

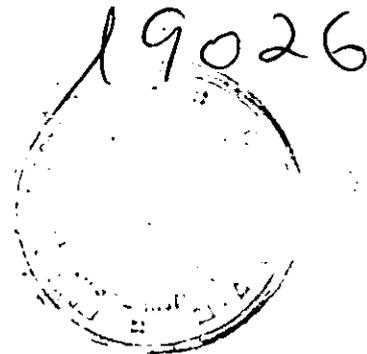
20

~~631.6~~
~~Abd~~

EXT. R-23

Universidade Eduardo Mondlane
Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
Departamento de Engenharia Rural
Secção de Rega e Drenagem

23



Tese de Licenciatura

**Descrição Agronómica e Hidráulica do Sistema
de Rega Gota a Gota de Baixo Custo**

Por Danilo Carimo Abdula, com a supervisão do Prof. Doutor Rui Brito

Maputo, Setembro de 1999

Danilo Carimo Abdula

**Descrição Agronómica e Hidráulica do Sistema
de Rega Gota a Gota de Baixo Custo.**

Trabalho apresentado a Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane, como pré requisito para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Rural.

**Maputo - Moçambique
Setembro 1999**

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Doutor Rui Brito**, meu docente em Rega e Drenagem e também meu supervisor, pela sugestão do tema e pelos ensinamentos transmitidos durante a minha formação académica e elaboração do presente trabalho, **a minha profunda gratidão.**

Ao **Sr. Pedro Machel**, técnico de Rega e Drenagem da FAEF que me acompanhou durante o trabalho de campo, **o meu apreço e reconhecimento.**

Aos responsáveis pela biblioteca da FAEF, em especial as senhoras **Ana e Isabel**, que me facultaram parte da bibliografia usada no trabalho, **os meus beijinhos.**

Ao **PSA/MAP/MSU**, em especial a Eng^a Ana Paula Santos, Eng^o Higino de Marrule, Eng^o Arlindo Miguel, Eng^o Jaquelino Massingue, e os técnicos Rafael Achicala, Simão Nhane, Abel Frechaut, Francisco Monteiro e Maria da Conceição, pelo apoio prestado na área de informática, redação, organização e compilação do texto, **o meu kanimambo.**

Aos **meus colegas de ano**, em especial ao Lucas Tivana, Francisco Matuca, António Júlio, Filipe Amone, Casimiro Macoo e outros mais, pelo acompanhamento, sugestões, críticas e incentivo, **o meu muito obrigado.**

Aos **meus amigos (as)**, que são muitos (as) graças a deus, pela paciência, compreensão, amizade e sobretudo pela solidariedade nas noites e dias de trabalho em busca deste final, **I would like to say *muchas gracias.***

Aos **docentes** que directa ou indirectamente contribuíram para a minha formação, **o meu abraço.**

A **dona Rossana**, pelo esforço dedicado durante anos na educação do seu filho, especialmente nos últimos cinco anos, **que deus a abençoe.**

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Omar Juma Abdula e Rossana Abdul Karimo, ao meu irmão Amiro, ao meu primo Cafufo e ao meu sobrinho Alan Michel, que são parte integrante da minha vida, dedico este trabalho.

RESUMO

O presente trabalho descreve agronômica e hidraulicamente um sistema de rega gota a gota de baixo custo desenvolvido pelo Institute for Soil Climate and Water (ISCW) sediado na vizinha África do Sul, um instituto que lida com aspectos ligados ao clima, solo e água.

Na descrição agronômica, o trabalho tem como objectivos específicos a determinação do número de distribuidores por planta, a dotação e a frequência de rega para a cultura seleccionada, enquanto que para a descrição hidráulica os objectivos centram-se mais na determinação das eficiências de aplicação e uniformidade, e também na determinação do diâmetro óptimo das linhas laterais.

Para se atingir os objectivos traçados na parte agronômica, instalou-se o sistema de rega no campo de ensaios da FAEF e procedeu-se a várias determinações descritas ao pormenor nos capítulos III e IV do trabalho. Foram também usados alguns dados meteorológicos do posto climatológico existente na FAEF.

Os principais resultados do trabalho indicam-nos que para um número de distribuidores por planta igual a 1, a dotação de rega será igual a 0.31 l/planta, com uma frequência de 1 dia. Tal como está desenhado o sistema, as eficiências de aplicação e uniformidade serão iguais a 55.2% e 55.4%, respectivamente.

As principais conclusões a tirar sobre a descrição do sistema, focalizam mais a baixa eficiência do sistema, tanto a de aplicação como a de uniformidade. Contudo, poder-se-á elevar estas eficiências do sistema, desde que se garanta outras formas mais perfeitas de se projectar as linhas laterais.

LISTA DAS TABELAS

	Pág.
Tabela 1: Classificação dos distribuidores, segundo o <i>CV</i> .	12
Tabela 2: Valores de <i>CU</i> recomendados para a rega gota a gota.	13
Tabela 3: Duração dos estágios de crescimento em dias para a cultura da alface.	29
Tabela 4: Valores de <i>ET_o</i> calculados com base na fórmula de Blaney Criddle.	29
Tabela 5: Necessidades líquidas e totais de água de rega para a cultura da alface.	30
Tabela 6: Caudais que passam nas linhas laterais.	34
Tabela 7: Número de Reynolds e factor de fricção para as laterais.	35
Tabela 8: Perdas de carga nas laterais.	35
Tabela 9: Pressão no ponto A.	35
Tabela 10: Pressão na origem das laterais.	36
Tabela 11: Perdas de carga quando $L = 2.4$ m (39% do L total).	36
Tabela 12: Perdas de carga quando $L = 2.4$ m, expressas em percentagem em relação as perdas totais.	37
Tabela 13: Valores da pressão de funcionamento dos distribuidores.	37
Tabela 14: Comparação entre as perdas de carga nas laterais e as admissíveis.	38

LISTA DOS ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Esquema do sistema de rega gota a gota de baixo custo.	47
Anexo 2: Resumo dos dados de evapotranspiração potencial do posto climatológico da FAEF.	49
Anexo 3: Resultados da análise laboratorial de solos da área de estudo efectuadas pelo INIA.	51
Anexo 4: Horas luz por dia expressas como percentagem do total anual.	53
Anexo 5: Tempos recolhidos em seis repetições para a determinação do Coeficiente de uniformidade.	55
Anexo 6: Caudais em ml/seg em cada copo para seis repetições.	59
Anexo 7: Caudais médios em cada copo em ml/seg e em l/h.	63
Anexo 8: Caudais médios em l/h agrupados em ordem ascendente.	67
Anexo 9: Caudais médios em cada copo e os respectivos desvios em relação ao caudal médio geral.	69
Anexo 10: Água disponível e factor de depleção (tabelas da FAO).	71
Anexo 11: Gráfico caudal x pressão.	73
Anexo 12: Resultados da ANOVA	75

LISTA DOS ACRÓNIMOS

ab - compasso usado para a cultura
A - Área de secção
AD - Água disponível
AFU - Água facilmente utilizável
cm - Centímetros
C - Coeficiente (277778)
Cc - Humidade correspondente à capacidade de campo
CE - Conductividade Eléctrica
CE_{es} - Conductividade eléctrica do extracto saturado
Cm - humidade correspondente ao ponto de emurchecimento
CU - Coeficiente de Uniformidade
CU_t - Coeficiente de Uniformidade Teórico
CV - Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores
d - diâmetro interior da lateral
D - Diâmetro da lateral
D_a - Diâmetro aéreo da planta
D_m - Diâmetro molhado
D_{max} - Dotação máxima
DR - dose ou dotação de rega
DCC - Delineamento completamente casualizado
Ea - Eficiência de Aplicação
ETc - Evapotranspiração do cultivo
ETo - Evapotranspiração de referência
E.U.A. - Estados Unidos da América
f - Factor de Christiansen
FAEF - Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
FAO - Food and Agriculture Organization
g - gravidade (9.81m/s²)
GL - Graus de liberdade
Gw - Ascensão capilar
h - Horas de luz, expressas como % do total anual
H - Pressão de funcionamento do distribuidor
Ha - Hectares
H_{ad} - Perda de carga admissível
H_L - Perda de carga na lateral
INIA - Instituto Nacional de Investigação Agronómica
ISCW - Institute for Soil, Climate and Water
Kc - Coeficiente de cultura

K_d - Coeficiente de descarga do distribuidor
 l - litro
 L - Comprimento da lateral
 LR - Leaching requirements
 ml - mililitros
 mm - milímetros
 Nd - Número de distribuidores por planta
 NLr - Necessidades líquidas de rega
 NTr - Necessidades totais de rega
 pH - Logarítmo da concentração do ião hidrogénio
 π - π (3.14)
 P - Percentagem de solo molhado
 p - Fração de água disponível
 P_A - Pressão no ponto A
 Pe - Precipitação efectiva
 P_L - pressão na origem da lateral
 Pr - Profundidade radicular
 PVC - Poli Vinil Cloreto
 q - caudal
 q_{min} - Caudal mínimo
 q_{med} - Caudal médio
 q_{max} - Caudal máximo
 QM - Quadrados médios
 Q_l - Caudal total que passa na lateral
 Re - Reynolds; número de Reynolds
 R.S.A. - Republic of South Africa
 Smd - Superfície molhada por distribuidor
 Smp - Superfície molhada por planta
 SQ - Soma dos quadrados
 t_a - Tempo de aplicação
 TMm - Temperatura média mensal
 V - Velocidade média
 Va - Volume de água aplicado
 Vmp - Volume molhado por planta
 Vn - Volume de água requerido
 x - Expoente descarga do distribuidor

ε - Termo erro
 σ - Variância
 τ - Efeito de cada linha
 μ - Média geral
 v - Viscosidade cinemática da água
 Δq - Variação de caudal
 ΔW - Variação de armazenamento
 ΔZ - Diferença de cotas

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
DEDICATÓRIA	ii
RESUMO	iii
LISTA DAS TABELAS	iv
LISTA DOS ANEXOS	v
LISTA DOS ACRÓNIMOS	vi
CAPÍTULO I INTRODUÇÃO	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Descrição do sistema de rega gota a gota de baixo custo	2
1.3. Objectivos do trabalho	2
1.3.1. Gerais	2
1.3.2. Específicos	3
1.4. Caracterização da área de estudo	3
1.4.1. Localização	3
1.4.2. Clima	3
1.4.3. Solos	4
1.5. Estrutura do trabalho	4
CAPÍTULO II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Definição de rega gota a gota	5
2.2. Antecedentes	5
2.3. A rega gota a gota no mundo	6
2.4. Características da rega gota a gota	7
2.5. As relações solo-planta-água na rega gota a gota	8
2.5.1. Perda de água no solo	8
2.5.2. Transpiração	8
2.5.3. Aeração do solo	8
2.5.4. Distribuição do sistema radicular	9
2.5.5. Salinidade	9
2.6. Vantagens e inconvenientes da rega gota a gota	10
2.7. Tipos de rega gota a gota	10
2.8. Componentes duma instalação de rega gota a gota	11
2.9. Regime do fluxo	11
2.10. Características hidráulicas dos distribuidores	11
2.11. Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores	12
2.12. Eficiência de aplicação e coeficiente de uniformidade	13
CAPÍTULO III DESCRIÇÃO AGRONÓMICA	14
3.1. Introdução	14
3.2. Cultura seleccionada	14
3.3. Necessidades líquidas e totais de água de rega	15
3.3.1. Cálculo da evapotranspiração de referência	16
3.3.2. Determinação do coeficiente de cultivo	16
3.3.3. Cálculo da evapotranspiração do cultivo	17

3.3.4. Cálculo das necessidades líquidas de rega	17
3.3.5. Cálculo das necessidades totais de rega	18
3.4. Distribuição da água as plantas	19
3.4.1. Superfície molhada por distribuidor	19
3.4.2. Percentagem do solo molhado	20
3.4.3. Superfície molhada por planta	20
3.4.4. Número de distribuidores por planta	20
3.4.5. Volume molhado por planta	20
3.5. Dotação de rega e Frequência de rega	21

CAPÍTULO IV DESCRIÇÃO HIDRÁULICA 22

4.1. Introdução	22 x
4.2. Eficiência de rega	22
4.2.1. Determinação do Coeficiente de Uniformidade	22 x
4.2.2. Determinação da Eficiência de Aplicação	23
4.3. Expoente de descarga do distribuidor	24
4.4. Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores	24
4.5. Coeficiente de Uniformidade Teórico	25
4.6. Coeficiente de Uniformidade segundo Christiansen	25
4.7. Tempo de aplicação	25
4.8. Cálculo da tuberia lateral	26
4.8.1. Comparação entre as linhas laterais	26
4.8.2. Número de Reynolds	26
4.8.3. Perda de carga na lateral	26
4.8.4. Tolerância de caudais	27
4.8.5. Tolerância de pressões	27
4.8.6. Perda de carga admissível na lateral	28
4.8.7. Pressão na origem da lateral	28 x

CAPÍTULO V RESULTADOS AGRONÓMICOS 29

5.1. Duração em dias de cada estágio de desenvolvimento da cultura	29
5.2. Evapotranspiração de referência	29
5.3. Necessidades líquidas e totais de água de rega	30
5.4. Dotação de rega, número de distribuidores e frequência de rega	31

CAPÍTULO VI RESULTADOS HIDRÁULICOS 33 x

6.1. Tempo de aplicação	33
6.2. Coeficiente de uniformidade e eficiência de aplicação	33
6.3. Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores	33
6.4. Coeficiente de uniformidade teórico	34
6.5. Comparação entre as linhas laterais	34
6.6. Número de Reynolds	34
6.7. Perdas de carga nas laterais	35
6.8. Pressão na origem das laterais	35

6.9. Perdas de carga entre L=0 e L=39% da longitude total	36
6.10. Pressão de funcionamento dos distribuidores	37
6.11. Tolerância de caudais	37
6.12. Perdas de carga admissíveis na lateral	38
6.13. Comparação entre as perdas de carga na lateral e as admissíveis	38 x

CAPÍTULO VII	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	39 x
---------------------	---------------------------------	-------------

CAPÍTULO VIII	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
----------------------	-----------------------------------	-----------

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
-----------------------------------	-----------

ANEXOS

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades.

Durante muitos séculos, o Homem praticou a rega sem cuidados de maior, isto é, sem se preocupar em fornecer ao solo as dotações mais apropriadas e em escolher, para esse efeito, os momentos mais convenientes às circunstâncias em causa.

Actualmente, à medida que se vai verificando que a disponibilidade de água doce à superfície terrestre se torna cada vez mais insuficiente para as crescentes necessidades do Homem (em face das múltiplas utilizações da água, quer em consumos domésticos, industriais, agrícolas, etc), problema que se agrava com o aumento da poluição, não se pode continuar a realizar regas com muitas perdas de água, quer por escoamento superficial ou por infiltração. Importa efectua-las racionalmente, de modo a fornecer às plantas cultivadas as quantidades exactas de água de que estas precisam, e a utilizar para esse efeito os momentos mais adequados e o sistema de rega mais apropriado que, como se sabe, depende das circunstâncias em causa, particularmente a natureza das culturas a beneficiar, a topografia e a textura do terreno a regar, a mão de obra disponível, o clima, e outras mais.

Existem vários sistemas de rega, mas em rigor não existe nenhuma classificação que seja perfeita. Segundo Raposo, J. R. (1994) citando Mayer, R. e Mendonca, V., existem dois grandes grupos de sistemas de rega : a **rega por gravidade** onde se incluem os métodos de escoamento (onde os processos são as regadeiras de nível, regadeiras inclinadas, cavaletes e faixas), submersão (canteiros e caldeiras) e infiltração (sulcos e rega subterrânea). O segundo grupo é a **rega à pressão** onde encontramos os métodos gota a gota, miniaspersão e aspersão.

Em pequenas propriedades familiares, a água é um dos muitos factores limitantes para o cultivo de vegetais. Muitas vezes, os vegetais crescem abaixo das condições óptimas de rega. Por isso, a água destinada ao cultivo de vegetais nestas propriedades, deve ser aplicada de modo que os vegetais tenham a maior vantagem no seu uso.

Um sistema de rega gota a gota de baixo custo foi desenvolvido pelo "Institute for Soil, Climate and Water" (ISCW) sediado na República da África do Sul. É um sistema concebido essencialmente para o uso em culturas hortícolas, especialmente em áreas peri urbanas. O presente trabalho descreve o referido sistema, focando mais a parte agronómica e hidráulica.

1.2. Descrição do sistema de rega gota a gota de baixo custo.

O sistema de rega gota a gota de baixo custo, consiste de um tambor com uma capacidade de 210 litros e seis tubos de plásticos (PVC), de comprimento igual a 6,30 m.

O tambor deve estar ligeiramente acima do nível do solo, assente em quatro tijolos. Os tubos são colocados sobre a área a ser irrigada, num arranjo que depende do espaçamento da cultura a ser regada. Estes tubos estão ligados através de dispositivos em forma de T e em cotovelo. Deste arranjo de tubos, parte um outro tubo que faz a ligação com a torneira conectada ao tambor.

Cada um dos seis tubos contém 19 buracos gotejantes (distribuidores) feitos com um prego, estando espaçados de 30 em 30 cm. Uma pequena espécie de fio de nylon é colocada em cada buraco gotejante para actuar como gotejador. Na extremidade de cada tubo, coloca-se uma rolha para impedir a saída da água.

Pode-se usar um balde de 20 litros ou uma mangueira ligada a uma torneira para encher o tambor. O processo de irrigação começa logo após a abertura da torneira.

1.3. Objectivos do trabalho.

1.3.1. Gerais

O objectivo geral deste trabalho é :

- Descrição agronómica e hidráulica do sistema de rega gota a gota de baixo custo.

1.3.2. Específicos

Os objectivos específicos deste trabalho são :

- Determinar o número de distribuidores por planta.
- Determinar a dotação e a frequência de rega.
- Determinar a eficiência de aplicação (*Ea*) e o coeficiente de uniformidade (*CU*).
- Avaliar o diâmetro óptimo das laterais.

1.4. Caracterização da área de estudo.

1.4.1. Localização

O trabalho foi realizado no campo experimental da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, situado na cidade de Maputo, com as coordenadas geográficas 25° 53' latitude Sul e 32° 36' longitude Este, e 60 m de altitude.

1.4.2. Clima

A descrição do clima baseou-se em dados históricos de 21 anos (1977-1997) obtidos nos arquivos de dados meteorológicos existentes na FAEF. Todos os dados são do posto climatológico instalado na FAEF.

O valor médio da precipitação situa-se em 620 mm, sendo Janeiro o mês mais chuvoso (119.9 mm) e Junho o mês mais seco (12.4 mm). O ano pode ser dividido em duas estações climáticas: uma quente e húmida, de Setembro a Abril, e outra fria e seca, de Maio a Agosto. No período húmido regista-se cerca de 89% da precipitação total anual.

A temperatura média mensal anual é cerca de 23.2 °c, sendo Junho o mês mais frio e Janeiro o mês mais quente.

O total anual médio da evapotranspiração potencial, calculado com o método de Blaney-Criddle, é de 1890 mm. Em geral, o valor máximo regista-se em Dezembro e o mínimo em Junho, com 192 mm e 124 mm respectivamente.

O anexo 2 apresenta os dados de ETP do posto de observação climatológica existente na Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal (FAEF).

1.4.3. Solos

O solo é de textura arenosa com um teor de matéria orgânica igual a 0.3% na camada de solo compreendida entre os 0-30 cm de profundidade. O valor do pH em água era de 7.2 e a CE de 0,08 mmhos/cm.

O anexo 3 apresenta os resultados das análises de solos efectuadas pelo Instituto Nacional de Investigação Agronómica (INIA).

1.5. Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em sete capítulos. O primeiro, dos quais o presente faz parte, é o capítulo introdutório, onde está inserida uma descrição do sistema de rega de baixo custo, os objectivos do trabalho e a caracterização da área de estudo.

O segundo capítulo, o da revisão bibliográfica, aborda o sistema de rega gota a gota, desde a sua definição, origem, características, até aos aspectos técnicos/hidráulicos que caracterizam um sistema de rega gota a gota.

O terceiro e quarto capítulo, abordam respectivamente a parte agronómica e hidráulica, mais concretamente a metodologia que será usada para a descrição de cada uma destas partes.

O quinto e o sexto capítulo mostram os resultados obtidos, através da metodologia usada nos capítulos precedentes. O sétimo capítulo, apresenta uma pequena análise dos resultados obtidos, e finalmente o oitavo capítulo apresenta as principais conclusões obtidas.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Definição de rega gota a gota

As definições clássicas de rega falam de um meio de aplicar água artificialmente aos cultivos, de modo a complementar a acção das chuvas. O estudo dos parâmetros que intervêm na rega e as relações solo-planta-água, levaram a conclusão que a definição era demasiado geral, pois, havia acima de tudo que pôr a água à disposição das plantas para que esta pudesse aproveitá-la melhor.

Desta maneira, surgiu uma definição mais concreta de rega, como um meio artificial de aplicar água à zona radicular dos cultivos de forma que esta possa ser utilizada ao máximo.

Dentro desta definição, definiu-se posteriormente a rega gota a gota como um sistema que, para conseguir manter a água na zona radicular em condições de utilização mais favoráveis para a planta, aplica a água em gota a gota (Juan, 1997).

2.2. Antecedentes

Originalmente, a irrigação gota a gota foi desenvolvida como um sistema de rega sub-superficial, onde a aplicação da água era feita debaixo da superfície do solo. O primeiro experimento surgiu na Alemanha em 1899, onde tubos de argila foram usados numa combinação de irrigação e drenagem.

Segundo Juan (1997), o primeiro trabalho reportado surgiu nos E.U.A e foi feito por House na cidade de Colorado em 1913, onde falava do custo elevado da rega gota a gota combinado com a drenagem, devido em parte ao tipo de tubagem utilizada e também aos problemas de obstrução causados pelas plantas, uma vez que as raízes acabavam por tapar as saídas da água.

Experiências deste tipo também se realizaram posteriormente em outros países, como por exemplo no Japão, Israel, Canadá e Holanda, mas que acabaram caindo em desuso devido aos problemas que apresentavam.

Pode-se afirmar que a rega gota a gota tal como a conhecemos actualmente, teve o seu começo na Inglaterra, depois da Segunda Guerra Mundial, onde foi largamente usada em jardins, utilizando-se microtubos como distribuidores.

Contudo, foi na década de sessenta que o sistema conheceu uma rápida expansão (devido em parte ao aperfeiçoamento das técnicas de utilização do plástico), sobretudo em Israel onde a expansão teve início. Diversos ensaios realizados em Israel, Inglaterra e Austrália, foram confirmando a validade do sistema e ao mesmo tempo, o aperfeiçoamento e conhecimento do mesmo.

A respeito dos ensaios realizados, cabe aqui destacar o ensaio feito por Black e West na primavera de 1966, em Victória, Austrália, numa plantação de Maçãs. Nesse ensaio, chegaram a conclusão que, regando somente 50 % do volume das raízes, obtinham-se transpirações importantes e que não era necessário regar toda a totalidade do volume das raízes para conseguir uma boa transpiração e, portanto, uma boa produção.

Um outro ensaio feito por Goldberg e Schmueli, em 1967, em terrenos arenosos em Arava, Israel, com Melões, provou que aplicando volumes similares de água por meio de aspersão, gota a gota e sulcos, obtinha-se rendimentos de 100% usando gota a gota, enquanto na aspersão e sulcos, os mesmos não passavam dos 56%. Goldberg (1968), numa outra experiência também realizada em Israel, demonstrou que utilizando água de boa qualidade, as diferenças na produção eram importantes usando gota a gota e sulcos, e que essas diferenças eram maiores ainda, a favor da rega gota a gota, quando se usasse água com teores de sais elevados, mantendo-se a produção quase ao mesmo nível que com águas boas no caso da gota a gota e reduzindo-se quase para metade no caso da rega por sulcos.

2.3. A gota a gota no mundo

Após a sua utilização comercial em Israel, nos princípios da década sessenta, a rega gota a gota expandiu-se rapidamente por todo o mundo.

Em 1974 havia 85.000 hectares (Ha) de superfície coberta por este método de rega instalados pelos 5 continentes, dos quais 42.000 Ha estavam nos E.U.A (30.000 Ha só na Califórnia), 7.500 Ha no México, 12.000 Ha na Austrália, 15.000 Ha na R.S.A e 7.000 Ha em Israel. É de destacar que, sendo este último país o iniciador da expansão deste sistema, só possui 5% da sua superfície sob irrigação regada por gota a gota, estando 90% debaixo da aspersão e os restantes 5% por gravidade.

As perspectivas que haviam para o princípio da década de 80, eram de triplicar a superfície beneficiada por este tipo de rega nos E.U.A, e duplicar nos restantes países que já faziam seu uso. Estas predições não se cumpriram, em parte devido aos custos elevados de instalação, principalmente em países como o México, Brasil, Irão, Itália e Espanha.

Actualmente, a área beneficiada por este tipo de rega ronda os milhões de hectares, com os E.U.A a encabeçar a lista de maiores utilizadores, seguindo Israel, Austrália, R.S.A, México e França.

2.4. Características da rega gota a gota

A característica principal da rega gota a gota, consiste em aplicar a água numa zona mais ou menos restringida do volume de solo que habitualmente ocupam as raízes, daí a razão de se designar por vezes a rega gota a gota por rega localizada. Vermeiren *et al* (1986), refere também que outras três características importantes tomam-se em conta:

- Não se molha a totalidade do solo.
- Utilizam-se pequenos caudais a baixa pressão.
- Aplica-se a água com alta frequência.

A localização da água na proximidade das plantas manifesta-se pela modificação de algumas características das relações solo-planta-água, tais como a redução da evaporação, distribuição do sistema radicular, regime de salinidade, e outras mais.

A alta frequência de aplicação implica importantes consequências sobre o seu aproveitamento, já que o solo ao estar sempre à capacidade de campo ou muito próximo dela, as plantas absorvem a água com muita facilidade.

2.5. As relações solo-planta-água na rega gota a gota

A localização da água e a alta frequência de aplicação, têm umas repercussões importantes nas relações solo-planta-água.

2.5.1. Perda de água no solo

A evapotranspiração compreende as perdas de água ocasionadas pela evaporação no solo e pela transpiração da planta. A magnitude da evaporação depende da superfície regada, e na rega por gotejamento a evaporação diminui, pois somente uma parte da superfície do solo é regada, resultando daí perdas menores por evaporação em comparação com os sistemas de rega, onde se molha toda a superfície do solo (Yague, 1996).

A economia de água, em relação a outros sistemas de rega, resulta da diminuição das perdas de água por percolação profunda e por escoamento superficial.

2.5.2. Transpiração

Segundo Yague (1996), a transpiração se faz mais dificilmente quando a humidade do solo desce abaixo de certos limites. Por este motivo, na rega por gravidade e por aspersão (que não são regas de alta frequência) onde os intervalos de rega são mais prolongados, há uma diminuição da transpiração mais acentuada em relação à gota a gota. Esta diminuição da transpiração não se pode considerar como uma economia de rega, pois ao diminuir a transpiração, diminui a fotossíntese e em consequência diminui também a produção de biomassa. Na rega gota a gota, devido a alta frequência (implica maior transpiração) há um melhor aproveitamento da água e um maior rendimento do cultivo.

2.5.3. Aeração do solo

Na rega por gravidade e por aspersão, geralmente usam-se doses grandes de rega. O solo fica saturado depois da rega, pelo que pode ocorrer problemas de aeração em solos argilosos. Na rega por gotejamento, o solo se satura em um volume muito reduzido, próximo do ponto distribuidor da água, não apresentando por isso problemas de aeração (Yague, 1996).

2.5.4. Distribuição do sistema radicular

Numerosas experiências feitas, provaram que as plantas podem desenvolver-se normalmente com um volume de solo inferior ao que normalmente ocupam. Isto se deve ao facto do sistema radicular se desenvolver rapidamente na zona húmida disponível e é muito comum encontrar na zona húmida da rega gota a gota concentrações de raízes 3-4 vezes maiores que em outros sistemas de rega.

Em termos gerais, pode-se assegurar que os cultivos se podem desenvolver normalmente quando a zona húmida ocupa 30-40% da área sombreada pelo cultivo (Valverde, sem data).

2.5.5. Salinidade

De acordo com Brito (1997), os sais contidos no solo e aportados pela água de rega, mantêm-se em dissolução na água do solo. A planta absorve a água e uma pequena parte destes sais. A medida que diminui a água, aumenta a concentração de sais, aumentando assim a tensão osmótica da dissolução. As plantas encontram mais dificuldades para absorver a água nestas condições.

Na rega localizada, devido a alta frequência, mantém-se um nível alto de humidade, e por isso, um nível baixo de salinidade. Por esta razão, pode-se utilizar águas com maior conteúdo de sais neste método do que em outros.

A concentração de sais dentro do bolbo vai aumentando progressivamente até a periferia do mesmo, sobretudo na zona superficial, onde se apresenta com frequência uma coroa branca de sais. As raízes das plantas concentram-se na zona mais húmida do bolbo, que corresponde a zona de menor concentração de sais.

Para manter uma baixa salinidade dentro do bolbo, é necessário efectuar lavagens frequentes (ou mesmo uma rega complementar por aspersão), exceptuando os lugares onde o regime de chuvas permite uma lavagem natural. A solução ideal seria que cada rega fosse acompanhada de respectivas doses de lavagem.

2.6. Vantagens e inconvenientes da rega gota a gota

A rega gota a gota oferece uma série de vantagens e inconvenientes que é preciso conhecer e avaliar para tomar uma decisão na hora de se eleger ou não a sua implantação.

Juan (1997), refere que as vantagens deste sistema de rega em relação aos sistemas tradicionais são as seguintes :

- melhor aproveitamento e possibilidade de utilizar águas com um índice de salinidade mais alto.
- maior uniformidade de rega.
- aumento da qualidade e quantidade das colheitas.
- menor incidência de infestantes.
- possibilidade de aplicação de fertilizantes, corretores e pesticidas com a água de rega.
- Melhor utilização em solos difíceis.

E os inconvenientes são :

- Necessidade de pessoal mais qualificado.
- Necessidade de verificação periódica do funcionamento dos distribuidores para prevenir as obstruções.
- Exigência de uma maior inversão de capital inicial. A instalação do sistema é muito cara, pelo que existe uma limitação do tipo económico na sua aplicação em cultivos, uma vez que nem todos os cultivos são tão rentáveis para justificar o investimento.
- Má projecção pode ocasionar a perda da colheita por falta de água ou nutrientes.
- Nas zonas frias e com cultivos sensíveis às geadas, a rega por gotejamento não faz uma proteção contra as mesmas, pelo que o seu uso deve ser mínimo.

2.7. Tipos de rega gota a gota

Juan (1997) distingue dois tipos fundamentais de rega gota a gota:

1. **Subterrâneo:** Muito pouco desenvolvido e, por isso mesmo, também muito pouco aplicado. Existem algumas instalações na Alemanha, Grécia, Argélia e E.U.A.

2. Superficial: O mais desenvolvido e mais aplicado. Quase 100% da rega por gotejamento é superficial.

2.8. Componentes duma instalação de rega gota a gota

As componentes duma instalação formam um conjunto de mecanismos necessários para aplicar a água. Uma instalação típica (clássica) poderia ser aquela constituída por uma estação de bombagem, um centro de controlo com o equipamento de filtragem e fertilização, tubagens principais, secundárias, terciárias e laterais, distribuidores, válvulas de controlo e diversas peças de acoplamento. Contudo, há várias variantes desta instalação típica, desde aquelas sem uma estação de bombagem ou sem equipamento de fertilização, passando por aquelas sem tubagens terciárias.

2.9. Regime do fluxo

Devido a viscosidade, o fluxo numa tuberia dum sistema de rega pode ser laminar, turbulento ou uma combinação de ambos. De acordo com Quintela (1991), o critério que distingue os três regimes foi posto em evidência por Reynolds e se chama número de Reynolds (Re).

Três regimes de fluxo podem-se então definir :

- Regime laminar se $Re < 2000$
- Regime inestável se $2000 < Re \leq 4000$
- Regime turbulento se $Re > 4000$

2.10. Características hidráulicas dos distribuidores

Na rega gota a gota, a água é distribuída às plantas por meio de dispositivos que controlam a sua saída. Estes dispositivos estão geralmente fixos na tubagem lateral e podem ser gotejadores, mangueiras curtas de diâmetro pequeno, tuberias perfuradas onde estão acoplados fios de "nylon" ou esponjas, difusores, mini-aspersores, ou sistemas integrados (Vermeiren *et al*, 1986).

As características fundamentais que se deve ter ao selecionar um distribuidor são :

- Caudal uniforme.
- Pouca sensibilidade às obstruções e à agressividade ambiental.
- Elevada uniformidade de fabricação.

O regime hidráulico dos distribuidores repercute decisivamente sobre o seu funcionamento. Os distribuidores cujo regime se aproximam ao laminar, são sensíveis e baratos, pelo que são mais fáceis de se obstruírem, e o seu caudal varia muito com a variação de pressão (expoente de descarga próximo da unidade). Se o regime for turbulento, os distribuidores são mais resistentes às obstruções e o seu caudal tem uma sensibilidade moderada à variação de pressão (expoente de descarga em redor de 0,5).

2.11. Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores (CV)

Por mais precisos que sejam os processos de fabricação dos distribuidores, é quase impossível que todos eles tenham o mesmo valor de coeficiente de descarga (K_d) e também o mesmo expoente de descarga (x).

Abreu *et al* (1987), verificou que com um número suficientemente grande de distribuidores iguais, os seus caudais se distribuíam estatisticamente segundo uma distribuição normal. Sendo assim, esta distribuição estará definida pela sua média e desvio padrão (σ). Pode-se então classificar os distribuidores de acordo com os valores da tabela 1:

Tabela 1: Classificação dos distribuidores, segundo o coeficiente de variação (CV)

Tipo de distribuidor	Coeficiente de variação	Classificação
Gotejadores, mini aspersores, difusores	$CV \leq 0,05$	Bom
	$0,05 < CV \leq 0,10$	Médio
	$0,10 < CV \leq 0,15$	Deficiente
	$CV > 0,15$	Inaceitável
Tubos perfurados, mangueiras curtas e outros	$CV \leq 0,10$	Bom
	$0,10 < CV \leq 0,20$	Médio
	$CV > 0,20$	Deficiente à inaceitável

Fonte : Abreu *et al* (1987)

2.12. Eficiência de rega e Coeficiente de Uniformidade

Num sistema de rega gota a gota, ao fornecer a água em pequenas quantidades ao cultivo, de acordo com as suas necessidades, e dadas as suas características de funcionamento, as perdas se reduzem a uma mínima expressão. É portanto um sistema de alta eficiência, e em caso de funcionamento ideal, esta deveria ser perto de 100%. Contudo, na prática é quase impossível atingir-se tais percentagens, pois nem toda a água aplicada a um cultivo é aproveitada pelo mesmo, visto que uma parte se perde nas conduções e outra no terreno por evaporação

Juan (1997) define eficiência de rega como “a proporção de água total que se aplica sobre o terreno, que é utilizada pelo cultivo”. Esta eficiência de rega assim definida é também chamada de eficiência de aplicação (*Ea*). Na rega por gotejamento, a maioria das perdas referidas acima reduzem-se consideravelmente, até um ponto em que a eficiência passa a depender somente da uniformidade de aplicação de água, ou seja, do coeficiente de uniformidade (*CU*). Este coeficiente é utilizado para avaliar as instalações em funcionamento. No desenho da instalação, o *CU* é uma condição que se impõe, e que é determinada por factores económicos. Contudo, quando o sistema está em funcionamento, há que efectuar a sua comprovação. A tabela 2 abaixo mostra os valores recomendados para a rega gota a gota.

Tabela 2: Valores de coeficiente de uniformidade (*CU*) recomendados para a rega gota a gota.

Distribuidor	Nº de distribuidores por planta	Topografia e pendente	<i>CU</i> recomendado
Gotejador espaçado mais de 1 metro	Mais de 3	Uniforme (<2%)	0.90 – 0.95
		Uniforme (>2%)	0.85 – 0.90
	Menos de 3	Uniforme (<2%)	0.85 – 0.90
		Uniforme (>2%)	0.80 – 0.90
Gotejador espaçado menos de 1 metro		Uniforme (<2%)	0.80 – 0.90
		Uniforme (>2%)	0.70 – 0.85
Mangueiras e outros		Uniforme (<2%)	0.80 – 0.90
		Uniforme (>2%)	0.70 – 0.85
Difusores e micro aspersores		Uniforme (<2%)	0.90 – 0.95
		Uniforme (>2%)	0.85 – 0.90

Fonte: Yague (1996). Para climas húmidos, reduzir os valores de *CU* menos 10%.

CAPÍTULO III

DESCRIÇÃO AGRONÓMICA

3.1. Introdução

A descrição agronómica é uma componente essencial em todo o projecto de rega. Uma boa descrição hidráulica pode fracassar se não tivermos em conta uma série de parâmetros na descrição agronómica.

A descrição agronómica no presente trabalho desenvolveu-se em três fases :

Fase 1: Seleção da cultura a ser utilizada.

Fase 2: Cálculo das necessidades de água para a cultura selecionada, corrigidas para o caso de sistema de rega por gotejamento.

Fase 3: Determinação do número de distribuidores por planta, doses e frequência de rega.

3.2. Cultura selecionada

A cultura selecionada para este trabalho foi a alface. É uma planta herbácea anual, pertencente à família das compostas e, dentro destas, ao género *Lactuca* onde se incluem mais de cem espécies. A espécie que foi usada para este estudo tem em sistemática botânica a designação de *Lactuca Sativa* L.(alface doméstica ou alface das hortas).

As folhas verdes são consumidas em fresco como componente, exclusivo ou parcial, de saladas. Todavia, em algumas regiões é o substituto frequente da couve no caldo verde e em sopas. É um alimento refrescante com reduzido valor nutritivo mas rico em vitaminas.

A alface adapta-se bem a quase todos os tipos de solo, desde que tenham possibilidade de rega e sejam bem drenados e ricos em matéria orgânica. Contudo, prefere os solos de textura média a ligeira (franco arenosos, areno argilosos), com pH entre os 6,0 e os 6,8.

É uma cultura que necessita para o seu crescimento temperaturas médias de 15° C a 18° C para a obtenção de produtos de boa qualidade e produções excelentes. O calor em excesso provoca não só o endurecimento mais rápido e a perda das qualidades gustativas das folhas, mas também a formação de "cabeças" pouco compactas com reduzida capacidade de conservação. Os efeitos do calor excessivo podem-se reduzir ou mesmo ser anulados pela aplicação oportuna de regas frequentes e copiosas.

No presente trabalho, a variedade escolhida foi a Great Lakes, que é uma variedade de verão, muito repolhuda e volumosa, com folhas frisadas e tenras. O seu ciclo varia, de 55 a 75 dias. É uma variedade muito preferida pelos agricultores das zonas peri urbanas da cidade de Maputo, principalmente no vale do Infulene, onde é cultivada em canteiros pequenos com uma área de aproximadamente 8 m².

3.3. Necessidades líquidas e totais de água de rega

A estimação das necessidades de água em rega por gotejamento tem maior importância que em outros sistemas de rega, já que é muito limitado o papel do solo como um armazém ou reservatório de água. Esta estimação é feita pelos mesmos procedimentos empregues nos demais sistemas.

Quando se aplica a água em toda a superfície a regar, as necessidades líquidas de rega (NLr) calcula-se mediante a expressão :

$$NLr = ETc - Pe - Gw \quad (1)$$

$$NLr = (ETo * Kc) - Pe - Gw \quad (1a)$$

onde :

NLr - necessidades líquidas de rega (mm/dia).

ETc - evapotranspiração do cultivo (mm/dia).

ETo - evapotranspiração de referência (mm/dia).

Kc - coeficiente do cultivo.

Pe - precipitação efectiva (mm/dia).

Gw - ascensão capilar (mm/dia).

3.3.1. Cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o)

Os factores climáticos que mais influenciam as necessidades de água da cultura são a humidade, a radiação solar, a velocidade do vento e a temperatura. Da interação destes quatro factores climáticos é que vai depender o grau das necessidades de água da cultura. Valores baixos são encontrados em zonas frias, com pouco vento, humidades altas e sem brilho solar (tempo nublado), enquanto valores altos são em zonas com temperaturas altas, baixa humidade, com ventos e brilho solar.

A influência do clima nas necessidades de água da cultura é dada pela evapotranspiração de referência (ET_o), definida por Brouwer *et al* (1986) como “a evapotranspiração numa área grande, coberta por relva verde, de 8 a 15 cm de altura, que cresce optimamente e sem falta de água”.

Para a determinação da ET_o, existem vários métodos, sendo uns experimentais e outros teóricos baseados em dados climáticos duma dada região. Neste trabalho, o método usado para a determinação da ET_o foi o de Blaney-Criddle. Este método é muito simples e os únicos dados climáticos a usar são a temperatura e as horas de luz por dia, expressas como percentagem do total anual. Foram seguidos três passos na determinação da ET_o :

Passo 1: Determinação da temperatura média mensal (TM_m). A temperatura média mensal (TM_m) usada, foi retirada dos dados climáticos do posto climatológico da FAEF.

Passo 2: Determinação das horas de luz expressas como percentagem do total anual (*h*). Para determinar o valor de *h*, usa-se a tabela inserida no anexo 4.

Passo 3: Cálculo da ET_o usando a equação de Blaney-Criddle. Esta equação está em função da temperatura média mensal e das horas de luz expressas como percentagem do total anual.

$$ET_o = h * (0.46 TM_m + 8) \quad (2)$$

3.3.2. Determinação do coeficiente de cultivo (K_c)

A relação entre a evapotranspiração da cultura de referência (relva verde, ET_o) e a evapotranspiração da cultura não de referência (alface, ET_c) é dada pelo coeficiente de cultivo (K_c).

Para determinar o coeficiente de cultivo, é necessário saber, para a cultura selecionada, a estação de crescimento e também os seus vários estágios de desenvolvimento. Neste trabalho, a determinação do Kc para os vários estágios de crescimento envolveu três passos:

Passo 1 : Determinação do período total de crescimento para a cultura da alface.

Passo 2 : Determinação dos vários estágios de desenvolvimento para a mesma cultura.

Passo 3 : Determinação dos valores de Kc para cada um dos estágios de crescimento.

O período total de crescimento (em dias), é o período compreendido a partir da sementeira ou transplante até o último dia da colheita. Desde que o período total de crescimento seja conhecido, a duração (em dias) dos vários estágios de desenvolvimento pode ser determinada. Assim sendo, o período de crescimento é dividido em 4 estágios de desenvolvimento: estágio inicial, estágio de desenvolvimento da cultura, estágio médio (ou pós desenvolvimento) e estágio de maturação. A duração do período total de crescimento da alface usada neste trabalho, foi obtida junto de camponeses experientes das zonas peri urbanas da cidade de Maputo, que vêm praticando esta cultura a vários anos. O valor do Kc foi retirado das tabelas da FAO.

3.3.3. Cálculo da evapotranspiração do cultivo (ETc)

Conhecendo os valores da ETo e do Kc, calcula-se a ETc mediante a expressão abaixo.

$$ETc = ETo * Kc \quad (3)$$

3.3.4. Cálculo das necessidades líquidas de rega (NLr)

De acordo com a equação (1) e desprezando o parâmetro Gw, as necessidades líquidas serão calculadas mediante a expressão (4) :

$$NLr = (ETc - Pe) \quad (4) \Leftrightarrow$$

$$NLr = [(ETo * Kc) - Pe] \quad (4a)$$

3.3.5. Cálculo das necessidades totais de rega (NTr)

Em todos os sistemas de rega produzem-se perdas inevitáveis devido a vários factores. É preciso aportar quantidades adicionais para compensar essas perdas (que são causadas por percolação profunda e escoamento superficial), e também para equilibrar o efeito dos sais no solo.

Nos sistemas de rega, estes efeitos derivados do uso de águas salinas é solucionado procedendo a lavagens frequentes com grandes quantidades de água que inundam toda a superfície regada.

Por isso, a prática habitual tem sido aplicar uma fração adicional às doses de rega com o fim de "lavar" o terreno. Essa fração requerida é denominada *leaching requirements (LR)* e, para o caso da rega gota a gota, é traduzida pela expressão :

$$LR = \frac{CE}{2 * (CE_{es})_{max}} \quad (5)$$

onde :

CE - condutividade eléctrica da água de rega (ds/m).

CE_{es} - condutividade eléctrica máxima do extracto saturado (ds/m).

As necessidades totais de rega serão :

$$NTr = \frac{NLr}{1 - LR} \quad (6)$$

Segundo alguns autores, algumas perdas são devidas à uniformidade de rega. Por isso, as necessidades totais são expressas como :

$$NTr = \frac{NLr}{(1 - LR) * CU} \quad (7)$$

onde:

NTr – necessidades totais de água de rega (mm/dia).

LR - leaching requirements.

3.4. Distribuição da água às plantas

3.4.1. Superfície molhada por distribuidor (*smd*)

Quando se dá uma certa dotação de água ao solo, produz-se uma infiltração tridimensional, e o volume de solo humedecido depende principalmente do equilíbrio entre as forças capilares e gravitacionais.

Sendo o solo muito variável, também serão os padrões de infiltração, os quais estão afectados pela textura do solo, permeabilidade do solo, presença ou ausência de camadas impermeáveis, doses e caudal de rega, e também da humidade inicial do solo.

Assim, em solos de textura fina o padrão de distribuição toma uma forma com um humedecimento lateral às vezes mais importante que o vertical, enquanto que em solos arenosos a componente vertical do fluxo é mais importante, daí a razão da forma do bolbo ser mais alargada no sentido vertical.

A repartição da água no solo pode ser medida mediante vários métodos, sendo uns bastante laboriosos e complicados e outros muito empíricos, ultrapassando por isso o âmbito do presente trabalho. A distribuição da água no solo durante o presente trabalho, foi medida directamente no solo. Encheu-se o tambor de 200 litros com água e deixou-se o sistema funcionar durante 1 hora, sempre com o nível constante. Trinta minutos depois, mediu-se o diâmetro molhado (D_m) dado por 55 distribuidores escolhidos ao acaso e fez-se uma média dos mesmos.

Se denomina superfície molhada por distribuidor (*smd*) à projecção horizontal do volume de solo molhado. Supondo circular esta superfície, a *smd* será :

$$smd = \pi * r^2 \Leftrightarrow smd = \frac{\pi * D_m^2}{4} \quad (8)$$

onde:

smd - superfície molhada por distribuidor (m^2).

π - 3.14.

r - raio molhado (m).

3.4.2. Percentagem de solo molhado (P)

Um dos factores importantes a considerar na descrição agronómica, é a percentagem de solo que deve ser humedecida com respeito à superfície total ocupada pela planta. Define-se P como:

$$P = \frac{smd}{ab} * 100\% \quad (9)$$

onde:

ab - compasso usado para a cultura da alface.

3.4.3. Superfície molhada por planta (smp)

A superfície molhada por planta será :

$$smp = P * (ab) \quad (10)$$

Valverde (sem data) considera que a superfície molhada mínima para a planta se desenvolver, não deverá ser inferior a 70% desta *smp*.

3.4.4. Número de distribuidores por planta (Nd)

O número de distribuidores por planta será calculado com a expressão :

$$Nd = smp / smd \quad (11)$$

3.4.5. Volume molhado por planta (Vmp)

Multiplicando a superfície molhada por planta pela profundidade radicular, obtém-se o volume molhado por planta.

$$Vmp = smp * Pr \quad (12)$$

onde :

Pr – profundidade radicular da cultura (m) (das tabelas da FAO).

3.5. Dotação de rega (*DR*) e frequência de rega (*FR*)

A dotação máxima de rega, vem definida pela expressão :

$$D_{\max} = (C_c - C_m) * Pr \quad (13)$$

onde:

D_{\max} - dotação máxima (mm/dia).

C_c - humidade correspondente a capacidade de campo (% vol).

C_m - humidade correspondente ao ponto de emurchecimento (% vol).

Pr - profundidade radicular (m).

Sabendo o volume de solo molhado por planta e conhecendo a água disponível bem como o factor de depleção, obtem-se a água facilmente utilizável. Neste trabalho, a água disponível foi retirada das tabelas da FAO, juntamente com o factor de depleção. Apartir deste valor, calcula-se a frequência de dotação de rega, dividindo esta água facilmente utilizável pelas necessidades de água diárias da cultura escolhida. Duma maneira geral, a dotação de rega e a frequência de rega serão determinados com as equações abaixo.

$$AFU = p * AD * Pr \quad (14)$$

$$DR = \frac{p * AD * Pr}{E_a} \quad (15)$$

$$FR = \frac{p * AD * Pr}{(ET_c)_{pico}} \quad (16)$$

onde:

AFU - água facilmente utilizável (mm).

DR - dotação de rega (mm).

AD - água disponível (mm/m).

Pr - profundidade radicular (m).

FR - frequência de rega (dias).

CAPÍTULO IV

DESCRIÇÃO HIDRÁULICA

4.1. Introdução

A finalidade da descrição hidráulica, é de conseguir o dimensionamento ótimo da instalação para satisfazer as exigências estabelecidas na descrição agronômica.

A descrição hidráulica foi feita em três fases :

Fase 1: Determinação da eficiência de rega para o sistema de baixo custo.

Fase 2: Determinação das características hidráulicas dos distribuidores.

Fase 3: Cálculo da tuberia lateral.

4.2. Eficiência de rega

Neste trabalho, fez-se a determinação da eficiência de aplicação e da eficiência de uniformidade (também chamada coeficiente de uniformidade).

4.2.1. Determinação do Coeficiente de Uniformidade (CU)

O primeiro coeficiente de uniformidade de rega foi definido por Christiansen (1942), e foi este o usado nos primórdios da rega gota a gota. Actualmente, o mais usado internacionalmente é o de Keller e Karmeli (1975).

Para a determinação do coeficiente de uniformidade prático (aquele que efectivamente é encontrado no campo), foi usada a fórmula de Keller e Karmeli (1975). Contudo, numa fase posterior, foi usada a fórmula teórica de Keller e Karmeli para comparar o *CU* prático e o teórico. Para a determinação no campo, foram seguidos sete passos fundamentais :

1. Em cada buraco gotejante, foi colocado um copo plástico de capacidade 250 ml. Como o sistema foi constituído por seis linhas laterais e cada linha lateral tinha 19 buracos gotejantes, foram necessários 115 copos (deveriam ser 114 copos, mas uma lateral tem 20 copos).

2. Encheu-se o tambor de água até perfazer o volume de 200 litros. O nível de água do tambor era constante, ou seja, uma mangueira conectada a uma torneira metia a mesma quantidade de água que aquela que saía.

3. Em seguida, abria-se a torneira conectada ao tambor e no mesmo instante carregava-se num cronómetro para controlar o tempo necessário para encher um copo. Fez-se seis repetições para cada linha.

4. Depois de se fazer as seis repetições calculou-se o caudal médio para cada buraco gotejante, havendo portanto 115 caudais médios diferentes.

5. Calculou-se depois a média geral destes 115 caudais, que representam o caudal médio dos buracos gotejantes.

6. Dos 115 caudais médios diferentes, seleccionaram-se 28 caudais mais baixos (correspondentes a 25% do total de caudais), que representam o caudal mínimo de distribuição por planta.

7. Por último, calculou-se o coeficiente de uniformidade com a expressão:

$$CU = \frac{q_{\min.}}{q_{\text{med.}}} * 100\% \quad (17)$$

onde :

$q_{\min.}$ - caudal mínimo por planta (l/h).

$q_{\text{med.}}$ - caudal médio por planta (l/h).

4.2.2. Determinação da eficiência de aplicação (Ea)

Apartir da definição dada por Juan (1997), a eficiência de aplicação será calculada com a expressão seguinte, sugerida por Abreu *et al* (1987) :

$$Ea = \frac{Vn}{Va} * 100\% \Rightarrow Ea = \frac{NLr}{NTr} * 100\% \quad (18)$$

onde :

V_n - volume de água necessário (mm).

V_a - volume de água aplicado (mm).

4.3. Expoente de descarga do distribuidor

Segundo Vermeiren *et al* (1986), qualquer que seja o tipo de distribuidor, o caudal vem dado pela expressão seguinte :

$$q = K_d * H^x \quad (19)$$

onde :

q - caudal do distribuidor (l/h).

K_d - coeficiente de descarga particular de cada distribuidor.

H - pressão de serviço do distribuidor (cm).

x - expoente de descarga que depende do regime de funcionamento.

Os fabricantes devem proporcionar estes dados, mas uma vez não estando disponíveis, pode-se determinar K_d e x . Para esse efeito, foram determinados dois caudais médios, um para o volume de 200 litros e outro para o volume de 100 litros. Obtém-se então dois pares ordenados (caudal*pressão) que a partir deles se determina os valores de K_d e x (ver anexo 11).

4.4. Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores (CV)

Tendo os valores de todos os caudais medidos à mesma pressão, define-se o coeficiente de variação de fabrico (CV) como :

$$CV = \frac{\sigma}{q_{med.}} \quad (20)$$

onde:

σ - desvio padrão dos caudais (l/h).

4.5. Coeficiente de Uniformidade teórico (CU)

Segundo Abreu *et al* (1987), as causas mais importantes da variação de caudal dos distribuidores são devidas ao próprio desenho do distribuidor e também a sua variabilidade de fabricação.

Tendo em conta estes dois factores, Keller e Karmeli definem estatisticamente CU_t como :

$$CU_t = 100 * \left(1 - \frac{1.27CV}{\sqrt{Nd}}\right) * \frac{q_{min.}}{q_{med.}} \quad (21)$$

4.6. Coeficiente de Uniformidade segundo Christiansen

O Coeficiente de Uniformidade segundo Christiansen (1942), mede os desvios em relação ao caudal médio.

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |q - q_{med.}|}{k * q_{med.}}\right) * 100\% \quad (22)$$

4.7. Tempo de aplicação

Uma vez determinada (na descrição agronómica) a dotação de rega, o número de distribuidores por planta e o caudal médio do distribuidor, calcula-se o tempo de aplicação que será :

$$t_a = \frac{DR}{Nd * q_{med.}} \quad (23)$$

onde :

t_a – tempo de aplicação (h/dia).

DR – doses de rega por planta e dia (l/dia).

Nd – número de distribuidores por planta.

$q_{med.}$ - caudal médio (l/h).

4.8. Cálculo da tuberia lateral

4.8.1. Comparação entre as linhas laterais

Para comparar o caudal que passa em cada um dos tubos que compõem a linha lateral, foi utilizado um delineamento completamente casualizado (DCC), com 6 repetições.

O modelo estatístico do ensaio é: $Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$, onde Y_{ij} é o valor do caudal observado em cada linha lateral, μ é a média geral dos caudais e τ_i é o efeito de cada linha lateral.

4.8.2. Número de Reynolds

Em tubos circulares, Re é determinado pela expressão :

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (24)$$

onde :

V – velocidade média da água no tubo (m/s).

D – diâmetro interior do tubo (m).

ν – viscosidade cinemática da água (m²/s).

4.8.3. Perda de carga na lateral (H_L)

A equação para determinar as perdas de carga nas linhas laterais foi a de Darcy Weisbach, mas já com o factor F que leva em conta o número de saídas na lateral.

$$H_L = f * \frac{L}{D} * \frac{V^2}{2g} = \frac{8 * f * L * q^2}{2g * D^5} = F * \frac{f * 0.811 * 277778 * L * Q_i^2}{D^5 * g} \quad (25)$$

onde :

H_L - perda de carga na lateral (cm).

F – factor de Christiansen dependendo do número de saídas.

f – factor de fricção ($f = \frac{64}{Re}$ para o regime laminar).

D – diâmetro da lateral (mm).

L – comprimento da lateral (m).

g – força de gravidade (m/s^2).

Q_l – caudal total que passa na lateral (l/min).

4.8.4. Tolerância de caudais

Para um desenho de tuberias, sejam elas laterais ou secundárias, é necessário conhecer a variação máxima de caudais na subunidade objecto de estudo.

Segundo Brito (1997), a nível prático obtém-se resultados bastante satisfatórios aceitando que a variação máxima relativa de caudais numa subunidade seja de 10%. Por outras palavras,

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{q_{max.} - q_{min.}}{q_{med.}} = 0.1 \quad (26)$$

4.8.5. Tolerância de pressões

Como o caudal que arroja um distribuidor vem definido pela expressão (22), se derivarmos a mesma teremos :

$$\frac{dq}{q} = x * \frac{dH}{H} \quad (27)$$

Aceitando uma variação relativa de caudal de 10%, a variação relativa de pressões admissíveis na subunidade será :

$$\frac{dH}{H} = \frac{1}{x} * 0.1 \quad (28)$$

Conhecida a pressão nominal de funcionamento do distribuidor (H) e o expoente de descarga (x), a diferença máxima de pressões admissíveis na subunidade será :

$$dH = \frac{0.1}{x} * H \quad (29)$$

4.8.6. Perda de carga admissível na lateral (dH_{ad})

Um dos principais problemas ao proceder ao cálculo da lateral, é como repartir a perda de carga entre a lateral e a tuberia que abastece a lateral. Critérios clássicos (Keller e Karmeli, 1975) aconselham repartir a perda de carga de modo que 55% seja na lateral e 45% na tuberia abastecedora da lateral. Está comprovado que o custo mínimo da instalação ocorre quando 55% das perdas admissíveis na subunidade se produzem na lateral. Com esta condição, as perdas de carga admissíveis na lateral vêm expressas pela expressão seguinte :

$$dH_{ad} = 55\% * dH = 0.55 * \frac{0.1}{x} * H \quad (30)$$

4.8.7. Pressão na origem da lateral (P_L)

Keller e Karmeli (1975) fizeram inúmeros ensaios com distintos tipos de distribuidores medindo as pressões ao largo da tuberia lateral. Nesses ensaios, demonstraram que para uma vasta gama de valores de expoentes de descarga, pressão de serviço do distribuidor e perdas de carga na lateral, a pressão média na lateral se situa a $L = 0.39$ (39%) da longitude da lateral, contada a partir de sua origem. Confirmaram ainda que 77% da perda de carga na lateral tinha lugar nesse troço. Desta forma ficou confirmada que a pressão na origem da lateral é :

$$P_L = H + 0.77H_L \pm \frac{\Delta Z}{2} \quad (31)$$

onde :

P_L - pressão na origem da lateral (cm).

H - pressão de serviço do distribuidor (cm).

H_L - perda de carga na lateral (cm).

ΔZ - diferença de cotas entre os extremos da lateral (cm).

CAPÍTULO V

RESULTADOS AGRONÓMICOS

5.1. Duração em dias de cada estágio de desenvolvimento da alfaca

A duração dos estágios de crescimento bem como o factor cultural para cada um dos quatro estágios estão apresentados na tabela 3. O ciclo da cultura considerado foi de 75 dias, com o início da sementeira em 1 de Fevereiro e o início da colheita em 19 de Abril.

Tabela 3: Duração dos estágios de crescimento em dias para a cultura de alfaca

Estágios de desenvolvimento	Duração em dias de cada estágio	Data de começo e término
Inicial (I)	25	01 Fev. – 25 Fev.
Desenvolvimento (D)	30	26 Fev. – 28 Mar.
Pós desenvolvimento (P.D.)	15	29 Mar. – 13Abr.
Maturação (M)	05	14 Abr. – 19 Abr.

5.2. Evapotranspiração de referência

A tabela 4 mostra os valores de ETo mensais calculados com base na fórmula de Blaney Criddle. Os valores de Eto são crescentes a partir de Junho, que é o mês com o valor mais baixo (124.1 mm), atingindo o pico no mês de Dezembro (192.4 mm).

Tabela 4: Valores de ETo (mm/mês) calculados com base na fórmula de Blaney Criddle

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
ETo	190.1	173.5	169.8	146.2	139.4	124.1	127.3	141.7	148.1	166.6	171.1	192.4

5.3. Necessidades líquidas e totais de rega

A condutividade eléctrica da água de rega é $CE = 0.08$ ds/m, e a condutividade eléctrica do extracto saturado é $CE_{es} = 9$ ds/m, o necessário para um rendimento de 100% (das tabelas da FAO). Assim, o LR será aproximadamente igual a zero.

As necessidades líquidas e totais de rega estão apresentadas na tabela 5. Para cada mês (divididos em décadas) do ciclo da cultura, está determinado o valor de E_{To} em mm/dia. Como o valor do K_c é dado por cada estágio de desenvolvimento, fez-se uma extrapolação desse valor para se obter o K_c mensal. Para cada mês do ciclo da cultura, foi determinado o valor de E_{Tc} , tal como para o N_{Lr} e N_{Tr} , que apresentam os valores de 240.5 mm e 435.73 mm, respectivamente, para todo o ciclo da cultura. Pode-se observar ainda que o pico de água para a cultura será de 3.34 mm/dia.

Tabela 5: Necessidades líquidas e totais de água de rega para a cultura de alface

Mês	Fevereiro (28 dias)			Março (31 dias)			Abril (30 dias)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
E_{To} (mm/dia)	6.19			5.47			4.87		
Estágio	I			D			P.D.	M	
K_c por estágio	0.45			0.60			1.00	0.90	
K_c por mês	0.47			0.61			0.60		
E_{Tc} (mm/dia) (Equação 6)	2.91			3.34			2.92		
E_{Tc} (mm/mês)	81.48			103.54			84.60		
E_{Tc} (mm/década)	27.1	27.1	27.1	34.5	34.5	34.5	28.2	28.2	28.2
N_{Lr} (mm/dia) (equação 7)	2.91			3.34			2.92		
N_{Lr} (mm/mês)	81.48			103.54			84.60		
N_{Lr} ciclo (mm)				240.5					
LR (equação 8)				$4.4 \cdot 10^{-3}$					
LR máximo				0.16					
N_{Tr} (mm/dia) (equação 10)	5.30			6.10			5.15		
N_{Tr} (mm/mês)	148.80			189.10			154.50		
N_{Tr} ciclo (mm)				435.75					

5.4. Dotação de rega, número de distribuidores por planta e frequência de rega

Como as necessidades líquidas para todo o ciclo para a cultura da alface são iguais a 240.5 mm, as necessidades líquidas diárias médias serão 3.20 mm (240.5 mm / 75 dias). Expressando este valor em l/dia/planta, as necessidades líquidas diárias médias serão 0.48 l/dia/planta (3.20 mm*0.30 m*0.50 m). Este valor representa uma média, mas geralmente faz-se a projeção para o pico, que neste caso será de 3.34 mm. Expressando em l/dia/planta, as necessidades líquidas diárias serão iguais a 0.51 l/dia/planta.

O raio molhado por um distribuidor é aproximadamente 12 cm. Então, a superfície molhada por distribuidor (*smd*) será igual a 0.045 m². Logo a percentagem de solo molhado (P) ficará cerca de 30% (0.045 / 0.30*0.50). Se a percentagem de solo molhado for 30%, a superfície molhada mínima por planta será 0.0315m² (0.30 * 0.30 * 0.50 * 70%). O número de distribuidores por planta será portanto 1 (0.0315 / 0.045).

Se a profundidade radicular for 0.3 m, o volume de solo molhado será 0.00945 m³ por planta (0.0315 m² * 0.3 m). Como a água disponível é igual a 60 mm/m (solo arenoso), significa que estão disponíveis 0.57 l/planta (60 mm/m * 0.00945 m³). Se assumir um factor de depleção de 0.3, este último valor será 0.1701 l/planta. Se tomarmos em conta a eficiência de aplicação do sistema, que é igual a 55.2%, a dotação de rega será igual a 0.31 l/planta, ou 9.78 l/m². Assim, a frequência de dotação de rega será de 1 dia.

Duma maneira geral podemos resumir os cálculos da dotação e frequência de rega do seguinte modo:

$$AFU = p * AD * Pr = 0.3 * 60 * 0.3 = 5.4 \text{ mm} = 5.4 \text{ l/m}^2$$

$$DR = \frac{p * AD * Pr}{Ea} = \frac{0.3 * 60 * 0.3}{0.552} = \frac{5.4}{0.552} = 9.78 \text{ mm} = 9.78 \text{ l/m}^2$$

$$FR = \frac{p * AD * Pr}{(ETc)_{pico}} = \frac{0.3 * 60 * 0.3}{3.34} = \frac{5.4}{3.34} = 1.6 \text{ dias} \approx 1 \text{ dia.}$$

Os valores de *AFU* e *DR* estão apresentados em termos de l/m². Para convertê-los em l/planta, basta multiplicar pela superfície molhada por cada planta. Assim, *AFU* = 5.4 l/m² * 0.0315 m² = 0.1701 l/planta e a *DR* = 9.78 l/m² * 0.0315 m² = 0.31 l/planta.

Como o valor da frequência de rega foi arredondado por defeito, refazendo o cálculo da dotação de rega, chega-se a um valor de $DR=0.19$ l/planta. O cálculo abaixo mostra como foi feita a determinação deste último valor.

$$FR = \frac{p * AD * Pr}{(ETc)_{pico}} \Rightarrow$$

$$1 = \frac{p * AD * Pr}{3.34} \Rightarrow p * AD * Pr = 3.34mm \Rightarrow DR = \frac{3.34}{0.552} = 6.05mm$$

$$DR = 6.05 * 0.0315m^2 = 0.19l / planta$$

CAPÍTULO VI

RESULTADOS HIDRÁULICOS

6.1. Tempo de aplicação

Como as necessidades totais de rega no pico são de 0.92 l/dia/planta, e o caudal médio do distribuidor são 1.3 l/h, o tempo de aplicação será de aproximadamente 42 minutos.

6.2. Coeficiente de Uniformidade e Eficiência de Aplicação

O anexo 8 mostra os dados dos caudais medidos, agrupados por ordem ascendente. A média dos 28 caudais mais pequenos é igual a 0.72 l/h e a média geral dos 115 caudais é igual a 1.3 l/h.

O Coeficiente de Uniformidade determinado no campo é igual $\frac{0.72}{1.3} * 100\% = 55.4\%$, e o

Coeficiente de Uniformidade segundo Christiansen é igual a $(1 - \frac{55}{115 * 1.3}) * 100\% = 63.2\%$. O

anexo 9 mostra os desvios dos caudais em relação ao caudal médio.

Tomando os valores das necessidades de rega (líquidas e totais), a eficiência de aplicação será

igual a $= \frac{240.5}{435.75} * 100\% = 55.2\%$.

6.3. Coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores (CV)

Os caudais medidos mostram um desvio padrão $\sigma = 0.55$. Assim, o coeficiente de variação de

fabrico dos distribuidores será $CV = \frac{\sigma}{q_{med.}} = \frac{0.55}{1.30} = 0.42$.

6.4. Coeficiente de Uniformidade teórico

O Coeficiente de Uniformidade teórico é igual a :

$$CU_t = 100 * \left(1 - \frac{1.27 * 0.42}{1}\right) * \frac{0.72}{1.30} = 25.8\%$$

6.5. Comparação entre as linhas laterais

A tabela 6 mostra os valores dos caudais (em l/h) que passam em cada linha lateral, para 6 repetições. Os valores do caudal apresentados para cada repetição, são o resultado da soma dos caudais recolhidos em cada copo, numa mesma linha lateral. Os caudais médios em cada linha lateral são diferentes entre si. A ANOVA resultante encontra-se no anexo 12.

Tabela 6: Caudais que passam na lateral.

Repetição	Caudal que passa em cada linha lateral (litro / hora)					
	Linha 1	Linha 2	Linha 3	Linha 4	Linha 5	Linha 6
1	25.62	26.11	24.55	23.51	26.46	24.6
2	25.59	25.59	23.96	22.80	25.97	24.25
3	25.05	26.30	24.20	22.56	26.56	24.55
4	24.73	25.16	24.25	22.64	26.34	24.27
5	24.53	25.47	23.99	22.87	26.43	24.38
6	24.74	25.44	24.09	22.80	26.37	24.31

6.6. Número de Reynolds

A tabela 7 mostra os valores do número de Reynolds determinado em cada linha lateral, com base no caudal médio que passa em cada linha lateral. Estes valores de Re mostram uma diferença entre eles, resultante da diferença dos caudais que passam em cada linha lateral.

Tabela 7: Número de Reynolds (Re) e factor de fricção f para as laterais.

	Q (m ³ /s)	D (m)	A (m ²)	V (m/s)	Re	f
Lateral 1	6.95*10 ⁻⁶	0.015	1.76*10 ⁻⁴	0.039	585	0.109
Lateral 2	7.13*10 ⁻⁶	0.015	1.76*10 ⁻⁴	0.040	600	0.106
Lateral 3	6.71*10 ⁻⁶	0.015	1.76*10 ⁻⁴	0.038	570	0.112
Lateral 4	6.35*10 ⁻⁶	0.015	1.76*10 ⁻⁴	0.036	540	0.119
Lateral 5	7.31*10 ⁻⁶	0.015	1.76*10 ⁻⁴	0.041	615	0.104
Lateral 6	6.75*10 ⁻⁶	0.015	1.76*10 ⁻⁴	0.038	570	0.112

6.7. Perdas de carga nas laterais

As perdas de carga determinadas (com a formula de Darcy Weisbach) para cada linha lateral, estão apresentadas na tabela 8. Há uma pequena diferença entre as perdas numa e noutra linha lateral.

Tabela 8: Perdas de carga nas laterais (H_L).

	$f * 0.811$	C	L (m)	Q ² (l/min)	D ⁵ (mm)	H_L (cm)
Lateral 1	0.088	277778	6.30	0.417 ²	15 ⁵	0.13
Lateral 2	0.086	277778	6.30	0.428 ²	15 ⁵	0.14
Lateral 3	0.090	277778	6.30	0.403 ²	15 ⁵	0.13
Lateral 4	0.096	277778	6.30	0.381 ²	15 ⁵	0.11
Lateral 5	0.084	277778	6.30	0.439 ²	15 ⁵	0.15
Lateral 6	0.090	277778	6.30	0.405 ²	15 ⁵	0.13

6.8. Pressão na origem das laterais

A tabela 9 mostra o valor da pressão determinada no ponto A, o ponto de entrada da água na linha secundária, que é a linha abastecedora das laterais. Apartir da pressão no ponto A, e conhecendo as perdas de carga entre as laterais, determina-se a pressão na origem da lateral.

Tabela 9: Pressão no ponto A (P_A).

Q no ponto A (l/h)	D (m)	A (m ²)	V (m/s)	Re	f	H_L (cm)	P_A (cm)
148.49	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.13	2600	0.014	0.145	99.89

A tabela 10 mostra os resultados da pressão na origem de cada lateral.

Tabela 10: Pressão na origem das laterais (P_L).

Troço	Q (l/h)	D (m)	A (m ²)	V (m/s)	L (m)	Re	f	H_L (cm)	P L=1,2,3,4,5,6 (cm)
A-L3	74.89	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.066	0.25	1320	0.048	0.005	$P_{L3} = 99.88$
L3-L2	50.72	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.044	0.50	880	0.072	0.017	$P_{L2} = 99.86$
L2-L1	25.04	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.022	0.50	440	0.14	0.0086	$P_{L1} = 99.85$
A-L4	73.60	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.065	0.25	1300	0.049	0.005	$P_{L4} = 99.88$
L4-L5	50.74	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.045	0.50	900	0.071	0.018	$P_{L5} = 99.86$
L5-L6	24.39	0.020	3.14*10 ⁻⁴	0.021	0.50	420	0.15	0.0084	$P_{L6} = 99.85$

6.9. Perdas de carga entre L = 0 e L = 39% da longitude total

Trinta e nove percento (39%) da longitude total (L = 6.30 m) corresponde a uma longitude L = 2.4 m, que por sua vez corresponde a um troço com 8 distribuidores (8 * 0.30 cm). O caudal distribuído por esses 8 distribuidores por cada linha lateral, bem como as respectivas perdas de carga que ocorrem nos mesmos troços, estão apresentados na tabela 11.

Tabela 11: Perdas de carga (H_L) quando L = 2.4 m (39% do L total).

	Q (l/h)	D (m)	A (m ²)	L (m)	Re	f	F	H_L (cm)
Lateral 1	11.85	0.015	1.76*10 ⁻⁴	2.4	280	0.22	0.428	0.027
Lateral 2	7.70	0.015	1.76*10 ⁻⁴	2.4	184	0.34	0.428	0.018
Lateral 3	9.24	0.015	1.76*10 ⁻⁴	2.4	218	0.29	0.428	0.021
Lateral 4	9.08	0.015	1.76*10 ⁻⁴	2.4	215	0.29	0.428	0.021
Lateral 5	11.15	0.015	1.76*10 ⁻⁴	2.4	263	0.24	0.428	0.026
Lateral 6	7.25	0.015	1.76*10 ⁻⁴	2.4	171	0.37	0.428	0.017

A tabela 12 mostra os valores das perdas de carga que ocorrem nas linhas laterais, quando L=6.3 m e quando L=2.4 m, expressas em percentagem. Considera-se que as perdas em toda a extensão das laterais são correspondentes a 100%, e as perdas no troço L=0 a L=2.4m são expressas em relação às perdas totais.

Tabela 12: Perdas de carga (H_L) quando L=2.4 m, expressas em porcentagem em relação às perdas totais.

	H_L (cm) para L = 6.30 m	%	H_L (cm) para L = 2.4 m	%
Lateral 1	0.13	100	0.027	20
Lateral 2	0.14	100	0.018	13
Lateral 3	0.13	100	0.021	16
Lateral 4	0.11	100	0.021	19
Lateral 5	0.15	100	0.026	17
Lateral 6	0.13	100	0.017	13

6.10. Pressão de funcionamento dos distribuidores

A tabela 13 mostra os valores da pressão de funcionamento (H) dos distribuidores, para cada lateral. Esta pressão de funcionamento dos distribuidores é determinada em função da pressão na origem de cada lateral. Pode-se observar que tanto a pressão na origem de cada lateral, assim como a pressão de funcionamento dos distribuidores são valores muito pequenos, quase o mesmo valor que a pressão máxima do sistema.

Tabela 13: Valores da pressão de funcionamento dos distribuidores (H).

	H_L (cm) para L = 6.30 m	H_L (cm) para L = 2.4 m	%	$P_{L=1,2,3,4,5,6}$ (cm)	H (cm)
Lateral 1	0.13	0.027	20	$P_{L1} = 99.85$	99.82
Lateral 2	0.14	0.018	13	$P_{L2} = 99.86$	99.84
Lateral 3	0.13	0.021	16	$P_{L3} = 99.88$	99.85
Lateral 4	0.11	0.021	19	$P_{L4} = 99.88$	99.85
Lateral 5	0.15	0.026	17	$P_{L5} = 99.86$	99.83
Lateral 6	0.13	0.017	13	$P_{L6} = 99.85$	99.83

6.11. Tolerância de caudais

$$\frac{\Delta q}{q} = \frac{q_{\max.} - q_{\min.}}{q_{\text{med.}}} = \frac{2.81 - 0.47}{1.3} = 1.8$$

6.12. Perdas de carga admissíveis na lateral

O expoente de descarga x do distribuidor segundo os resultados é aproximadamente igual a 1. Então, a perda de carga admissível na lateral, se a pressão média de funcionamento dos distribuidores for igual a 99.83 cm, será igual a 4.57 cm.

$$x = (\log \frac{1.31}{0.56}) / (\log \frac{99.83}{49.84}) = 1.2 \approx 1.0$$

$$dH_{ad} = 55\% * dH = 0.55 * \frac{0.1}{x} * H \Rightarrow dH_{ad} = (0.55 * \frac{0.1}{1.2} * 99.83) = 4.57 \text{ cm}$$

6.13. Comparação entre as perdas de carga na lateral e as perdas de carga admissíveis

A tabela 14 mostra os valores entre as perdas de carga que realmente ocorrem em cada lateral e as perdas de carga admissíveis para o sistema. Observa-se que todas as perdas reais são menores que as admissíveis para o sistema.

Tabela 14: comparação entre as perdas de carga.

	Perdas na lateral (cm)	Perdas admissíveis (cm)	Comparação
Lateral 1	0.13	4.57	Menor
Lateral 2	0.14	4.57	Menor
Lateral 3	0.13	4.57	Menor
Lateral 4	0.11	4.57	Menor
Lateral 5	0.15	4.57	Menor
Lateral 6	0.13	4.57	Menor

CAPÍTULO VII

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A cultura da alface foi selecionada por duas razões : Primeiro porque grande parte da alface consumida em Maputo-cidade é produzida por pequenos agricultores situados nas zonas peri urbanas da cidade, principalmente no vale do Infulene. A alface é cultivada em canteiros pequenos com cerca de 8 m^2 (4×2) de área, com fortes evidências de fenómenos de salinização.

Isto significa que se fosse utilizado este sistema para se fazer a rega, poderiam regar-se duma só vez 2 canteiros, visto que a área ocupada pelo sistema ($6.30 \text{ m} * 2.5 \text{ m} = 15.75 \text{ m}^2$) é quase o dobro da área ocupada por um só canteiro e segundo porque apesar das variações que ocorrem nos fenómenos de oferta e procura, é praticamente assegurada a absorção da produção de alface, originando altos retornos no investimento. Isto nota-se facilmente pela maior área de cultivo ocupada em relação às outras hortícolas, e possivelmente também devido ao facto de ser menos atacada com pragas e doenças, ser fácil de transportar e o seu ciclo de desenvolvimento ser curto em relação às outras culturas.

Segundo os resultados hidráulicos, vê-se claramente que os resultados obtidos para o Coeficiente de Uniformidade e eficiência de aplicação são baixos, comparativamente aos resultados encontrados na literatura, pois, segundo esta, o Coeficiente de Uniformidade deveria estar entre 0.80 – 0.90 para um sistema de rega gota a gota clássico.

Como se pode observar, os resultados da ANOVA mostram que o valor de F calculado é maior que o valor de F tabelado. Isto significa que há uma forte evidência que mostra que os caudais que passam pelas seis linhas são significativamente diferentes. Por outras palavras, as seis linhas laterais diferem entre si, em termos práticos. Isto é um dado muito importante, pois é sabido que os distribuidores diferem entre si e, logicamente, cada um deles dará um caudal distinto. Apartir desta análise, os caudais nas seis linhas não serão iguais, mas é necessário saber se essa diferença é significativa ou não.

Esta diferença significativa entre as linhas laterais pode explicar o porquê da tolerância de caudais no sistema ser superior a 0.1. Outro factor que explica este facto, é o coeficiente de

variação de fabrico dos distribuidores (CV). Segundo a teoria, um conjunto de distribuidores com um CV superior a 0.2, é muito deficiente e deve ser inaceitável. Neste sistema, o conjunto de distribuidores, apresenta um CV igual a 0.42.

Outro factor que pode explicar esta tolerância de caudais superior a 0.1, bem como o CV igual a 0.42, é o modo como foram feitos os distribuidores. Todos os distribuidores foram feitos com um prego, o que não garante logo à partida uma boa uniformidade. Observa-se que muitos dos distribuidores tem um diâmetro de saída maior que os outros e nem todos os fios de nylon existentes em cada buraco de distribuição, têm o mesmo comprimento. Isto faz com que não haja uma perda de carga na saída que seja suficiente para que a água saia em gotejamento. Como consequência, em vez de um gotejamento efectivo, tem-se um jorro de água, resultando daí distribuidores com um caudal muito superior aos que efectivamente gotejam. Tem-se portanto distribuidores com caudais elevados e distribuidores com caudais pequenos, o que não está de acordo com as características que deve ter um distribuidor.

Sendo assim, o caudal mínimo de distribuição por planta é um valor baixo, e estando o Coeficiente de Uniformidade prático (CU) relacionado com o caudal médio dos distribuidores que debitam o caudal mais baixo, e também relacionado com o caudal médio que debitam todos os distribuidores, justificam-se (pelas razões acima apontadas) os valores baixos encontrados para o CU .

O Coeficiente de Uniformidade teórico difere muito do prático. O valor do coeficiente teórico será sempre mais baixo que o prático, pois uma análise da fórmula de Keller e Karmeli para o cálculo do Coeficiente de Uniformidade teórico, mostra que ela é resultado de dois produtos completamente diferentes: um produto que é o Coeficiente de Uniformidade devido a variação de fabrico ($CU = 100 * (1 - \frac{1.27 * CV}{\sqrt{Nd}})$) e outro que é o Coeficiente de Uniformidade prático

($CU = \frac{q_{min.}}{q_{med.}} * 100\%$) que é devido a variação da pressão. Apartir do momento que se tem um

grupo de distribuidores a gotejarem e outro grupo de distribuidores que não gotejam (a tolerância de caudais no sistema é superior a 0.1), mais baixo será o valor do CU_t

O CU calculado segundo Christiansen, não representa um resultado aceitável para a rega gota a gota, apesar deste ser superior ao determinado directamente no campo segundo a fórmula de

Keller e Karmeli. Isto resulta do facto de Christiansen dar a mesma importância às variações tanto por cima como por baixo da média. Na rega por gotejamento, isto não é aconselhável, pois as variações por cima da média indicam que a planta recebe mais água, afectando assim a eficácia de rega, enquanto que as variações por baixo indicam que a planta recebe menos água, pelo que a sua produção poderá estar comprometida.

Comparando as perdas de carga que ocorrem nas laterais e as perdas de carga admissíveis na lateral, verificou-se que as perdas nas laterais são sempre menores. Neste caso, para a determinação das perdas de carga admissíveis na lateral supôs-se que a tolerância de caudais no sistema era de 0.1. Utilizando a tolerância de caudais real do sistema (1.8), as perdas nas laterais continuariam a ser menores que as admissíveis. Logo, o diâmetro das linhas laterais (15 mm) é válido para o sistema, pois com este diâmetro produz-se perdas de carga menores que as admissíveis.

O método de Blaney-Criddle para o cálculo da ETo contém muitos erros, mas foi aplicado devido a falta de dados no posto climatológico instalado na FAEF, que possibilitariam o uso do método de Penman, que é o mais aceite internacionalmente.

Não se incluiu a precipitação efectiva no cálculo das necessidades líquidas de água de rega devido a frequência de rega que em geral é diária, uma vez que é praticamente impossível que chova sempre entre dois intervalos de rega. Devido ao facto do lençol freático ser profundo, também não se incluiu a ascensão capilar.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A eficiência de uniformidade ou Coeficiente de Uniformidade (*CU*) do sistema, determinado no campo, expresso em 55.4%, é um valor baixo. Desde que se consiga reduzir o coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores, será possível aumentar este valor e deste modo também aumentar a eficiência de aplicação que é igual a 55.2%. Uma possibilidade técnica usada para se diminuir o coeficiente de variação de fabrico dos distribuidores e assim aumentar o *CU*, tem sido a perfuração dos tubos de PVC com raios laser, em substituição de materiais como pregos ou brocas. Mas como este sistema é de baixo custo, seria de questionar a viabilidade desta técnica, mas não deixando de ser uma possibilidade a ter em conta.

Apesar deste valor de *CU* ser baixo comparativamente ao *CU* recomendado para um sistema clássico, não se pode concluir que este sistema não serve para fins agrícolas, pois atendendo que o sistema é de baixo custo, é quase impossível uma comparação entre os dois sistemas.

O diâmetro óptimo da tuberia lateral é de 15 mm. Uma pequena simulação feita, mostrou que com um diâmetro comercial mais pequeno (12mm), as perdas de carga nas laterais continuariam a ser menores que as admissíveis, sendo possível então usar tubos com este diâmetro. Contudo, em virtude do custo de aquisição ser quase o mesmo entre um e outro, é mais viável o emprego de tubos com diâmetro de 15 mm, uma vez que a sua oferta no mercado é maior.

Uma outra alternativa ao uso de tubos com diâmetro de 12 cm, poderia ser continuar-se com tubos de 15 mm, mas podendo-se aumentar o comprimento da lateral até um ponto tal que as perdas de carga na lateral ainda permanecessem menores que as admissíveis.

A percentagem de solo molhado é muito baixa ($P=30\%$) para culturas hortícolas, estando muito aquém da recomendável ($P=70\%$). Este facto deve-se principalmente ao espaçamento elevado que foi usado para a cultura de alface. Este espaçamento só pode ser manipulado para a distância entre as linhas laterais, uma vez que a distância entre os distribuidores está pré estabelecida. O número de distribuidores por planta é igual a 1. Isto significa que em cada distribuidor pode ser colocado uma planta.

A dotação de rega atendendo as características do solo e da planta deverá ser de 0.31 l/planta, com uma frequência de 1 dia. Isto significa que por dia far-se-á uma rega de 40 minutos aproximadamente.

O sistema apresenta algumas vantagens, dentre as quais se destacam a facilidade de sua construção desde que os materiais necessários estejam disponíveis e também a possibilidade de se poder incluir fertilizantes directamente na água de rega, ou seja, fazer-se uma fertiirrigação.

Para além destas vantagens, existem outras não menos importantes, tais como o uso da água proveniente da chuva que pode ser recolhida apartir das caleiras existentes nos tectos das casas em áreas urbanas, ou até ao uso da água proveniente das limpezas do lar quando recicladas.

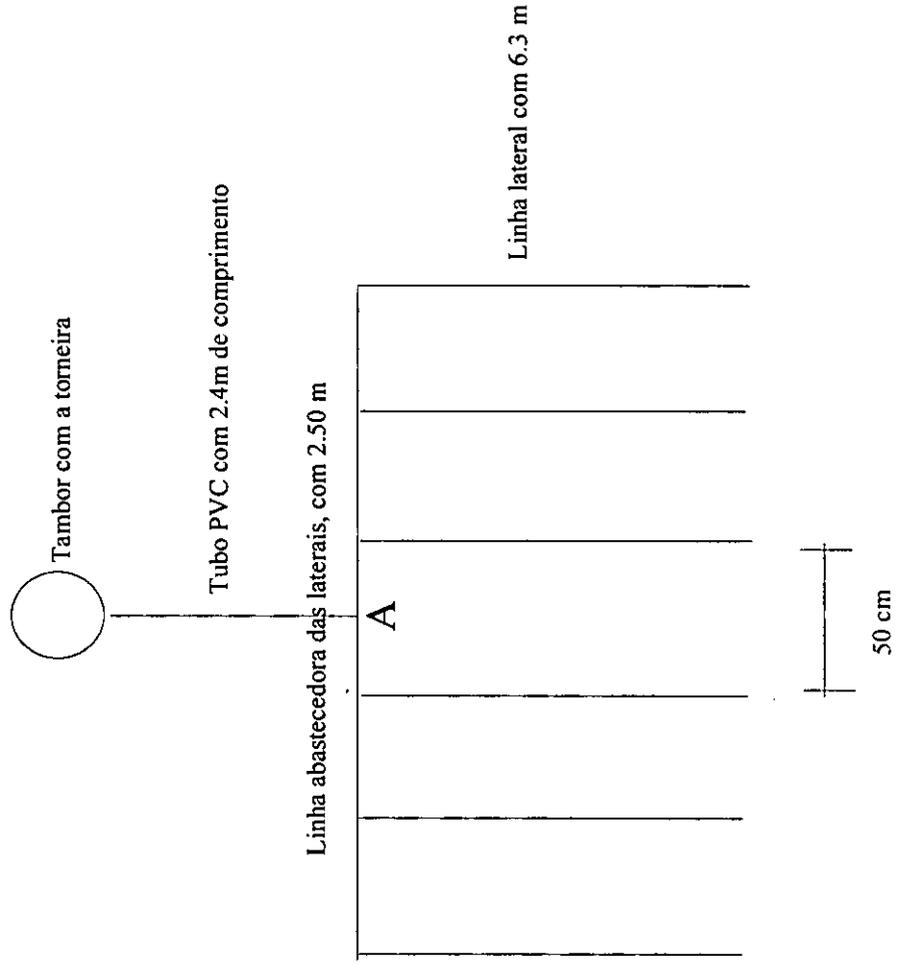
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abreu, J.M.Hernandez et al; *El Riego Localizado: Curso Internacional de Riego Localizado*; Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA); Madrid, 1987.
2. Baars, C.; *Design of Trickle Irrigation Systems*; Department of Irrigation and Engineering Agricultural University Wageningen; Netherlands, 1976.
3. Brito, R.; Barros, J.; Boer, B.; *Rega e Drenagem I: Guia das Aulas Práticas*; FAEF; Maputo, 1989.
4. Brito, R.; Engelen, J.W.Van; *Apontamentos de Hidráulica*; FAEF; Maputo, 1983.
5. Brito, R.; *Caderno de Apontamentos de Rega e Drenagem I*; FAEF, Maputo, 1997.
6. Bos, M.G.; Nugteren, J.; *On Irrigation Efficiencies*; Publication n° 19; ILRI; Netherlands, 1974
7. Brouwer, C.; Heibloem, M.; *Irrigation Water Needs: Training Manual n° 3*; Provisional Edition; FAO; Roma, 1986.
8. De Sousa, Fradique N.; *Guia Prático de Irrigação por Aspersão*; 2ª Edição; Ícone Editora; Coleção Brasil Agrícola; 1991.
9. Doménech, Francisco V.; *Topografia*; Edições Cetop; Coleção Construção e Móveis; Lisboa; 1985.
10. Doorenbos, J.; Pruitt, W.O.; *Las Necesidades de Agua de los Cultivos*; FAO 24; Roma, 1976.
11. Juan, J.A.Medina San; *Riego por Goteo*; 4ª Edición; Ediciones Mundi-Prensa; Madrid, 1997.
12. Kay, Melvyn; *Sprinkler Irrigation: Equipment and Practice*; 2ª Edition; Published by B T Batsford Limited; Londres, 1988.
13. Mlay, Gilead.; *Caderno de Apontamentos de Experimentação Agrícola*; FAEF; Maputo, 1995.
14. Quintela, António de C.; *Hidráulica*; 4ª Edição; Fundação Calouste Gulbenkian; Lisboa, 1991.
15. Raposo, José R.; *A Rega por Aspersão*; 2ª Edição; Clássica Editora; Coleção Técnica Agrária n° 8; Lisboa, 1994.
16. Reichadt, Klaus; *Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta-Atmosfera*; 4ª Edição; Fundação Cargill; Brasil, 1985.
17. Ripado, Mário F.B.; *A Alfaca*; Publicações Europa-America; Coleção Biblioteca do Agricultor; Lisboa, 1993.

18. Savva, Andreas P.; Stoutjesdijk, Joop A.; Renier, Paul M.A.; Hindkjaer, Sven V.; *Irrigation Manual*; 2ª Edition; Published by UNDP/FAO/AGRITEX Project ZIM/91/005; Harare, 1994.
19. Valverde, Jaime A.; *Curso de Riego*; Edicion Generalitat Valenciana; Madrid, sem data.
20. Vermeiren, L.; Jobling, G.A.; *Riego Localizado*; FAO 36; Roma, 1986.
21. Yague, José Luis F.; *Técnicas de Riego*; Segunda Edicion Revisada y Ampliada; Coedicion Ediciones Mundi-Prensa y Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentacion; Madrid, 1996.
22. Zioz, Valeri; *Caderno de Apontamentos de Análise Química*; FAEF; Maputo, 1994.

Anexo 1

Esquema do sistema de rega



Resumo dos dados de evapotranspiração potencial no posto climatológico da FAEF

	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Janeiro		189.83	192.92	191.37	198.45	193.80	192.92
Fevereiro		175.65	178.25	176.85	173.05	176.05	174.65
Março		174.45	171.46	172.05	170.66	170.46	179.44
Abril		146.00	149.95	147.62	147.79	144.57	158.02
Maio	140.25	139.72	140.79	139.00	135.62	138.47	143.10
Junho	124.01	119.70	124.17	121.19	119.20	121.19	126.49
Julho	124.72	124.55	122.32	119.58	124.55	126.26	127.63
Agosto	137.71	145.86	141.41	138.82	134.18	140.67	136.59
Setembro	147.52	146.40	145.28	142.67	142.11	143.23	147.52
Outubro	169.72	164.76	169.93	163.73	158.97	162.90	166.21
Novembro	172.19	171.77	170.53	173.84	173.22	167.43	163.49
Dezembro	195.35	191.59	187.40	192.92	183.64	207.07	196.90
Média		157.52	157.87	156.71	155.12	157.67	159.41
Total		1890.28	1894.41	1880.55	1861.44	1892.09	1912.96

	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Janeiro	190.71	196.46	192.04	193.58	198.00	190.49	191.82
Fevereiro	171.85	174.85	172.65	182.26	178.65	174.25	172.05
Março	168.06	173.25	173.85	176.65	176.05	174.45	172.05
Abril	145.28	148.87	151.02	152.10	150.84	147.26	148.51
Maio	141.14	137.04	142.03	145.42	140.79	141.86	139.18
Junho	119.70	122.52	123.84	122.35	122.02	124.67	123.34
Julho	126.09	126.60	127.80	125.23	126.60	127.28	127.11
Agosto	137.71	142.34	149.20	140.12	143.08	146.42	135.48
Setembro	145.28	151.24	146.77	144.35	149.75	145.84	142.30
Outubro	167.24	171.17	167.86	162.07	169.10	167.24	168.48
Novembro	168.67	173.02	170.33	171.36	168.46	170.74	168.88
Dezembro	192.48	190.71	192.04	194.47	185.41	188.28	188.50
Média	156.18	159.01	159.12	159.16	159.06	158.23	156.48
Total	1874.21	1908.07	1909.43	1909.95	1908.76	1898.77	1877.71

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	Média
Janeiro	197.34	194.47	195.13	146.54	194.47	179.88	182.53	190.14
Fevereiro	176.45	181.26	173.85	138.83	176.05	167.25	175.85	173.50
Março	172.05	174.85	170.86	124.50	170.66		160.08	169.78
Abril	144.92	149.41		123.01	146.72	136.31	138.82	146.16
Maio	140.07	144.00		137.15	135.44		126.53	139.39
Junho	126.99	126.99		145.10	120.86			124.13
Julho	126.09	127.63		158.76			121.64	127.25
Agosto	139.74	138.08		171.98		131.59		141.72
Setembro	149.94	150.50		187.84			136.71	148.07
Outubro	169.31	173.03				160.00		166.57
Novembro	171.36	175.91				176.74		171.06
Dezembro	192.70	194.47					196.02	192.35
Média	158.91	160.88						158.09
Total	1906.97	1930.58						1890.15

Anexo 3

Resultados da análise laboratorial do solo realizadas no INIA.

	Unidades	Valor	Interpretação
Ca	meq/100g	1.61	Baixo
Mg	meq/100g	1.14	Médio
K	meq/100g	0.13	Baixo
Na	meq/100g	0.22	Baixo
CTC	meq/100g	3.87	Muito baixo
PST	%	6	Baixo
Ca/Mg		1.41	
Mg/K		8.77	
PH H ₂ O		7.2	Neutro
Ce	mmhos/cm	0.08	
P olsen	ppm	16	Médio
N total	%	0.04	Muito baixo
M.O.	%	0.3	Baixo
C orgânico	%	0.174	
C/N		4.35	Muito baixo

Fonte: Ribeiro, Jerónimo (1997).

Anexo 4

Horas de luz por dia, expressas como percentagem do total anual

Norte	Jan.	Feb.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Sul	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.
60°	0.15	0.20	0.26	0.32	0.38	0.41	0.40	0.34	0.28	0.22	0.17	0.13
55°	0.17	0.21	0.26	0.32	0.36	0.39	0.38	0.33	0.28	0.23	0.18	0.16
50°	0.19	0.23	0.27	0.31	0.34	0.36	0.35	0.32	0.28	0.24	0.20	0.18
45°	0.20	0.23	0.27	0.30	0.34	0.35	0.34	0.32	0.28	0.24	0.21	0.20
40°	0.22	0.24	0.27	0.30	0.32	0.34	0.33	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21
35°	0.23	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.32	0.30	0.28	0.25	0.23	0.22
30°	0.24	0.25	0.27	0.29	0.31	0.32	0.31	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23
25°	0.24	0.26	0.27	0.29	0.30	0.31	0.31	0.29	0.28	0.26	0.25	0.24
20°	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.30	0.30	0.29	0.28	0.26	0.25	0.25
15°	0.25	0.26	0.27	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.25
10°	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.29	0.29	0.28	0.28	0.27	0.26	0.26
5°	0.26	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.27	0.27	0.27
0	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27

Fonte: Irrigation Water Management; Training Manual nº 3 (FAO)

Nota: os graus referem-se á latitude

Anexo 5

Tempos recolhidos em seis repetições para a determinação do Coeficiente de Uniformidade.

Dias da recolha : 24/12/98; 7/1/99; 8/1/99; 14/1/99; 15/1/99

Hora de início da recolha: 8:30 horas

Volume do tambor : 200 litros

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Copo nº	t (seg)					
1	580.00	590.00	585.00	565.00	580.00	585.00
2	1435.00	1430.00	1435.00	1430.00	1430.00	1430.00
3	650.00	655.00	665.00	655.00	660.00	650.00
4	1045.00	1055.00	1060.00	1050.00	1045.00	1050.00
5	1350.00	1205.00	1180.00	1460.00	1175.00	1180.00
6	415.00	405.00	390.00	440.00	550.00	390.00
7	490.00	500.00	510.00	500.00	495.00	500.00
8	320.00	325.00	320.00	315.00	320.00	325.00
9	335.00	295.00	345.00	350.00	340.00	435.00
10	385.00	385.00	385.00	385.00	390.00	385.00
11	1935.00	1945.00	1935.00	1925.00	1935.00	1930.00
12	555.00	580.00	575.00	560.00	595.00	580.00
13	455.00	555.00	560.00	580.00	530.00	545.00
14	1530.00	1495.00	1490.00	1530.00	1540.00	1530.00
15	960.00	920.00	920.00	945.00	940.00	940.00
16	1925.00	1920.00	1910.00	1920.00	1925.00	1915.00
17	1670.00	1665.00	1780.00	1780.00	1765.00	1780.00
18	1210.00	1220.00	1210.00	1225.00	1220.00	1220.00
19	670.00	685.00	785.00	770.00	745.00	665.00

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Copo nº	t (seg)					
20	1580.00	1580.00	1565.00	1575.00	1575.00	1570.00
21	1245.00	1255.00	1245.00	1250.00	1240.00	1245.00
22	1535.00	1570.00	1560.00	1560.00	1565.00	1565.00
23	380.00	410.00	370.00	445.00	400.00	400.00
24	980.00	990.00	975.00	980.00	985.00	985.00
25	680.00	920.00	710.00	685.00	680.00	680.00
26	1155.00	1160.00	1165.00	1160.00	1165.00	1165.00
27	1275.00	1295.00	1275.00	1280.00	1285.00	1280.00
28	585.00	580.00	590.00	580.00	585.00	555.00
29	955.00	980.00	965.00	980.00	950.00	970.00
30	370.00	360.00	350.00	460.00	455.00	455.00
31	950.00	950.00	955.00	950.00	955.00	955.00
32	380.00	375.00	380.00	390.00	385.00	385.00
33	710.00	700.00	690.00	715.00	705.00	705.00
34	500.00	520.00	520.00	495.00	515.00	515.00
35	690.00	690.00	700.00	705.00	700.00	695.00
36	510.00	510.00	470.00	515.00	490.00	505.00
37	470.00	475.00	475.00	465.00	475.00	480.00
38	485.00	480.00	485.00	490.00	485.00	495.00

Anexo 5

(Cont.)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Copo n°	t (seg)					
39	1060.00	1105.00	1105.00	1075.00	1085.00	1095.00
40	1040.00	890.00	950.00	945.00	980.00	935.00
41	615.00	635.00	640.00	645.00	645.00	640.00
42	455.00	455.00	450.00	445.00	450.00	455.00
43	1210.00	1215.00	1205.00	1210.00	1220.00	1210.00
44	970.00	970.00	965.00	970.00	970.00	965.00
45	550.00	580.00	585.00	575.00	580.00	560.00
46	1090.00	1090.00	1095.00	1100.00	1090.00	1095.00
47	820.00	820.00	825.00	820.00	830.00	825.00
48	1075.00	1095.00	1080.00	1090.00	1090.00	1085.00
49	520.00	515.00	515.00	520.00	520.00	510.00
50	435.00	455.00	440.00	445.00	445.00	445.00
51	390.00	470.00	460.00	430.00	445.00	465.00
52	460.00	485.00	450.00	460.00	485.00	470.00
53	470.00	470.00	465.00	470.00	470.00	470.00
54	1250.00	1250.00	1255.00	1245.00	1250.00	1250.00
55	1060.00	1090.00	1045.00	1055.00	1075.00	1090.00
56	990.00	985.00	980.00	995.00	990.00	985.00
57	1185.00	1190.00	1190.00	1180.00	1185.00	1185.00
58	940.00	940.00	955.00	960.00	945.00	950.00

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Copo n°	t (seg)					
59	815.00	850.00	850.00	835.00	825.00	830.00
60	850.00	1030.00	1020.00	1020.00	1015.00	1020.00
61	1055.00	990.00	1030.00	1045.00	1015.00	1035.00
62	1050.00	1010.00	1020.00	1000.00	1025.00	1035.00
63	990.00	970.00	985.00	980.00	990.00	985.00
64	830.00	865.00	890.00	850.00	870.00	885.00
65	440.00	440.00	455.00	460.00	450.00	465.00
66	620.00	615.00	725.00	730.00	620.00	615.00
67	580.00	610.00	600.00	590.00	595.00	600.00
68	770.00	820.00	820.00	805.00	810.00	805.00
69	470.00	490.00	475.00	480.00	485.00	475.00
70	1020.00	1015.00	1010.00	1015.00	1005.00	1015.00
71	790.00	820.00	825.00	825.00	810.00	815.00
72	870.00	845.00	865.00	865.00	865.00	865.00
73	655.00	750.00	760.00	775.00	740.00	765.00
74	1080.00	1090.00	1085.00	1070.00	1085.00	1075.00
75	860.00	880.00	875.00	865.00	875.00	890.00
76	1130.00	1115.00	1140.00	1125.00	1135.00	1130.00
77	375.00	395.00	380.00	380.00	385.00	375.00

Anexo 5

(Cont.)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Copo n°	t (seg)					
78	875.00	870.00	865.00	895.00	875.00	890.00
79	890.00	915.00	915.00	885.00	895.00	905.00
80	1125.00	1120.00	1115.00	1115.00	1120.00	1105.00
81	740.00	625.00	735.00	745.00	740.00	750.00
82	425.00	420.00	435.00	430.00	415.00	420.00
83	990.00	980.00	985.00	985.00	995.00	990.00
84	420.00	440.00	425.00	440.00	435.00	435.00
85	455.00	450.00	465.00	455.00	465.00	460.00
86	460.00	470.00	460.00	465.00	470.00	475.00
87	910.00	920.00	1010.00	1025.00	930.00	915.00
88	700.00	710.00	715.00	670.00	660.00	665.00
89	475.00	615.00	450.00	480.00	485.00	475.00
90	410.00	425.00	380.00	390.00	380.00	400.00
91	435.00	450.00	425.00	440.00	455.00	445.00
92	1000.00	990.00	995.00	1000.00	990.00	995.00
93	1105.00	1110.00	1120.00	1105.00	1125.00	1110.00
94	1175.00	1180.00	1190.00	1185.00	1175.00	1185.00
95	700.00	705.00	680.00	685.00	695.00	690.00
96	820.00	820.00	830.00	820.00	830.00	825.00

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Copo n°	t (seg)					
97	900.00	890.00	900.00	895.00	905.00	895.00
98	950.00	970.00	965.00	980.00	970.00	985.00
99	1160.00	1165.00	1160.00	1155.00	1160.00	1150.00
100	1000.00	995.00	980.00	975.00	1005.00	990.00
101	895.00	875.00	865.00	885.00	870.00	870.00
102	945.00	940.00	940.00	935.00	935.00	945.00
103	1070.00	1080.00	1065.00	1075.00	1085.00	1080.00
104	1135.00	1130.00	1135.00	1140.00	1120.00	1130.00
105	1055.00	1055.00	1065.00	1075.00	1065.00	1065.00
106	915.00	920.00	920.00	950.00	925.00	905.00
107	530.00	520.00	525.00	505.00	515.00	520.00
108	1130.00	1130.00	1135.00	1130.00	1125.00	1135.00
109	610.00	615.00	615.00	625.00	605.00	620.00
110	490.00	530.00	485.00	505.00	510.00	520.00
111	475.00	470.00	455.00	470.00	460.00	460.00
112	430.00	435.00	410.00	425.00	435.00	425.00
113	460.00	505.00	510.00	515.00	495.00	500.00
114	495.00	490.00	515.00	530.00	530.00	515.00
115	455.00	475.00	460.00	455.00	450.00	470.00

Anexo 6

Caudais em ml/seg em cada copo para seis repetições.

Copo nº	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Q (ml/seg)					
1	0.43	0.42	0.43	0.44	0.43	0.43
2	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
3	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
4	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
5	0.19	0.21	0.21	0.17	0.21	0.21
6	0.60	0.62	0.64	0.57	0.45	0.64
7	0.51	0.50	0.49	0.50	0.51	0.50
8	0.78	0.77	0.78	0.79	0.78	0.77
9	0.75	0.85	0.72	0.71	0.74	0.57
10	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64	0.65
11	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
12	0.45	0.43	0.43	0.45	0.42	0.43
13	0.55	0.45	0.45	0.43	0.47	0.46
14	0.16	0.17	0.17	0.16	0.16	0.16
15	0.26	0.27	0.27	0.26	0.27	0.27
16	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
17	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.14
18	0.21	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20
19	0.37	0.36	0.32	0.32	0.34	0.38
Total (l/h)	25.62	25.59	25.05	24.73	24.53	24.74

Copo nº	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Q (ml/seg)					
20	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
21	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
22	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
23	0.66	0.61	0.68	0.56	0.63	0.63
24	0.26	0.25	0.26	0.26	0.25	0.25
25	0.37	0.27	0.35	0.36	0.37	0.37
26	0.22	0.22	0.21	0.22	0.21	0.21
27	0.20	0.19	0.20	0.20	0.19	0.20
28	0.43	0.43	0.42	0.43	0.43	0.45
29	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
30	0.68	0.69	0.71	0.54	0.55	0.55
31	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
32	0.66	0.67	0.66	0.64	0.65	0.65
33	0.35	0.36	0.36	0.35	0.35	0.35
34	0.50	0.48	0.48	0.51	0.49	0.49
35	0.36	0.36	0.36	0.35	0.36	0.36
36	0.49	0.49	0.53	0.49	0.51	0.50
37	0.53	0.53	0.53	0.54	0.53	0.52
38	0.52	0.52	0.52	0.51	0.52	0.51
Total (l/h)	26.11	25.59	26.30	25.16	25.47	25.44

Anexo 6

(Cont.)

Copo nº	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Q (ml/seg)					
39	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
40	0.24	0.28	0.26	0.26	0.26	0.27
41	0.41	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
42	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.55
43	0.21	0.21	0.21	0.21	0.20	0.21
44	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26
45	0.45	0.43	0.43	0.43	0.43	0.45
46	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
47	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
48	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
49	0.48	0.49	0.49	0.48	0.48	0.49
50	0.57	0.55	0.57	0.56	0.56	0.56
51	0.64	0.53	0.54	0.58	0.56	0.54
52	0.54	0.52	0.56	0.54	0.52	0.53
53	0.53	0.53	0.54	0.53	0.53	0.53
54	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
55	0.24	0.23	0.24	0.24	0.23	0.23
56	0.25	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25
57	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
58	0.27	0.27	0.26	0.26	0.26	0.26
Total (l/h)	24.55	23.96	24.20	24.25	23.99	24.09

Copo nº	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Q (ml/seg)					
59	0.31	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30
60	0.29	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25
61	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.24
62	0.24	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
63	0.25	0.26	0.25	0.26	0.25	0.25
64	0.30	0.29	0.28	0.29	0.29	0.28
65	0.57	0.57	0.55	0.54	0.56	0.54
66	0.40	0.41	0.34	0.34	0.40	0.41
67	0.43	0.41	0.42	0.42	0.42	0.42
68	0.32	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31
69	0.53	0.51	0.53	0.52	0.52	0.53
70	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
71	0.32	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31
72	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29
73	0.38	0.33	0.33	0.32	0.34	0.33
74	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
75	0.29	0.28	0.29	0.29	0.29	0.28
76	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
77	0.67	0.63	0.66	0.66	0.65	0.67
Total (l/h)	23.51	22.80	22.56	22.64	22.87	22.80

Anexo 6

(Cont.)

Copo nº	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Q (ml/seg)					
78	0.29	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28
79	0.28	0.27	0.27	0.28	0.28	0.28
80	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23
81	0.34	0.40	0.34	0.34	0.34	0.33
82	0.59	0.60	0.57	0.58	0.60	0.60
83	0.25	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25
84	0.60	0.57	0.59	0.57	0.57	0.57
85	0.55	0.56	0.54	0.55	0.54	0.54
86	0.54	0.53	0.54	0.54	0.53	0.53
87	0.27	0.27	0.25	0.24	0.27	0.27
88	0.36	0.35	0.35	0.37	0.38	0.38
89	0.53	0.41	0.56	0.52	0.52	0.53
90	0.61	0.59	0.66	0.64	0.66	0.63
91	0.57	0.56	0.59	0.57	0.55	0.56
92	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
93	0.23	0.23	0.22	0.23	0.22	0.23
94	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
95	0.36	0.35	0.37	0.36	0.36	0.36
96	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Total (l/h)	26.46	25.97	26.56	26.34	26.43	26.37

Copo nº	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Q (ml/seg)					
97	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
98	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.25
99	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22
100	0.25	0.25	0.26	0.26	0.25	0.25
101	0.28	0.29	0.29	0.28	0.29	0.29
102	0.26	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
103	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
104	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
105	0.24	0.24	0.23	0.23	0.23	0.23
106	0.27	0.27	0.27	0.26	0.27	0.28
107	0.47	0.48	0.48	0.50	0.49	0.48
108	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
109	0.41	0.41	0.41	0.40	0.41	0.40
110	0.51	0.47	0.52	0.50	0.49	0.48
111	0.53	0.53	0.55	0.53	0.54	0.54
112	0.58	0.57	0.61	0.59	0.57	0.59
113	0.54	0.50	0.49	0.49	0.51	0.50
114	0.51	0.51	0.49	0.47	0.47	0.49
115	0.55	0.53	0.54	0.55	0.56	0.53
Total (l/h)	24.60	24.25	24.55	24.27	24.38	24.31

Anexo 7

Caudais médios em cada copo em ml/seg e em l/h.

Copo n°	Caudal médio (ml/seg)	Caudal médio (l/h)
1	0.43	1.55
2	0.17	0.63
3	0.38	1.37
4	0.24	0.86
5	0.20	0.72
6	0.59	2.11
7	0.50	1.80
8	0.78	2.81
9	0.72	2.61
10	0.65	2.33
11	0.13	0.47
12	0.44	1.57
13	0.47	1.68
14	0.16	0.59
15	0.27	0.96
16	0.13	0.47
17	0.14	0.52
18	0.21	0.74
19	0.35	1.26
TOTAL	6.96	25.04

Copo n°	Caudal médio (ml/seg)	Caudal médio (l/h)
20	0.16	0.57
21	0.20	0.72
22	0.16	0.58
23	0.63	2.25
24	0.25	0.92
25	0.35	1.26
26	0.22	0.77
27	0.20	0.70
28	0.43	1.55
29	0.26	0.93
30	0.62	2.24
31	0.26	0.94
32	0.65	2.35
33	0.36	1.28
34	0.49	1.76
35	0.36	1.29
36	0.50	1.80
37	0.53	1.90
38	0.51	1.85
TOTAL	7.13	25.68

Anexo 7

(Cont.)

Copo n °	Caudal médio (ml/seg)	Caudal médio (l/h)
39	0.23	0.83
40	0.26	0.94
41	0.39	1.41
42	0.55	1.99
43	0.21	0.74
44	0.26	0.93
45	0.44	1.58
46	0.23	0.82
47	0.30	1.09
48	0.23	0.83
49	0.48	1.74
50	0.56	2.03
51	0.57	2.04
52	0.53	1.92
53	0.53	1.92
54	0.20	0.72
55	0.23	0.84
56	0.25	0.91
57	0.21	0.76
58	0.26	0.95
TOTAL	6.71	24.17

Copo n °	Caudal médio (ml/seg)	Caudal médio (l/h)
59	0.30	1.08
60	0.25	0.91
61	0.24	0.88
62	0.24	0.88
63	0.25	0.92
64	0.29	1.04
65	0.55	1.99
66	0.38	1.38
67	0.42	1.51
68	0.31	1.12
69	0.52	1.88
70	0.25	0.89
71	0.31	1.11
72	0.29	1.04
73	0.34	1.22
74	0.23	0.83
75	0.29	1.03
76	0.22	0.80
77	0.66	2.36
TOTAL	6.35	22.86

Anexo 7

(Cont.)

Copo n°	Caudal médio (ml/seg)	Caudal médio (l/h)
78	0.28	1.02
79	0.28	1.00
80	0.22	0.81
81	0.35	1.25
82	0.59	2.12
83	0.25	0.91
84	0.58	2.08
85	0.55	1.96
86	0.54	1.93
87	0.26	0.95
88	0.36	1.31
89	0.51	1.83
90	0.63	2.27
91	0.57	2.04
92	0.25	0.90
93	0.22	0.81
94	0.21	0.76
95	0.36	1.30
96	0.30	1.09
TOTAL	7.32	26.35

Copo n°	Caudal médio (ml/seg)	Caudal médio (l/h)
97	0.28	1.00
98	0.26	0.93
99	0.22	0.78
100	0.25	0.91
101	0.29	1.03
102	0.27	0.96
103	0.23	0.84
104	0.22	0.80
105	0.24	0.85
106	0.27	0.98
107	0.48	1.73
108	0.22	0.80
109	0.41	1.46
110	0.49	1.78
111	0.54	1.94
112	0.59	2.11
113	0.50	1.81
114	0.49	1.76
115	0.54	1.95
TOTAL	6.78	24.39
media dos 115 caudais		1.30

Anexo 8

Caudais médios em l/h agrupados por ordem ascendente.

O.A	Caudal M.	O.A	Caudal M.	O.A	Caudal M.
1	0.47	50	0.98	99	1.99
2	0.47	51	1.00	100	1.99
3	0.52	52	1.00	101	2.03
4	0.57	53	1.02	102	2.04
5	0.58	54	1.03	103	2.04
6	0.59	55	1.03	104	2.08
7	0.63	56	1.04	105	2.11
8	0.70	57	1.04	106	2.11
9	0.72	58	1.08	107	2.12
10	0.72	59	1.09	108	2.24
11	0.72	60	1.09	109	2.25
12	0.74	61	1.11	110	2.27
13	0.74	62	1.12	111	2.33
14	0.76	63	1.22	112	2.35
15	0.76	64	1.25	113	2.36
16	0.77	65	1.26	114	2.61
17	0.78	66	1.26	115	2.81
18	0.80	67	1.28		
19	0.80	68	1.29		
20	0.80	69	1.30		
21	0.81	70	1.31		
22	0.81	71	1.37		
23	0.82	72	1.38		
24	0.83	73	1.41		
25	0.83	74	1.46		
26	0.83	75	1.51		
27	0.84	76	1.55		
28	0.84	77	1.55		
29	0.85	78	1.57		
30	0.86	79	1.58		
31	0.88	80	1.68		
32	0.88	81	1.73		
33	0.89	82	1.74		
34	0.90	83	1.76		
35	0.91	84	1.76		
36	0.91	85	1.78		
37	0.91	86	1.80		
38	0.91	87	1.80		
39	0.92	88	1.81		
40	0.92	89	1.83		
41	0.93	90	1.85		
42	0.93	91	1.88		
43	0.93	92	1.90		
44	0.94	93	1.92		
45	0.94	94	1.92		
46	0.95	95	1.93		
47	0.95	96	1.94		
48	0.96	97	1.95		
49	0.96	98	1.96		

Soma dos 28 caudais mais baixos = 20.24 l/h
 Média dos 28 caudais mais baixos = 0.72 l/h
 Soma dos 115 caudais = 151.17l/h
 Média dos 115 caudais = 1.3 l/h
 Desvio padrão = 0.55

Legenda: OA -- Ordem ascendente
 M -- Médio

Anexo 9

Caudais médios em cada copo e os respectivos desvios em relação ao caudal médio geral.

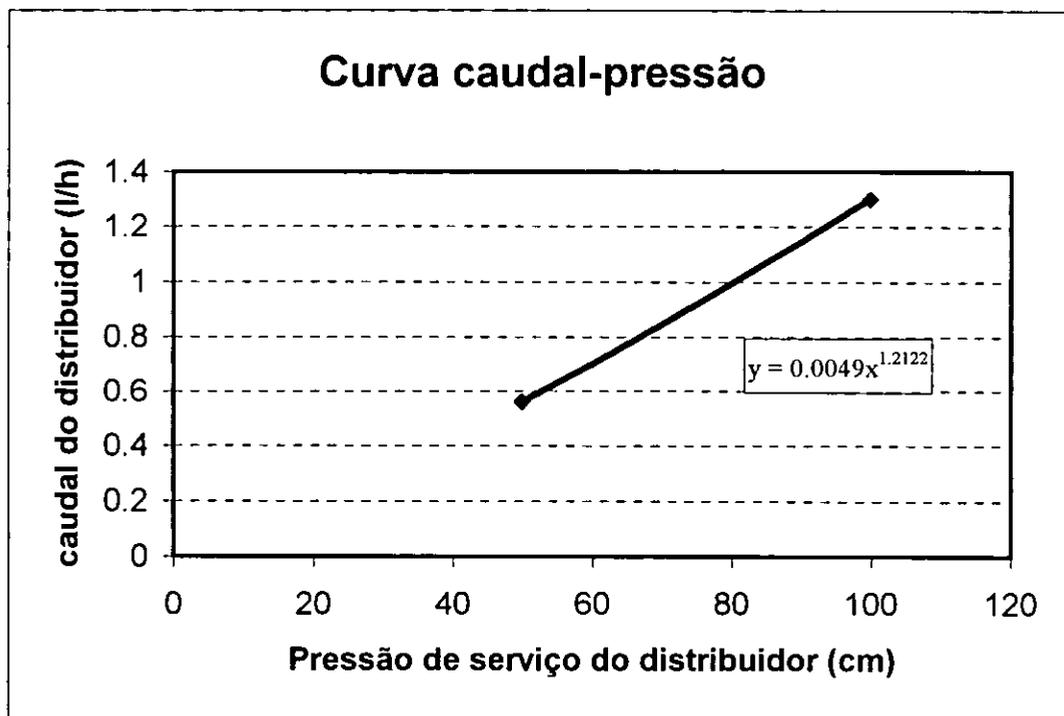
Caudal Médio	Desvio da Média	Caudal Médio	Desvio da Média	Caudal Médio	Desvio da Média
0.47	0.83	0.98	0.32	1.99	0.69
0.47	0.83	1.00	0.30	1.99	0.69
0.52	0.78	1.00	0.30	2.03	0.73
0.57	0.73	1.02	0.28	2.04	0.74
0.58	0.72	1.03	0.27	2.04	0.74
0.59	0.71	1.03	0.27	2.08	0.78
0.63	0.67	1.04	0.26	2.11	0.81
0.70	0.60	1.04	0.26	2.11	0.81
0.72	0.58	1.08	0.22	2.12	0.82
0.72	0.58	1.09	0.21	2.24	0.94
0.72	0.58	1.09	0.21	2.25	0.95
0.74	0.56	1.11	0.19	2.27	0.97
0.74	0.56	1.12	0.18	2.33	1.03
0.76	0.54	1.22	0.08	2.35	1.05
0.76	0.54	1.25	0.05	2.36	1.06
0.77	0.53	1.26	0.04	2.61	1.31
0.78	0.52	1.26	0.04	2.81	1.51
0.80	0.50	1.28	0.02	Soma total	55.36
0.80	0.50	1.29	0.01		
0.80	0.50	1.30	0.00		
0.81	0.49	1.31	0.01		
0.81	0.49	1.37	0.07		
0.82	0.48	1.38	0.08		
0.83	0.47	1.41	0.11		
0.83	0.47	1.46	0.16		
0.83	0.47	1.51	0.21		
0.84	0.46	1.55	0.25		
0.84	0.46	1.55	0.25		
0.85	0.45	1.57	0.27		
0.86	0.44	1.58	0.28		
0.88	0.42	1.68	0.38		
0.88	0.42	1.73	0.43		
0.89	0.41	1.74	0.44		
0.90	0.40	1.76	0.46		
0.91	0.39	1.76	0.46		
0.91	0.39	1.78	0.48		
0.91	0.39	1.80	0.50		
0.91	0.39	1.80	0.50		
0.92	0.38	1.81	0.51		
0.92	0.38	1.83	0.53		
0.93	0.37	1.85	0.55		
0.93	0.37	1.88	0.58		
0.93	0.37	1.90	0.60		
0.94	0.36	1.92	0.62		
0.94	0.36	1.92	0.62		
0.95	0.35	1.93	0.63		
0.95	0.35	1.94	0.64		
0.96	0.34	1.95	0.65		
0.96	0.34	1.96	0.66		

Anexo 10

Dados generalizados de profundidade radicular de culturas no estado adulto, bem como a fracção de água disponível no solo (p) e a água disponível no solo (p*Sa) para diferentes tipos de solo (em mm/m), quando a ETc está entre 5-6 mm/dia.

Crop	Rooting depth (m)	Fraction (p) of available water	Readily available soil water (p*Sa) mm/m		
			Fine	Medium	Coarse
Alfalfa	1.0 - 2.0	0.55	110	75	35
Banana	0.5 - 0.9	0.35	70	50	20
Barley	1.0 - 1.5	0.55	110	75	35
Beans	0.5 - 0.7	0.45	90	65	30
Beets	0.6 - 1.0	0.50	100	70	35
Cabbage	0.4 - 0.5	0.45	90	65	30
Carrots	0.5 - 1.0	0.35	70	50	20
Celery	0.3 - 0.5	0.2	40	25	10
Citrus	1.2 - 1.5	0.5	100	70	30
Clover	0.6 - 0.9	0.35	70	50	20
Cacao		0.2	40	30	15
Cotton	1.0 - 1.7	0.65	130	90	40
Cucumber	0.7 - 1.2	0.5	100	70	30
Dates	1.5 - 2.5	0.5	100	70	30
Dec. orchards	1.0 - 2.0	0.5	100	70	30
Flax	1.0 - 2.0	0.5	100	70	30
Grains small	0.9 - 1.5	0.6	120	80	40
Grapes	1.0 - 2.0	0.6	70	50	20
Grass	0.5 - 1.5	0.35	100	70	30
Groundnuts	0.5 - 1.0	0.5	80	55	25
Lettuce	0.3 - 0.5	0.4	60	40	20
Maize	1.0 - 1.7	0.3	120	80	40
Melons	1.0 - 1.5	0.6	70	50	25
Olives	1.2 - 1.7	0.65	130	95	45
Onions	0.3 - 0.5	0.25	50	35	15
Palm trees	0.7 - 1.1	0.65	130	90	40
Peas	0.6 - 1.0	0.35	70	50	25
Peppers	0.5 - 1.0	0.25	50	35	15
Pineapple	0.3 - 0.6	0.5	100	65	30
Potatoes	0.4 - 0.6	0.25	50	30	15
Safflowers	1.0 - 2.0	0.6	120	80	40
Sisal	0.5 - 1.0	0.8	155	110	50
Sorghum	1.0 - 2.0	0.55	110	75	35
Soybeans	0.6 - 1.3	0.50	100	75	35
Spinach	0.3 - 0.5	0.2	40	30	15
Strawberries	0.2 - 0.3	0.15	30	20	10
Sugarbeet	0.7 - 1.2	0.5	100	70	30
Sugarcane	1.2 - 2.0	0.65	130	90	40
Sunflower	0.8 - 1.5	0.45	90	60	30
Sweet potatoes	1.0 - 1.5	0.65	130	90	40
Tobacco early	0.5 - 1.0	0.35	70	50	25
Tomatoes	0.7 - 1.5	0.40	180	60	25
Vegetables	0.3 - 0.6	0.20	40	30	15
Wheat	1.0 - 1.5	0.55	180	70	35
Total Available soil Water (Sa)			200	140	60

Fonte: FAO 24



Anexo 12

Resultados da Anova

1) Homogeneidade das variâncias.

	S_1^2	S_2^2	S_3^2	S_4^2	S_5^2	S_6^2
Lateral	0.2177	0.0838	0.0459	0.1135	0.0407	0.0203
F calculado	10.72					
F tabelado	18.70					

2) ANOVA.

	G.L	SQ	QM	F calculado	F tabelado (1%)
Tratamentos	5	46.70	9.34	163.85	3.70
Erro	30	1.71	0.057		
Total	35	48.41			