207. Nov-Dez, 1987.
- LINSLEY, R.K. & FRANZINI, J.B.. **Engenharia de recursos hídricos** EDUSP/McGraw-Hill do Brasil Ltda. São Paulo. 1978. p. 327-34.
- NOBLANC, A. & MOREL-SEYTOUX, H.J.. Discussion of Perturbation Analysis of two-phase infiltration. **Journal of the Hydraulics Division. ASCE**. vol:100 n.HY4. apr. 1974 p. 599-607.
- PAIVA, E.M.C.D. & VILLELA, S.M.. Eficiência de revestimento de canais. Cong. Nac. Irr. Dren., 8, **Anais**, Florianópolis - SC, 9-15/Out/1988. p.345-367.
- PHILIP, J.R.. Theory of infiltration: 5. The influence of the initial moisture content. **Soil Sci.**, 84(4):329-339. 1957.
- RAMOS, D.P. Aproveitamento da vinhaça como fertilizante nos solos da região açucareira do estado do Rio. Itaguaí. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Solos, 1981. 326p.
- REICHARDT, K.. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Campinas, Fundação Cargill.
- REZENDE, J.O.. Vinhaça: Outra grande ameaça ao meio ambiente. **Rev. Magistra**, Cruz das Almas. Ed. especial, jun. 1984.
- RIBEIRO, A.C. et alii.. Efeitos da vinhaça sobre a dispersão de argila de amostras de Latossolos. **Rev. Ceres**, 30(167):12-18. jan-fev:1983.

- RIBEIRO, A.C. & SENGIK, E. Efeito da aplicação de vinhaça nas propriedades físicas e químicas de duas amostras de Latossolo. *Rev. Ceres*, 30(167):25-31.jan-fev.1983.
- ROSE, C.W. Agricultural Physics. Pergamon Press. Oxford. England, 1965. p. 88-119.SILVA, G.M.A. & ORLANDO Fo.,J.. Caracterização da composição química dos diferentes tipos de vinhaça no Brasil. *Bol. Téc. PLANALSUCAR*, Piracicaba - SP, 3(8):5-22. Ago, 1981.
- SILVA, C.A.. **Efeito da irrigação com vinhaça por sulcos no solo e na cana-de-açúcar**. Univ. Fed. da Paraíba, Campina Grande - Pb, 1983. 63p. (Tese de Mestrado).
- TAYLOR, S.A.. Physical edaphology: **The physics of irrigated and nonirrigated soils**. ASHCROFT, G.L. rev. ed. San Francisco: Freeman and Company, 1972. p.217-226.
- TROUT, T.J.. Measurement device effect on channel water loss, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, vol. 109, n.1, march, 1983. p. 60-71.
- UNITED STATES DEPARTMENT of the INTERIOR.. **Linings for Irrigation Canals**, 2ed. 1976. **Bureau of Reclamation**. p. 13-27.
- VASCONCELOS, J.N. de & OLIVEIRA, C.G. de.. Composição química dos diferentes tipos de vinhaça das destilarias de álcool de Alagoas, safra 78/79. *Saccharum STAB*, 4(14):32:6. Maio, 1979.
- VARSHNEY, R.S.; GUPTA, S.C. & GUPTA, R.L.. **Theory e Design of irrigation structures: Channells e tubewells**. 4ed. **New Chand e Bros Roorkees**, vol. 1. 1979.
- ZIMERMAN, D.J. **Irrigation**. John Wiley e Sons, Inc., New York. London. 1966. 516p.