

**DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E FERTILIZANTE NO SOLO EM COQUEIRAL  
MICROIRRIGADO**

**LUÍS DE FRANÇA CAMBOIM NETO**

C 342530  
DISPONÍVEL

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

**DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**

T  
631.587  
C 186d  
1995  
ex. 2

**FORTALEZA - 1995**

UFC/BU/BCT 23 Mai 1997



R598232 Distribuição de água e fertilizante no s  
C342530

Esta dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se à disposição dos interessados na Biblioteca Central.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja de conformidade com as normas da ética científica.

\_\_\_\_\_  
Luís de França Camboim Neto

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 12/12/95

\_\_\_\_\_  
Prof. Moisés Custódio Saraiva Leão, Ph.D.

Orientador da Dissertação

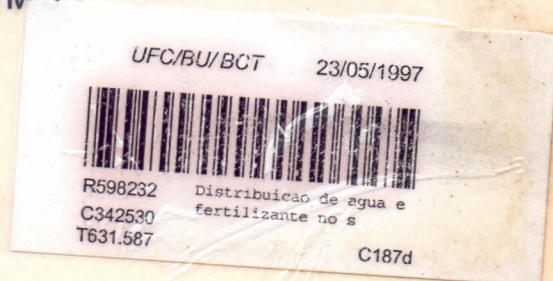
\_\_\_\_\_  
Prof. Lindbergue Araújo Crisóstomo, Ph.D.

Co-orientador da dissertação.

\_\_\_\_\_  
Prof. Paulo Teodoro de Castro, M.S.

Conselheiro

ii



Aos meus pais,

Heleno e Alice Camboim

### **MINHA GRATIDÃO**

A minha esposa e filha,

Telma Regina e Thaís

### **MEU CARINHO**

A meus irmãos,

Fátima, Lúcia, Pedoca,

Beca, Pepeta, Dedé e

Mira

### **DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Ceará, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pelo apoio necessário a realização do curso de Pós-Graduação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por tornar viável a realização do curso através de bolsa de estudo.

À Empresa Agrícola Frutop Produtora de Alimentos S.A., onde foram executado os testes de campo, pelo apoio dado no desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Professor Moisés Custódio Saraiva Leão pela valiosa orientação e constante desejo de aprimorar o conteúdo do presente trabalho.

Ao professor Lindbergue Araújo Crisóstomo, por seu empenho na realização deste trabalho.

Ao Professor Paulo Teodoro de Castro, pelas orientações, sugestões e disponibilidade.

À todos os professores do Curso de Mestrado em Irrigação e Drenagem e do Departamento de Engenharia Agrícola.

Aos Professores Luiz Gonzaga Rebouças Ferreira e Tito Lívio Cruz Romão, e a minha amiga Célia Marilac de Oliveira.

Aos meus colegas de turma: Berthyer, Diana, Marcus, Odílio, Rui, Wanderley, Wellington, Yuri e a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Agradeço especialmente a Deus, que me deu força, coragem e persistência para ao longo da vida fazer de cada recuo, ponto de apoio para um novo avanço.

E tu que me ensinaste a crer  
quando eu era criança,  
e depois a descrer,  
e hoje a crer  
novamente...

**JORGE LIMA**

Prega a fé até que tu próprio a adquiras;  
depois, pregá-la-ás, porque a tens.

**FRIEDRICH W. NIETZSCHE**

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 - Considerações gerais.....	3
2.2 - Vantagens e limitações da fertirrigação.....	5
2.3 - Equipamento de injeção de fertilizante.....	7
2.4 - Operação do sistema de fertirrigação.....	9
2.5 - Distribuição da água no solo.....	11
2.5.1 - Distribuição da água no solo a partir de um emissor pontual.....	14
2.5.2 - Modelos de distribuição da água no solo.....	15
2.5.2.1 - Modelo simplificado baseado no balanço de volume.....	16
2.5.2.2 - Modelo baseado na equação de Richardt.....	17
2.6 - Distribuição do fertilizante no solo.....	19
2.7 - Exigências hídricas, nutricionais e edafo-climáticas da cultura do coco...	21

3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1 - Clima e solo .....	23
3.2 - Sistema de irrigação.....	24
3.3 - Amostragem da água com fertilizante .....	29
3.4 - Amostragem do solo.....	32
3.5 - Determinação da uniformidade de distribuição do fertilizante.....	34
3.5.1 - Método de CHRISTIANSEN .....	34
3.5.2 - Método PATTERN-EFFICIENCE .....	35
3.5.3 - Método proposto por MERRIAM, KELLER e ALFARO.....	36
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	38
4.1 - Vazão dos gotejadores.....	38
4.2 - Avaliação da uniformidade de distribuição da água e do fertilizante pelo sistema de irrigação.....	48
4.3 - Teores de potássio na água de irrigação .....	52
4.4 - Distribuição da água e fertilizante no solo.....	55
4.5 - Efetividade do sistema de irrigação em satisfazer as necessidades da cultura.....	59
5 - CONCLUSÕES.....	61
6 - RECOMENDAÇÕES .....	63
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	65



## LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Esquema do cabeçal de controle com principais componentes.....	25
2	Bomba injetora de fertilizantes.....	27
3	Área irrigada e unidades operacionais .....	28
4	Distribuição dos emissores na lateral com ramificação.....	30
5	Esquema da coleta do solo para determinação do bulbo úmido.....	33
6	Curva e equação de regressão para a concentração do potássio versus distância na lateral (Unid. Op. I).....	53
7	Curva e equação de regressão para a concentração do potássio versus distância na lateral (Unid. Op. II).....	54
8	Perfil de umidade com base no peso do solo seco (Rep. I).....	56
9	Perfil de umidade com base no peso do solo seco (Rep. II).....	57
10	Perfil de umidade com base no peso do solo seco (Rep. III).....	58

## LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>		<u>Página</u>
1	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional I (A-B).....	39
2	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional I (C-D).....	40
3	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional I (E-F).....	41
4	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional I (G-H).....	42
5	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional II (I-J).....	43
6	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional II (K-L).....	44
7	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional II (M-N).....	45
8	Vazões médias dos gotejadores na unidade operacional II (O-P).....	46
9	Teores médios de potássio (ppm), obtidos na unidade operacional I...	49
10	Teores médios de potássio (ppm), obtidos na unidade operacional II...	50

## RESUMO

Estudos de campo foram realizados na região costeira do Estado do Ceará (Itarema) objetivando avaliar a distribuição de água e fertilizante no solo, aplicados por fertirrigação em microirrigação. Utilizou-se o íon potássio, como traçador, para se determinar a uniformidade de distribuição da água e fertilizante na rede de irrigação e no solo (formação do bulbo úmido) e a conseqüente capacidade do equipamento em satisfazer às necessidades hídricas e nutricionais da cultura de coqueiro explorada na área. As amostras da solução foram coletadas na saída do tanque de fertilizante e em 64 pontos das linhas laterais com ramificações, nas duas unidades operacionais selecionadas. A unidade operacional I situava-se próxima ao cabeçal de controle (condição hidráulica mais favorável) enquanto a unidade operacional II ficava na posição mais distante da área (condição hidráulica menos favorável). As amostras de solo para determinação do bulbo úmido foram coletadas até a distância de 1,0 m para ambos os lados do emissor e até 1,40 m de profundidade, com incrementos de 20 cm, tanto no sentido vertical como horizontal. O projeto de irrigação original apresenta falhas de concepção (como vazão, tempo de aplicação e posicionamento inadequado dos emissores), com reflexos negativos na distribuição da água no solo e no desempenho da cultura. O manejo do sistema também não tem sido efetuado de maneira adequada (com emissores deslocados

de posição e não uso do equipamento injetor do fertilizantes), agravando ainda mais as falhas iniciais do projeto e prejudicando a cultura. Os bons índices de distribuição da água obtidos para o sistema (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen - CUC médio de 94,07% na unidade I e 92,74% na unidade II e Pattern Efficiency - P.E médio de 89,81% na unidade I e 88,62% na unidade II) não refletem, necessariamente, boa distribuição de água no solo da área como ficou patente no caso em estudo. A distribuição de fertilizante no sistema e no solo, acompanha, aproximadamente, a distribuição de água, sendo, portanto, válido afirmar que a má distribuição da água no solo seria também acompanhada por uma má distribuição de fertilizantes, se o sistema estivesse sendo rotineiramente usado para fertirrigação. A pluviosidade relativamente elevada (1.107,88 mm/ ano) na área em que foi realizado o trabalho, tende a amenizar os efeitos negativos mencionados nos itens anteriores.

**Termos para indexação:** Microirrigação, fertirrigação, distribuição de água e fertilizante no solo.

## ABSTRACT

A field study was conducted at the seacoast of Itarema, Ceará, Brazil, to evaluate water and fertilizer distribution in the soil of a coconut plantation. The potassium ion was used as a tracer to determine uniformity of distribution of water and fertilizer by the irrigation system and predict water and fertilizer distribution within the soil profile. Analysis of the effectiveness of the system in satisfying the water and fertilizer needs of the crop was also done. Samples of the solution water plus fertilizer were collected at the exit of the fertilizer tank and at 64 different places (emitters) on the lateral lines, representing the most and the least favorable hydraulic conditions within the system. Soil samples, to trace the limits of the wet bulbs, were collected at points covering a section of the wet volume, one meter on both sides and 1.40 m of depth from the surface of the soil, at 0.20 m increments. In conclusion, it was found that there were misconceptions in the original project concerning discharge, time of application and positioning of the emitters in relation to each coconut plant. The management of the system was also found to be inadequate, with a great number of emitters displaced from the ideal location and in lack of use of the fertilizer injection equipment. Although good water distribution indexes were found (above 85% for CUC and PE) for the system, the water distribution in the soil was found to be poor, as indicated by the wet bulb graphs. As the fertilizer distribution follows, approximately, the same patterns for the

water distribution, it is valid to predict that fertilizer distribution within the soil of the area would have also been poor, if the fertilizer injection device had been used. A relatively high average annual rainfall on the area tends to reduce the adverse effects of the misconceptions and bad management of the irrigation system, although the actual productivity of the plantation is far from predicted.

**Keywords:** Microirrigation, fertigation, distribution of water and fertilizer in the soil

## 1 - INTRODUÇÃO

A irrigação localizada não deve ser vista somente como uma nova técnica para suprir as necessidades hídricas das culturas, mas também como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas destinadas ao seu desenvolvimento. Entre estas técnicas agrícolas, encontramos a fertirrigação, que consiste na aplicação simultânea de água e fertilizantes através do sistema de irrigação. É uma técnica relativamente antiga, que agricultores de diversos países têm utilizado através de vários métodos de irrigação.

A fertirrigação constitui uma parte integrante do sistema de irrigação que, através do fornecimento conjunto de água e fertilizantes em quantidades adequadas e com certa freqüência, mantém um nível uniforme de nutrientes no solo durante o ciclo vegetativo da cultura, com aumento da eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas e, em conseqüência, aumentando sua produtividade.

No Nordeste Brasileiro ainda são poucos os cultivos que utilizam a fertirrigação como parte integrante do sistema de microirrigação, perdendo o agricultor as grandes vantagens que esta técnica oferece. Isto é devido, em parte, a carência de dados experimentais sobre a utilização desta prática para as nossas culturas e condições específicas de clima e solos.

O presente trabalho tem como objetivos:

- 1 - Avaliar a efetividade da irrigação (distribuição adequada da água no solo e satisfação das necessidades hídricas da cultura) em coqueiral microirrigado desde 1987.
- 2 - Avaliar, na mesma área e sistema, a adequação da distribuição de fertilizante através da água de irrigação (fertirrigação), com o uso de uma solução de cloreto de potássio (KCl) e o íon potássio como traçador.



## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 - Considerações gerais**

Conforme BERNARDO (1989), a fertirrigação, ou seja a aplicação de fertilizantes através da irrigação, é uma parte integral do sistema de irrigação por gotejamento. KELLER & BLIESNER (1990) afirmam que a fertirrigação é a aplicação de fertilizantes solúveis e dissolvidos em água através de sistemas de irrigação por aspersão ou localizado, sendo tal prática econômica, fácil e eficiente. KLEIN (1983) comenta que a irrigação localizada permite a introdução de fertilizante no solo usando tanques de fertilizantes ou bombas injetoras, e que tais equipamentos injetam uma quantidade específica de fertilizantes com água de irrigação, sendo tal prática conhecida como fertirrigação.

Segundo a FAO (1984), há diversas maneiras de introduzir fertilizantes solúveis no sistema de irrigação, cada uma delas apresenta suas respectivas vantagens e limitações. Contudo, os dois sistemas básicos mais comumente usados são: sistema diferencial de pressão ou tanque de fertilizante e bombas injetoras. Afirma ainda que, os critérios mais importantes para seleção do equipamento de aplicação de fertilizante são precisão e concentração do fertilizante requerido. Outras características podem ser consideradas como

a facilidade de transporte, custo do equipamento e método de funcionamento.

OLITTA (1987), discorrendo sobre equipamentos de fertirrigação, afirma que existem várias maneiras de injetar fertilizantes e outros produtos químicos na água de irrigação. Estes dispositivos são baseados em duas idéias principais: através de um sistema diferencial de pressão e bombeamento sob pressão.

SHANI (1981) afirma que os equipamentos injetores de fertilizantes podem ser classificados de acordo com o princípio de funcionamento em duas classes: a primeira, baseada no aumento da pressão e velocidade da água dentro do sistema denominados de "venturi" e a segunda, que injeta o fertilizante através de uma tubulação externa dentro da linha de irrigação, denominado "injeção". Cada um desses princípios se relaciona com outros modelos e tipos secundários. Há diversos tipos de equipamentos e suas qualidades facilitam na escolha de acordo com as condições e necessidades.

BRANSON *et al.* (1981) afirmam que dois tipos de equipamentos de injeção de fertilizantes podem ser usados. Um deles é a injeção por bombeamento, podendo a bomba injetora ser acionada por motor elétrico, motor a gasolina ou através da própria água do sistema. A outra forma de injeção de fertilizante é através do sistema diferencial de pressão. Esse sistema é simples e não requer eletricidade adicional ou bombas operando a gasolina para a injeção.

## **2.2 - Vantagens e limitações da fertirrigação**

SHANI (1981), FRIZZONE *et al.* (1985) indicam como sendo vantagens na fertirrigação: eficiência e economia do fertilizante; distribuição no solo de forma homogênea conforme a distribuição da água; aplicações de quantidades exatas de fertilizantes e maior controle do mesmo, podendo a aplicação do fertilizante ser feita de acordo com a necessidade da cultura. Como limitações citam: a água que contém fertilizantes ou outras substâncias químicas é imprópria ao consumo animal; o método é apropriado apenas para fertilizantes solúveis e alguns fertilizantes são corrosivos podendo causar danos ao sistema de irrigação. Por sua vez, KLEIN (1983) afirma que a fertirrigação reduz a mão-de-obra requerida e assegura a aplicação de água e fertilizante em um volume limitado de solo que contém a zona radicular da cultura.

JAMES (1988) comenta que os fertilizantes podem ser aplicados com eficácia através de sistemas de irrigação por gotejo e que os principais benefícios com o uso da fertirrigação são: a redução da mão-de-obra; energia e custo do equipamento (quando comparado ao método de aplicação de fertilizante convencional). Com o mesmo equipamento de fertirrigação podem ser aplicados herbicidas, fungicidas e outros produtos químicos, e o equipamento de fertirrigação também é utilizado em aplicações de ácidos, para desobstruções de gotejadores.

BERNARDO (1989) cita que os fertilizantes ricos em fósforo solúvel são mais problemáticos quando usados na fertirrigação por gotejamento. Primeiramente, em sua maioria, os fertilizantes ricos em fósforo são pouco solúveis em água, e mesmo os ricos em fósforo solúvel, como o fosfato de amônia, correm o perigo de, sendo a água de irrigação rica em cálcio, causar precipitação de fosfato de cálcio dentro da tubulação e dentre de gotejadores, entupindo-os. Sendo assim, a adubação fosfatada deve ser aplicada por outros meios na época do semeio ou plantio, como é tradicionalmente praticada.

Discorrendo sobre fertirrigação KELLER & BLIESNER (1990) afirmam que há diversas vantagens na distribuição do fertilizante através da irrigação. Uma delas, é que a aplicação de fertilizantes associada a irrigação pode ser realizada com praticamente a mesma mão-de-obra requerida somente para a irrigação. Outra vantagem é que, através do controle do equipamento de fertirrigação, pode-se usualmente, manter o deslocamento da lâmina de fertilizantes nas direções horizontal e vertical e deixá-los compatíveis com a zona radicular da cultura. Por sua vez, CUENCA (1989) afirma que a irrigação localizada é um sistema particularmente adaptado para a fertirrigação, devido a água ser aplicada diretamente na zona radicular da cultura. Isto pode aumentar a eficiência de uso do fertilizante, reduzindo os custos, desde que o mesmo seja usado para distribuir água e nutrientes, trazendo maior flexibilidade ao manejo da área, já que, máquinas agrícolas e mão-de-obra destinados a aplicações de fertilizantes serão destinados a outras práticas culturais.

ARMONI (1986), descrevendo sobre microaspersão, comenta que com o uso da fertirrigação temos os seguintes benefícios: aplicação freqüente de fertilizantes, aplicação mais eficiente por meio de inúmeros emissores, controle preciso da água e dosagens de fertilizantes, perdas mínimas por volatilização, percolação e escoamento superficial. A aplicação de fertilizante independe da umidade do solo e permite controle completo sobre quantidade e tempo de aplicação.

### **2.3 - Equipamento de injeção de fertilizante**

Uma maneira moderna, eficiente e que apresenta inúmeras vantagens na incorporação de fertilizantes solúveis à água de irrigação é através do uso de bombas injetoras.

O princípio de operação de bombas injetoras de fertilizantes é o de injeção da solução de um tanque aberto à rede de água, por meio de uma bomba apropriada. Geralmente a bomba apresenta um diafragma cujas partes estão protegidas contra a ação corrosiva dos fertilizantes e este tipo de bomba pode utilizar a pressão disponível da água para acionar o diafragma SHANI (1981).

A sucção de fertilizantes através de bombas injetoras é o método de aplicação mais usado atualmente. O bombeamento pode ser acionado pela

própria água de irrigação e tal aplicação é realizada com muita precisão NAKAYAMA & BUCKS (1986). Discorrendo sobre aplicação de produtos químicos através de sistemas localizados BRANSON *et al.* (1981), comentam que estas bombas injetam o fertilizante com bastante precisão e a uma taxa constante.

GONZÁLEZ *et al.* & SHANI (1981) afirmam que a injeção de fertilizante por acionamento hidráulico, permite o controle da concentração do adubo com maior eficiência. O sistema trabalha com pressão constante e não é necessária a presença do operador para desligá-lo parando automaticamente quando succionar todo o fertilizante do tanque. Este sistema de injeção de fertilizante tem sido muito difundido durante os últimos anos, dado as bombas serem mais econômicas e apresentarem facilidade de transporte.

Conforme ZANINI & OLITTA (1989), as bombas injetoras apresentam os seguintes aspectos favoráveis: a taxa de injeção é constante e passível de controle, permite o uso de tanque grande e aberto, com pouca necessidade de recarga, sendo a injeção interrompida quando cessa o fluxo de água na tubulação de irrigação.

SHANI (1981) afirma que o equipamento para fertirrigação pode estar localizado em um dos três pontos: nas parcelas ou início das laterais, no início de uma linha distribuidora ou no centro de uma grande área.

De acordo com KELLER & BLIESNER (1990), a pressão disponível da água de irrigação pode acionar a bomba injetora de fertilizante, e que a pressão da bomba injetora de fertilizante é maior do que a da água que aciona a mesma. A

água que aciona a bomba injetora (em um volume duas a três vezes mais que o fertilizante injetado) é eliminada para fora do sistema.

#### **2.4 - Operação do sistema de fertirrigação**

Segundo NAKAYAMA & BUCKS (1986), a injeção de fertilizantes não deve ser iniciada antes que todas as tubulações estejam completamente cheias de água e os emissores gotejando. Para muitos sistemas é preferível iniciar a injeção uma hora após o funcionamento do sistema de irrigação. Para cessar a injeção de fertilizantes, deve-se programar a fertirrigação até uma hora antes do término da irrigação na área.

De acordo com KELLER & BLIESNER (1990), procedimento comum para a aplicação de fertilizantes consiste de três fases. Primeiro, o sistema deve ser operado normalmente para umedecer o solo; depois o fertilizante deve ser injetado no sistema por um período de meia hora ou mais. A última fase deve ser suficiente para lavar o sistema de irrigação com água, evitando assim a corrosão nos equipamentos de irrigação. Esta fase requer aproximadamente meia hora. Durante a lavagem, o fertilizante é também conduzido para baixo, onde se situa a zona radicular da cultura, o que melhora sua eficiência.

FRIZZONE *et al.* (1985), comentando sobre equipamento de fertirrigação, afirmam que o procedimento comum na aplicação do fertilizante via sistema de

irrigação envolve três intervalos. Durante o primeiro intervalo, o sistema opera com a finalidade de molhar o solo. No segundo, o fertilizante é introduzido no sistema de irrigação (o período de aplicação raramente deve ser menor que meia hora, sendo aconselhável utilizar um período entre uma e duas horas). O terceiro e último, deverá ser suficientemente longo para lavar completamente o sistema de irrigação. Dependendo da taxa de aplicação, o período de lavagem deve ser em torno de meia hora para alta intensidade de aplicação e uma hora e meia para baixa intensidade de aplicação. O último intervalo, também tem o objetivo de mover o fertilizante para baixo e colocá-lo a uma profundidade compatível com o sistema radicular da cultura.

Descrevendo sobre injeção de fertilizantes, OLITTA (1987) comenta que a injeção de fertilizantes através do bombeamento permite um controle mais exato nas quantidades aplicadas, podendo-se conseguir uma alimentação contínua em pequenas dosagens ou então aplicações mais fortes com uma frequência de funcionamento variável.

JAMES (1988), discorrendo sobre equipamento de injeção de fertilizante e produtos químicos, recomenda que o mesmo deve ser instalado antes dos filtros, evitando que muitos precipitados ou outros agentes de obstrução, entrem nas laterais e gotejadores. BRANSON *et al.* (1981), também afirmam que para evitar obstruções em gotejadores, através de aplicações de produtos químicos em sistemas localizados, mesmo sendo o fertilizante ou outro produto altamente solúvel, o equipamento de injeção deve localizar-se antes dos filtros.



## 2.5 - Distribuição da água no solo

WARRICK (1986), comenta que a distribuição da água no solo é determinada pelas propriedades do mesmo e a maneira como ela é adicionada e retirada do perfil deste. Os fatores que diferenciam o movimento da água no solo irrigado por gotejamento dos outros sistemas de irrigação são:

- O movimento do fluxo é bi ou tridimensional ao invés de unicamente vertical;
- A água é adicionada ao solo a uma alta freqüência, e
- A água é mantida no solo dentro de uma faixa de umidade com pequena variação. Comenta ainda que, a natureza multidimensional do fluxo em sistemas pontuais ou em linha exige modelos matemáticos mais complexos para sua representação. A alta freqüência e a limitada faixa de umidade tendem algumas vezes a modificar de certo modo o conceito de capacidade de campo. Embora o volume de água armazenada seja ainda um fator chave, a alta freqüência das irrigações permite um melhor controle da umidade no solo.

Conforme informações obtidas pelo USDA (1954), a infiltração da água no solo é influenciada pelos seguintes fatores: condições da superfície do solo, propriedades físicas e químicas, natureza do perfil do solo e distribuição da água no perfil do mesmo. Todos esses fatores variam mais ou menos com o tempo de duração da infiltração.

GONZÁLEZ *et al.* (1981) comentam que a água se move no solo continuamente na forma líquida ou vapor. A água se move para baixo, para cima e horizontalmente através dos espaços vazios, motivada pelas diferenças de

energia entre esses pontos. REICHARDT (1985), discorrendo sobre o movimento da água no solo, afirma que no estado líquido a água move-se sempre que existirem diferenças de potencial hídrico nos diferentes pontos dentro do sistema. Este movimento dá-se no sentido do decréscimo do potencial hídrico, isto é, a água sempre se move de pontos de maior para pontos de menor potencial. Também afirma que DARCY (1856) foi o primeiro a estabelecer uma equação que possibilitasse a quantificação do movimento da água em materiais porosos saturados. Ele verificou que a densidade de fluxo da água é proporcional ao gradiente de potencial hidráulico dentro do solo. Sua equação foi mais tarde adaptada para solos não saturados e, apesar de suas limitações, é a equação que melhor descreve o fluxo de água no solo.

De uma maneira geral ela pode ser escrita na seguinte forma:

$$q = -K \nabla H$$

onde:

$q$  - Densidade de fluxo de água ( $\text{cm}^2 / \text{cm} \cdot \text{seg.}$ )

$\nabla H$  - Gradiente de potencial ( $\text{cm} / \text{cm}$ )

$K$  - Condutividade hidráulica do solo ( $\text{cm}/\text{seg.}$ )

REICHARDT (1987), comentando sobre energia potencial da água no solo, afirma que, para definir o estado de energia da água dentro do solo é necessário considerar vários campos de força, não somente o gravitacional. Trata-se de campos de forças que são responsáveis pelos fenômenos de tensão superficial, capilaridade, adsorção, etc. Estes fenômenos são resultados da interação entre as partículas sólidas do solo, organizadas em dadas estruturas (também chamadas de matriz do solo) e a água. Como é difícil separar todos estes fenômenos para fazer uma análise detalhada, eles todos são considerados em conjunto e de sua atuação resulta a energia potencial, designada matricial. Quanto menores os poros e quanto mais "ativas" as partículas sólidas do solo, tanto menor a energia potencial matricial da água a eles associada. Além dos fenômenos matriciais, a presença de solutos na água do solo também afeta o seu estado de energia. Como os solutos se movem junto com a água, esta energia potencial chamada de osmótica, geralmente não é importante. Ela é importante na presença de membranas semipermeáveis, que permitem a passagem da água e não de soluto.

A energia potencial total da água é a soma de todas as componentes, e assim temos:

$$\Psi = \Psi_g + \Psi_p + \Psi_m + \Psi_{os}$$

sendo,

$\psi$  - Potencial total da água no solo

$\psi_g$  - Componente gravitacional

$\psi_p$  - Componente de pressão

$\psi_m$  - Componente matricial

$\psi_{os}$  - Componente osmótica

BRESLER *et al.* (1982) afirmam que a infiltração da água através da superfície é extremamente importante do ponto de vista de salinidade do solo. E que a água e sais também redistribuem ou percolam no solo. Enfatizam ainda, que o processo de redistribuição da água no solo começa quando o suprimento cessa e que durante a redistribuição, pontos vão secando e umedecendo ao mesmo tempo, em diferentes pontos do solo.

### **2.5.1 - Distribuição da água no solo a partir de um emissor pontual**

HUNG *et al.* (1995) afirmam que a água de um emissor pontual penetra no solo e move-se no sentido vertical descendente e para as laterais no sentido horizontal. Eventualmente, a água aplicada no solo pode formar um modelo de cilindro úmido. O tamanho do cilindro úmido depende principalmente de três fatores: vazão do emissor, tempo de irrigação e tipo de solo. A distribuição da

água no perfil do solo, consiste em três: a zona úmida, na qual as raízes se desenvolvem e se formam em torno de um limite de transição; a transição, que está próxima da saturação e pouco arejada; e a zona inicial que é a frente de umedecimento ou de molhamento. Comenta ainda que, quando um dado volume de água é aplicado em um solo de textura arenosa, o cilindro formado apresenta maior diâmetro na vertical (no qual a força dominante é a gravitacional). Este tipo de solo requer um menor espaçamento entre os emissores, podendo ocorrer maior perda de água por percolação abaixo da zona radicular. Para diminuir as perdas por percolação profunda, é necessário desligar a água quando a frente de umedecimento ou molhamento estiver próxima do final da zona radicular na parte mais inferior. No entanto, a profundidade da água poderá ser menor do que a profundidade do sistema radicular. O mesmo autor, através de testes de laboratório mostra que usando 50% a 75% da profundidade do sistema radicular como indicativo para estimar as lâminas de irrigação pode-se eliminar ou reduzir significativamente as perdas por percolação profunda.

### **2.5.2 - Modelos de distribuição da água no solo**

O número e localização dos emissores em relação às plantas, são informações importantes em um projeto de microirrigação e resultam das

estimativas de forma e dimensões do bulbo úmido conseqüentes de um emissor em funcionamento.

MILLER *et al.* (1981) afirmam que a taxa na qual a água é infiltrada no solo e as características do mesmo em conduzir ou transmitir água determinam o modelo de distribuição da água no solo. Tais modelos, contudo, podem ser modificados pela mudança na taxa e freqüência de aplicação.

Os modelos de distribuição da água no solo assumem várias formas, entre elas citam-se os modelos baseados em medidas físicas, modelos análogos e modelos matemáticos. Os modelos hidráulicos determinados em laboratórios, tem sido usados na tentativa de descrever as condições de movimento da água a partir de emissores, no entanto, relaciono apenas os que expressam melhor as componentes diretamente envolvidas na sua elucidação.

#### **2.5.2.1 - Modelo simplificado baseado no balanço de volume**

Na infiltração da água a partir de um emissor pontual, são assumidos que:

- 1 - A umidade ( $\theta_0$ ) apresenta um valor constante em qualquer parte do bulbo úmido;
- 2 - A umidade inicial do solo é representada por ( $\theta_i$ );
- 3 - A frente de molhamento possui o formato de um hemisfério;

Nestas condições, a conservação da massa requer a seguinte relação:

$$Q_e = (2/3) \cdot \pi(\theta_0 - \theta_1) \cdot r_f^3 \text{ (hemisfério)}$$

onde:

$Q_e$  - Descarga do emissor.

$r_f^3$  - Frente de umedecimento ou molhamento.

### 2.5.2.2 - Modelo baseado na equação de Richardt

Neste modelo, uma relação geral de continuidade, válida para qualquer volume de solo, é dada por:

I		II		III
Taxa de variação da água armazenada no solo	=	Fluxo líquido de água que entra no volume de solo	-	Taxa líquida de água retirada pela planta

Considerando-se um elemento de volume de solo " $\Delta V$ ", muito pequeno, então I, II e III serão determinados por:

$$I - (\partial\theta_v/\partial t) \Delta V$$

$$II - [-(\partial v_x/\partial x) - (\partial v_y/\partial y) - \partial v_z/\partial z] \Delta V$$

$$III - S \Delta V$$

onde:

$v_x$ ,  $v_y$ , e  $v_z$  - Componentes da velocidade;

$S$  - Volume de água extraído de um volume unitário do solo por unidade de tempo.

Então, usando-se a equação de Darcy e a relação de continuidade acima, resulta na equação de Richards:

$$\partial\theta_v/\partial t = \partial(K\partial H/\partial x)/\partial x + \partial(K\partial H/\partial y)/\partial y + \partial(K\partial H/\partial z) - S$$

ou em notação vetorial:

$$\partial\theta_v/\partial t = \nabla \cdot (K \nabla H) - S$$

onde,

“ $\nabla$ ” - Operador do vetor gradiente

Nesta condição a equação de Richards se torna de difícil resolução por vários motivos, entre os quais citamos:



- 1 - Há duas variáveis dependentes  $\theta_v$  e H.
- 2 - A relação é não linear por ser K uma função do status da água.
- 3 - O conhecimento sobre a função S é impreciso.

## **2.6 - Distribuição do fertilizante no solo**

NAKAYAMA & BUCKS (1986) comentam que a uniformidade de distribuição do fertilizante é aproximadamente igual a uniformidade de distribuição da água e que um pré-requisito para uma boa uniformidade de distribuição é o emissor apresentar uma descarga uniforme. Referindo-se a fertirrigação, KELLER & BLIESNER (1990), comentam que a distribuição do fertilizante no solo é regulada pelo tempo de aplicação em relação ao período total de irrigação. A uniformidade de distribuição do fertilizante pode ser tão boa quanto a uniformidade de distribuição da água. Se o sistema de irrigação tiver sido devidamente projetado e estiver operando corretamente, o fertilizante juntamente com a água apresentarão uma distribuição equivalente.

KLEIN (1983) mostra através de colunas de solo e testes de campo o movimento de fertilizante no solo quando o mesmo é aplicado através de sistemas de irrigação localizada. Verifica que o fertilizante se distribui no solo de maneira

semelhante a água de irrigação, e que a eficiência de aplicação do fertilizante depende extremamente da eficiência de irrigação. As irrigações excessivas e drenagem da lâmina de água abaixo da zona radicular reduzem a eficiência e aumentam a quantidade de fertilizante requerido. Mostra que irrigações sucessivas e drenagens da água abaixo do sistema radicular, reduzem a eficiência de distribuição do fertilizante, aumentando a quantidade requerida do mesmo. Fertilizantes e íons livres no solo (Uréia,  $\text{NO}_3$  e  $\text{Cl}$ ) são levados e concentram-se nas extremidades do bulbo úmido. A lavagem de fertilizantes solúveis e íons cloreto podem causar concentrações elevadas de sais, especialmente quando fertilizantes em excesso são aplicados, quando a água é de baixa qualidade ou o solo contém sais em grandes quantidades. Pode ocorrer que o nitrato levado da frente de umedecimento alcance as raízes das plantas durante o verão, após extensa irrigação. O nitrato que não foi absorvido durante o verão é carregado pela chuva no inverno. Comenta ainda que, quando se aplica o máximo de nitrato exigido pela planta anualmente, a descarga do mesmo, através da irrigação localizada aumenta e, conseqüentemente, elevam as perdas por percolação profunda do fertilizante que são levados pela água. Fertirrigação com elementos de baixa mobilidade no solo (K, P,  $\text{NH}_4$ ) induzem a absorção e liberação do íon para baixo do gotejador. Enfatiza ainda que, o fósforo e o potássio movem-se a profundidade de 60-90 cm abaixo do gotejador, mas sua expansão horizontal se limita entre 0-50 cm. O movimento horizontal do potássio depende da troca de íons entre o material e da saturação do solo pelo íon  $\text{K}^+$ . O

rápido movimento do potássio para baixo, permite corrigir carências do mesmo, com poucas aplicações, via fertirrigação.

## **2.7 - Exigências hídricas, nutricionais e edafo-climáticas da cultura do coco**

Conforme a EMBRAPA (1986), um dos principais fatores para o crescimento da cultura do coqueiro é, sem dúvida, a água, e que na maioria dos casos é assegurada unicamente pela chuva, exceto em situações particulares, onde o lençol freático se encontra pouco profundo (1,0 a 4,0 m). A mesma fonte, afirma que o coqueiro encontrou no Nordeste do Brasil condições edafo-climáticas excelentes para o seu desenvolvimento. No entanto, o que se observa na sua exploração, até o momento, é que a cultura vem sendo explorada com variedades pouco produtivas, sem atendimento adequado as necessidades hídricas e nutricionais, e com tratos culturais inadequados, o que é evidenciado pela baixa produtividade. Afirma ainda que o regime pluvial considerado ideal é em torno de 1800 mm anuais e bem distribuídos, com precipitações mensais nunca inferiores a 150 mm, e para que o coqueiro possa melhor expressar seu potencial de produção é necessário que condições climáticas lhe sejam bastante favoráveis. Comenta ainda que, o coqueiro é bastante exigente em nutrientes, sendo entretanto a composição física do solo mais importante que a composição química. Salienta ainda que, os nutrientes de maior importância são: potássio,

nitrogênio, fósforo, magnésio e cálcio. O potássio é o elemento encontrado em maior quantidade nas análises efetuadas em amostras de folhas, inflorescências e frutos do coqueiro e o nitrogênio o segundo elemento. O fósforo é o elemento encontrado em menores proporções na planta. Entre os micronutrientes o ferro e o manganês têm sido os mais estudados para esta cultura. As plantas após um mês da repicagem, e com as novas raízes emitidas, já estão aptas a utilizarem os elementos nutricionais contidos no solo, podendo então se beneficiar de uma adubação. A adubação deve ser realizada anualmente de acordo com a análise química do solo e diagnose foliar, sendo esta última prática efetuada a partir do terceiro ano. A análise é sempre a medida correta para quem deseja explorar a cultura criteriosamente, objetivando a produção máxima.

### **3 - MATERIAL E MÉTODOS**

Os testes de distribuição da água e fertilizantes no solo e determinação do bulbo úmido foram executados em um sistema de irrigação por gotejamento na Fazenda Aguapé, pertencente a Frutop Produtora de Alimentos, localizada na região costeira do Estado do Ceará no Município de Itarema, onde é explorada a cultura do coco híbrido, variedade PB - 121, oriunda do cruzamento entre o Grande Oeste Africano x Anão Amarelo, importado da Costa do Marfim. O espaçamento é triangular com 9,00 m entre plantas por 7,80 m entre fileiras.

#### **3.1 - Clima e solo**

O município de Itarema/CE fica situado na zona costeira do Oeste do Estado. Segundo a classificação de Kooppen o clima da área é do tipo BSW'h: Clima-árido com curta estação chuvosa de verão. Apresenta uma temperatura média de 26,28 °C com amplitude térmica de 2 a 3 °C, apresenta uma insolação em torno de 12 horas e 15 minutos/dia e umidade relativa do ar em torno de 87,26%. A precipitação pluvial média, conforme dados coletados na propriedade, é de 1.107,88 mm/ano, sendo nos meses de março à abril quando ocorrem as

maiores precipitações e agosto à novembro os de menor incidência de chuvas. A evaporação média, obtida em tanque "Classe A" localizado na propriedade, está em torno de 186 mm/mês, sendo outubro o mês de maior demanda evaporativa (300 mm) e abril o de menor (150 mm).

O solo é composto por areia quartzosa distrófica, com baixa saturação de bases, em grãos simples com baixos teores de argila (menos de 15%), sem reserva de minerais primários, bastante profundo, apresentando excelente drenagem, pobre em matéria orgânica e elementos minerais. Segundo a análise química realizada no laboratório da UFC, o solo apresenta-se com pH ligeiramente ácido (5,7), CE normal (0,13 mmhos/cm), matéria orgânica baixa (0,16), teor de P baixo (2,0 ppm),  $Ca^{++} + Mg^{++}$  baixos (0,63 e 0,2 mE / 100 g de solo, respectivamente) e  $Al^{3+}$  inexistente.

### **3.2 - Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação, provido de um equipamento de fertirrigação, foi instalado em Junho/87, opera em uma área de 50 ha plantada com coqueiro (*Coccus nucífera* L.). É acionado por uma bomba, com vazão de 65,7 m<sup>3</sup>/hora e pressão de 50 mca (490,5 kPa), e por um motor elétrico de 40 cv, com rotação de 1775 rpm. O cabeçal de controle (Figura 1) é constituído de: três filtros

- 1. Eletrobomba
- 2. Registros
- 3. Valvula de retenção
- 4. Manômetros

- 5. Filtros de areia
- 6. Injetor de fertilizante
- 7. Tanque de fertilizante
- 8. Filtros de telas

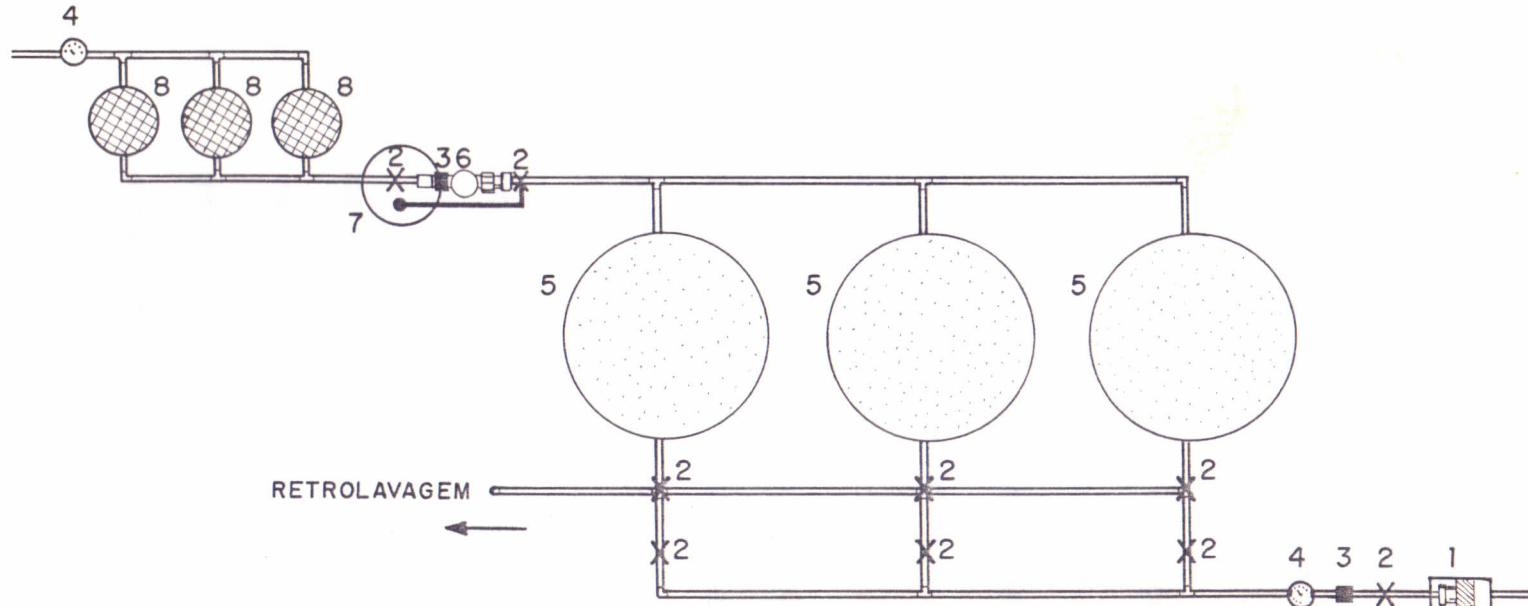


FIGURA 1 - Esquema do cabeçal de controle com principais componentes

de areia, sistema injetor de fertilizante e outros produtos químicos, sistema regulador de pressão e de vazão e três filtros de tela. Os gotejadores são autocompensantes de pressão, com vazão de 2,3 litros/hora.

O equipamento de fertirrigação, embora em condições de operação, não vinha sendo utilizado rotineiramente, sendo que as aplicações de fertilizantes eram realizadas manualmente na projeção da copa.

A água para irrigação é proveniente de uma lagoa, de onde é bombeada até o cabeçal de controle, tendo sido analisada no Laboratório de Análise de Solos e Água na UFC apresentado, para fins de irrigação, classificação C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>.

O equipamento de injeção de fertilizantes é do tipo bomba injetora construída em acrílico, de acionamento hidráulico, com vazão de 200 litros/hora, funcionando a 100 pulsos/hora aproximadamente (Figura 2). Seu funcionamento tem, como peça principal, um pistão ativado pela própria água de irrigação, que quando se movimenta para a direita suga o fertilizante do tanque e quando se movimenta para a esquerda injeta o fertilizante na tubulação. A solução contida no tanque de fertilizante é succionada e injetada na linha de irrigação a uma taxa constante e uniforme.

A retrolavagem dos filtros foi projetada para ser feita sempre que a diferença de pressão entre os pontos antes e após os filtros atingisse 49 kPa e, no mínimo, duas vezes por irrigação.

O sistema irriga uma área de 50 ha (Figura 3), dividida em dois setores, sendo cada setor formado por seis unidades operacionais.



1. Registro manual de injeção de fertilizante
2. Registro manual de água - entrada
3. Filtros
4. Interruptor automático
5. Cabeçal de sucção
6. Válvula de descarga de ar
7. Descarga de água
8. Tanque de fertilizante
9. Tubo de Irrigação
10. Válvula de reversão

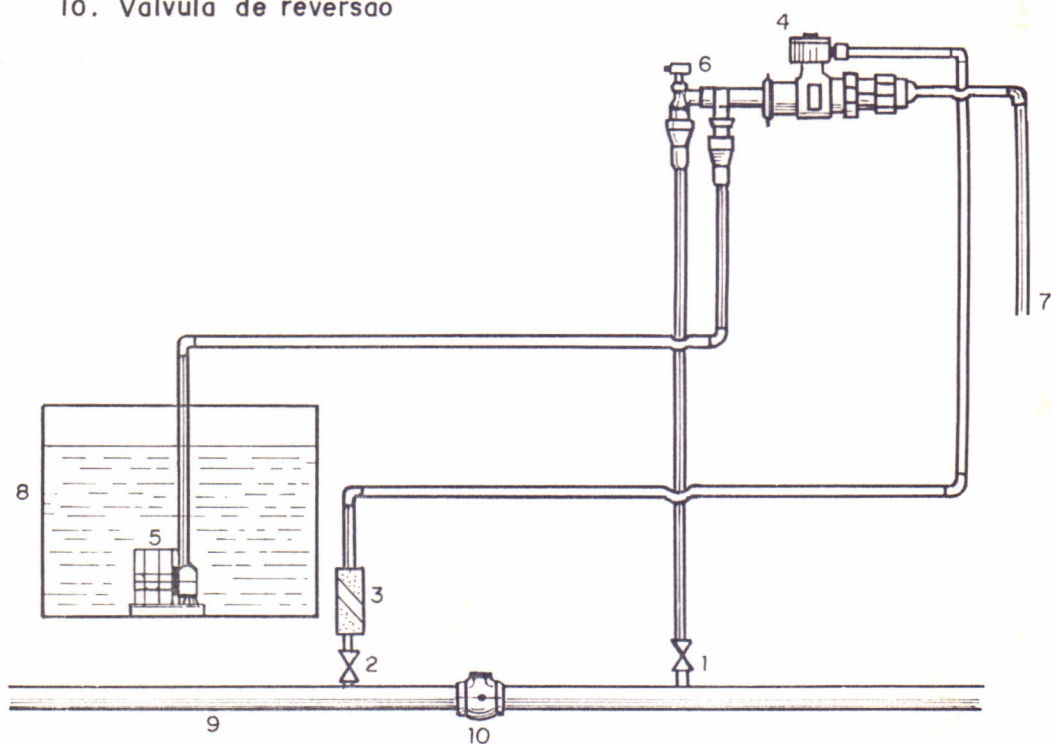


FIGURA 2 - Bomba injetora de fertilizantes

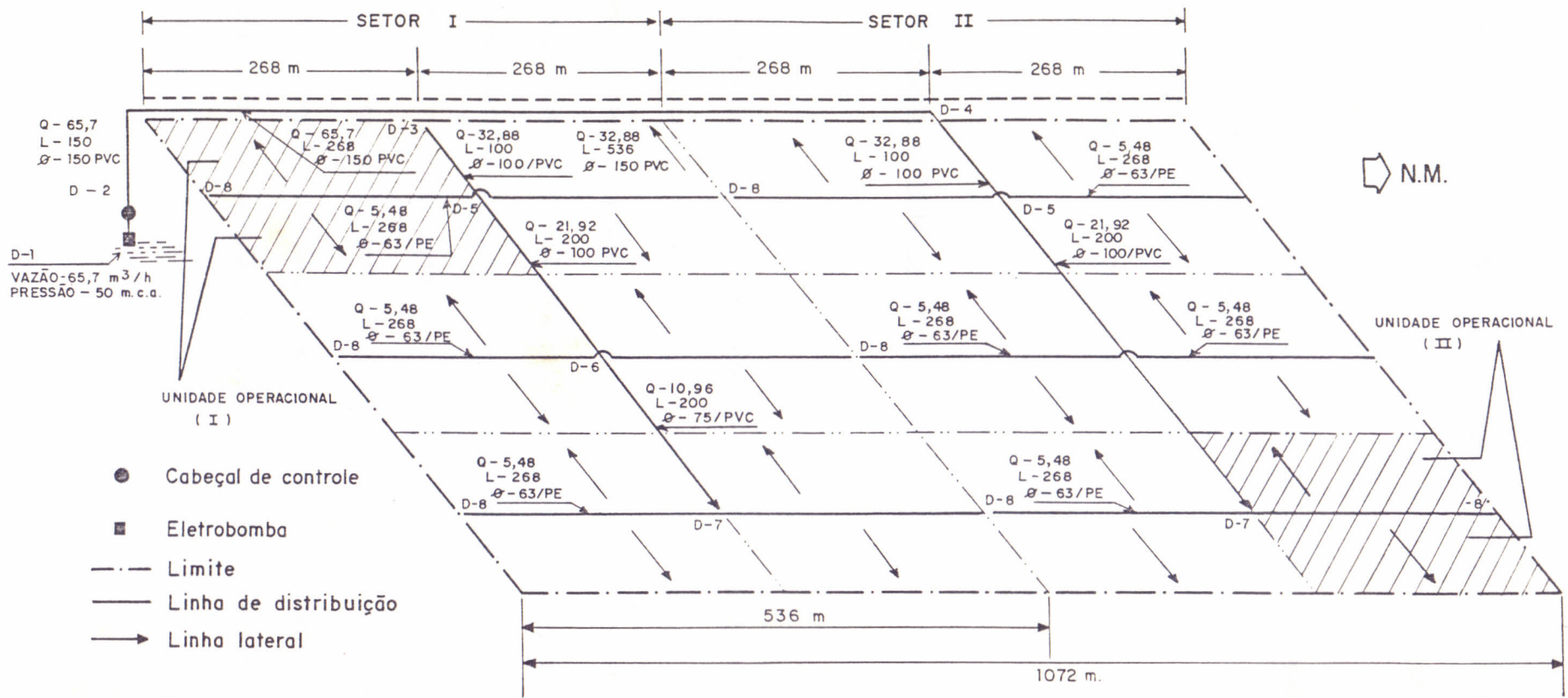


FIGURA 3 - Área irrigada e unidades operacionais

As laterais de irrigação (Figura 4) são do tipo com ramificação para cada planta, com quatro gotejadores, sendo dois na própria lateral e dois na ramificação.

Os gotejadores da ramificação não são fixados ao solo, ocasionando grande variação de posicionamento dos mesmos, de planta para planta. Cada lateral apresenta comprimento de 100 m, com pontos de emissão espaçados de 9,00 m, com quatro gotejadores por planta.

### **3.3 - Amostragem da água com fertilizante**

Para a avaliação da distribuição de água e fertilizante no solo utilizou-se o cloreto de potássio (KCl), como indicador, por apresentar bons elementos indicadores da fase dispersora da solução e seu comportamento assemelhar-se aos demais nutrientes ZANINI (1983). A mesma citação também afirma que o potássio apresenta poucos problemas de conservação, facilidade e rapidez na determinação e boa solubilidade.

O teste teve início com a diluição de 3,17 Kg de cloreto de potássio em um recipiente com capacidade para acumular 20 litros de água, onde foi feita a pré-mistura, sendo em seguida a solução colocada no tanque de fertilizante com capacidade para 200 litros e completado com água de irrigação.

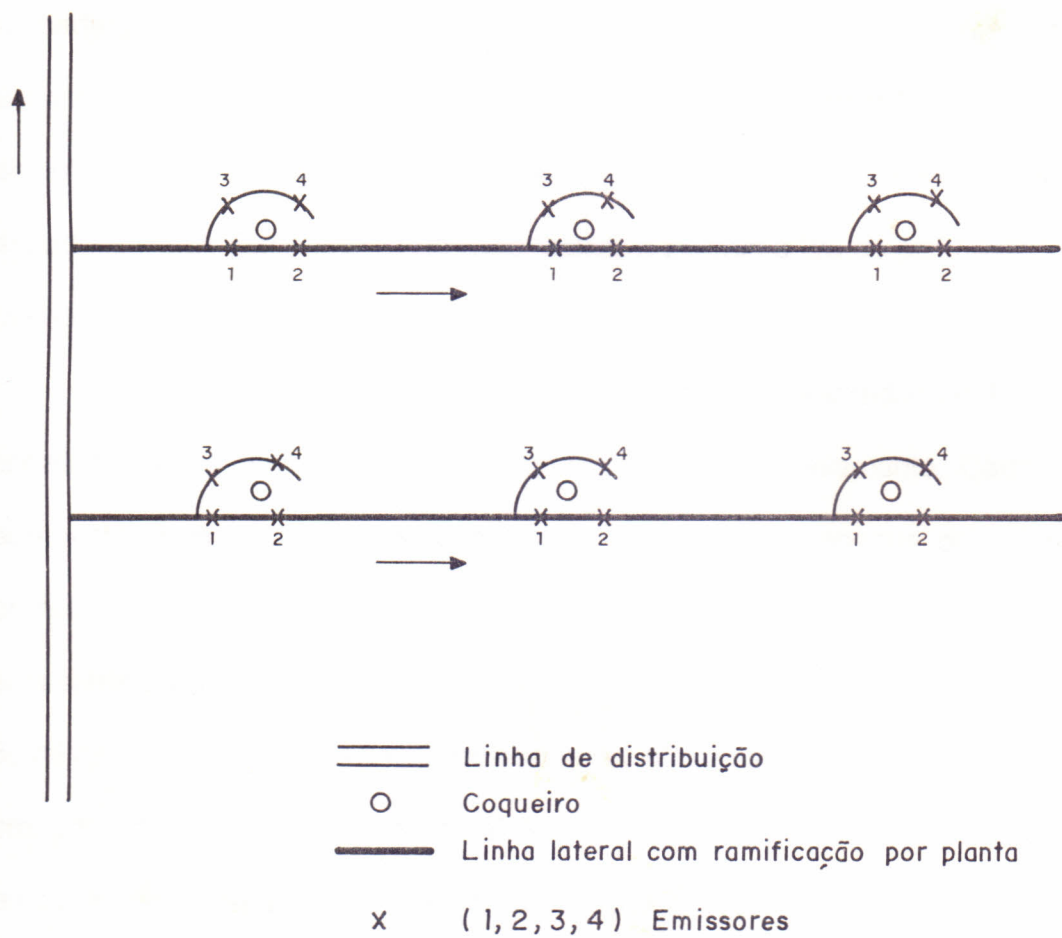


FIGURA 4 - Distribuição dos emissores na lateral com ramificações

As amostras de água com fertilizante foram coletadas na saída dos filtros de tela (cabeçal de controle) e nos gotejadores escolhidos, seguindo-se a metodologia proposta por KELLER e KARMELLI (1975), para seleção de pontos para determinação da uniformidade de distribuição de água e fertilizante em irrigação localizada. As linhas laterais escolhidas, ao longo da derivação na unidade operacional, foram a primeira linha, a linha situada a  $1/3$  do comprimento, a linha situada a  $2/3$  do comprimento da derivação e a última linha. Os pontos selecionados para coleta de amostras ao longo da linha lateral, foram o primeiro, o situado a  $1/3$  do comprimento da linha lateral, o situado a  $2/3$  do comprimento e o último ponto.

Os gotejadores ao longo da linha lateral foram numerados de 1 a 4 e as linhas de derivação receberam as letras A, B, C sucessivamente. Cada ponto apresenta quatro gotejadores; a coleta foi realizada em apenas dois deles, o primeiro e o quarto respectivamente, para determinação do potássio, e nos quatro emissores para determinação da vazão (Figura 4). Foram coletadas amostras de 50 ml de solução em cada gotejador escolhido. As amostras foram acondicionadas em recipientes de 100 ml com identificação de cada ponto e, em seguida, levadas ao laboratório para análise do teor de potássio. A coleta das amostras foi realizada em duas unidades operacionais (Figura 3), uma próxima ao cabeçal de controle (condição hidráulica mais favorável), e a outra na posição mais distante do mesmo (condição hidráulica menos favorável). A coleta das amostras em cada unidade operacional foi repetida três vezes, num total de 96 amostras por unidade operacional e 192 amostras nas duas unidades, sendo também coletadas três

repetições na saída dos filtros para cada unidade operacional. A análise do potássio em cada amostra foi feita por fotômetro de chama.

As vazões dos gotejadores foram determinadas utilizando-se uma proveta para coleta da água (50 ml) e um cronômetro para controle do tempo (2 minutos), com três repetições efetuadas nos quatro emissores por planta.

### **3.4 - Amostragem do solo**

Objetivando-se determinar a distribuição da água (bulbo úmido) no perfil do solo, foram coletadas amostras usando-se um trado especial para solo arenoso.

A coleta (Figura 5) foi realizada a uma distância de 1,00 metro da planta nos sentidos leste e oeste, em pontos distanciados a cada 20 cm ao nível do solo, e a incrementos de 20 cm até a profundidade de 1,40 metros. Foram coletados 70 amostras de solo por planta, com três repetições.

As amostras foram acondicionadas em recipientes de alumínio, cujas tampas foram lacradas com fita adesiva para reter a umidade, sendo levadas ao laboratório para determinação do teor de umidade.

R 598232

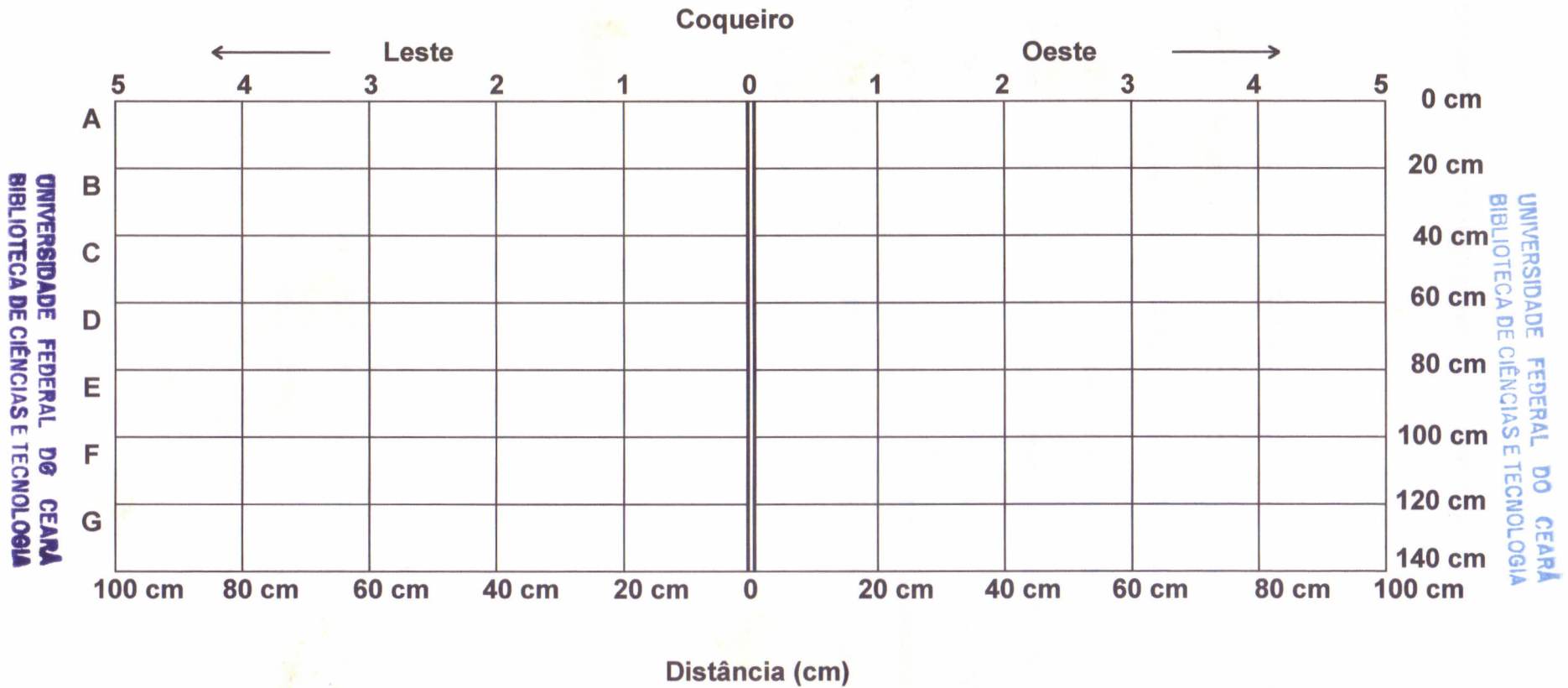


FIGURA 5 - Esquema da coleta do solo para determinação do buldo úmido

### **3.5 - Determinação da uniformidade de distribuição do fertilizante**

A uniformidade de distribuição do fertilizante nas duas unidades de irrigação foi determinada utilizando-se os seguintes métodos: o método de Christiansen, o método Pattern-Efficiency e o método proposto por Merriam, Keller e Alfaro. Tais métodos, são tradicionalmente usados para determinação da uniformidade de distribuição de água no solo. Como a distribuição do fertilizante tem as mesmas características da distribuição da água, decidiu-se usar os mesmos métodos, seguindo o exemplo de outros pesquisadores, tais como ZANINI & OLITTA (1989) e FERNANDES (1989), como indicativo da uniformidade de distribuição do fertilizante no solo

#### **3.5.1 - Método de CHRISTIANSEN**

Este método foi proposto por Keller e Karmelli, citado por BERNARDO (1989), que segue o modelo de determinação da uniformidade de distribuição da água no solo. Determinou-se inicialmente o teor de potássio dos pontos respectivos para posterior determinação da sua uniformidade.



$$\text{CUC (\%)} = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \right)$$

onde,

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, (%)

$x_i$  - Concentração obtida no ponto i (ppm).

$\bar{x}$  - Média de todas as concentrações (ppm).

n - Número de amostras.

CHRISTIANSEN (1942) recomenda que em um sistema de irrigação localizada, são aceitáveis valores iguais ou superiores a 80%. Os valores abaixo desse limite levam a uma desuniformidade na distribuição do fertilizante na área molhada.

### **3.5.2 - Método PATTERN-EFFICIENCE**

Este método é derivado da equação de Christiansen, sendo tomadas 25% das menores concentrações obtidas e calculado o coeficiente pela seguinte equação:

$$P.E = 100 \frac{\bar{x}}{\bar{X}}$$

onde,

P.E - Coeficiente de uniformidade de Pattern-Efficiency, em (%).

$\bar{x}$  - Média de 25% das concentrações com menores valores em (ppm).

$\bar{X}$  - Média de todas as concentrações, em (ppm).

Christiansen citado por BERNARDO (1989), recomenda que neste tipo de avaliação também são aceitos valores iguais ou acima de 80%, para obter resultados confiáveis.

### **3.5.3 - Método proposto por MERRIAM, KELLER e ALFARO**

Este método é derivado da equação de Pattern-Efficiency. O coeficiente é determinado através da relação entre o menor valor obtido e a média de todas as concentrações obtidas, conforme a equação seguinte:

$$\text{CUMKA} = 100 \cdot C_M / \bar{C}$$

onde,

CUMKA - Coeficiente de Uniformidade de Merriam, Keller e Alfaro, em %

$C_M$  - Menor concentração, em ppm.

$\bar{C}$  - Média de Todas as concentrações, em ppm.

Este método que também é derivado da equação de Christiansen, adota valores iguais ou superiores a 80%, para uma boa estimativa de distribuição de água e fertilizantes.

## **4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Para uma melhor exposição e compreensão, a apresentação e discussão dos resultados obtidos estão dispostos nos itens que se seguem.

### **4.1 - Vazão dos gotejadores**

Os valores das vazões medidas nos quatro gotejadores dos pontos de amostragem nas linhas laterais, com três repetições por um tempo de dois minutos, estão apresentados nas Tabelas 1 a 8.

Analisando-se estas tabelas, verifica-se que ocorre variação apreciável na vazão dos gotejadores ao longo da lateral nas unidades operacionais e entre as laterais de uma mesma unidade operacional. A vazão média dos gotejadores é de 2,60 l/h na unidade operacional I, com 18,75% dos gotejadores abaixo da vazão de serviço (2,30 l/h) e 81,25% acima desta. Na unidade operacional II a vazão média é de 2,45 l/h com 41,40% dos gotejadores com vazão abaixo da recomendada pelo fabricante (2,3 l/h) e 59,60% acima desta.

TABELA 1 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional I (A - B)

Localização da lateral						
Vazão do gotejador (l/h)						
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
A <sub>1</sub>	1	2.40	2.13	2.46	2.52	2.38
	2	2.37	2.10	2.13	2.55	2.29
	3	2.34	2.16	2.10	2.52	2.28
	Média	2.37	2.13	2.23	2.53	2.32
A <sub>2</sub>	1	2.31	2.58	2.07	2.79	2.44
	2	2.31	2.73	2.04	2.76	2.46
	3	2.37	2.79	2.01	2.76	2.48
	Média	2.33	2.70	2.04	2.77	2.46
A <sub>3</sub>	1	2.28	2.52	2.34	2.55	2.42
	2	2.28	2.52	2.31	2.64	2.44
	3	2.31	2.49	2.28	2.55	2.41
	Média	2.29	2.51	2.31	2.58	2.42
A <sub>4</sub>	1	2.37	2.28	2.28	2.40	2.33
	2	2.34	2.22	2.37	2.46	2.35
	3	2.31	2.31	2.22	2.34	2.30
	Média	2.34	2.27	2.29	2.40	2.33
B <sub>1</sub>	1	2.34	3.24	2.64	2.70	2.73
	2	2.25	3.30	2.64	2.67	2.72
	3	2.49	3.27	2.64	2.67	2.77
	Média	2.36	3.27	2.64	2.68	2.74
B <sub>2</sub>	1	2.34	2.79	2.76	2.43	2.58
	2	2.28	2.82	1.86	2.55	2.38
	3	2.49	2.79	2.55	2.47	2.58
	Média	2.37	2.80	2.39	2.48	2.51
B <sub>3</sub>	1	2.43	2.34	3.30	3.30	2.84
	2	2.28	2.34	3.15	3.42	2.80
	3	2.61	2.34	3.48	3.30	2.93
	Média	2.44	2.34	3.31	3.34	2.86
B <sub>4</sub>	1	2.46	2.94	2.61	2.85	2.72
	2	2.37	3.03	1.17	2.88	2.36
	3	2.64	3.00	2.58	2.85	2.77
	Média	2.49	2.99	2.12	2.86	2.62

TABELA 2 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional I (C - D)

Localização da lateral						
Vazão do gotejador (l/h)						
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
C <sub>1</sub>	1	2.73	2.64	1.98	2.37	2.43
	2	2.73	2.58	1.95	2.37	2.41
	3	2.67	2.55	2.01	2.40	2.41
	Média	2.71	2.59	1.98	2.38	2.42
C <sub>2</sub>	1	2.49	2.49	2.31	2.82	2.53
	2	2.67	2.34	2.34	2.58	2.48
	3	2.64	2.28	2.16	2.43	2.38
	Média	2.60	2.37	2.27	2.61	2.46
C <sub>3</sub>	1	2.49	2.49	3.66	3.18	2.96
	2	2.49	2.46	3.72	3.18	2.96
	3	2.52	2.43	3.60	3.09	2.91
	Média	2.50	2.46	3.66	3.15	2.94
C <sub>4</sub>	1	2.94	2.94	2.55	1.47	2.48
	2	2.94	2.34	2.49	1.47	2.31
	3	2.94	2.34	2.49	1.44	2.30
	Média	2.94	2.54	2.51	1.46	2.36
D <sub>1</sub>	1	2.61	2.52	2.73	2.19	2.51
	2	2.61	2.49	2.73	2.16	2.50
	3	2.40	2.49	2.73	2.13	2.44
	Média	2.54	2.50	2.73	2.16	2.48
D <sub>2</sub>	1	1.35	2.91	3.75	2.70	2.68
	2	1.35	2.94	3.57	2.73	2.65
	3	1.32	2.85	3.51	2.73	2.60
	Média	1.34	2.90	3.61	2.72	2.64
D <sub>3</sub>	1	2.31	2.46	2.82	2.94	2.63
	2	2.34	2.49	2.82	2.94	2.65
	3	2.34	2.46	2.70	2.91	2.60
	Média	2.33	2.47	2.78	2.93	2.63
D <sub>4</sub>	1	2.58	2.52	1.20	2.97	2.32
	2	2.64	2.82	1.17	2.91	2.39
	3	2.64	2.82	1.17	2.91	2.39
	Média	2.62	2.72	1.18	2.93	2.36

TABELA 3 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional I (E - F)

		Localização da lateral					
		Vazão do gotejador (l/h)					
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média	
E <sub>1</sub>	1	2.43	2.34	2.97	2.67	2.60	
	2	2.40	2.49	3.33	2.79	2.75	
	3	2.43	2.73	2.85	2.76	2.69	
	Média	2.42	2.52	3.05	2.74	2.68	
E <sub>2</sub>	1	2.52	2.37	2.43	2.31	2.41	
	2	1.77	2.43	2.37	2.28	2.21	
	3	2.61	2.43	2.25	2.10	2.35	
	Média	2.30	2.41	2.35	2.23	2.32	
E <sub>3</sub>	1	2.64	2.76	2.34	1.71	2.36	
	2	2.43	2.70	2.34	1.65	2.28	
	3	2.46	2.76	2.28	1.71	2.30	
	Média	2.51	2.74	2.32	1.69	2.32	
E <sub>4</sub>	1	2.61	2.46	2.97	3.36	2.85	
	2	2.52	2.43	3.00	3.36	2.83	
	3	2.55	2.46	2.82	3.24	2.77	
	Média	2.56	2.45	2.93	3.32	2.82	
F <sub>1</sub>	1	2.49	2.55	3.90	2.73	2.92	
	2	2.49	2.52	3.93	2.70	2.91	
	3	1.83	2.58	3.96	2.73	2.78	
	Média	2.27	2.55	3.93	2.72	2.87	
F <sub>2</sub>	1	2.25	2.25	3.03	2.58	2.53	
	2	2.31	2.16	2.97	2.58	2.51	
	3	2.28	2.25	2.97	2.58	2.52	
	Média	2.28	2.22	2.99	2.58	2.52	
F <sub>3</sub>	1	2.46	2.28	2.61	3.51	2.72	
	2	2.46	2.25	2.49	3.51	2.68	
	3	2.46	2.28	2.61	3.42	2.69	
	Média	2.46	2.27	2.57	3.48	2.70	
F <sub>4</sub>	1	3.57	2.67	2.16	2.70	2.78	
	2	3.78	2.67	2.25	2.70	2.85	
	3	3.81	2.79	2.16	2.64	2.85	
	Média	3.72	2.71	2.19	2.68	2.83	

TABELA 4 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional I (G - H)

Localização da lateral						
Vazão do gotejador (l/h)						
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
G <sub>1</sub>	1	2.58	2.82	2.58	2.10	2.52
	2	2.52	2.82	2.52	2.10	2.49
	3	2.58	2.76	2.58	2.28	2.55
	Média	2.56	2.80	2.56	2.16	2.52
G <sub>2</sub>	1	2.43	2.55	2.67	2.01	2.42
	2	2.25	2.46	2.73	2.07	2.38
	3	2.52	2.46	2.73	1.86	2.39
	Média	2.40	2.49	2.71	1.98	2.40
G <sub>3</sub>	1	2.73	2.76	2.79	3.09	2.84
	2	2.73	2.73	2.85	3.09	2.85
	3	2.70	2.70	2.76	3.00	2.79
	Média	2.72	2.73	2.80	3.06	2.83
G <sub>4</sub>	1	2.91	2.55	2.40	2.61	2.62
	2	2.88	2.64	2.43	2.61	2.64
	3	2.82	2.61	2.40	2.61	2.61
	Média	2.87	2.60	2.41	2.61	2.62
H <sub>1</sub>	1	2.79	2.37	2.22	2.82	2.55
	2	2.61	2.46	1.80	2.76	2.41
	3	2.82	2.40	1.83	2.64	2.42
	Média	2.74	2.41	1.95	2.74	2.46
H <sub>2</sub>	1	2.52	2.25	2.16	2.28	2.30
	2	2.43	2.61	2.16	3.15	2.59
	3	2.52	2.61	2.19	3.06	2.60
	Média	2.49	2.49	2.17	2.83	2.50
H <sub>3</sub>	1	2.40	2.34	2.36	2.82	2.73
	2	2.77	2.49	3.36	3.12	2.94
	3	2.43	2.52	3.24	3.00	2.80
	Média	2.53	2.45	3.32	2.98	2.82
H <sub>4</sub>	1	2.64	3.60	3.78	2.70	3.18
	2	2.64	3.63	3.78	2.70	3.19
	3	2.67	3.72	3.75	2.61	3.19
	Média	2.65	3.65	3.77	2.67	3.19
C.V.		13,60%	11,58%	22,43%	16,29%	8,08%



TABELA 5 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional II (I - J)

		Localização da lateral				
		Vazão do gotejador (l/h)				
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
I <sub>1</sub>	1	2.55	1.17	2.55	2.25	2.28
	2	2.46	1.71	2.34	2.04	2.14
	3	2.40	1.77	2.58	2.16	2.23
	Média	2.47	1.75	2.49	2.15	2.22
I <sub>2</sub>	1	1.80	1.92	2.16	2.58	2.12
	2	1.74	1.92	2.34	2.55	2.14
	3	1.80	1.89	2.28	2.37	2.09
	Média	1.78	1.91	2.26	2.50	2.11
I <sub>3</sub>	1	3.15	2.79	2.40	2.28	2.66
	2	2.82	2.67	2.46	2.34	2.57
	3	2.61	2.67	2.43	2.37	2.52
	Média	2.86	2.71	2.43	2.33	2.58
I <sub>4</sub>	1	1.50	2.52	2.28	1.65	1.99
	2	2.25	2.40	2.10	1.77	2.13
	3	1.83	2.34	2.28	1.74	2.06
	Média	1.87	2.42	2.22	1.72	2.06
J <sub>1</sub>	1	2.34	2.16	2.40	2.28	2.30
	2	2.52	2.43	2.43	2.40	2.45
	3	2.73	2.67	2.70	2.28	2.60
	Média	2.53	2.42	2.51	2.32	2.45
J <sub>2</sub>	1	2.13	3.60	1.80	3.36	2.72
	2	1.95	3.48	1.74	2.97	2.54
	3	2.10	3.60	1.77	3.66	2.78
	Média	2.06	3.56	1.77	3.33	2.68
J <sub>3</sub>	1	3.00	3.54	1.65	2.28	2.62
	2	2.94	3.54	1.26	2.28	2.51
	3	2.88	3.54	1.50	2.40	2.58
	Média	2.94	3.54	1.47	2.32	2.57
J <sub>4</sub>	1	2.28	1.65	2.46	2.28	2.17
	2	2.82	1.59	2.61	2.28	2.33
	3	2.91	1.71	2.61	2.25	2.37
	Média	2.67	1.65	2.56	2.27	2.29

TABELA 6 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional II (K - L)

Localização da lateral						
Vazão do gotejador (l/h)						
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
K <sub>1</sub>	1	2.34	3.81	2.04	0.75	2.24
	2	2.28	3.69	2.04	0.78	2.20
	3	2.37	3.54	2.04	0.75	2.18
	Média	2.33	3.68	2.04	0.76	2.20
K <sub>2</sub>	1	2.58	2.82	2.76	2.76	2.73
	2	2.58	3.36	2.85	3.15	2.99
	3	2.64	3.66	2.85	3.15	3.08
	Média	2.60	3.28	2.82	3.02	2.93
K <sub>3</sub>	1	2.64	2.58	3.30	2.64	2.79
	2	2.64	2.43	3.30	2.58	2.74
	3	2.64	2.25	3.30	2.58	2.69
	Média	2.64	2.42	3.30	2.60	2.74
K <sub>4</sub>	1	12.94	2.22	2.70	2.64	2.63
	2	2.88	2.88	2.64	2.70	2.63
	3	2.91	2.31	2.76	2.43	2.60
	Média	2.91	2.27	2.70	2.59	2.62
L <sub>1</sub>	1	1.77	2.04	1.35	2.28	1.86
	2	1.80	2.30	1.35	2.10	1.89
	3	1.83	2.34	1.35	2.19	1.93
	Média	1.80	2.23	1.35	2.19	1.89
L <sub>2</sub>	1	3.24	2.19	2.70	1.29	2.36
	2	3.15	2.37	2.70	1.35	2.39
	3	3.00	2.28	2.64	1.29	2.30
	Média	3.13	2.28	2.68	1.31	2.35
L <sub>3</sub>	1	2.22	2.67	3.00	2.55	2.61
	2	2.10	2.64	2.91	2.55	2.55
	3	2.10	2.61	3.00	2.37	2.52
	Média	2.14	2.64	2.97	2.49	2.56
L <sub>4</sub>	1	1.50	2.40	3.18	2.61	2.42
	2	1.47	2.34	3.51	2.58	2.48
	3	1.53	2.34	2.88	2.58	2.33
	Média	1.50	2.36	3.19	2.59	2.41

TABELA 7 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional II (M - N)

Localização da lateral						
Vazão do gotejador (l/h)						
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
M <sub>1</sub>	1	1.86	1.74	1.44	3.24	2.07
	2	2.04	2.37	1.26	3.51	2.30
	3	1.80	2.40	1.35	3.24	2.20
	Média	1.90	2.17	1.35	3.33	2.19
M <sub>2</sub>	1	2.31	2.01	3.00	2.28	2.40
	2	2.10	2.25	2.85	2.22	2.36
	3	2.22	2.43	3.00	2.28	2.48
	Média	2.21	2.23	2.95	2.26	2.41
M <sub>3</sub>	1	1.86	1.86	1.95	2.16	1.96
	2	1.68	1.80	1.68	2.07	1.81
	3	1.80	1.86	1.95	2.10	1.93
	Média	1.78	1.84	1.86	2.11	1.90
M <sub>4</sub>	1	1.65	2.70	1.80	1.80	1.99
	2	1.98	2.85	1.95	2.37	2.29
	3	1.95	2.46	2.10	2.22	2.18
	Média	1.86	2.67	1.95	2.13	2.15
N <sub>1</sub>	1	1.80	2.70	2.94	2.28	2.43
	2	1.80	2.88	2.28	2.28	2.31
	3	1.86	2.82	2.76	2.30	2.44
	Média	1.82	2.80	2.66	2.29	2.39
N <sub>2</sub>	1	3.30	2.88	2.88	2.88	2.84
	2	3.00	2.97	3.03	2.40	2.85
	3	3.15	2.64	2.94	2.28	2.75
	Média	3.15	2.83	2.95	2.32	2.81
N <sub>3</sub>	1	3.00	3.03	3.30	3.42	3.19
	2	2.94	2.76	2.82	3.27	2.95
	3	3.00	2.82	3.06	3.27	3.04
	Média	2.98	2.87	3.06	3.32	3.06
N <sub>4</sub>	1	2.82	3.21	2.13	1.68	2.46
	2	2.64	3.15	2.04	1.50	2.33
	3	2.73	3.48	2.16	1.68	2.51
	Média	2.73	3.28	2.11	1.62	2.44

TABELA 8 - Vazões Médias dos gotejadores na unidade operacional II (O - P)

Localização da lateral						
Vazão do gotejador (l/h)						
Posição	Repetição	1° gotejador	2° gotejador	3° gotejador	4° gotejador	Média
O <sub>1</sub>	1	1.89	3.27	1.20	2.88	2.31
	2	1.74	3.15	1.14	2.70	2.18
	3	2.22	3.48	1.26	3.00	2.49
	Média	1.95	3.30	1.20	2.86	2.33
O <sub>2</sub>	1	3.30	3.18	1.89	2.67	2.76
	2	3.30	2.73	1.89	2.67	2.65
	3	3.30	2.37	1.86	2.70	2.56
	Média	3.30	2.76	1.88	2.68	2.66
O <sub>3</sub>	1	2.13	1.83	2.97	2.19	2.28
	2	1.95	2.07	2.94	2.25	2.30
	3	1.92	1.83	2.88	2.04	2.17
	Média	2.00	1.91	2.93	2.16	2.25
O <sub>4</sub>	1	4.20	2.97	1.50	4.05	3.18
	2	3.60	2.40	1.20	3.30	2.63
	3	3.75	2.34	1.14	3.24	2.62
	Média	3.85	2.57	1.28	3.53	2.81
P <sub>1</sub>	1	2.55	3.78	2.40	2.70	2.86
	2	2.55	3.84	2.34	2.73	2.87
	3	2.55	3.75	2.37	2.73	2.85
	Média	2.55	3.79	2.37	2.72	2.86
P <sub>2</sub>	1	2.43	2.28	2.34	2.28	2.33
	2	2.25	2.13	2.16	1.83	2.09
	3	2.25	2.25	2.19	2.34	2.26
	Média	2.31	2.22	2.23	2.15	2.23
P <sub>3</sub>	1	2.10	2.49	3.30	2.10	2.50
	2	2.16	2.52	3.45	2.16	2.57
	3	2.16	2.52	3.30	2.07	2.51
	Média	2.14	2.51	3.35	2.11	2.53
P <sub>4</sub>	1	2.07	2.76	2.34	2.55	2.43
	2	1.95	2.4	2.34	2.55	2.45
	3	2.40	3.45	2.67	2.91	2.86
	Média	2.14	3.05	2.45	2.67	2.58
C.V.		22,5%	21,76%	25,53%	23,73%	11,42%

Pode-se atribuir a variação da vazão às seguintes causas:

- Perdas de carga normais nas laterais e ramificações;
- Vazamentos localizados no final da lateral, final da ramificação por planta, nas inserções dos gotejadores ao microtubo e na inserção do microtubo a lateral;
- Obstruções nos gotejadores;
- Variação na pressão do sistema, devido a oscilações de corrente elétrica.

As perdas de cargas normais nas laterais e ramificações foram consideradas na variação da vazão do gotejador, embora tenha sido utilizados emissores autocompensantes de pressão. As diferenças na vazão devido a vazamentos nos pontos mencionados, foram constatadas quando comparadas com as repetições feitas logo após sua eliminação. A obstrução dos gotejadores foi a principal causa da variação da vazão nas unidades avaliadas. Matéria orgânica e partículas minerais foram encontradas causando entupimentos, devido a deficiências no sistema de filtragem, tanto com relação à retenção de partículas como também à não retrolavagem dos filtros de areia para a mesma diferença de pressão projetada de 49 kPa entre a entrada e a saída dos mesmos.

A variação da pressão no sistema é decorrente da topografia do terreno, perda de carga normal ao longo das tubulações e ramificações, vazamentos e obstruções dos gotejadores e oscilações na corrente elétrica, muito comuns na região. Esta variação de pressão, altera significativamente a vazão dos emissores.

As Tabelas 1 a 8, mostram a vazão média de cada gotejador e lateral de distribuição e o coeficiente de variação. O Coeficiente de Variação (C.V.) mostra pouca variabilidade dessa vazão com 8,08% na unidade operacional I e 11,42% na unidade operacional II. Mostra também maior homogeneidade nos resultados da unidade operacional II.

#### **4.2 - Avaliação da uniformidade de distribuição da água e do fertilizante pelo sistema de irrigação**

A avaliação da uniformidade de distribuição da água e fertilizante extraída das Tabelas 9 e 10 , equivalentes as unidades operacionais I e II, mostram os dados e índices determinados pelos três métodos (CUC, PE e CUMKA).

O método CUC apresentou um índice elevado, com uma média de 94,07% na unidade operacional I e 92,74% na unidade operacional II.

No método P.E. apresentou índice satisfatório com 89,81% na unidade operacional I e 88,62% na unidade operacional II. Analisado pelo método CUMKA encontramos um índice insatisfatório de 71,73% na unidade operacional I e aceitável 82,95% na unidade operacional II. Vale ressaltar que conforme

TABELA 9 - Teor médio de potássio (ppm), obtidos na unidade operacional I

Concentrações				
Posição	Repetição I	Repetição II	Repetição III	Média <sup>(1)</sup>
Saída <sup>(2)</sup>	28.86	27.69	28.08	28.21
A1	25.74	26.52	26.13	26.13
A2	25.35	26.52	26.52	26.13
A3	25.35	25.74	26.52	25.87
A4	25.35	24.96	25.35	25.22
B1	23.01	21.45	24.57	23.01
B2	25.74	25.74	25.74	25.35
B3	25.35	24.57	23.79	24.57
B4	24.57	24.96	24.57	24.70
C1	24.18	23.40	24.57	24.05
C2	25.35	24.18	25.35	24.96
C3	24.57	24.96	24.96	24.83
C4	29.96	24.18	24.96	26.37
D1	25.30	24.57	23.79	24.55
D2	28.47	28.08	28.86	28.47
D3	29.64	30.42	29.25	29.77
D4	29.64	28.86	29.25	29.25
E1	24.57	25.35	24.96	24.96
E2	24.57	26.52	26.52	25.87
E3	25.74	26.91	26.13	26.26
E4	27.30	26.52	25.74	26.52
F1	19.89	21.46	22.62	21.32
F2	24.57	26.91	26.91	26.13
F3	26.52	27.30	28.08	27.30
F4	27.30	26.91	27.69	27.30
G1	25.35	24.57	24.57	24.83
G2	26.52	26.52	24.57	25.84
G3	26.52	26.52	26.13	26.39
G4	28.86	27.69	28.47	28.34
H1	18.72	18.33	18.52	18.52
H2	24.18	26.13	25.74	25.35
H3	26.52	28.47	27.69	27.56
H4	28.86	27.30	28.08	28.08
CUC	93.32	93.40	93.93	94.07
P.E	88.89	88.39	90.27	89.81
CUMKA	72.47	71.16	71.50	71.73
C V.	9,36%	8,85%	8,14%	8,35%

(1) Teor de potássio médio = 25,74 ppm

(2) Teor de potássio na saída dos filtros de tela (cabeçal de controle)

TABELA 10 - Teor médio de potássio (ppm), obtidos na unidade operacional II

## Concentrações

Posição	Repetição I	Repetição II	Repetição III	Média <sup>(1)</sup>
Saída <sup>(2)</sup>	29.25	30.03	30.42	29.90
I1	28.47	30.03	29.25	29.25
I2	30.81	25.74	23.79	26.78
I3	29.64	29.25	29.64	29.51
I4	26.13	28.47	28.47	27.69
J1	29.25	28.47	28.47	28.73
J2	30.03	28.86	30.03	29.64
J3	24.18	25.35	24.57	24.70
J4	23.40	24.18	24.96	24.18
K1	32.27	29.64	32.76	31.56
K2	26,52	26,52	26,52	26,52
K3	22.23	25.35	26.23	24.60
K4	27.69	26.52	26.91	27.04
L1	23.40	23.40	23.40	23.40
L2	24.18	25.74	25.74	25.22
L3	28.86	29.84	30.42	29.71
L4	28.08	27.30	26.52	27.30
M1	28.86	28.86	28.47	28.73
M2	29.25	28.47	28.86	28.86
M3	29.25	28.47	24.57	27.43
M4	25.74	27.69	28.86	27.43
N1	26.52	25.35	28.08	26.65
N2	29.25	30.03	28.08	29.12
N3	30.03	30.42	29.25	29.90
N4	29.64	30.03	29.25	29.64
O1	29.61	26.52	28.08	27.17
O2	25.35	24.96	26.52	25.61
O3	28.08	28.86	28.08	28.34
O4	28.86	28.86	30.03	29.25
P1	24.96	26.52	25.74	25.74
P2	33.15	33.54	35.10	33.93
P3	34.32	34.32	34.54	34.06
P4	35.10	33.54	31.59	33.41
CUC	91.61	92.70	92.57	92.74
P.E	85.59	88.59	87.90	88.62
CUMKA	78.69	82.92	82.74	82.95
C.V.	10,84%	9,23%	9,33%	9,27%

(1) Teor de potássio médio = 28,16 ppm

(2) Teor de potássio na saída dos filtros de tela (cabeçal de controle)



CHRISTIANSEN (1942), para que ocorra uma boa uniformidade de distribuição, este índice, deve estar acima de 80%.

O método CUMKA conduz a valores de coeficiente de uniformidade mais baixos quando comparados aos valores determinados pelos métodos CUC e CUMKA, devido este método ser determinado em função da menor concentração.

O método CUC e o PE não apresentam valores muito discrepantes, visto que, o método CUC é determinado levando-se em consideração a medida de todas as concentrações e o método PE, que é derivado da equação de Christiansen, considera as 25% menores concentrações.

O método CUC leva a uma determinação mais precisa do coeficiente de uniformidade de distribuição, sendo inclusive influenciado pelas concentrações localizada nos finais das laterais, que são mais elevadas devido ao acúmulo do fertilizante.

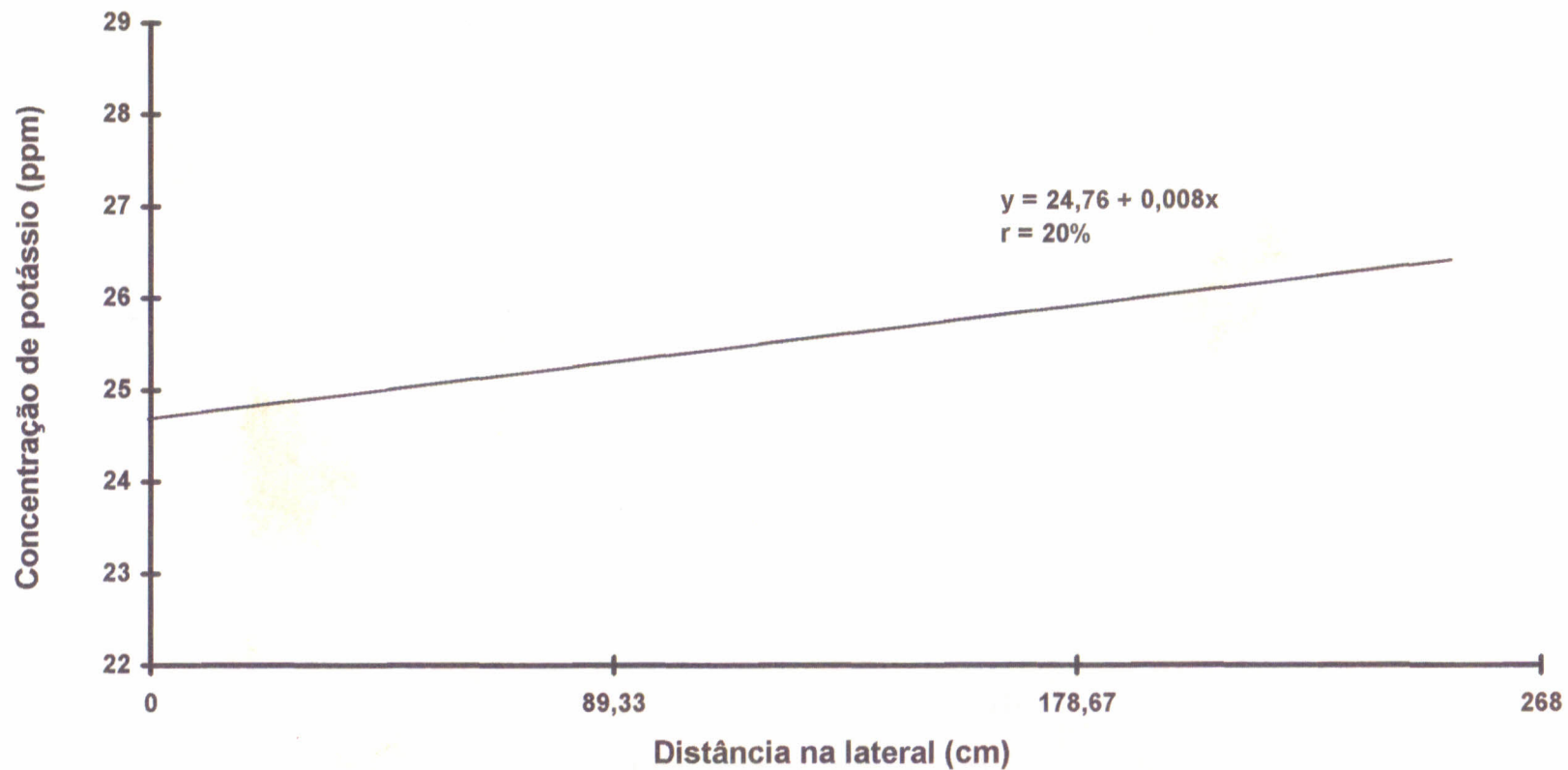
Vale salientar que os métodos empregados avaliam a distribuição de água pelo sistema de irrigação, não refletindo, necessariamente, a distribuição de água no solo em sistemas localizados (são originários da avaliação de sistemas de irrigação por aspersão, nos quais há obrigatoriamente superposição dos jatos dos aspersores e uma melhor correlação entre distribuição de água pelo sistema e distribuição de água no solo).

#### **4.3 - Teores de potássio na água de irrigação**

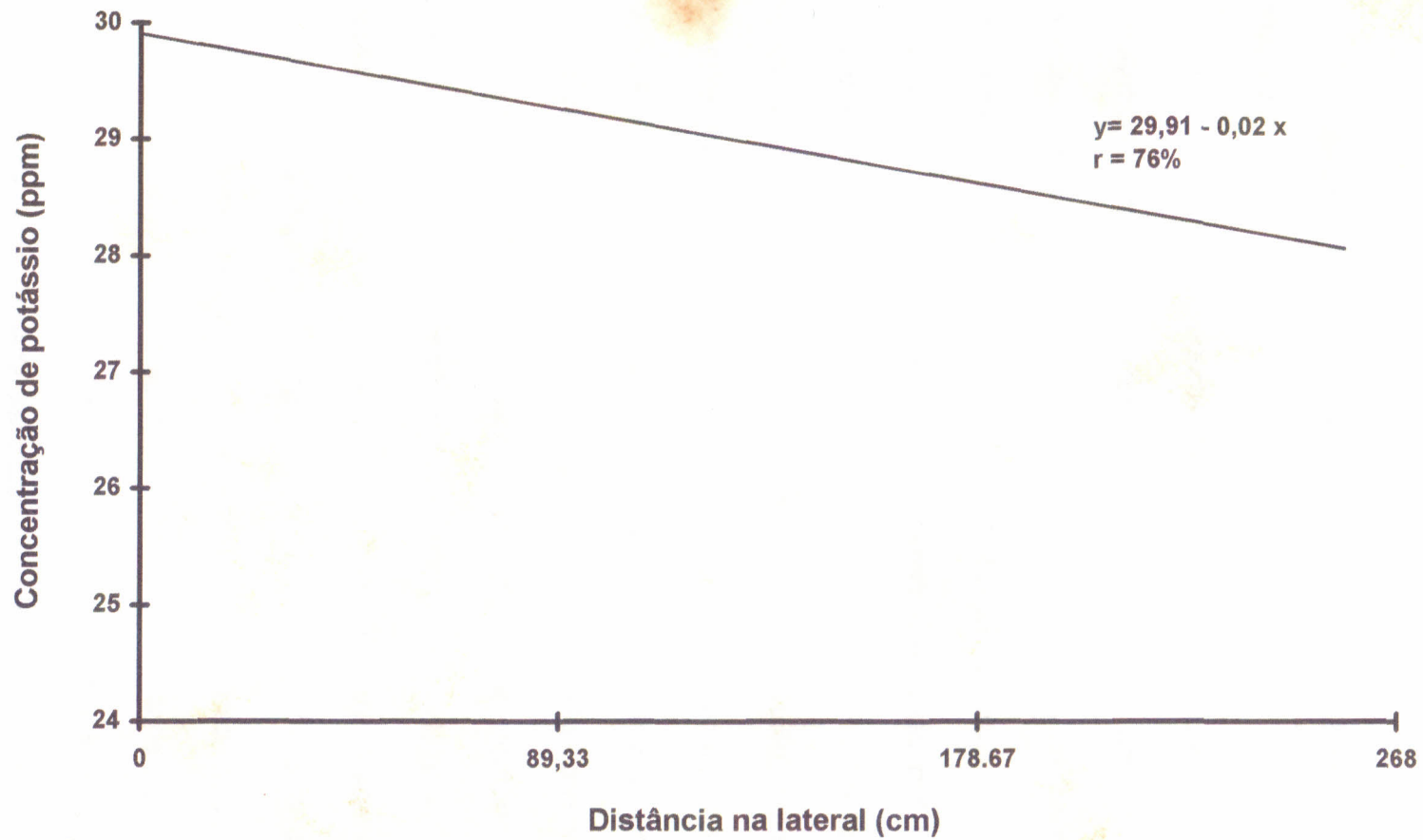
Os teores de potássio das amostras coletadas na saída do cabeçal de controle, após os filtros de areia e nos gotejadores das duas unidades operacionais de irrigação estão expostos nas Tabelas 9 e 10.

A análise dos dados mostra ser maior o teor de potássio na saída do cabeçal de controle, e que ocorre um aumento de concentração nos teores do início para o fim da linha lateral e da derivação. Assim, os maiores teores de potássio encontrados se posicionam nos finais das linhas laterais e últimos gotejadores nas unidades operacionais. Isto está de acordo com o que foi encontrado por ZANINI (1987) e SANTOS (1991).

Nas Figuras 6 e 7 estão apresentadas as curvas de regressão e equações lineares calculadas através do gráfico da concentração de potássio versus distância das laterais. Verifica-se que a quantidade de potássio pode ser representada por uma equação do primeiro grau, não ocorrendo estreita relação entre as duas variáveis abordadas, mesmo sendo o coeficiente angular das equações muito pequeno.



**FIGURA 6 - Curva e equação de regressão para a concentração de potássio versus distância na lateral da unidade operacional I**



**FIGURA 7 - Curva e equação de regressão para a concentração de potássio versus distância na lateral da unidade operacional II**

#### 4.4 - Distribuição da água e fertilizante no solo

As Figuras 8, 9 e 10 representam o perfil de umidade com base no peso do solo seco.

A análise destas figuras nos mostra com clareza ter havido um desenvolvimento predominantemente vertical dos bulbos úmidos formados nos gotejadores instalados em cada planta. Essa tendência na configuração dos bulbos molhados era esperada dada a natureza arenosa do solo da área experimental. Isto está de acordo com observações feitas por HUNG (1995), segundo o qual, quando se irriga um solo arenoso o bulbo úmido formado apresenta uma maior dimensão vertical, devido a ação predominante da componente gravitacional no balanço de forças intervenientes no processo de infiltração e redistribuição da água. Verifica-se na área estudada um inadequado encontro das frentes de molhamento proporcionadas pelos diversos emissores dispostos em cada planta; a superposição dos bulbos molhados é condição considerada desejável para uma boa distribuição de umidade no volume de solo a ser explorado pelo sistema radicular das plantas. Isto indica também que, possivelmente, não foram adequados os dados de partida e os testes de campo que nortearam o projeto original para irrigação da área (testes envolvendo diferentes vazões e tempos de aplicação são recomendados para que se possa determinar um bom posicionamento dos emissores e distribuição adequada de água no solo). Na área irrigada estudada, observa-se grande variabilidade no



FIGURA 8 - Perfil de umidade com base no peso do solo seco (Repetição I)

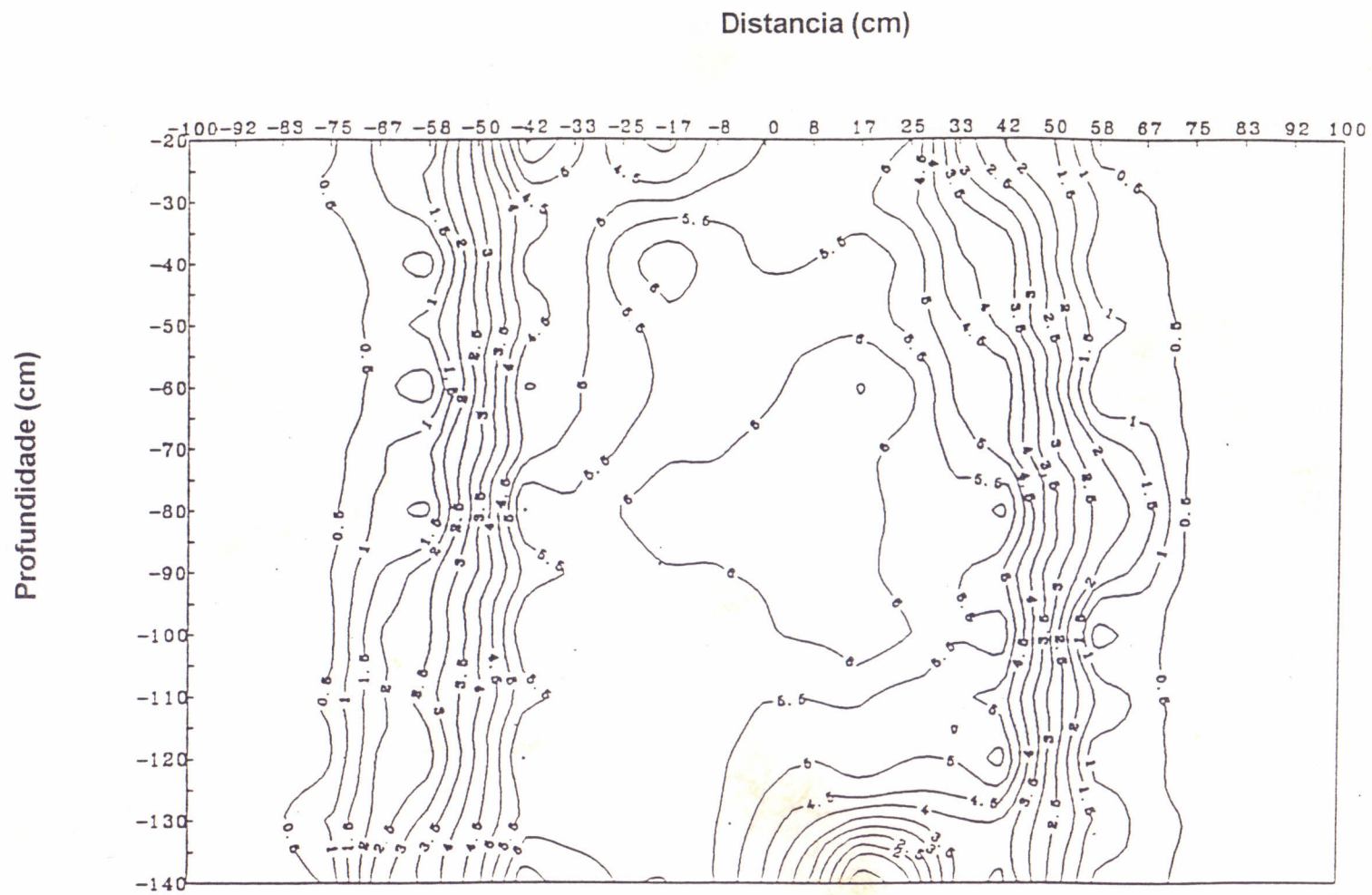


FIGURA 9 - Perfil de umidade com base no peso do solo seco (Repetição II)

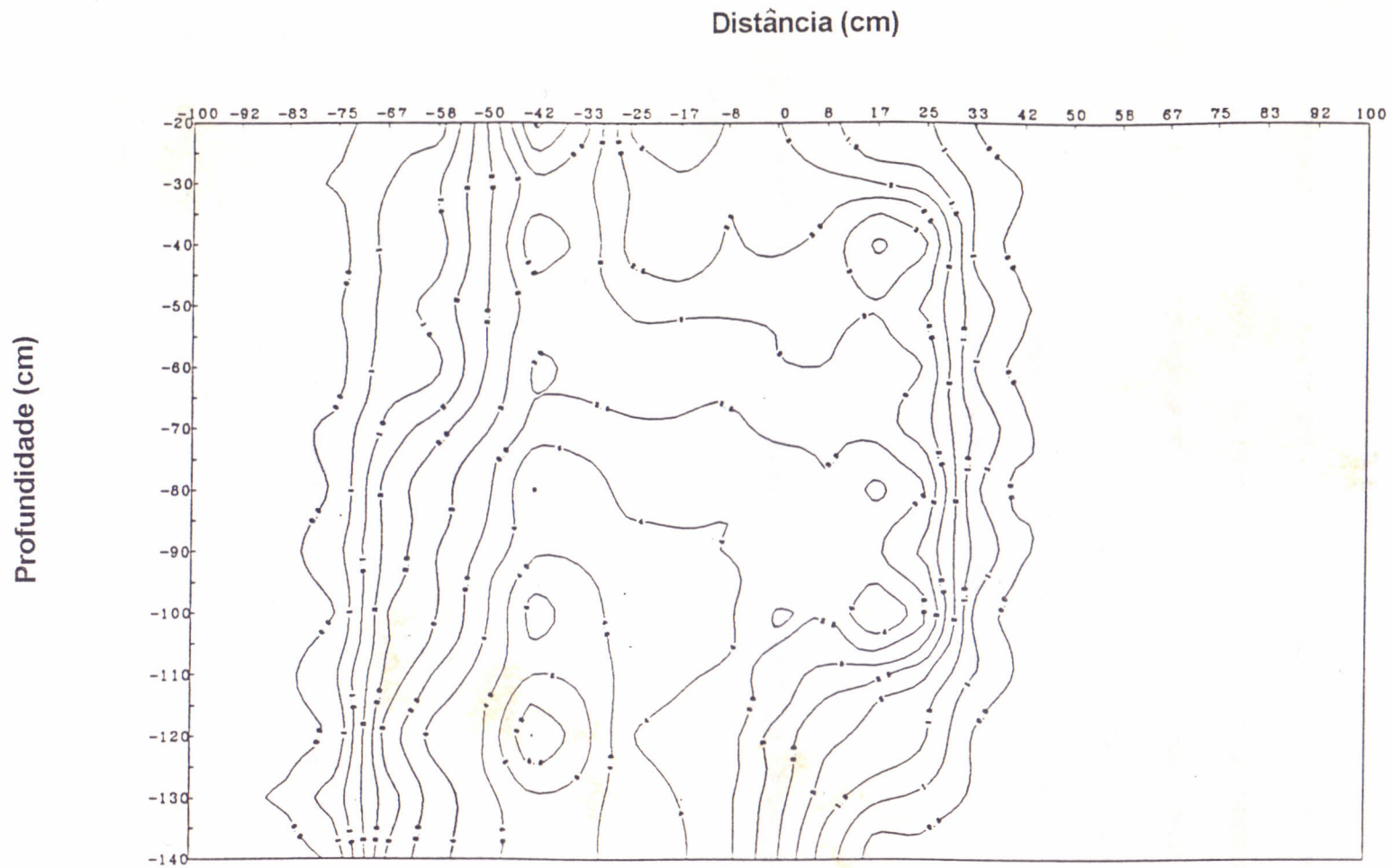


FIGURA 10 - Perfil de umidade com base no peso do solo seco (Repetição III)



posicionamento (distância entre gotejadores servindo a uma mesma planta) dos emissores, embora na realização dos testes de distribuição da água no solo, os emissores tenham sido dispostos segundo a recomendação do projeto original.

Em decorrência da camada arenosa apresentar alta taxa de infiltração, ocorre drenagem e percolação da lâmina de água e fertilizante para camadas abaixo do sistema radicular, com maior concentração da umidade a 1,40 m de profundidade, visto encontrar-se aí uma camada com maior teor de argila, e conseqüentemente, apresentar maior capacidade de retenção de água. Essa drenagem da lâmina de água abaixo da zona radicular reduz a eficiência da irrigação e aumenta a quantidade de fertilizante requerido.

#### **4-5 - Efetividade do sistema de irrigação em satisfazer as necessidades da cultura**

Como foi visto anteriormente, embora o sistema em si apresente bons índices na avaliação da distribuição da água, a formação de um volume de solo umedecido não é feita de forma adequada, devido a baixa vazão dos emissores, o que propicia deslocamento preponderantemente vertical da água, com perdas por percolação e perdas do fertilizante abaixo do sistema radicular. As plantas apresentam sinais de estresse hídrico, desuniformidade no crescimento e produção, devido também a um manejo inadequado do sistema de irrigação. Por

ser a área situada em uma localidade (litoral oeste cearense) em que as precipitações pluviais anuais são mais abundantes (média anual de 1.107,88 mm/ano), do que no restante do Estado, os efeitos na cultura, embora visíveis, são menos drásticos.

## 5 - CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no trabalho, dentro das condições em que foram feitos os testes e com a metodologia utilizada, tornam pertinentes as seguintes conclusões:

1. O projeto de irrigação original apresenta falhas de concepção (como vazão, tempo de aplicação e posicionamento inadequado dos emissores), com reflexos negativos na distribuição da água no solo e no desempenho da cultura;
2. O manejo do sistema também não tem sido efetuado de maneira adequada (com emissores deslocados de posição e não uso do equipamento injetor de fertilizantes), agravando ainda mais as falhas iniciais do projeto e prejudicando a cultura;
3. Os bons índices de distribuição da água obtidos para o sistema (CUC médio de 94,07% na unidade I e 92,74% na unidade II e PE médio de 89,81% na unidade I e 88,62% na unidade II ), não refletem, necessariamente, boa distribuição de água no solo da área, como ficou patente no caso em estudo;

4. A distribuição de fertilizante no sistema e no solo acompanha, aproximadamente, a distribuição de água, sendo portanto, válido afirmar que a má distribuição da água no solo seria também acompanhada por uma má distribuição de fertilizantes, se o sistema estivesse sendo rotineiramente usado para fertirrigação;
  
5. A pluviosidade relativamente elevada (1.107,88 mm/ ano) na área em que foi realizado o trabalho, tende a amenizar os efeitos negativos mencionados nos itens anteriores.

## **6 - RECOMENDAÇÕES**

1. Com relação especificamente ao sistema de irrigação estudado, visando incremento da produtividade da cultura, recomenda-se:

- Correção do posicionamento, fixação dos emissores, e reestudo do tempo de aplicação da água e frequência das irrigações;
- Replanejamento e uso do sistema de aplicação de fertilizantes, já existente no sistema, com utilização de novas formulações encontradas atualmente no mercado.

2. Recomendações de ordem geral, visando o incremento da produtividade e uso adequado da microirrigação e da fertirrigação para a cultura do coqueiro na região:

- Estudo das necessidades de água, aproveitando-se as instalações lisimétricas e meteorológicas já em funcionamento em Paraipaba/CE, e com condições climáticas semelhantes às do local de trabalho;

- Estabelecimento de um calendário de irrigação para a cultura, levando-se em conta a pluviosidade do litoral cearense e as necessidades de água da planta;
- Estudo das necessidades nutricionais da cultura e das interações dos fertilizantes aplicados, através do sistema de irrigação, nos diferentes estágios de desenvolvimento da planta.

## 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARMONI, S. **Micro-sprinkler irrigation**. Israel: Dan sprinkler, Kibbutz Dan, 1986. 91 p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5 ed. Viçosa, MG, UFV, 1989. 596 p.
- BRANSON, R.L.; SCHULBACH; RAUSCHKOLB, R.S. & RIBLE, J.M. Application of chemicals through drip systems. In: **Drip irrigation management**. University of California, Division of Agricultural Science, 1981. p.14 - 19.
- BRESLER, E.; McNEAL, B.L. & CARTER, D.L. Saline and sodic soils: principles-dynamics-modeling. In: **Advanced series in agricultural science** 10. Springer-Verlag. New York, 1982. 238 p.
- CUENCA, R.H. **Irrigation system design: an engineering approach**. New Jersey: Oregon State University, Department of Agricultural Engineering, 1989. 552 p.
- CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Agricultural Experimental Station, Berkely, Bulletin nº 670, 1942. 124 p.
- DARCY, H. Les fontaines publique de la ville de dijon. Paris: Victor Dalmont. 1865. 592 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Coco, Aracaju, SE. **Instrução para o cultivo do coqueiro**. Aracaju: EMBRAPA - CNPC Aracaju, 1986 27 p.(Circular Técnica,3).

- F.A.O. (Food Agricultural Organization), Roma, Itália. **Localized irrigation**. 1984. 203 p. (Irrigation and drainage paper, 36).
- FERNANDES, F.B.P. **Estudo de características hidráulicas do microaspersor "CBI" e avaliação da uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por microaspersão em condições de campo**. Fortaleza: UFC, 1989. 72 p. (Dissertação de Mestrado).
- FRIZZONE, J.A.; ZANINI, J.R.; PAES, L.A.D & NASCIMENTO, V. M. **Fertirrigação mineral**. Ilha Solteira, SP: UNESP, 1985. 31 p. (*Boletim Técnico*, 2).
- GONZÁLEZ, C.M.; MENDONZA, G.R. & SANCHEZ, J.G.J. **Riego por goteo**. Colombia: SENA, 1981. 65 p.
- HUNG, Joe Y.T. **Microirrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment**. Orlando, Florida. 1995. p. 292 - 296.
- JAMES, L.G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: Washington State University, 1988. 543 p.
- KELLER, J. & BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- KELLER, J. & KARMEELLI, D. Trickle irrigation design. California. Rain Bird. Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.
- KLEIN, Y. **Irrigation and fertigation of fruit trees by drip irrigation**. Israel: Bet Dagon, 1983. (Não paginado).
- MILLER, R.J.; BIGGAR, J.W.; HOFFMAN, G.L. & ROLSTON, R.L. Water and salt movement. In: **Soils under drip irrigation**. University of California, Division of Agricultural Science, 1981. p. 3 - 5.



- NAKAYAMA, F.S & BUCKS, D.A. *Trickle irrigation for crop: production, design, operation and management*. Phoenix, Arizona: USDA, Water Conservation Laboratory, 1986. 383 p.
- OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo: Nobel, 1987. 267 p.
- REICHARDT, K. *Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera*. 4ª ed. Campinas: Fundação Cargil, 1985. 444 p.
- \_\_\_\_\_. *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manote, 1987. 188 p.
- SANTOS, F.J.S.; **Dimensionamento de um equipamento de fácil construção para aplicação de fertilizante em um sistema de irrigação por microaspersão**. Fortaleza: UFC, 1991. 60 p. (Dissertação de Mestrado).
- SHANI, M. *La fertilizacion combinada con el riego*. Israel: Ministério da Agricultura, 1981. 36 p.
- USDA. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington, D.C., 1954. 160 p. (*Agriculture Handbook*, 60).
- WARRICK, A.W. Design principles: soil water distribution. In: *Trickle irrigation for crop production: design, operation and management*. Amsterdam: Elsevier, c1986. 388 p. p.93 - 116. (Developments in agricultural engineering, 9).
- ZANINI, J.R. *Hidráulica da fertirrigação por gotejamento utilizando tanque de derivação de fluxo e bomba injetora*. Piracicaba: ESALQ/USP, 1987. 103 p. (Tese de Doutorado).
- \_\_\_\_\_. & OLITTA, A.F.L. Aplicação de fertilizantes com bomba injetora na fertilização por gotejamento. *Irrigação e Tecnologia Moderna*, Brasília, n. 36, p. 21-24, 1989.